

PROGRAMME RECHERCHE INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



Partie B : Rapports détaillés



SOMMAIRE

SOMMAIRE	1

AXE 1 : ETUDE DE LA VALEUR D'UTILISATION DES BLES PRODUITS EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE 5

TACHE 1 : CARACTERISATION AGRONOMIQUE ET TECHNOLOGIQUE	7
D'UN PANEL D'ECHANTILLONS DE BLE BIOLOGIQUE	7
1) <i>Rappel des objectifs</i>	9
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	9
3) <i>Analyse des écarts par rapport aux objectifs</i>	10
4) <i>Valorisation</i>	10
TACHE 2 : CRITERES DE SELECTION DE VARIETES DE BLE TENDRE DE QUALITE ADAPTEES A L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE	11
1) <i>Rappel des objectifs</i>	13
2) <i>Contexte</i>	13
3) <i>Résultats</i>	15
4) <i>Bilan et discussion</i>	22
TACHE 3 : CARACTERISATION DE LA QUALITE PAR LA PANIFICATION.....	29
1) <i>Rappel des objectifs</i>	31
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	31
3) <i>Analyse des écarts par rapport aux objectifs</i>	33
4) <i>Valorisation</i>	33
TACHE 4 : EVALUATION DES FACTEURS AGRONOMIQUES INFLUENÇANT LA QUALITE DES BLES BIOLOGIQUES.....	39
1) <i>Rappel des objectifs</i>	41
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	41
3) <i>Analyse des écarts par rapport aux objectifs</i>	45
4) <i>Valorisation</i>	45

AXE 2 : RECHERCHES EN VUE DE L'AMELIORATION DE LA QUALITE 51

TACHE 1 : INFLUENCE DE LA DISPONIBILITE EN AZOTE ET SOUFRE SUR LE DETERMINISME DE LA COMPOSITION PROTEIQUE FINE DU GRAIN DE BLE EN CULTURE BIO. RELATION AVEC LA QUALITE BOULANGERE ET L'ELABORATION DE LA RECOLTE.....	53
1) <i>Rappel des objectifs</i>	56
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	56
3) <i>Analyse des écarts par rapports aux objectifs</i>	73
4) <i>Valorisation</i>	73
TACHE 2 : EFFET DES PROCEDES DE FRACTIONNEMENT SUR LA QUALITE	75
1) <i>Rappel des objectifs</i>	77
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	77

TACHE 3: EFFET DU PROCEDE DE PANIFICATION SUR LA QUALITE DES PAINS BIOLOGIQUES ..	99
PARTIE A : INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES FARINES SUR L'ETAPE DE FERMENTATION	101
1) <i>Matériel et méthodes</i>	101
2) <i>Résultats et discussions</i>	104
PARTIE B : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE PAINS ISSUS DES TACHES 2/T6 ET 3/T3	118
1) <i>Introduction et Objectifs</i>	118
2) <i>Echantillons</i>	118
3) <i>Méthodes analytiques des pains commerciaux</i>	118
4) <i>Résultats et commentaires</i>	118
PARTIE C : OPTIMISATION D'UN PROCEDE DE FERMENTATION AU LEVAIN DE BLE CONCASSE	121
1) <i>Contexte et objectif de l'étude</i>	121
2) <i>Méthodologie</i>	122
3) <i>Résultats et discussions</i>	125
TACHE 4 : VALEUR NUTRITIONNELLE DU PAIN BIOLOGIQUE	137
1) <i>Rappel des objectifs</i>	139
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	139
3) <i>Bilan du travail réalisé</i>	150
4) <i>Discussion générale</i>	150
TACHE 5 : VALEUR SENSORIELLE DU PAIN BIOLOGIQUE ET OUTILS DE CARACTERISATION OBJECTIVE	155
1) <i>Rappel des objectifs</i>	160
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	161
3) <i>Discussion</i>	186
4) <i>Analyse des écarts par rapport aux objectifs</i>	187
5) <i>Valorisation</i>	187
TACHE 6 : COMPATIBILITES D'IMAGES DES PAINS ISSUS DE L'AB AVEC LA PERCEPTION DES CONSOMMATEURS	209
1) <i>Rappel des objectifs</i>	211
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	211
3) <i>Analyse des écarts par rapport aux objectifs</i>	235
4) <i>Valorisation</i>	237

AXE 3 : ETUDE DE LA VALEUR D'UTILISATION DES BLES PRODUITS EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE 251

TACHE 1 : CONNAISSANCE DES PRATIQUES AGRONOMIQUES ET DES PRATIQUES DE COLLECTE BIOLOGIQUE DANS DEUX BASSINS DE PRODUCTION	253
1) <i>Contexte et objectifs de la tache</i>	256
2) <i>Méthodologie</i>	258
3) <i>Les principaux résultats</i>	261
4) <i>Discussion</i>	281
TACHE 2 : ETAT DES LIEUX DES TECHNIQUES UTILISEES PAR LES MEUNIERs TRAVAILLANT LES BLES BIOLOGIQUES.....	293
1) <i>Rappel des objectifs</i>	295
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	295
3) <i>Ecart par rapport aux objectifs</i>	305
4) <i>Valorisation</i>	305
5) <i>Annexes : résultats</i>	305

TACHE 3 : ETAT DES LIEUX DES TECHNIQUES UTILISEES PAR LES BOULANGERS TRAVAILLANT LES FARINES BIOLOGIQUES	307
1) <i>Présentation générale du secteur</i>	311
2) <i>Eléments de différenciations en termes de matières premières et de diagrammes de fabrication</i>	320
3) <i>Eléments de différenciations en termes de savoir faire et de diagrammes de fabrication</i>	323
4) <i>Spécificité des pains biologiques</i>	329
TACHE 4 : RASSEMBLER TOUS LES ACTEURS DE LA FILIERE POUR VALIDER LES METHODES D'APPRECIATION DE LA QUALITE DES BLES BIOLOGIQUES - COORDINATION DU PROJET	343
1) <i>Rappel des objectifs</i>	345
2) <i>Principaux résultats obtenus</i>	345
3) <i>Analyse des écarts par rapport aux objectifs</i>	347
4) <i>Valorisation</i>	348

AXE 1 : ETUDE DE LA VALEUR D'UTILISATION DES BLES PRODUITS EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 1 : CARACTERISATION AGRONOMIQUE ET TECHNOLOGIQUE
D'UN PANEL D'ECHANTILLONS DE BLE BIOLOGIQUE**

Auteure : Laurence Fontaine

Nom de l'organisme bénéficiaire : ITAB, Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Nom du responsable : Laurence Fontaine

Nom du Laboratoire : Commission Grandes Cultures

Adresse : 9 rue André Brouard – BP 70510 - 49105 ANGERS Cedex 02

RESUME SIGNALETIQUE

Très peu de références sont disponibles sur la qualité boulangère des variétés cultivées en agriculture biologique mises en relation avec les facteurs du milieu où elles ont été cultivées. Pour y faire face, l'objectif de cette tâche « Caractérisation agronomique et technologique d'un panel d'échantillons de blés biologiques » est de disposer d'une première base de données croisant données agronomiques (y compris le facteur variété) avec des données technologiques classiques et innovantes.

Pour y parvenir, une cinquantaine d'échantillons de blés par année de programme (récoltes 2004 et 2005), soit une centaine en tout, représentant 11 variétés récentes et 2 dites anciennes, ont été caractérisées sur les deux années du programme. Les échantillons analysés étaient issus du réseau d'essais de comparaison variétale animé par l'ITAB.

Les résultats des caractérisations agronomique et technologique sont centralisés au niveau de l'ITAB.

Caractérisation agronomique : conditions de sol et climat, historique de la parcelle, itinéraire technique suivi ; elle provient des expérimentateurs des essais variétaux dont sont issus les échantillons.

Caractérisation technologique : analyses dites classiques (teneur en protéines, PS, indice de zélény, alvéographe de Chopin, test de panification), gluten index et gluten humide, Profilblé® (qualité des protéines), analyses nutritionnelles.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

Très peu de références sont disponibles sur la qualité boulangère des variétés cultivées en agriculture biologique mises en relation avec les facteurs du milieu où elles ont été cultivées. Pour y faire face, l'objectif de cette tâche est de disposer d'une première base de données croisant données agronomiques (y compris le facteur variété) avec des données technologiques classiques et innovantes. Pour y parvenir, cette tâche visait à réaliser une caractérisation agronomique et technologique de 50 échantillons de blés par année de programme (récoltes 2004 et 2005), soit 100 échantillons sur les 2 ans. Les échantillons analysés étaient issus du réseau d'essais de comparaison variétale animé par l'ITAB.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

De nombreux essais de comparaison de variétés de blé tendre panifiables sont réalisés chaque année dans la France entière (ARVALIS – Institut du végétal, INRA, Chambres d'Agriculture, structures professionnelles biologiques, etc). Ce réseau, coordonné par l'ITAB, offre la possibilité d'avoir un pool d'échantillons de blés biologiques issus de conditions agronomiques différentes et bien caractérisées (facteurs génétiques et pédo-climatiques, itinéraire technique suivi). Après recensement des disponibilités, une cinquantaine d'échantillons ont été collectés et caractérisés pour chacune des deux années du projet, issues des récoltes 2004 et 2005.

b) Matériels et méthodes

Chaque année, la première étape a été de recenser les échantillons de variétés disponibles, caractérisés par leur origine (géographique, pédoclimatique) et leur niveau de teneur en protéines. Le choix des échantillons à analyser a été décidé en commun par les partenaires concernés, afin de faire varier génétique (plusieurs variétés, y compris des variétés peu connues en conventionnel, car étrangères, ou spécifiques de l'agriculture biologique, ou non étudiées sur des plages de teneurs en protéines faibles) et origine (sol, climat, itinéraire technique).

Les résultats des caractérisations agronomique et technologique ont ensuite été centralisés.

Caractérisation agronomique : conditions de sol et climat, historique de la parcelle, itinéraire technique suivi ; elle provient des expérimentateurs des essais variétaux dont sont issus les échantillons.

Caractérisation technologique : analyses dites classiques (teneur en protéines, PS, indice de zélény, alvéographe de Chopin, test de panification), gluten index et gluten humide, Profilblé® (qualité des protéines), analyses nutritionnelles.

c) Résultats

104 échantillons des récoltes 2004 (53 échantillons, 13 variétés de blé) et 2005 (51 échantillons pour les mêmes variétés) ont été caractérisés d'un point de vue technologique, agronomique et nutritionnel :

- Analyses technologiques (laboratoire LIVRAC) : humidité du blé, taux de protéines, poids spécifique, Zélény, Gluten Index, Gluten Humide, PMG, humidité farine, taux protéines farines, Hagberg, force boulangère, G, P/L
- Qualité des protéines (laboratoire Arvalis) : Profilblés®
- Tests de panification (laboratoire LIVRAC) : test NF V03-716

- Analyses nutritionnelles sur grains entiers (2004 et 2005) et sur fractions de farines (2004) obtenues au laboratoire de Livrac (laboratoire Inra U3M) : Mg, Fe, Ca, Zn, K, Cu
- Centralisation des données agronomiques issues des essais variétaux d'où viennent les échantillons (notamment par le remplissage d'une fiche parcellaire identique par tous les expérimentateurs).

d) Discussion

La principale difficulté de cette tâche a résidé dans la gestion des flux des échantillons, à faire envoyer dans les différents laboratoires dans les temps impartis. Notamment, l'envoi des échantillons au laboratoire Livrac la première année ne pouvait pas se faire avant la décision de la tâche 2 sur le type de test de panification à faire réaliser.

L'interprétation des résultats correspond à la tâche 4 de cet axe.

3) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

Les objectifs ont été remplis (plus de 100 échantillons caractérisés, répondant aux critères donnés en début de programme). A souligner la participation de l'ONIGC en co-financeur pour permettre la réalisation de l'ensemble des analyses.

4) VALORISATION

Les communications proprement dites figurent dans la tâche 4 qui comprend l'interprétation de ces résultats.

La valorisation des résultats acquis en fait s'est effectuée *via* la mise en œuvre d'une centralisation des données variétales sur les blés cultivés en agriculture biologique (base de donnée nationale), sachant qu'elle a été complétée depuis par les données 2006 (agronomique et technologique) ; les résultats issus d'essais variétaux des années antérieures à 2004 ont également été saisis afin de compléter la base (essentiellement pour les données agronomiques). Cette action, conséquence directe du programme de recherche « Pain bio », a reçu l'appui financier de l'ONIGC (année 2006 ; demande 2007 en cours).

ANNEXES

Le fichier contenant l'ensemble des résultats des analyses et les données agronomiques est trop important pour être retranscrits sur papier.

Il reste consultable par les financeurs du programme sur simple demande.

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 2 : CRITERES DE SELECTION DE VARIETES DE BLE TENDRE DE QUALITE
ADAPTEES A L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE**

Auteurs : B. Rolland et F.-X. Oury

Nom de l'organisme bénéficiaire : Institut National de la Recherche Agronomique

Nom du responsable scientifique : B. Rolland et F.-X. Oury

Nom du Laboratoire : INRA UMR APBV Rennes Le Rheu Ploudaniel

Adresse : domaine de la Motte - BP35327 35653 LE RHEU

RESUME

Pour chacune des deux campagnes d'expérimentation, 2004-2005 et 2005-2006, 3 essais chez agriculteurs certifiés en AB, ont été suivis par l'INRA (Le Moulon, Lusignan et Rennes). Entre 25 et 30 génotypes dont 18 variétés du réseau criblage variétal de l'ITAB ont été expérimentées. Les différentes conditions pédo-climatiques donnent une large variabilité des rendements (de 35 à 60 q/ha) et des teneurs en protéines (de 8.1 à 12.5%). Les génotypes ont été comparés pour de nombreux caractères agronomiques : précocité, hauteur, pouvoir couvrant, sensibilité aux maladies, rendement, PS, teneur en protéines. Une proposition est faite sur la hiérarchisation des caractères pour le classement du matériel végétal mieux adapté aux contraintes spécifiques à l'AB. Les analyses technologiques (dureté, zeleny, alvéographe) ont été réalisées à Clermont-Ferrand par l'INRA et les différents tests de panification (BIPEA et tradition française) par le laboratoire LIVRAC (44), l'ENSMIC et l'INRA de Nantes. Des relations robustes existent entre W et note de panification BIPEA, par contre les corrélations entre tests de panifications sont surprenantes et ne nous permettent pas de conclure.

Les lignées INRA ont été sélectionnées en conduite « faibles intrants » : sans fongicides ni régulateur de croissance, sans azote tallage et avec une densité de semis réduite. Parmi ce nouveau matériel rustique, 2 lignées confirment leurs bons résultats (CF99102) ou se révèlent prometteuses (RE04073). Ces lignées sont plus productives que Renan, sortent positivement de la relation rendement protéines, présentent des notes élevées et stables (CF99102) en panification. Les performances très stables de CF99102 suscitent une demande pressante des participants au réseau ITAB pour une demande spécifique au CTPS d'une ouverture de modalités spécifiques pour l'inscription au catalogue de variétés adaptées à l'AB.

S'ajoutant aux 3 premières années d'essais, les deux campagnes du programme pain bio ont permis à l'INRA, en partenariat avec l'ITAB, de constituer une base de données qui commence à être très intéressante pour étudier le comportement des variétés de blé tendre en agriculture biologique. En première approche, la sélection « faibles intrants » peut permettre de sortir des lignées intéressantes pour l'agriculture biologique, par exemple CF99102. Par ailleurs, les résultats des recherches INRA DGAP sont à l'origine du démarrage d'un programme FSOV adventices piloté par l'ITAB (2007-2009) et alimentent les réflexions du WG6 du COST860 Susvar (<http://www.cost860.dk>) qui feront l'objet de plusieurs communications au congrès EUCARPIA en novembre 2007.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

« Déterminer des critères de sélection de variétés de blé tendre de qualité adaptées à l'AB. Bien connaître le niveau global d'adaptation du matériel « rustique » quand celui-ci est cultivé en AB. En fonction des manques vis-à-vis de la demande en AB, les conclusions de l'étude orienteront sur la possibilité de faire évoluer les critères de sélection pour l'obtention d'un matériel mieux adapté : compétitivité vis-à-vis des mauvaises herbes, aptitude à valoriser les milieux pauvres en azote... »

2) CONTEXTE

Depuis 2002, des équipes du département de génétique et amélioration des plantes (DGAP) de l'INRA ont entrepris d'évaluer en Agriculture Biologique les variétés¹ rustiques² de blé tendre sélectionnées pour des conduites à intrants réduits. Après deux années pilotes, l'étude est conduite depuis 2004 à partir d'un dispositif multilocal et pluriannuel en partenariat avec l'ITAB.

Les parcelles expérimentales sont suivies par l'INRA chez des agriculteurs dont les fermes sont certifiées en agriculture biologique en Bretagne, Ile de France, Midi toulousain et Poitou (Figure 1). Seul l'essai breton est en système de polyculture élevage, les trois autres étant en système céréalier. Les essais variétés suivis par l'INRA participent également au réseau national d'évaluation variétale de l'ITAB (figure 1). Le réseau d'essais comporte 27 cultivars en 2005-2006 et 30 en 2004-2005, dont 15 communs aux 2 années sur les 40 expérimentés (tableau 1). Parmi ces variétés, 20 sont préconisées par l'ITAB, dont les variétés les plus couramment cultivées en agriculture biologique (Renan, Aristos, Pactole), des nouveautés étrangères (allemandes, suisses et autrichiennes sélectionnées pour l'AB ou la production intégrée), ainsi que des témoins CTPS (2 des meilleures variétés françaises : Apache et Caphorn). Les génotypes sous n° sont des lignées avancées de bonne valeur boulangère sélectionnées par l'INRA en conduite faibles intrants. Enfin deux témoins agronomiques (Caphorn et Renan) et deux témoins rustiques (Oratorio et Séquoia) contribuent au diagnostic des facteurs limitants. Dans le sud, les variétés trop tardives sont remplacées par Aubusson, Autan et Nogent en 2004-2005, seule année où un essai a été accueilli à Toulouse-Auzeville. En 2005-2006 les témoins agronomiques, Caphorn et Renan, ont été doublés par des parcelles désherbées manuellement pour tenter d'évaluer l'impact des adventices.

Protéines, W de l'alvéographe et zeleny ont été mesurés à l'INRA de Clermont-Ferrand. Parmi celles-ci 19 la première année et 22 la deuxième ont été panifiées selon la norme BIPEA. Parmi celles-ci 16 la première année et 11 la deuxième ont également été notées en méthode "tradition française" par l'ENSMIC. Sur ces 16 variétés, 11 ont été doublées pour la méthode "tradition française" à l'INRA de Nantes. Le test de panification, test direct d'appréciation de la valeur boulangère d'une variété, consiste à réaliser un pain, dans des

¹ Il s'agit ici de lignées pures

² Nous définissons une variété comme « rustique » sur son efficacité à atteindre le haut niveau de performance pour 3 critères : résistance aux maladies et à la verse - rendement - teneur en protéines. Les connaissances d'autres caractéristiques de « rusticité » pourront être prises en compte en fonction des facteurs agro-climatiques de la région et de l'amélioration de la connaissance variétale : valorisation de fertilisations azotées sub-optimales, tolérance à des stress hydriques, tolérance au piétin-verse, adaptation à une large gamme de contextes sol-climat. Une variété « rustique » ne doit pas connaître de défaut marqué sur les autres caractères d'importance économique pour être efficace. Les variétés rustiques ne sont pas des variétés anciennes : elles intègrent au contraire les derniers progrès de la sélection vis-à-vis de la tolérance aux maladies et aux stress azotés.

conditions bien définies, à partir de 350 g de farine et de le noter dans une échelle de 300 points. Sur les récoltes 2005 et 2006, deux tests de panification ont été pratiqués :

- « BIPEA », norme NFV03-716, sur mouture T55, avec levure et ajout d'acide ascorbique, pétrissage intensifié et pointage rapide suivi d'un façonnage mécanique. Ce test a été réalisé au fournil de Livrac (44).

- « Tradition française », sur mouture T55, avec levure, pétrissage doux et un pointage lent (3 heures, 2 rabats) suivi d'un façonnage manuel. Ce test a été réalisé par l'ENSMIC (2005 et 2006) et par l'INRA de Nantes (2005).

Les résultats portent sur les caractéristiques comportementales des variétés vis-à-vis des maladies, des adventices, du rendement, de la teneur en protéines, de la valeur technologique et de la qualité boulangère. Ils doivent assurer une meilleure connaissance du niveau global d'adaptation du matériel quand celui-ci est cultivé en AB. Au cas où la demande bio ne serait pas, ou partiellement satisfaite, les conclusions de l'étude orienteront sur la possibilité de faire évoluer les critères de sélection pour l'obtention d'un matériel mieux adapté à l'AB (compétitivité vis-à-vis des mauvaises herbes, aptitude à valoriser les milieux pauvres en azote...). Enfin ces deux années de résultats obtenus dans le cadre du programme « Qualités des blés biologiques » viennent étoffer la base de données INRA (2002-2004) d'analyses technologiques sur farine (3 années x 3 sites x 25 variétés).

Ces mêmes séries variétales ont également été conduites en essais faibles intrants (densité de semis et fertilisation azotée réduites, un herbicide, pas de régulateur de croissance, pas de fongicide, exceptionnellement un insecticide, N-60 par rapport aux conduites régionales recommandées) sur les domaines des 4 unités expérimentales INRA proches des sites des essais en AB (Le Moulon, Lusignan, Rennes et Toulouse). Cette conduite extensive correspond à l'ITK4 du réseau « ITK variétés rustiques. Les objectifs de rendement y sont compris entre 65 et 80 q/ha.

Figure 1 : Localisation des essais INRA variétés de blé tendre en AB

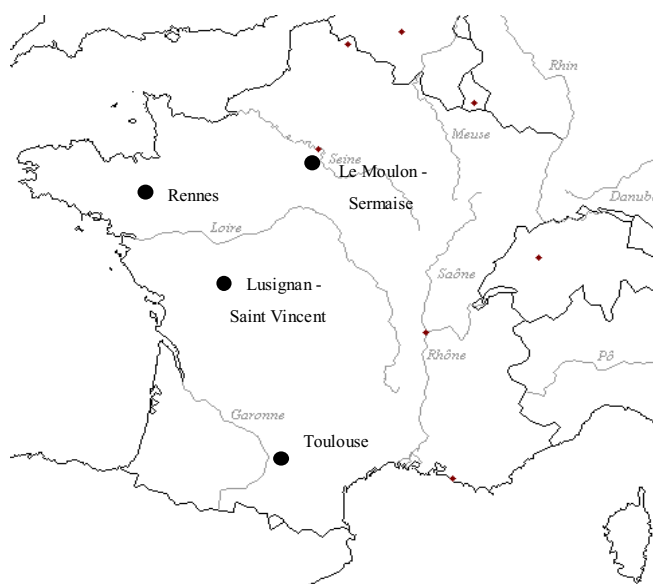


Tableau 1 : séries variétales zone nord des campagnes 2004-2005 et 2005-2006

variété	2004-2005	2005-2006	communes	obteneur/délégué	statut/motivation du choix
Achat	1			Sem Partners	liste ITAB 2005
Antonius		1		Benoist	liste ITAB 2006
Apache	1	1	1	Nickerson	Témoin ITAB
Aristos	1	1	1	Saaten Union	liste ITAB 2005 et 2006
association	1	1	1		liste ITAB 2005 et 2006
Ataro	1	1	1	LD-P. Kuntz	liste ITAB 2005 et 2006
Atlas	1	1	1	Sem Partners	liste ITAB 2005 et 2006
Azurro		1		Nickerson	liste ITAB 2006
Caphorn	1	1	1	Desprez	Témoin ITAB
Globus		1		semences Est	liste ITAB 2006
Lukas	1			Sem Partners	liste ITAB 2005
Oratorio	1	1	1	Benoist	témoin rustique INRA
Orpic	1			Benoist	liste ITAB 2005
Pactole	1			Belloy AO	Témoin ITAB
Pegassos	1	1	1	Saaten Union	témoin de (bon) pouvoir couvrant
Pireneo		1		LD-P. Kuntz	liste ITAB 2006
Pollux	1			LD-P. Kuntz	liste ITAB 2005
Quebon	1	1	1	Saaten Union	liste ITAB 2005 et 2006
Renan	1	1	1	INRA	Témoin ITAB
Sankara		1		Nickerson	liste ITAB 2006
Saturnus	1	1	1	semences Est	liste ITAB 2005 et 2006
Sequoia	1			Benoist	témoin rustique INRA
Soissons	1	1	1	Desprez	témoin INRA diagnostic FL
Valerius	1			semences Est	liste ITAB 2005
Wenga	1	1	1	LD-P. Kuntz	liste ITAB 2005 et 2006
CF99102	1	1	1	INRA	BPS bon potentiel en AB
CF00193	1			INRA	BAF
CF01085	1			INRA	BPS CTPS
CF03201		1		INRA	qualité+ pouvoir couvrant+
CF03287		1		INRA	qualité+ pouvoir couvrant+
DI9714	1	1	1	INRA	BPS+ potentiel en AB
DI9812	1			INRA	BPS potentiel en AB
DI02008	1			INRA	BPC+ intention de dépôt CTPS
DI03015	1			INRA	BPC+ intention de dépôt CTPS
Koreli	1	1	1	INRA	BPS rustique
DI05025		1		INRA	W+ pouvoir couvrant+
EM01214	1			INRA	BPS+
EM02054	1			INRA	BPS intention de dépôt CTPS
EM02207		1		INRA	qualité ? pouvoir couvrant+
RE04073		1		INRA	W+ maladies+ pouvoir couvrant+
RE04101		1		INRA	W+ ? pouvoir couvrant+
total	29	27	16		
Azurro					nouveauté 2005-2006

3) RESULTATS

a) Résultats de la campagne 2004-2005

Lors de la campagne 2004-2005 les essais en AB ont été suivis sur 4 sites (tableau 2). Les conditions de milieu très favorables, forts reliquats azotés après un hiver peu arrosé puis une fin de cycle au climat chaud et sec, ont permis de très bons résultats tant pour les teneurs en protéines, partout supérieures à 10%, que pour les rendements (moyenne de 60 à 70 q/ha), excepté à Toulouse où le manque d'azote et la concurrence des adventices ont fortement pénalisé le rendement. Les maladies, piétin-verse, rouilles jaune et brune et septoriose, ont été bien contrôlées par la résistance variétale. Sur l'essai de Sermaise (91) la concurrence des adventices s'est exprimée avec un enherbement fort et homogène d'agrostis mais elle a été peu dommageable sur le rendement. La sécheresse et les températures élevées d'un mois de juin très sec ont eu une incidence sur le nombre de grains/épis et le remplissage des grains (à Rennes diminution de 11% du pmg par rapport à 2004) et sur l'absence de verse mécanique des blés les plus hauts (Pollux, Fridolin...).

Tableau 2 : essais AB 2004-2005

station INRA	UMR Rennes	UE Lusignan	UE Le Moulon	UE Auzeville
lieu essai	Rennes	Saint Vincent (79)	Sermaise (91)	Auzeville (31)
type d'exploitation	polyculture élevage	céréalière	céréalière	céréalière
agriculteur	GAEC Mandardière	E. Ingrand	F. Chevalier	lycée agricole
date conversion AB	1992	1997	1999	1997
précédent	trèfle violet	tournesol	colza	tournesol
reliquat N sortie hiver	142	240	133	25
fertilisation (kg N)	0	70	0	40
rendement parcelle agriculteur	55-60q/ha (Renan)	50-55q/ha (Renan)	45 q/ha (Renan)	
nombre répétitions/essai	4	4	4	3
rendement essai blé	68 q/ha (50-80)	70 q/ha (56-77)	61,5 (51-74)	39 (30-48)
ETR rendement essai blé	2,76	3,2	4,48	4,96
protéines	12,3%(10,5-14,1)	10,5% (9,4-12,4)	10,3% (8,7-11,9)	9,3% (7,95-10,5).
W (mesure INRA CF)	244 (146-397)	171 (62-307)	163 (62-278)	
tests de panification	BIPEA et TRADITION	BIPEA	BIPEA	

La qualité technologique est bonne, appréciée par des teneurs en protéines moyennes supérieures à 10% et ouvrant une intéressante gamme de variation (de 9.4 à 12.4% à Sermaise et de 8.7% à 11.9% à Saint Vincent). Elle a même été exceptionnelle à Rennes avec une très forte teneur en protéines pour l'AB : 12.3% (de 10.5 pour Soissons à 14.1% pour Saturnus). C'est une hausse de 50%, soit +4.2 points par rapport à 2004, qui s'accompagne d'un PS élevé (moyenne 80 kg/hl). Des valeurs inédites du W de l'alvéographe y sont atteintes avec une moyenne de 244, variant de 150 pour Soissons à 400 pour Di9714. Le regroupement annuel de Rennes (RE), Le Moulon Sermaise (LM) et Lusignan Saint Vincent (LU) offre une large plage de variation sur le rendement (figure 3) ou le W (figure 4).

Cette très bonne année pour l'AB est confirmée par des écarts entre les conduites AB et faibles intrants qui sont pour la première fois faibles (figures 2a et 2b). Dans ces conditions les classements variétaux sont très proches avec des coefficients de détermination supérieurs à 0.93 dans 3 des 4 sites.

En année favorable et dans les milieux fertiles à faible pression d'adventices (conditions des comparaisons variétales en 2005), les résultats obtenus sont proches de ceux observés en Suisse par le RAC Changins : la hiérarchie variétale n'est pas modifiée entre conduite faibles intrants, nommée « extenso » en Suisse, et agriculture biologique (Fossati et al., 2005).

Figure 2 : Rendements et teneurs en protéines pour les conduites AB et faibles intrants (FI) en 2004-2005

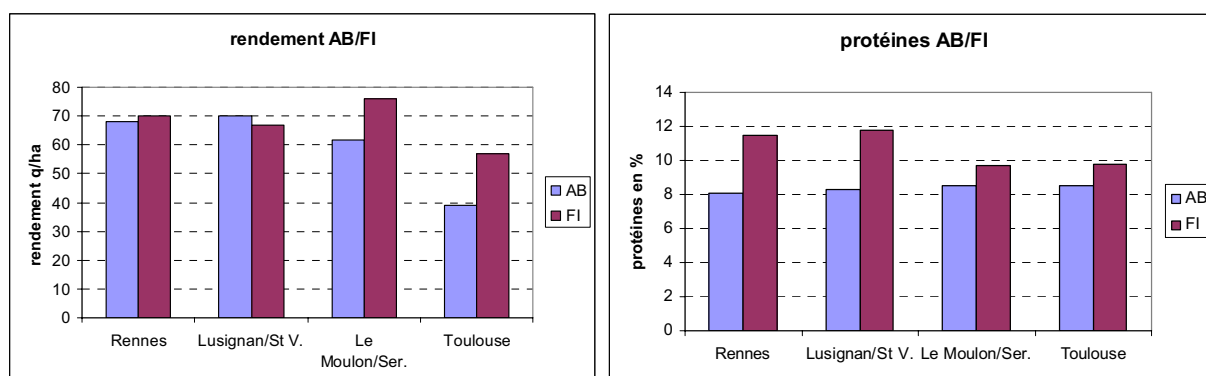
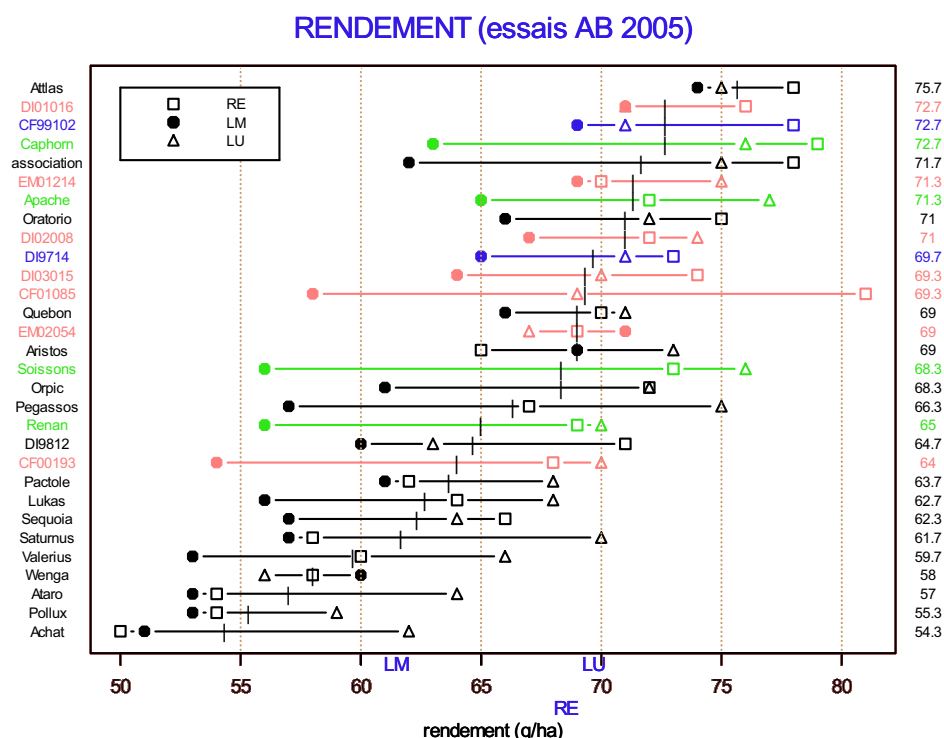


Figure 3 : Classement variétal sur le rendement en 2004-2005 (moyenne 3 lieux nord)



La campagne 2004-2005 apporte des éléments nouveaux et intéressants sur le comportement variétal : du fait du contexte climatique favorable l'azote exceptionnellement peu limitant, dans 3 de nos 4 situations, a permis de cumuler, pour la première fois depuis 2002, l'obtention de rendements élevés, hautes teneurs en protéines et forts W en AB. Ceci confirme bien l'intérêt d'inscrire ce type d'étude dans la durée pour vérifier les premières hypothèses et ouvrir la gamme des interactions géotypes x environnement.

Figure 4 : Classement variétal sur le W de l'alvéographe en 2004-2005 (moyenne 3 lieux nord)

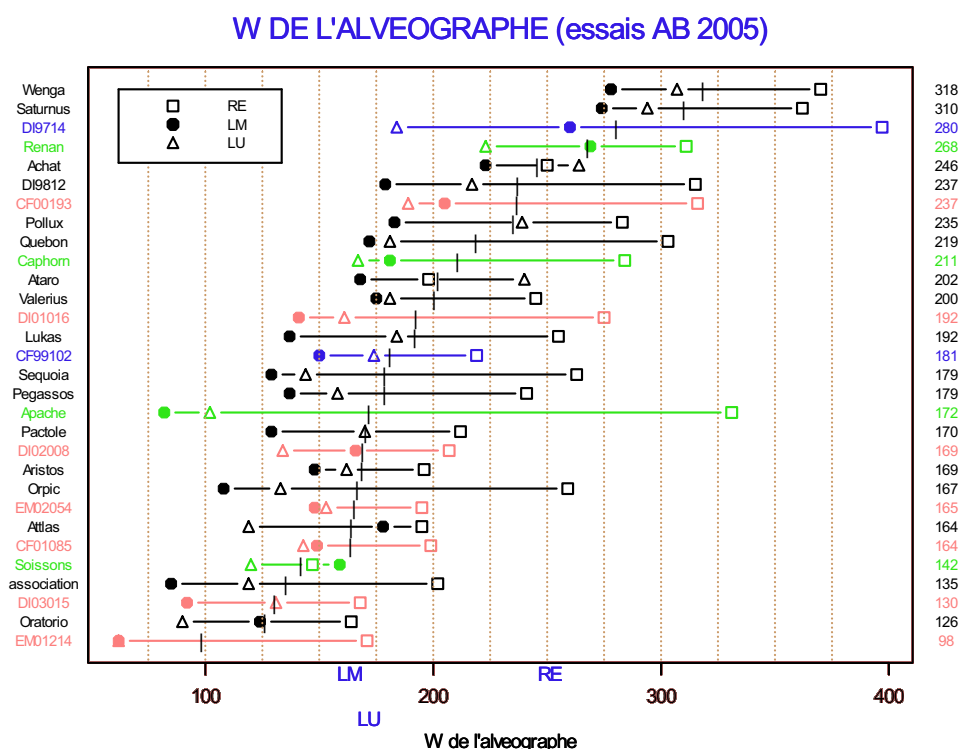
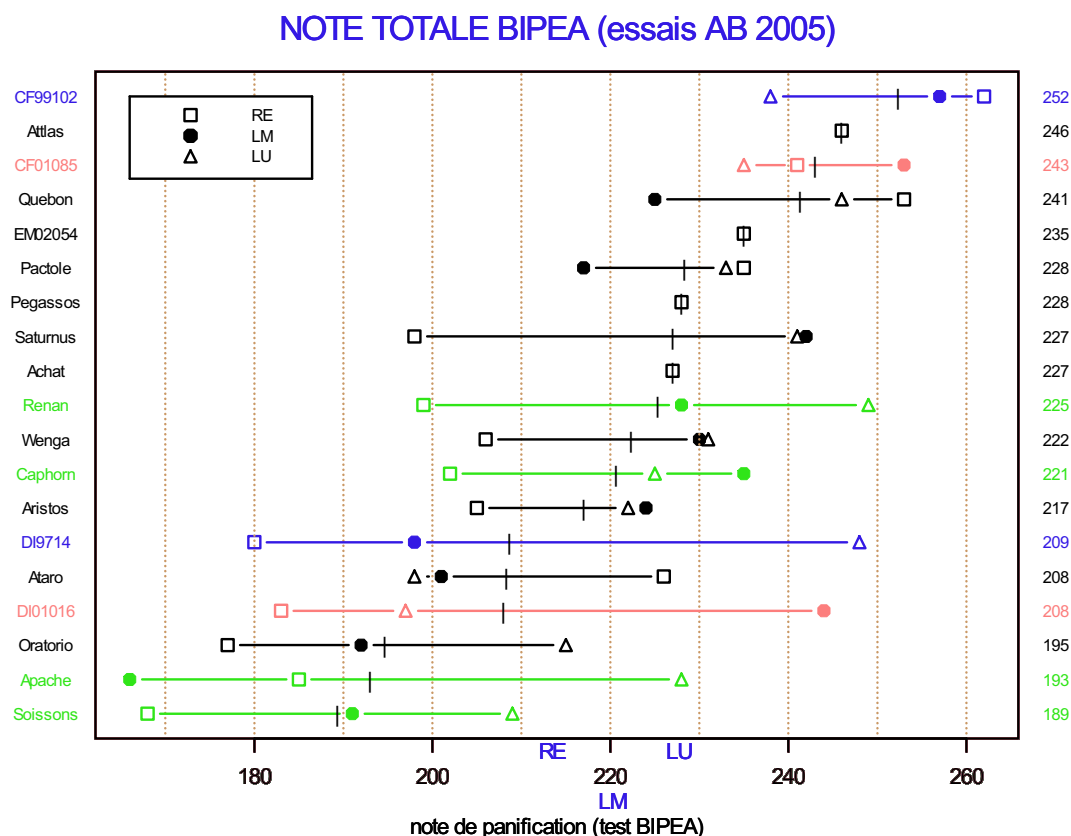


Figure 5 : Classement variétal sur la note de panification méthode BIPEA en 2004-2005 (moyenne 3 lieux nord)



Le choix initial d'ouvrir la gamme des variétés en y incluant des génotypes aux performances en panification irrégulières et/ou mauvaises en AB permet dans de présenter une large gamme, y compris dans les années favorables comme 2005 (figure 5). Plusieurs variétés classées panifiables supérieures (BPS) à l'inscription au catalogue français s'avèrent, comme Apache ou Soissons déficientes en protéines en situation culturale de très fort stress azoté, et n'obtiennent alors que de faibles valeurs pour le test de « valeur technologique pour farine blanche » BIPEA. A l'opposé des génotypes comme CF99102 Pactole, Quebon, Renan et Caphorn avec de moyens à bons W (figure 2) présente de valeurs très correctes en panification BIPEA.

b) Résultats de la campagne 2005-2006

En 2005-2006 les essais ont été réalisés sur les 3 sites de la zone nord (Tableau 3). Les conditions pédo-climatiques de la campagne ont été beaucoup moins favorables qu'en 2004-2005. En l'absence d'excès d'eau hivernal, un fort reliquat d'azote sortie d'hiver (de 90 à 170 kg) autorisait un très bon potentiel de rendement. Mais le faible tallage, dû à l'hiver froid et long, aggravé par une forte attaque de taupins sur les sites de Rennes et Saint Vincent (et 300 mm de pluie dans le Poitou en mars), a eu pour conséquence la mise en place d'une faible biomasse. La MS mesurée au stade épi 1 cm était limitante et a eu pour conséquence un faible tallage épis (488 épis/m² contre 580 épis/m² en 2005 à Rennes, 200 épis/m² à Saint Vincent). A Rennes cet effet a pu être estimé à 10 q/ha à partir de parcelles d'Apache semées en bande double densité comparées avec la même variété en semis normal (320 grains par m²). La pression des maladies a été inexistante puis assez faible en fin de cycle : quelques symptômes d'oïdium, de rouille brune (Soissons noté 6,5 dans une échelle de sensibilité de 1 à 9) et de septoriose (seul Renan, avec 6, dépasse la note de 4 à Rennes). A Sermaise, l'enherbement

d'agrostis a, comme en 2005, été fort et homogène. Les températures élevées en juin (3 jours avec températures maximum supérieures à 25°C et 6 jours avec maximum>30°) et les conditions très sèches ont influé négativement sur le nombre de grains par épi et le remplissage des grains et positivement sur la verse.

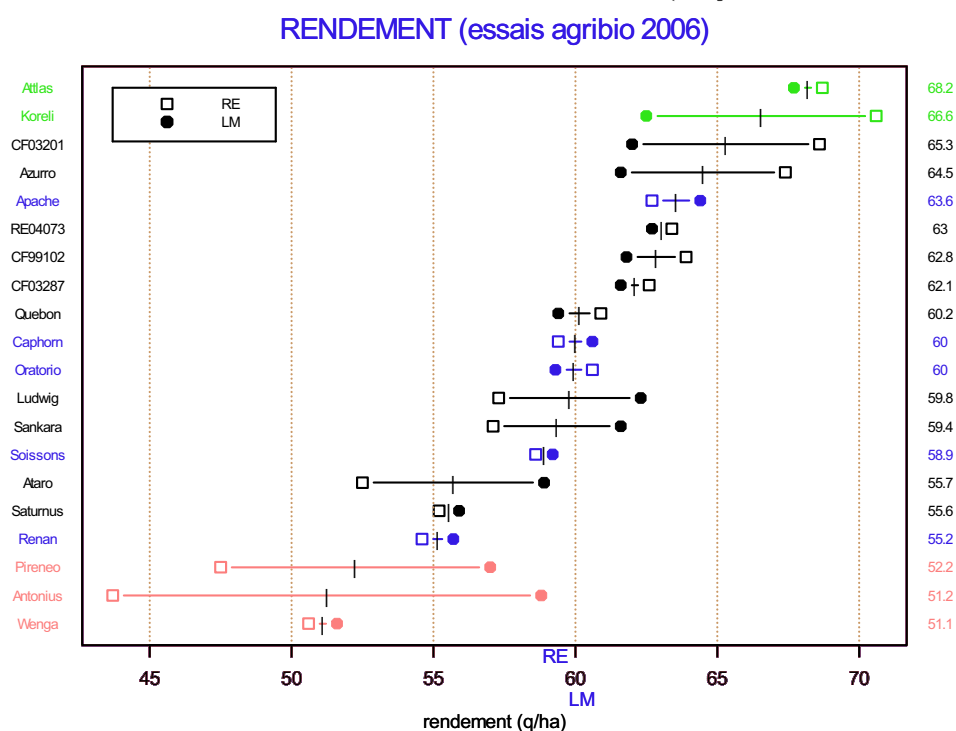
Tableau 3 : essais AB 2005-2006

station INRA	UMR Rennes	UE Lusignan	UE Le Moulon
lieu essai	Rennes	Saint Vincent (79)	Sermaise (91)
précédent	trèfle violet	tournesol	colza (20q/ha)
reliquat kg N/ha sortie hiver	170	110	90
fertilisation (kg N/ha)	0	50	0
rendement parcelle agriculteur	55 q/ha (Renan)	30 q/ha (Esperia)	
nombre répétitions	4	4	4
rendement essai	59 q/ha (44-71)	35 q/ha (24-41)	61 (52-68)
ETR	3,96	5,8	5,07
PS	79 (72-84)	79 (76-81)	72 (67-77)
protéines	12,5% (11,3-14,1)	10,2% (9,5-11,2)	10,5% (9-11,9)
W (INRA CF et Livrac)		Livrac162 (103-285)	Livrac 141 (74-234)
tests de panification	BIPEA et TRADITION	BIPEA	BIPEA

Sur deux sites les rendements ont diminué par rapport à l'excellente récolte 2005 : nettement dans le Poitou où ils ont été divisés par deux pour retrouver leur niveau habituel de 2002 à 2004 alors qu'à Rennes le rendement moyen baissait de 68 à 59 q/ha. A Sermaise, le rendement à 60 q/ha est stable pour la troisième année consécutive. Les variétés rustiques se classent très bien (Atlas, Caphorn, Koreli, Azurro, CF99102...).

Les hétérogénéités liées aux événements rencontrés par l'essai de Lusignan, dont un enherbement important et très hétérogène, et son imprécision du point de vue statistique (ETR de 5.8 q/ha) ont conduit à l'écarter du regroupement. Le classement sur le rendement est donc réalisé sur les seuls sites de Sermaise (LM) et Rennes (RE). L'écart maximum est de 17 q/ha entre une variété suisse sélectionnée en AB, Wenga, et une très productive variété rustique allemande Atlas (figure 6). Parmi les variétés bien classées pour les deux années, on retrouve Atlas, Koreli (=Di01016), CF99102 et Caphorn.

Figure 6 : Classement variétal sur le rendement 2005-2006 (moyenne 2 lieux nord)



A Rennes la qualité est pour la deuxième année consécutive très bonne, les fortes disponibilités en azote ayant bénéficié aux teneurs en protéines, avec une moyenne de 12,5% (minimum 11,3% pour Soissons, maximum Pireneo avec 14.1%) soit +0.3% par rapport à 2005 et +4.5 points par rapport à 2004. L'une des conséquences est le W qui présente plusieurs valeurs sont comprises entre 230 et 400. Alors que sur l'essai de Sermaise les teneurs en protéines sont basses de 9 % pour Apache à 11.9% pour Saturnus.

Suite à un problème technique les résultats W et zeleny 2006 ne sont pas disponibles fin juin 2007. Les mesures sont en cours et ces résultats seront joints à la synthèse.

Mis à part les témoins choisis à cet effet (Apache, Oratorio et Soissons), Sankara (nouvelle variété inadaptée à l'AB) et Atlas qui sont les seules variétés sous les 220 points en test BIPEA (figure 7) et 250 en Tradition Française (figure 8), les variétés étudiées en 2006 obtiennent de bons résultats, à l'exception d'Apache qui est intermédiaire. La relation entre les deux tests est significative. Le groupe CF99102, Quebon, Caphorn, Saturnus et Renan confirme ses bons résultats.

Figure 7 : Classement variétal sur la note de panification test BIPEA récolte (moyenne 2 lieux nord)

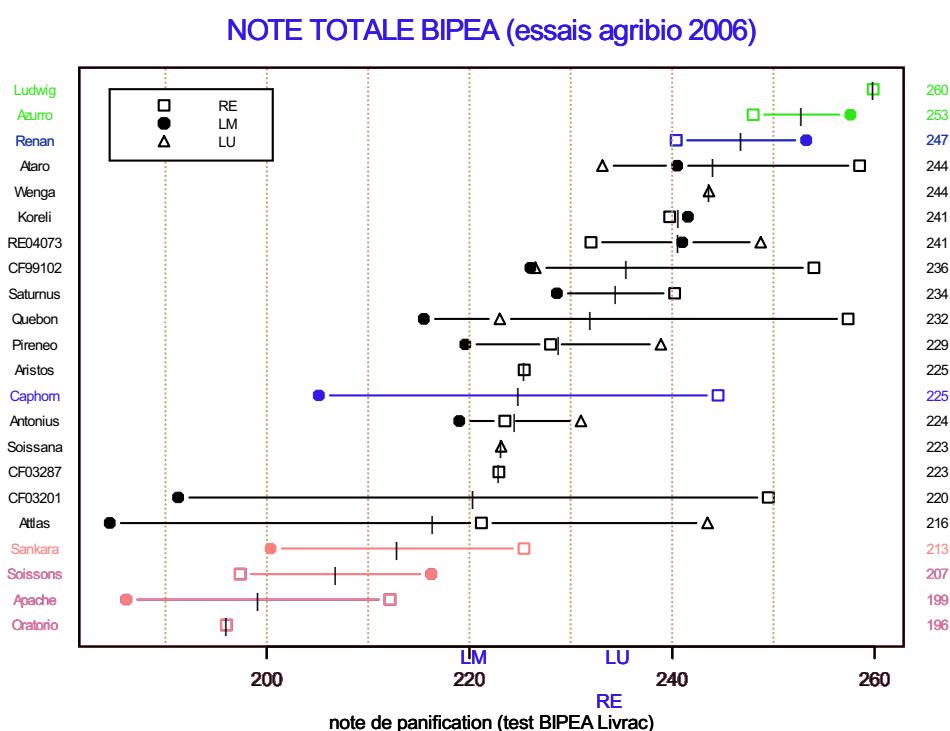
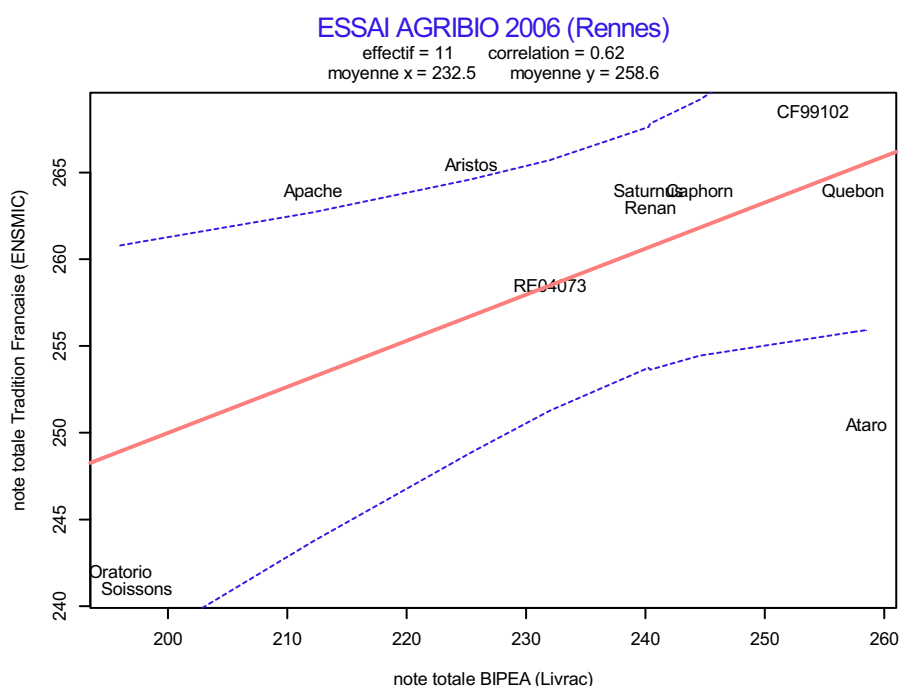


Figure 8 : Comparaison sur 11 variétés entre 2 tests de panification, BIPEA et Tradition française



Renan apporte toujours un bon compromis rendement-pouvoir couvrant-qualité, et un nouveau génotype INRA, CF99102, pourrait présenter une offre alternative intéressante. Les variétés suisses (Ataro, Wenga) et autrichiennes (Antonius, Ludwig, Saturnus) sont intéressantes pour leur qualité technologique mais offrent un potentiel de rendement nettement moindre. Caphorn a le défaut majeur d'être très peu compétitif vis-à-vis des adventices.

c) Qualité sanitaire

L'analyse sanitaire des grains a été réalisée à l'INRA de Rennes sur 4 témoins différenciés du point de vue de leur sensibilité à la fusariose (tableau 4). Sur les récoltes 2005 et 2006 cette maladie n'est pas plus dommageable pour Caphorn et Oratorio (sensibles) que pour Renan et Saturnus (résistantes). Sur ces dernières années la fusariose n'était présente qu'à l'état de traces.

Tableau 4 : analyse sanitaire en % de grains fusariés sur les récoltes 2005 et 2006

variété	site	récolte	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Fusarium nivale</i>
Caphorn	Le Moulon	2005	1	0
Oratorio	Le Moulon	2005	1	0
Renan	Le Moulon	2005	2	0
Caphorn	Lusignan	2005	1	0
Oratorio	Lusignan	2005	1	0
Renan	Lusignan	2005	0	0
Caphorn	Rennes	2005	0	0
Oratorio	Rennes	2005	0	0
Renan	Rennes	2005	1	0
Caphorn	Lusignan	2006	0	3
Oratorio	Lusignan	2006	0	0
Saturnus	Lusignan	2006	2	1
Caphorn	Rennes	2006	1	1
Oratorio	Rennes	2006	0	3
Saturnus	Rennes	2006	0	3

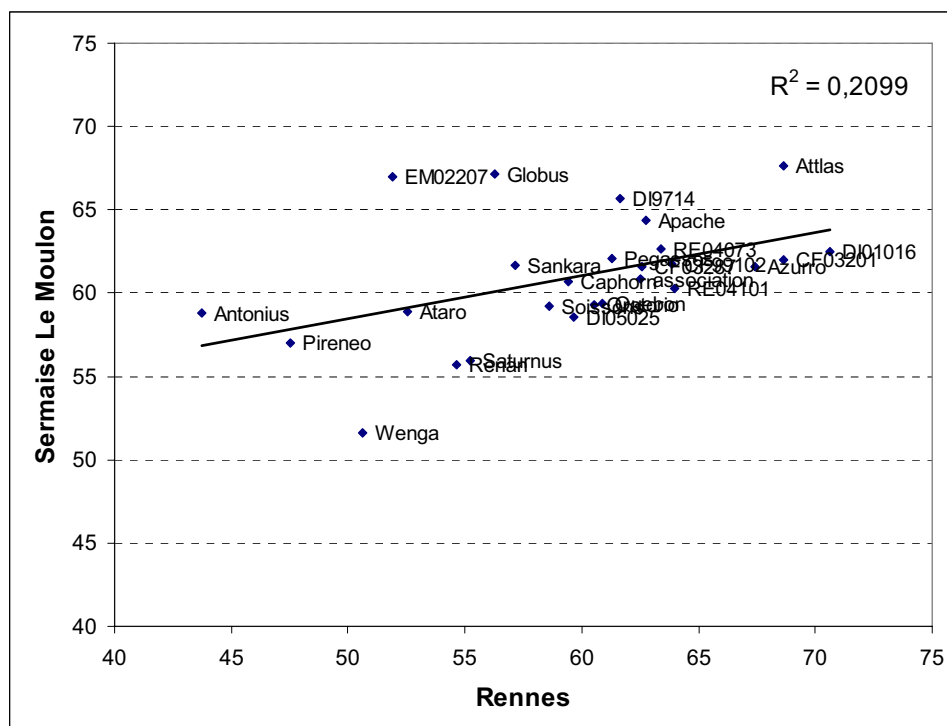
4) BILAN ET DISCUSSION

Sur le caractère rendement, les différences observées entre les résultats des récoltes 2005 et 2006 confirment la forte variabilité spatiale et interannuelle observée en culture céréalière dans les conditions de l'Agriculture Biologique (Nigli, 2005). En 2005 le coefficient de détermination sur le rendement entre les 3 essais en AB de la zone nord étaient compris entre 0.22 (Le Moulon/Lusignan) et 0.47 (Rennes/Lusignan). En 2006 le coefficient de détermination entre les 2 essais retenus, Le Moulon et Rennes est faible à 0.21 (figure 9). Il conviendra d'étudier plus finement les classements variétaux entre essais AB pour dégager des modalités d'interprétation des essais multilocaux notamment en s'appuyant sur diagnostic des facteurs limitants.

Dans un deuxième temps l'analyse se fera en comparant les performances de ces mêmes séries variétales en situations de faibles intrants avec les résultats en AB. Les r^2 étaient, site par site, très élevés (>0.95) pour la récolte 2005 alors qu'en 2006 ils étaient compris entre 0.46 et 0.50.

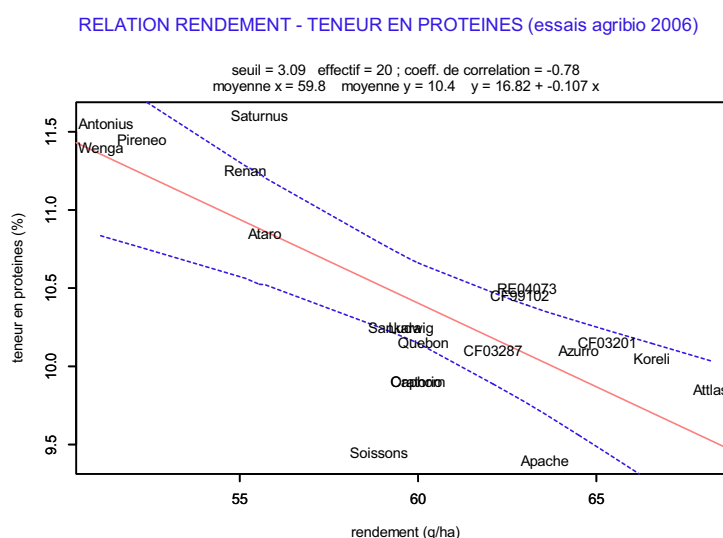
Concernant la question de l'environnement de sélection, la diversification des milieux appellera-t-elle celle des variétés ? La sélection dans des milieux à faibles niveaux d'intrants rend l'interprétation des résultats d'essais plus délicate et augmente les coûts expérimentaux. En effet, en réduisant les intrants, les facteurs limitants sont plus nombreux et plus divers (stress azoté, maladies...) d'un lieu à l'autre et d'une année à l'autre. L'efficacité de la sélection en est diminuée du fait d'interactions génotype x milieu plus nombreuses et d'une héritabilité plus faible : d'où la proposition de certains auteurs de trouver des critères de sélection liés au rendement, mais moins affectés par le milieu comme la durée de vie des feuilles.

Figure 9 : Comparaison des performances variétales dans les essais AB de Rennes et Le Moulon en 2005-2006



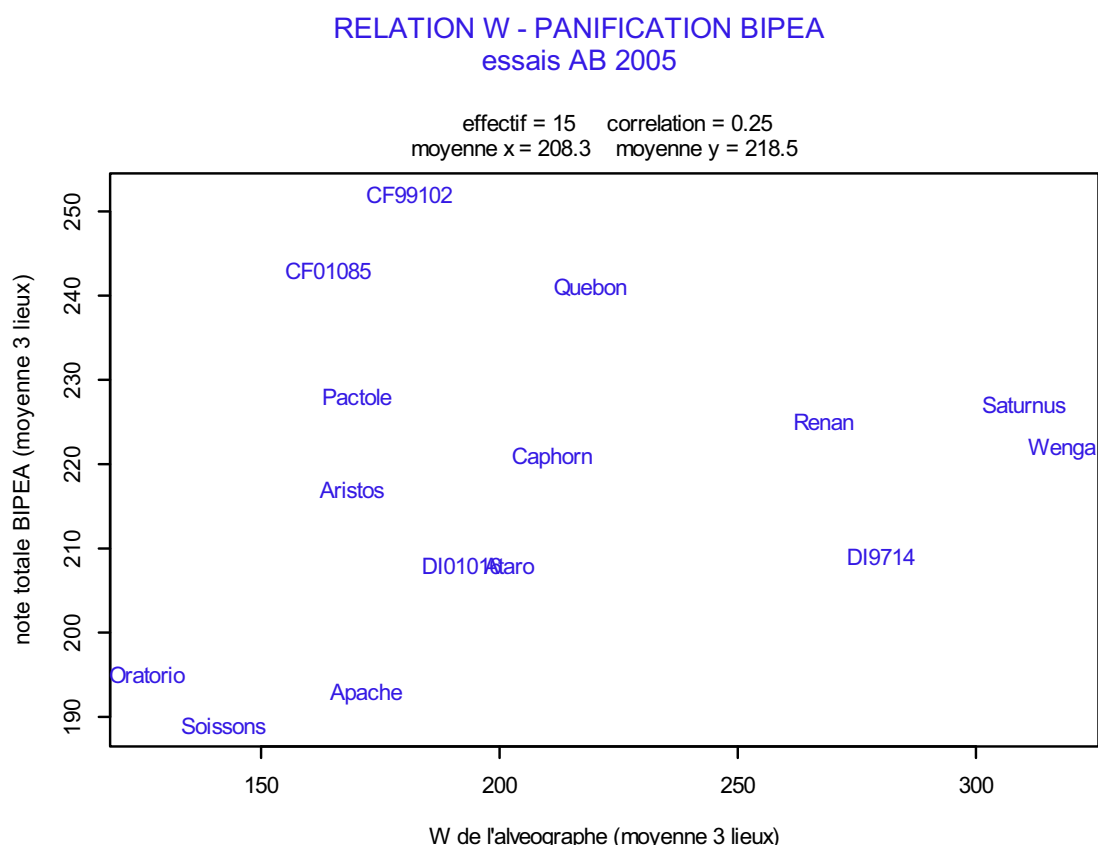
Pour la panification Française, dans la gamme de teneurs en protéines habituellement observée en conduite intensive (de 10 à 13%), il n'y a pas de relation entre teneur en protéines et valeur en panification (Oury et al., 1999). En effet, la manière dont la teneur en protéines influence la note de panification dépend fortement du génotype, et on ne trouve donc pas de relation simple entre les 2 caractères lorsqu'on les mesure sur un ensemble de lignées. Par contre, en agriculture biologique, les très faibles valeurs de teneur en protéines (souvent inférieures à 10%) rendent ce facteur prépondérant dans l'explication des notes de panification (Rolland et al, 2005). Il est ici confirmé que des notes de panification correctes s'obtiennent en AB, car même les valeurs de teneurs en protéines les plus fortes en agriculture biologique sont, en valeur absolue, des valeurs relativement faibles, pour lesquelles on s'attendrait à de mauvais résultats en panification. Si on considère que les critères "classiques" d'évaluation de la qualité (alvéographe Chopin et test de panification française) restent pertinents en agriculture biologique (ce qui mérite discussion), les lignées les plus intéressantes sont donc celles qui obtiennent les valeurs de teneur en protéines les plus fortes en agriculture biologique. Ces lignées sont, soit des lignées faiblement productives (du fait de la relation négative entre rendement et teneur en protéines, elles maintiennent alors une teneur en protéines suffisante : c'est le cas par exemple d'Antonius et Wenga), soit des lignées qui "sortent" favorablement de cette relation négative (c'est le cas, pour un niveau de productivité assez faible, Saturnus ou Renan, et pour un niveau de productivité plus élevé, RE04073 et CF99102) (figure 10).

Figure 10 : relation rendement teneur en protéines récolte 2005-2006



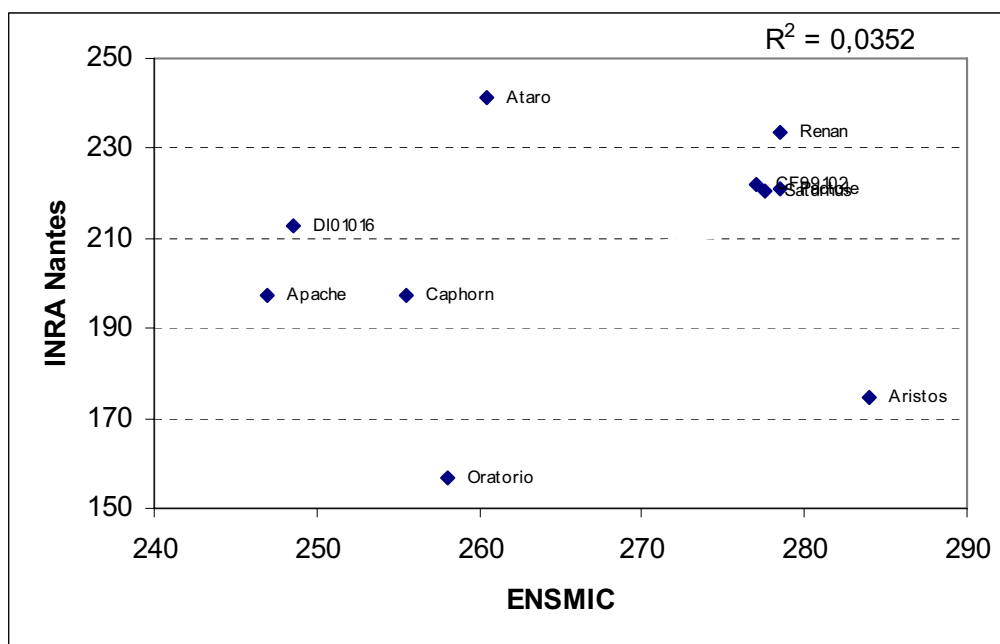
De précédents travaux ont montré la bonne prédiction de la valeur en panification par tests indirects comme le W de l'alvéographe et le zeleny (Goyer, 2005). En 2005, pour la première fois dans les essais variétés en AB de l'INRA, cette relation était inexistante entre W et note de panification BIPEA du fait des valeurs élevées en protéines proches de celles obtenues en conduite intensive (figure 11).

Figure 11 : relation W – test de panification BIPEA récolte 2004-2005



La répétabilité des tests de panification nous a parfois posé problème. Les relations entre les différents tests de panification n'apparaissent pas toujours significatives et pour le test « tradition française », il semble que la manière de noter doive être harmonisée entre laboratoires (figure 12). Mais les teneurs en protéines exceptionnellement élevées de la récolte 2005 à Rennes ne favorisaient guère l'obtention de résultats discriminants dans la large série variétale. Les dernières analyses W et zeleny sur la récolte 2006 sont en cours à l'INRA de Clermont-Ferrand et leur analyse permettra de valider nos hypothèses.

Figure 12 : Comparatif entre 2 laboratoires pour le test Tradition française, récolte 2005



La littérature montre que différents critères interviennent : hauteur, port de feuille, tallage, production de biomasse, indice foliaire, précocité à la montaison. Il est difficile de les hiérarchiser, certes des index de sélection sont proposés, mais aucun n'est pleinement satisfaisant. En effet l'interaction sur le pouvoir couvrant entre les génotypes et les milieux est très importante. Nous essayons de mieux comprendre cette interaction par des expérimentations dans des situations de compétition naturelle d'adventices dans des essais variétés conduits en Agriculture Biologique. En complément nous avons chiffré l'effet de la concurrence des adventices par la comparaison du rendement de deux témoins, Caphorn et Renan, en situation désherbée et non désherbée. Parallèlement à cela, nous essayons de décrire les génotypes testés sur l'ensemble des caractères qui pourraient expliquer des différences de compétitivité vis-à-vis des adventices. Nous cherchons à construire un index, nécessitant si possible des mesures simples et peu coûteuses, prédictif du pouvoir de compétitivité de la variété.

Le pouvoir de compétition d'une variété vis-à-vis des adventices n'est pas un caractère absolu mais une combinaison de caractéristiques telles que le port, la largeur des feuilles, la hauteur de paille, l'aptitude au tallage.... Ainsi, pour évaluer de manière globale une variété donnée, un index synthétique s'avère alors nécessaire. Hansen (2000) propose un modèle linéaire avec trois variables à pondération égale qui sont : l'index de végétation au stade un nœud, l'indice foliaire à la floraison et la hauteur des plantes avant récolte. Plus récemment, Goyer et al. (2005) ont proposé un index utilisable en sélection qui s'appuie uniquement sur des notations visuelles (pouvoir couvrant) et des mesures simples (hauteur).

L'appréciation visuelle du pouvoir couvrant, réalisée indépendamment de la hauteur (mêmes notes de 7 pour des variétés qui mesurent entre 80 et 115 cm), montre sur deux années des différences intéressantes (figure 13). Les corrélations sont bonnes entre les essais pour ce caractère (figure 14). Les aptitudes variétales seront à confirmer dans des situations de véritable compétition, en présence cette fois de mauvaises herbes plus agressives.

Suite à nos résultats obtenus, notamment dans le cadre du programme « Qualités des blés biologiques », un projet FSOV3 "Des variétés rustiques concurrentes des adventices pour

³ Fonds de soutien à l'obtention végétale qui gère, avec le GNIS, l'argent collecté par le biais de la CVO (cotisation volontaire obligatoire) et finance des projets de recherche dans le domaine de la sélection du blé tendre.

l'agriculture durable, en particulier l'agriculture biologique" coordonné par l'ITAB, en partenariat avec Arvalis, Lemaire Deffontaines et Saaten Union démarre en 2007. L'objectif du programme est de pouvoir fournir aux sélectionneurs et aux prescripteurs une méthode simple pour apprécier le pouvoir concurrentiel des génotypes de blé vis-à-vis des adventices.

Figure 13 : note de pouvoir couvrant à épiaison et hauteur à Rennes (2005)

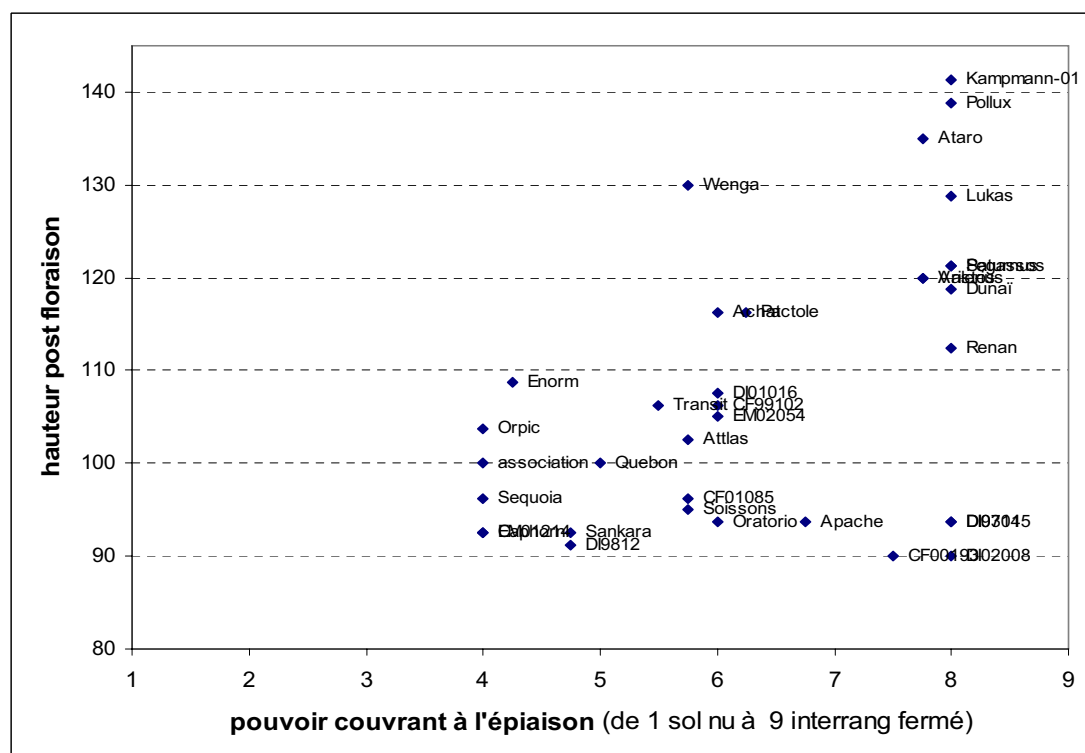
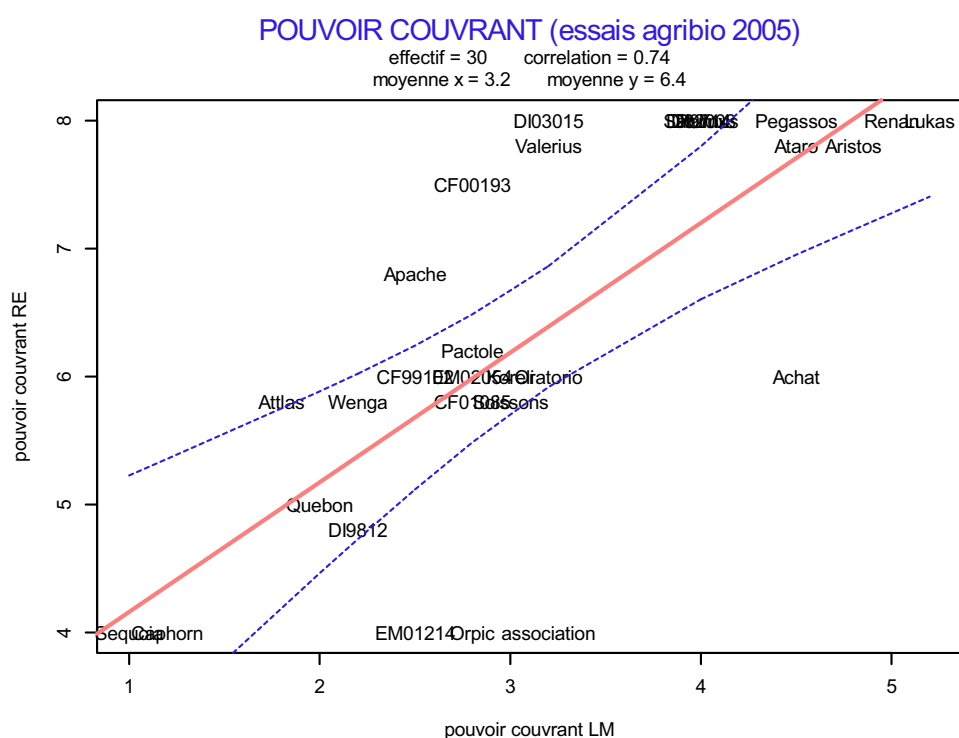


Figure 14 : relation entre notes de pouvoir couvrant à Rennes et Le Moulon en 2005



Dans le cadre d'une agriculture durable, la mise au point de variétés adaptées à une culture à niveaux d'intrants réduits (azote et fongicides en particulier) devient une priorité. L'agriculture biologique, prototype extrême de la réduction des intrants, pourrait constituer un milieu de sélection particulièrement bien adapté à cet objectif. Pour ces conditions, Kopke (2005) propose une approche globale pour la définition d'idéotypes de céréales adaptés. Pour tenter de sélectionner des variétés adaptées à l'agriculture biologique, un premier index de sélection global (IGS) qui est fonction du rendement pondéré de l'index de qualité boulangère (prédiction de la valeur boulangère à partir de tests indirects, protéines, zeleny, alvéographe) et de l'aptitude à la compétition vis-à-vis des adventices a été proposé :

$$\text{IGS} = \text{Rendement} + 2 \times (\text{Protéines} + \text{zeleny}) + (2 \times \text{Pouv. Couv.}) + \text{Hauteur}$$

L'index intègrera la Cet index pourra être utilisé en sélection par l'INRA et les obtenteurs.

Une réflexion est en cours pour évaluer les modalités de l'éventuelle inscription au catalogue français de la lignée INRA CF99102. CF99102 apparaît comme plus productif que Renan (1ère variété en AB en France) sur 10 essais du réseau ITAB en 2005 et 16 en 2006, de bonne valeur boulangère (stable sur 3 ans), multirésistant aux maladies (dont la fusariose, témoin des essais INRA, et la septoriose) mais a un pouvoir couvrant un peu limité par rapport à Renan. Enfin la sélection précoce du matériel jeune INRA en conditions bios pourrait conduire à des résultats intéressants, RE04073 en est un bon exemple.

BIBLIOGRAPHIE

- Fossati D., Kellerhalls M., Spring J.-L. et Mascher F., 2006. Sélection de variétés pour une agriculture durable: 3 exemples suisses. Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA, n°30, 91-100.
- Goyer S., Al Rifaï M., Bataillon P., Gardet O., Oury F.-X., Rolland B., 2005. Selection index for bread wheat cultivars suitable for organic farming. Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on Organic Breeding Strategies and the Use of Molecular Markers, p.84. 17 -19 January 2005, Driebergen (NL)
- Kopke U., 2005. Crop ideotypes for organic cereal cropping system. Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB Workshop on Organic Breeding Strategies and the Use of Molecular Markers, p.13-16. Lammerts van Bueren E.T., Goldringer I., Ostergard H. Eds. 17 -19 January 2005, Driebergen (NL)
- Rolland B., Oury F.-X., Bouchard C., Loyce C., 2006. Vers une évolution de la création variétale pour répondre aux besoins de l'agriculture durable ? L'exemple du blé tendre. Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA, 30, 79-90.
- Rolland B., Bouguennec A., Charrier X., Gardet O., Faye A., Al Rifaï M., Morlais J.-Y., Oury F.-X., 2005. Comportement en agriculture biologique d'une large gamme de lignées récentes de blé tendre et de triticales. Premiers résultats de deux années d'expérimentation INRA et comparaisons avec des conduites faibles intrants et intensives. Séminaire sur les recherches en agriculture biologique INRA ACTA. Draveil 20-21 novembre 2003. INRA mai 2005. 137-148.

- Rolland B., 2002. Intérêt économique et environnemental des nouvelles variétés rustiques et productives de blé tendre. *Alter Agri* n°47 8-9.
- Rolland B., Meynard J.-M. , Charrier X., Gardet O. , Oury F. X. , Doussinault G., 2002. Evaluation of wheat and triticale genetic resources for organic farming : first agronomic results from an INRA trial network (Poster). *Proceedings of ECO-PB 1st International symposium on organic seed production and plant breeding*, p.76-77. Berlin, Germany, 21-22

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



TACHE 3 : CARACTERISATION DE LA QUALITE PAR LA PANIFICATION

Auteure : Laurence Fontaine

Nom de l'organisme bénéficiaire : ITAB, Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Nom du responsable : Laurence Fontaine

Nom du Laboratoire : Commission Grandes Cultures

Adresse : 9 rue André Brouard – BP 70510 - 49105 ANGERS Cedex 02

RESUME SIGNALETIQUE

La question de la pertinence de tests de panification couramment utilisés (BIPEA-AFNOR et CNERNA) se pose pour le cas de farines issues de blés biologiques : d'une part car les plages de teneurs en protéines obtenues sont souvent plus faibles qu'en conventionnel, d'autre part car les pains au levain/farine de meule sont répandus en agriculture biologique (alors que les tests standards sont réalisés sur levures/farine de cylindre).

Divers travaux menés sur la question avaient été recensés lors du montage du projet, réalisés indépendamment par le laboratoire Qualité d'Arvalis, par le CTCPA, l'INRA DGAP ou encore l'ENSMIC (en lien avec le GAB région Ile de France/CA77 et l'ITAB). Ces partenaires ont été réunis, associés à différents experts, afin d'identifier parmi les conclusions des travaux déjà effectués les points de similitudes et les points de divergence, et déterminer le protocole du test de panification à réaliser dans le cadre du projet (tâche A1T1).

Le test de panification retenu est le test normalisé NF V03-716 (BIPEA), car il permet de bien discriminer le potentiel boulanger des variétés, autrement dit de les classer les unes par rapport aux autres et de créer ainsi un référentiel. Il convient de bien préciser que l'objectif n'est pas de rechercher les caractéristiques technologiques répondant le mieux aux types de panification les plus pratiquées dans la filière biologique, la réflexion sur ce sujet étant menée dans le cadre de l'axe 3 du programme (définition d'un test de panification spécifique « bio »).

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

Il s'agissait de déterminer, en mettant en commun et en comparant des travaux déjà réalisés, le protocole du test de panification utilisé dans le cadre du projet et effectuer ce test sur la centaine d'échantillons de la tâche 1 de l'axe 1.

En effet, la question de la pertinence de tests de panification couramment utilisés lors du montage du projet (BIPEA-AFNOR et CNERNA) se pose pour le cas de farines issues de blés biologiques : d'une part car les plages de teneurs en protéines obtenues sont souvent plus faibles qu'en conventionnel, d'autre part car les pains au levain/farine de meule sont répandus en agriculture biologique (alors que les tests standards sont réalisés sur levures/farine de cylindre).

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

Divers travaux menés sur la question avaient été recensés lors du montage du projet, réalisés par le laboratoire Qualité d'Arvalis, par le CTCPA, l'INRA GAP ou encore l'ENSMIC (en lien avec le GAB région Ile de France/CA77 et l'ITAB). Ces partenaires ont été réunis, associés à différents experts, afin d'identifier parmi les conclusions des travaux déjà effectués les points de similitudes et les points de divergence, et déterminer le protocole du test de panification à réaliser dans le cadre du projet (tâche A1T1).

b) Matériels et méthodes

Le groupe de travail s'est réuni dès le premier semestre du programme (avril 2005), afin de statuer rapidement pour que le test retenu puisse être appliqué aux échantillons de blé rassemblés par ailleurs.

c) Résultats

Le test NF V03-716 a été retenu et appliqué à la centaine d'échantillons de blé biologique à caractériser dans le cadre de la tâche A1T1.

d) Discussion

Le test de panification retenu pour la tâche 1 est le NF V03-716, car il permet de bien discriminer le potentiel boulanger des variétés, autrement dit de les classer les unes par rapport aux autres et de créer ainsi un référentiel. Il convient de bien préciser que l'objectif n'est pas de rechercher les caractéristiques technologiques répondant le mieux aux types de panification les plus pratiquées dans la filière biologique, la réflexion sur ce sujet étant menée dans le cadre de l'axe 3 du programme (définition d'un test de panification spécifique « bio »).

Les raisons détaillées du choix du NF V03-716 sont les suivantes :

- **Bonne détection des défauts** : C'est un test « brutal » : cela permet de mieux détecter les défauts. Ces mêmes défauts seraient également trouvés dans un test moins brutal, mais seraient peut être moins bien mis en évidence.
- **Bon pouvoir discriminant** : Dans les résultats présentés, en particulier les analyses de panifications comparées (BIPEA, CNERNA, Tradition Française) faites par l'ENSMIC pour l'ITAB sur des échantillons de 2004, le test BIPEA est le plus discriminant, notamment sur les faibles valeurs en protéines.

- **Connaissance insuffisante de la filière** : Tant que les enquêtes sur les pratiques des meuniers et boulangers bio ne sont pas effectuées (axe 3 du programme), nous ne pouvons pas présumer des pratiques de la filière pain biologique qui peuvent être extrêmement diversifiées. Par conséquent, nous ne pouvons pas engager de réflexion sur la mise en place d'un protocole bio (axe 3) sans connaissance plus précise de ces pratiques.
- **Un test normalisé** : Le test Tradition Française n'est pas encore normalisé. Malgré le fort intérêt qu'il suscite, rien ne prouve encore que son utilisation est amenée à se développer.

A noter que des travaux complémentaires de comparaison des tests de panification NF V03-716 (type pain courant français) et de type tradition française ont été effectués par le laboratoire Qualité de Céréales d'Arvalis – Institut du végétal à la suite de ces conclusions, en 2005/2006, sur une trentaine d'échantillons de blés issus d'essais variétaux, avec l'appui financier de l'ONIGC. Voici la conclusion du rapport d'étude.

Le test normalisé NF V03-716 (dit BIPEA, type pain courant français) a été choisi pour évaluer les variétés de blé étudiées dans le cadre du programme de recherche « Qualités des blés et pains en AB », mais des interrogations subsistent quant à sa pertinence en panification biologique car il est très éloigné des pratiques des boulangers biologiques.

Afin de mieux évaluer sa pertinence, trente échantillons de variétés de blé ont été évalués à la fois par le test Pain courant français et le test Tradition française, pour étudier si ces variétés sont classées de la même façon, quel que soit le test utilisé.

Les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Les principaux critères de jugement de la qualité des pâtes montrent des comportements similaires pour les deux procédés de panification.
- L'analyse détaillée des profils de qualité des pâtes, du pétrissage à la mise au four, n'est pas modifiée quel que soit le type de pétrissage appliqué, lent ou intensifié.
- L'analyse de l'aspect extérieur des pains permet de montrer que les teneurs en protéines plus élevées limitent le bon développement des coups de lame en panification courante. A l'inverse, pour des teneurs en protéines plus faibles, le pétrissage intensifié et la présence d'acide ascorbique améliorent le développement et la régularité des coups de lame.
- En panification traditionnelle, les notes pains sont moins élevées pour des teneurs en protéines faibles, et inversement.
- La section et la couleur de la croûte des pains sont quasi identiques dans les deux procédés de panification.
- Les volumes des pains sont corrélés entre les deux méthodes, mais décalés d'environ 600 cm³. Ils sont conformes au type de pain fabriqué et augmentent en fonction de la teneur en protéines.
- L'aspect des mies est très différent selon le type de pain fabriqué. En panification courante, les mies sont aérées avec des alvéolages réguliers pour l'ensemble des variétés étudiées. En panification traditionnelle, pour la plupart des blés, la mie est davantage pénalisée par des textures moins aérées ; de plus, la diminution de la note mie est accentuée par l'application d'un coefficient de calcul élevé.
- En analysant les notes totales de panification, on peut retenir que la méthode pain courant « surestime » les blés biologiques à faible teneur en protéines et que la méthode pain de tradition « surestime » les blés biologiques à forte teneur en protéines.

En conclusion, la panification normalisée avec pétrissage intensifié et acide ascorbique ne pénalise pas les blés bios testés dans l'étude. Le classement des variétés « bio » est quasiment identique selon les deux méthodes de panification, un peu plus défavorable pour le pain de tradition. Par contre, la méthode pain courant fait mieux ressortir les variétés « bio » les plus aptes à faire du bon pain français.

3) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

L'objectif de la tâche a été respecté : choix du test de panification pour analyser les échantillons sélectionnés en début de programme, application aux échantillons ; alimenter la réflexion de l'axe 3 sur l'éventuelle définition d'un test de panification spécifique « bio »

4) VALORISATION

Fischer J., juin 2006, *Etude comparative des méthodes de panification type pain courant français (Norme NF V 03-716) et de tradition française (BIPEA Expérimentale du 01/10/04) pour l'appréciation de la qualité boulangère des blés biologiques - Récoltes 2004 et 2005*, rapport d'étude ONIGC, 21 p.

ANNEXE

Choix d'un test de panification – Compte-rendu de la réunion décisionnelle du 22 avril 2005
(Pages suivantes)

Choix d'un test de panification

Programme « Pain Bio » - Inra-Ciab / ACTA / ACTIA
Axe 1 – Tâche 3 - Compte rendu –22-04-05

Les personnes présentes :

Claude Aubert – GAB Ile de France / Chambre d'agriculture 77
Michel Bonnefoy – Arvalis-Institut du végétal
Hubert Chiron – Inra URPOI
Jacky Fischer – Arvalis-Institut du végétal
Eric Juncker – Terrena
Stanislas Lubac – ITAB – Commission grandes cultures
François Rathier – stagiaire Arvalis-Institut du végétal
Gilles Sicart – CTCPA
Bruno Taupier Letage – ITAB – Commission qualité
Philippe Viaux – Arvalis-Institut du végétal

Excusé : Bernard Rolland (Inra UMR APBV)

Absents à la réunion, mais représentés par une personne présente :

Christine Bar L'Helgouach – Arvalis-Institut du végétal : représentée par J. Fischer
Isabelle Goullieu : représentée par G. Sicart
Philippe Roussel : représenté par J. Fischer
François-Xavier Oury

Déroulement de la réunion :

- 1/ Présentation des objectifs de la réunion
- 2/ Présentation des principaux tests de panification existants
- 3/ Discussion et choix d'un test
- 4/ Le choix des échantillons 2004

Éléments de réflexion ⇒ choix du test normalisé BIPEA NF V03-716 :

Dans un premier temps, les objectifs du choix de test ont bien été précisés⁴ : le premier objectif est de classer entre elles des variétés de blé en fonction de leur aptitude à la panification ; parallèlement, ce test doit permettre de contribuer à la réflexion sur la mise en place d'un éventuel test bio à la fin du programme.

➤ Le point sur les différents tests : avantages / inconvénients ¹ :

1- Le test normalisé BIPEA : J. Fischer

Outre le fait que ce test soit normalisé, et donc reconnu par tous les laboratoires d'analyses, il s'avère être très discriminant. Il permet d'autre part de confronter de nombreux résultats et de constituer un vaste référentiel dans lequel pourraient s'insérer les résultats de panification bio. De nombreuses et régulières valeurs de reproductibilité permettent de pallier les variations inter (voir intra) – laboratoires.

⁴ Pour plus de détails : voir le document de travail : « Quel test de panification pour la tâche 3 – Axe 1 du programme Inra-ACTA-ACTIA « Pain bio » ? » ; disponible sur demande.

Il s'agit d'un test très exigeant pour la pâte, qui correspond à un important niveau de mécanisation. Il est adapté à la fabrication de pain volumineux.

Ce test est très différent des panifications préconisées en bio (présence d'acide ascorbique, pétrissage intensif, temps de pousse brefs, utilisation de levure...).

L'ajout d'acide ascorbique permet de diminuer le temps de fermentation et donne plus de force à la pâte, pour mieux « résister » au travail mécanique.

2- Le test CNERNA : J. Fischer

Ce test à l'avantage par rapport au BIPEA de ne pas utiliser d'acide ascorbique, élément important à prendre en compte dans le cas des pains biologiques. Cependant, le protocole n'est pas fixe d'un laboratoire à l'autre. Dans le cadre d'une application à des blés biologiques, les autres avantages de ce test par rapport au BIPEA sont restreints : ce test a donc été unanimement rejeté par les personnes présentes.

3- Le test Tradition Française : J. Fischer

Cette méthode n'est pas tout à fait finalisée, mais son protocole est quasiment fixé. L'objectif à terme est de normaliser ce test. Les processus de normalisation étant longs, un délai minimum semble être 2 ans. Ce test se rapproche davantage des panifications préconisées en bio car il y a utilisation de moins de levure, moins de sel, le pétrissage est lent et les temps de pousse plus longs. Pour avoir une certaine reproductibilité, le façonnage est mécanique. Cependant, il est moins brutal que dans les méthodes BIPEA et CNERNA car les rouleaux sont desserrés.

Ce test est encore à l'étude, mais il existe déjà une bonne expérience sur sa pratique. Sa mise au point provient d'une demande de la filière liée à l'expansion du marché des pains de tradition française. Les meuniers concernés cherchent un test plus pertinent que le test BIPEA et souhaitent savoir si leurs farines sont classées de la même façon dans les deux cas.

4- Le test bio du GAB Ile de France : C. Aubert

C'est un protocole directement inspiré des pratiques préconisées en bio, et donc très proche du marché. La bonne pertinence de ce test implique cependant des soucis de reproductibilité du test au niveau des laboratoires (difficulté d'obtenir de la farine T80, de faire de la farine sur meules en petites quantités, de travailler avec du levain...).

5- Le test bio du CTCPA : G. Sicart

Ce test est une variante du test BIPEA. Certaines notations ont été adaptées pour mieux coller à la réalité des produits bio pour lesquels les exigences ne sont pas les mêmes qu'un produit conventionnel. D'autre part, l'acide ascorbique a été supprimé et la dose de sel réduite.

6- Test à la crème de levain :

Il a été testé à petite échelle (sur 5 échantillons dont 3 bio) dans le cadre du programme AQS. Il se rapproche du test Tradition Française, mais utilise un levain standardisé (mélange de bactéries lactiques et de levures). Ce test n'a pas mis en évidence de différences de classement des blés par rapport à un test à la levure (CNERNA). Remarque : quand on utilise ce type de levain, il faut faire attention à la date de

péréemption car ce produit évolue dans le temps. Pour effectuer des comparaisons, il faut veiller à utiliser des levains du même âge.

Il a été précisé qu'il existe également des levains standardisés que l'on peut conserver à température ambiante. Enfin, Philippe Roussel a fait savoir par l'intermédiaire de J. Fischer que l'utilisation de starter pouvait être très intéressante pour un futur test en bio.

➤ **BIPEA ou Tradition Française ?**

Il a été décidé de façon unanime qu'il n'était pas possible de définir un nouveau test. Cela nécessiterait en effet beaucoup trop de temps (élaboration d'un protocole, d'une grille de notation, accord de tous les acteurs concernés ...) : la définition d'un tel test constitue un des objectifs du programme, et ne peut être envisagée à son commencement. D'autre part, le recours à un test sur de la farine T80 et/ou moulue sur meules de pierres n'a pas pu être retenue en raison de l'impossibilité technique de les obtenir à brève échéance (de tels moulins expérimentaux ne sont pas disponibles). Les tests « bio » (type GAB Ile de France), qui restent malgré tout les plus pertinents vis-à-vis du marché, ont donc été écartés. Le choix s'est donc rapidement orienté autour des tests BIPEA et Tradition Française.

Remarque :

Dans différentes études menées sur les comparaisons de tests, il n'a pas été observé de différence fondamentale de comportement des variétés selon les processus de panification (J. Fischer). Le classement des blés entre eux est toujours à peu près le même.

Les critères de choix : dans l'idéal le test doit :

1/ Etre rapidement utilisable (contrainte liée au programme qui ne dure que 2 ans) :

Les deux tests « pré-sélectionnés » le sont. Des laboratoires compétents peuvent les réaliser dans les deux cas.

2/ Se rapprocher des produits de marché (pertinence, crédibilité vis-à-vis des acteurs bio) :

Le test Tradition Française est de ce point de vue nettement plus intéressant que le BIPEA. Ce type de pain est probablement amené à se développer.

3/ Etre faisable en routine et reproductible :

Actuellement le test Tradition Française est essentiellement effectué par l'ENSMIC. Son protocole est cependant facilement réalisable par n'importe quel laboratoire. Il n'y a actuellement pas de valeurs de reproductibilité de disponibles.

Le test BIPEA est faisable en routine dans tous les laboratoires et il existe de bonnes valeurs de reproductibilité.

4/ Etre bien discriminant :

Le test BIPEA est discriminant, en particulier à des faibles niveaux de protéine. Nous disposons de trop peu de données pour conclure sur ce point pour le test Tradition Française.

(5/ Permettre d'obtenir des résultats insérables dans une base de données de référence.

Les résultats de panification BIPEA pourront s'inscrire plus rapidement dans un référentiel large. Même s'il semble prometteur, il n'y a actuellement aucune certitude quant à l'avenir du test Tradition Française.)

Les raisons du choix du test BIPEA, ce qui a fait « pencher la balance »

- **Bonne détection des défauts** : C'est un test « brutal » : cela permet de mieux détecter les défauts. Ces mêmes défauts seraient également trouvés dans un test moins brutal, mais seraient peut être moins bien mis en évidence.
- **Bon pouvoir discriminant** : Dans les résultats présentés, en particulier les analyses de panifications comparées (BIPEA, CNERNA, Tradition Française) faites par l'ENSMIC pour l'ITAB sur des échantillons de 2004, le test BIPEA est le plus discriminant, notamment sur les faibles valeurs en protéines.
- **Connaissance insuffisante de la filière** : Tant que les enquêtes sur les pratiques des meuniers et boulangers bio ne sont pas effectuées (axe 3 du programme), nous ne pouvons pas présumer des pratiques de la filière pain biologique qui peuvent être extrêmement diversifiées. Par conséquent, nous ne pouvons pas engager de réflexion sur la mise en place d'un protocole bio sans connaissance plus précise de ces pratiques.
- **Un test normalisé** : Le test Tradition Française n'est pas encore normalisé. Malgré le fort intérêt qu'il suscite, rien ne prouve encore que son utilisation est amenée à se développer.

Les limites de ce choix et préconisations :

- **Risque d'élimination d'échantillons** : Un des risques est d'éliminer par le bas certains échantillons de blé de manière trop catégorique, alors que ces mêmes blés peuvent avoir des qualités tout à fait compatibles avec les panifications bio. D'où une préconisation du groupe de travail: les échantillons ne devront pas être éliminés d'office. Le défaut devra être identifié précisément en regardant en détail les notes obtenus dans la grille de notation (ne pas se contenter de la note globale !).
- **Une échelle et une grille de notation à revoir** : Travailler sur la grille de notations. Selon les critères de notation de la grille BIPEA, les notes obtenues sur les échantillons bio seront très certainement situées dans une fourchette inférieure aux échantillons conventionnels. Cela est dû aux particularités des blés bio. L'échelle de notation devra donc probablement être adaptée (ex : volume). Chaque note globale sera détaillée afin de voir si certains points « spécifiques bio » apparaissent. Si c'est le cas, la grille devra être adaptée. Les variétés rejetées seront particulièrement étudiées afin de voir s'il y a des points particulièrement pénalisés en bio.
- **L'utilisation d'acide ascorbique** soulève quelques réticences, de même que le **pétrissage intensif** de la pâte. Hubert Chiron craint en particulier que les variétés soient abîmées par un traitement aussi brutal.

⇒ Nécessité de mettre en place un programme complémentaire (ex : sur un financement ONIC). Nous ne disposons pas de comparaison rigoureuse entre le test normalisé et un test spécifique bio. Il n'est donc pas rigoureusement prouvé qu'un classement effectué avec un test bio (à définir lequel) sera le même que celui effectué par le test BIPEA. Il est donc impératif de trouver un financement annexe au programme pour effectuer une comparaison entre des analyses BIPEA et un test bio qui reste à définir. La définition d'un tel test sera établie dès que nous aurons connaissances des résultats des enquêtes chez les meuniers et chez les boulangers. Ce

travail, pour être valorisé dans les conclusions du rendu du programme, devra être effectué en 2005 ou au plus tard en 2006. Cette comparaison est jugée essentielle, pour des raisons de crédibilité et de pertinence du test choisi.

- **Le test utilisant une farine blanche**, il semble nécessaire de poser la question de l'impact technologique de la fraction de cendres supplémentaire d'une farine bise.
- **Un rejet possible par les acteurs bio** : Le test BIPEA, loin des préconisations bio, risque d'être rejeté par ces derniers si aucune bonne corrélation entre ce test et un test bio n'est démontrée. D'où l'importance de réaliser rapidement cette comparaison BIPEA/test « bio ».

Pour conclure :

- Utilisation du test BIPEA
- Non rejet en 2005 en tout cas, des variétés « hors normes », mais étude fine de leur grille de notation
- Etude de l'adaptation de la grille de notation (décalage vers le bas des notes) pour mieux répondre à la problématique bio.
- Recherche d'un financement complémentaire pour mettre en parallèle le test BIPEA et un test moins brutal type panification française

➤ **Le choix des échantillons 2004 :**

Les analyses technologiques et les tests de panification vont être effectués sur 50 échantillons de 2004 et 50 échantillons de 2005. A l'heure actuelle, il reste encore 343 échantillons de 2004. Quels sont les critères de choix ?

- 1/ Choix de 5 lieux très différenciés avec une base commune de 5 variétés (Renan, Apache, Atrium, ...).
- 2/ Choix de ces mêmes variétés et de quelques autres sur quelques lieux différents.
- 3/ Avoir des échantillons de blés à valeurs protéiques bien différenciées.
- 4/ Avoir des informations précises sur les itinéraires techniques.
- 5/ Etudier quelques variétés anciennes (contacter Stéphane Jézéquel 04-92-72-39-29), de préférence sur 2 lieux au moins.

Gestion des échantillons :

L'ensemble des échantillons sera envoyé chez Terrena lors de la semaine 20. Terrena se chargera de son côté de renvoyer une partie des échantillons chez Arvalis (Profilblé®) et à Christian Rémésy (analyses nutritionnelles).

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 4 : EVALUATION DES FACTEURS AGRONOMIQUES INFLUENÇANT LA
QUALITE DES BLES BIOLOGIQUES**

Auteure : Laurence Fontaine

Nom de l'organisme bénéficiaire : ITAB, Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Nom du responsable : Laurence Fontaine

Nom du Laboratoire : Commission Grandes Cultures

Adresse : 9 rue André Brouard – BP 70510 - 49105 ANGERS Cedex 02

RESUME SIGNALETIQUE

Sur la base des données issues des tâches précédentes (caractérisation agronomique et technologique d'une centaine d'échantillons de variétés de blés biologiques, y compris par le test de panification), une étude statistique des interactions entre les différents facteurs et leur influence sur la valeur boulangère, afin de déterminer les facteurs les plus décisifs, a été réalisée.

Il en ressort que l'utilisation d'un seuil unique de teneur en protéines pour toutes les variétés de blé confondues lors de transactions commerciales est inadaptée. La teneur en protéines doit être considérée simplement comme un premier indicateur ; la forte variabilité variétale constatée par ailleurs sur les relations Teneur en protéines/Force boulangère et Teneur en protéines/Valeur boulangère pousse à considérer plutôt le couple variété-teneur en protéines.

Concernant la question de remplacer le test de panification (mesure de la valeur boulangère) par des analyses plus simples, il ressort qu'aucune variable, ou combinaison de variables, n'est satisfaisante pour prédire avec acuité –et à moindre coût– la valeur boulangère d'un lot de blé. Néanmoins, l'étude conclut que la force boulangère (W, mesuré à l'alvéographe Chopin) et la teneur en protéines sont des facteurs prédictifs de la valeur boulangère (évaluée par le NF V03-716), pas tant pour leur corrélation –moyenne– avec cette dernière que par le fait que la filière est habituée à utiliser ces critères en conventionnel (notion de référence).

La réalisation de tests de panification en laboratoire reste donc incontournable, mais une bonne organisation et diffusion de la connaissance des variétés (par la création d'un référentiel « bio ») peut aider à limiter leur réalisation, car ils n'en restent pas moins coûteux.

Concrètement, les propositions issues du travail mené sont :

1. La poursuite de l'acquisition de données sur le comportement technologique des variétés cultivées en agriculture biologique pour créer un « référentiel blés bio » ; un point fort du programme est qu'il a permis de concrétiser la centralisation au niveau national des données agronomiques et technologiques issues d'essais variétaux sur les blés cultivés en agriculture biologique (qu'ils soient anciens ou nouveaux sur le marché).
2. La valorisation de ces données et leur diffusion large auprès des meuniers, opérateurs économiques et producteurs. Ceci pourrait se faire sous forme de grilles de détermination du potentiel boulanger d'une variété donnée et la publication d'un recueil de fiches variétales relatives à la qualité boulangère des blés cultivés en agriculture biologique.

Ces propositions n'ont pas pu être explorées dans le cadre même du programme de recherche, mais elles le sont actuellement. La publication de premières fiches variétales est visée pour l'automne 2007.

En complément, les études menées ont permis de souligner que l'effet du laboratoire ne doit pas être sous-estimé, bien que le test de panification utilisé soit normalisé. Elles confirment par ailleurs que l'influence des facteurs agronomiques est prépondérante ; c'est pourquoi il est très important de connaître à la fois les potentialités agronomiques et technologiques des variétés (interactions génotype/environnement) pour pouvoir recommander les conditions optimales de leur utilisation.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

L'objectif de cette quatrième tâche de l'axe 1 était de rassembler les résultats des trois autres tâches pour les interpréter, en vue :

- d'évaluer les facteurs qui influencent le plus la qualité boulangère des blés biologiques
- d'identifier les indicateurs les plus pertinents pour prévoir la qualité boulangère d'un blé biologique.

Plus largement, le souci lors du montage du projet était que les résultats acquis ici participent à la construction d'un outil pour les producteurs et les organismes collecteurs : l'objectif au-delà du projet est de pouvoir prédire de façon simple et peu coûteuse la qualité de la récolte d'un producteur ou celle d'un lot de blé, afin d'éviter leur déclassement en fourrager au regard de la seule teneur en protéines.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

La démarche retenue a consisté à réaliser une étude statistique des interactions entre les différents facteurs et leur influence sur la valeur boulangère, afin de déterminer les facteurs les plus décisifs. Les données utilisées étaient celles issues des tâches précédentes (caractérisation agronomique et technologique d'une centaine d'échantillons, y compris par le test de panification).

Parmi les facteurs étudiés, l'objectif était de déterminer la valeur prédictive de certains d'entre eux, ou, très certainement, de plusieurs d'entre eux croisés.

Un groupe de travail rassemblant l'ensemble des partenaires de l'axe (toutes tâches confondues) et des experts a été mis en œuvre pour participer à l'interprétation des résultats, et encadrer le travail des stagiaires employés les deux années du programme.

b) Matériels et méthodes

Deux étapes ont jalonné cette tâche, lié à la réalisation des analyses en laboratoire.

Une première interprétation a été réalisée en 2005 sur la base des résultats sur échantillons de la récolte 2004. Elle fait l'objet d'un mémoire de fin d'étude de l'ISA de Lille (François Rathier, stagiaire d'Arvalis – Institut du végétal) : « *Evaluer la qualité des blés biologiques : un enjeu pour toute une filière* ».

Puis un second travail, plus orienté vers le traitement statistique des données a été effectué en 2006 sur les résultats des deux années de récolte. Agathe Dupas, étudiante en première année de master « Statistiques appliquées aux sciences agronomiques et agroalimentaires » de l'Agrocampus de Rennes a effectué durant l'été 2006 un stage de trois mois à l'ITAB. Elle a pu compléter le travail de François Rathier en étudiant les résultats des deux années d'analyses. Notamment, une Analyse en Composantes Principales (ACP) et une régression multiple ont été effectuées sur les données technologiques et nutritionnelles. Une analyse des Correspondances Multiples (ACM) et une ACP ont été réalisées sur les données agronomiques.

En parallèle, sur des financements ONIGC, Thomas Rouchaud, étudiant en seconde année à l'ENITA de Bordeaux, a effectué à l'ITAB un stage de trois mois dont l'objectif était de créer un fichier de saisie expérimentateur et une base de données rassemblant les notations, observations, mesures et analyses effectuées dans le cadre des essais annuels de variétés de blé biologiques (réseau animé par l'ITAB). Le principe est de rassembler les données disponibles, au-delà des simples rendements et teneurs en protéines, afin de les mutualiser et

les valoriser. Les analyses réalisées dans le cadre du programme pain bio y ont bien sûr été intégrées.

c) Résultats

NB : les résultats complets sont présentés dans les rapports cités en chapitre 4. La présentation faite ici est synthétique et reprend les conclusions issues des deux années de travaux.

Les travaux menés en première année de programme, plus orientés sur l'analyse des facteurs agronomiques, ont amenées les conclusions suivantes :

- **l'effet du laboratoire ne doit pas être sous-estimé**, bien que le test utilisé soit normalisé ; ainsi LIVRAC, où sont réalisés les tests de panification NF V03-716 a apparemment tendance à noter plus sévèrement que d'autres laboratoires (jusqu'à 50 points d'écart sur un total de 300)
- **l'effet variétal est très important** sur les relations Teneurs en protéines/Valeur boulangère et Teneurs en protéines/Force boulangère ; il est donc difficile de définir des seuils minimaux pour l'utilisation en panification, valables pour toutes les variétés.
- Enfin, l'influence des facteurs agronomiques est prépondérante ; c'est pourquoi il est très important de **connaître à la fois les potentialités agronomiques et technologiques des variétés** (interactions génotype/environnement) pour pouvoir recommander les conditions optimales de leur utilisation.

En seconde année de programme, en complément aux travaux effectués par François Rathier, les problématiques abordées par Agathe Dupas étaient les suivantes :

- Au sein de la filière céréales-meunerie, la référence pour l'évaluation de la qualité boulangère est la réalisation du test de panification de type pain courant français (NF V03-716) ; cette méthode étant coûteuse, peut-on éviter d'y avoir recours systématiquement et utiliser plutôt des analyses simples à mettre en œuvre ? Autrement dit, est-il possible de prédire la qualité boulangère d'un lot de blé biologique en se passant du test de panification ?
- Actuellement les lots de blé à la récolte sont essentiellement achetés et payés en fonction de leur teneur en protéines ; certains seraient certainement panifiables mais sont déclassés en fourragers à cause de leur faible teneur en protéines. En lien avec la question précédente, peut-on fournir à la filière des outils pour mieux apprécier le potentiel boulanger des lots de blé biologique ?
- Comment acquérir et diffuser des connaissances sur le potentiel boulanger des variétés intéressantes d'un point de vue agronomique pour l'agriculture biologique ?
- Quelle est l'influence des facteurs agronomiques sur le potentiel boulanger d'une variété cultivée en agriculture biologique ?

Les principales conclusions des traitements statistiques sont les suivantes :

1 - ACP sur les données technologiques et nutritionnelles/valeur prédictive de la valeur boulangère

- La note de pâte est primordiale dans l'élaboration de la note totale du test de panification (valeur boulangère) : bonne corrélation (0,79).
- La corrélation est moyenne avec :
 - o la teneur en protéines (grains : 0,49, farine : 0,55), pourtant le critère d'achat essentiel pour le blé panifiable,
 - o la force boulangère W (0,58).
- Rapport gliadines/gluténines (qualité des protéines établie avec la méthode profilblé): aucun lien probant n'a été mis en avant malgré les attentes portées en début de programme.

- Il est difficile de se passer de la référence de la note de panification dans le contexte français ; reste à voir comment limiter sa réalisation, coûteuse (ce qui amène à la notion de référentiel).

2 - ACP avec les données agronomiques

- Influence du type de sol sur le potentiel de rendement et la teneur en protéines (Limoneux profond > Argilo-calcaire superficiels)
- Influence du système d'exploitation sur le potentiel de rendement (Polyculture-élevage > Grandes cultures)
- Le précédent luzerne/prairie a le plus fort impact sur les analyses technologiques (teneurs en protéines, gluten humide, W, G)

Il pourrait sembler que nous confirmons là des évidences. Ce travail a néanmoins deux gros avantages : il permet de quantifier ces évidences, et il montre au combien les interactions avec l'environnement (type de sol, précédents, itinéraire technique, etc.) sont importantes pour l'élaboration de la qualité boulangère d'un blé, en lien avec le potentiel génétique d'une variété donnée.

d) Discussion

Concernant la question de remplacer le test de panification par des analyses plus simples, il ressort qu'aucune variable, ou combinaison de variables, n'est satisfaisante pour prédire avec acuité –et à moindre coût- la valeur boulangère d'un lot de blé.

Néanmoins, l'étude conclut que la force boulangère (W, mesuré à l'alvéographe Chopin) et la teneur en protéines sont des facteurs prédictifs de la valeur boulangère (évaluée par le NF V03-716), pas tant pour leur corrélation –moyenne- avec cette dernière que par le fait que la filière est habituée à utiliser ces critères en conventionnel.

La réalisation de tests de panification en laboratoire reste donc incontournable, mais une bonne organisation et diffusion de la connaissance des variétés (par la création d'un référentiel « bio ») peut aider à limiter leur réalisation, car ils n'en restent pas moins coûteux.

La teneur en protéines, quant à elle, est à considérer comme un simple indicateur de qualité, facile à mesurer ; mais elle ne saurait être considérée seule pour estimer le potentiel boulanger d'un blé ou d'un lot de blé.

En parallèle, l'étude a permis de confirmer la prépondérance sur la qualité boulangère d'un blé :

- du facteur milieu : effet du précédent (prairie versus céréales), du système d'exploitation (avec ou sans atelier animaux), du type de sol (limoneux profond versus argilo-calcaire superficiel),
- et du facteur génétique : à teneur en protéines égales, certaines variétés donneront de bons résultats en panification, d'autres non.

C'est pourquoi le paiement de la qualité pour l'achat d'un lot de blé sur un seuil de teneur en protéines unique est peu pertinent ; les préconisations sont de moduler les facteurs prédictifs que sont la teneur en protéines et la force boulangère en fonction de la variété considérée.

Au regard des résultats acquis, les propositions suivantes sont donc formulées :

1°/ Poursuivre l'acquisition de données sur le comportement technologique des variétés cultivées en agriculture biologique et créer ainsi un « référentiel blés bio »

Les récoltes 2004 et 2005, dans le cadre du programme « Pain bio » ont permis de fournir une première base de données sur cette thématique. Il faut continuer d'alimenter annuellement cette base, en effectuant des analyses supplémentaires

- pour des variétés peu connues ou inconnues,
- de façon à explorer des gammes de teneurs en protéines couramment rencontrées en agriculture biologique (de l'ordre de 8-9% à 12-13%) ;

- un minimum de 4 à 5 variétés étudiées par an, avec 4 ou 5 teneurs en protéines différentes semble réaliste.

Par analyses nous entendons au minimum la teneur en protéines sur blé, la force boulangère et la valeur boulangère.

2°/ Construire, par variété, des grilles de détermination du potentiel boulanger.

Il s'agit de fournir aux opérateurs de terrain (agriculteurs, organismes stockeurs, meuniers, etc.) les moyens de pouvoir estimer la qualité boulangère d'un lot d'une variété de blé donnée, le recours systématique au test de panification étant impossible.

Concrètement, au lieu du seuil unique de teneur en protéines valable aujourd'hui pour tout lot, quelles que soient les variétés considérées, il s'agit de fournir une grille par variété, avec deux niveaux de seuil de teneur en protéines :

- un premier au-delà duquel la variété est jugée panifiable, essentiellement par des méthodes douces (panification manuelle), type pain de tradition,
- un second au-delà duquel la variété est jugée panifiable, y compris par des méthodes plus industrielles, type pain courant français.

Faute de temps cette piste n'a pas été explorée dans le cadre de l'étude ; basée sur la réalisation du référentiel cité ci-dessus, elle fera appel à l'expertise d'agronomes, de meuniers et boulangers. L'intégration ou non de seuils de force boulangère est également à étudier.

e) Conclusions de l'ensemble de l'axe 1 du programme « pain bio »

Les apports de l'axe 1 de ce programme (complété par des actions appuyées financièrement par l'ONIGC) pour la filière des blés panifiables biologiques sont réels et multiples :

- en premier lieu, il a permis de concrétiser **la centralisation au niveau national des données agronomiques et technologiques** issues d'essais variétaux sur les blés cultivés en agriculture biologique (qu'ils soient anciens ou nouveaux sur le marché) ;
- il propose sur cette base la **création d'un « référentiel blés bio »**, dont l'objectif est de donner des clés supplémentaires pour faire en sorte que la teneur en protéines ne soit qu'un premier indicateur de qualité ; en complément des potentialités technologiques, les potentialités agronomiques doivent être elles aussi bien connues et diffusées ;
- il a abouti à la proposition d'une méthodologie **d'amélioration de la connaissance du comportement technologique des variétés** cultivées en agriculture biologique ; depuis la fin du programme, la décision a été prise de réaliser annuellement des analyses technologiques allant jusqu'au test de panification, base pour la rédaction progressive de « fiches variétales » synthétisant les connaissances sur le potentiel boulanger d'une variété ;
- il permet aux sélectionneurs d'affiner leurs **critères de sélection** en matière de qualité boulangère (apports de la tâche A1T2) ;
- il donne matière à réflexion pour l'élaboration d'un **test de panification spécifique à l'agriculture biologique** (axe 3) ; c'est une piste à étudier à la suite de ce programme si des crédits peuvent être mobilisés en ce sens.

3) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

Les rapports de stage de François Rathier (2005) et Agathe Dupas (2006) et les propositions qui découlent de leurs travaux répondent aux objectifs définis dans la tâche 4 (interprétation des données des tâches 1,2 et 3).

A noter que le travail de Thomas Rouchaud (réalisation d'un fichier de saisie à destination des expérimentateurs du réseau de criblage variétal bio, préalable à la création d'une base de données pour centraliser les résultats), financé par l'ONIGC en parallèle du programme « pain bio », vient compléter les propositions faites en conclusion de la tâche 4.

Les conclusions de cette tâche servent par ailleurs à alimenter la tâche 4 de l'axe 3 : « rassembler tous les acteurs de la filière pour valider les méthodes d'appréciation de la qualité des blés biologiques ».

4) VALORISATION

Rathier F., 2005, **Evaluer la qualité des blés biologiques : un enjeu pour toute une filière**, mémoire de fin d'études à Arvalis pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'Institut supérieur d'Agriculture de Lille conférant le grade de Master, 128 p.

Dupas Agathe, 2006, **Etude statistique des différents facteurs influençant la qualité boulangère d'un blé panifiable en agriculture biologique**, rapport de stage à l'ITAB de Master 1 Statistiques Appliquées aux Sciences Agronomiques et Agroalimentaires de l'Agrocampus de Rennes, 51 p.

ANNEXE

Extrait du rapport d'Agathe Dupas (2006)

Relations entre teneur en protéines et force boulangère, et entre teneur en protéines et valeur boulangère de variétés de blé cultivées en agriculture biologique (extrait du rapport d'Agathe Dupas, 2006).

- Quelle est la relation entre teneur en protéines et note totale du test de panification ?

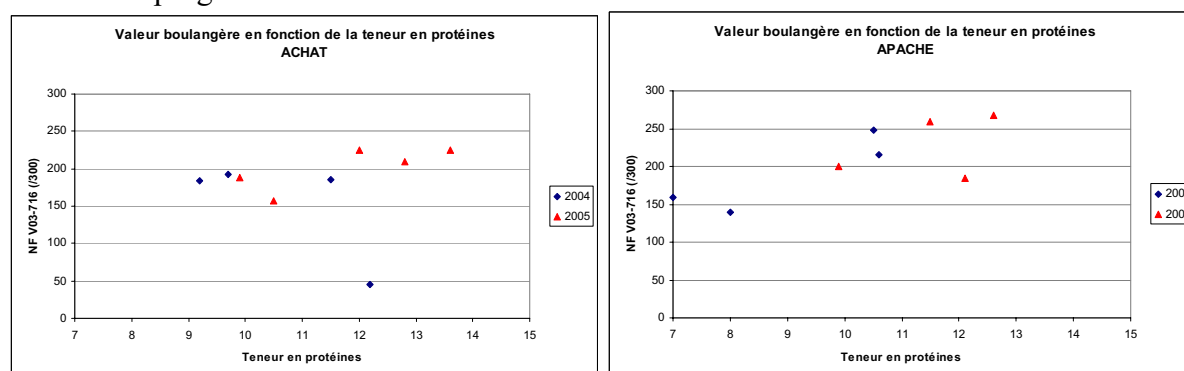
Nous retrouvons comme en conventionnel un lien entre teneur en protéines et note de panification par variété (courbe globalement « en cloche » avec une pente positive, plus ou moins marquée) :

- à partir d'un certain niveau de protéines, les notes de panification sont correctes
- puis, globalement, plus la teneur en protéines augmente, meilleure est la note au test de panification
- au-delà d'un certain seuil les notes décrochent

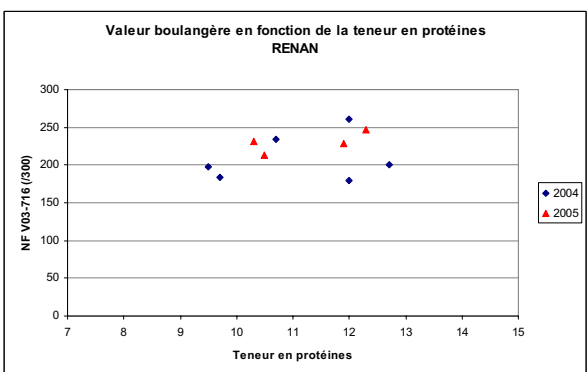
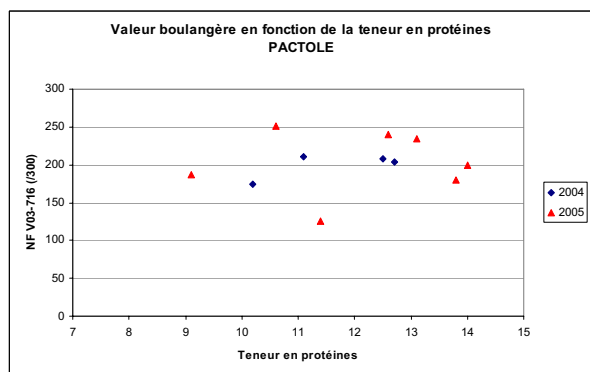
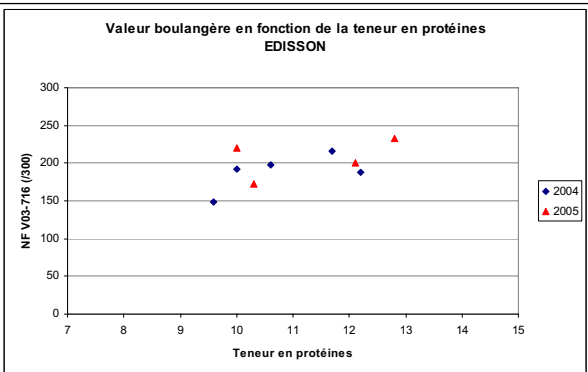
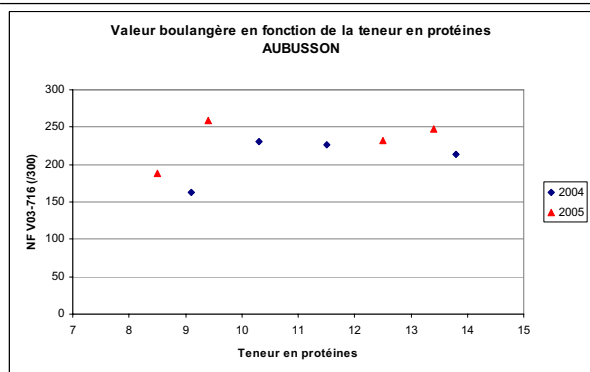
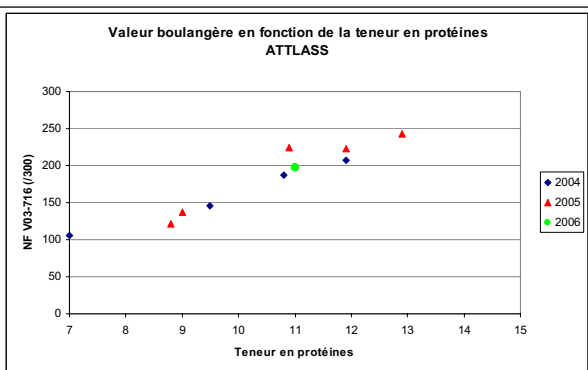
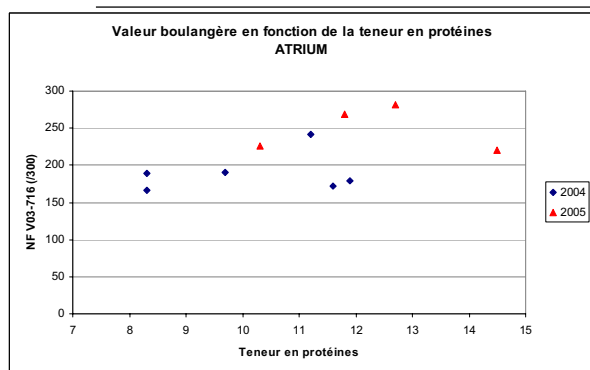
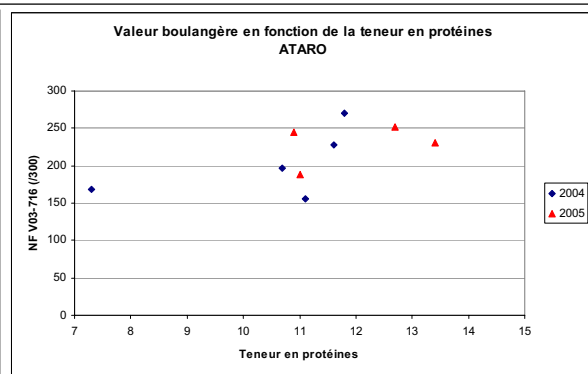
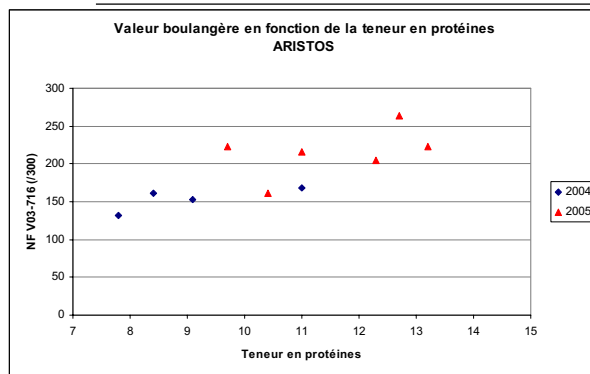
Il est difficile d'établir un seuil par variété au-delà duquel nous pouvons prédire une bonne note. Il est clair par contre que selon les variétés les teneurs en protéines requises pour faire du pain courant sont plus ou moins élevées.

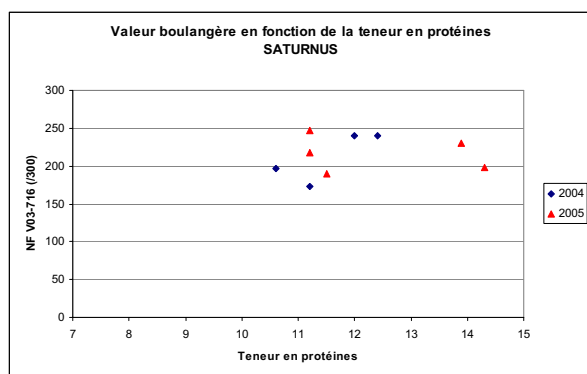
C'est pourquoi nous suggérons que soient déterminés des seuils de teneur en protéines par variété, et non un seuil unique. L'Association Nationale de Meunerie Française (ANMF) notamment est invitée à étudier cette proposition dans le cadre des recommandations variétales qu'elle formule annuellement.

Les graphes qui suivent nous présentent les résultats obtenus sur les échantillons étudiés dans le cadre du programme.



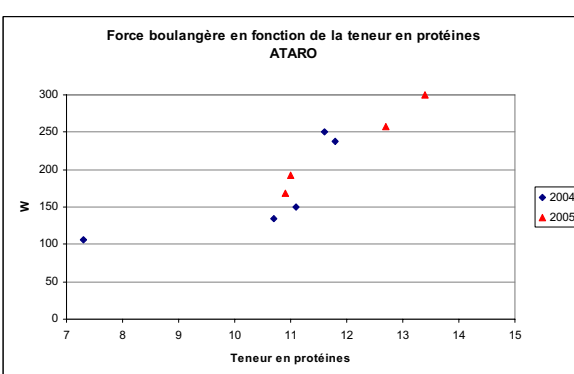
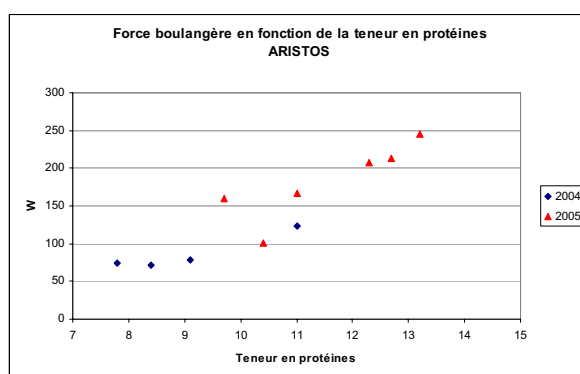
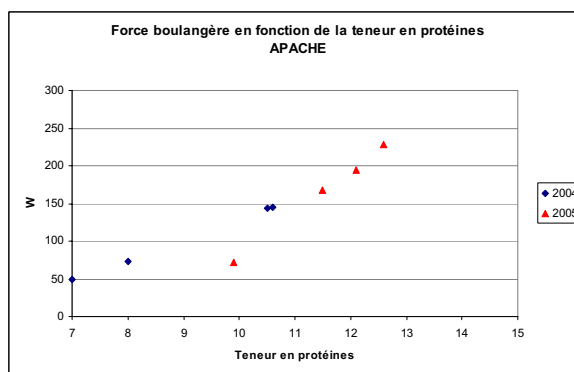
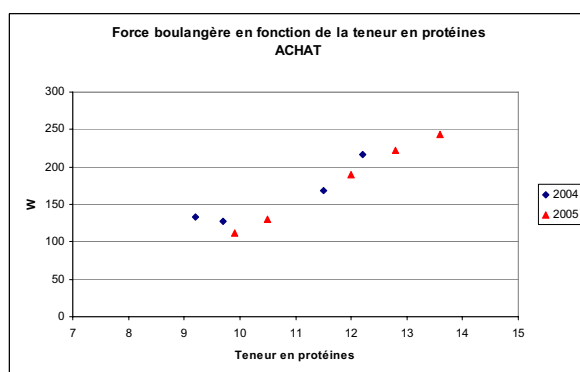
NB : le point aberrant chez ACHAT serait intéressant à étudier plus en détail ; cela n'a pas pu être fait dans le cadre de l'étude.

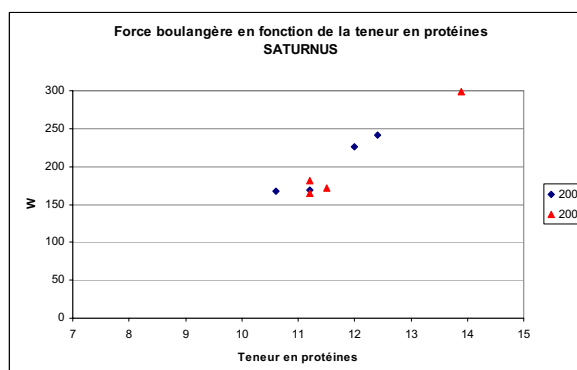
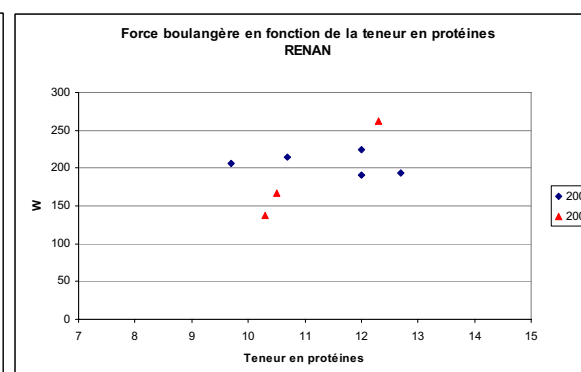
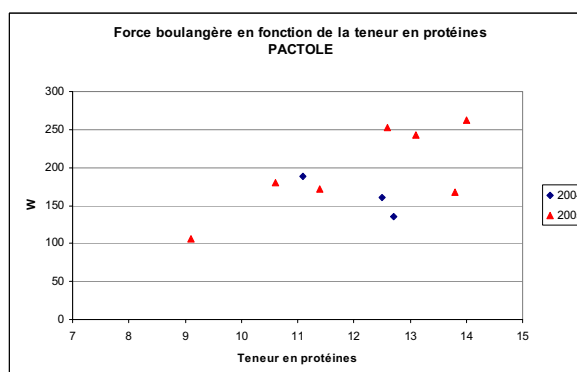
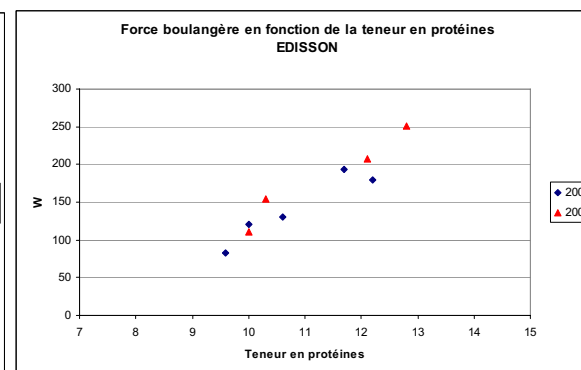
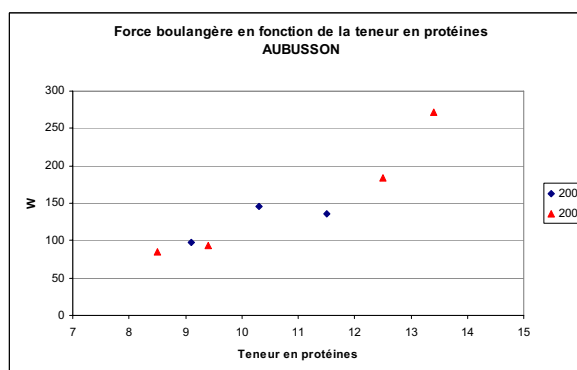
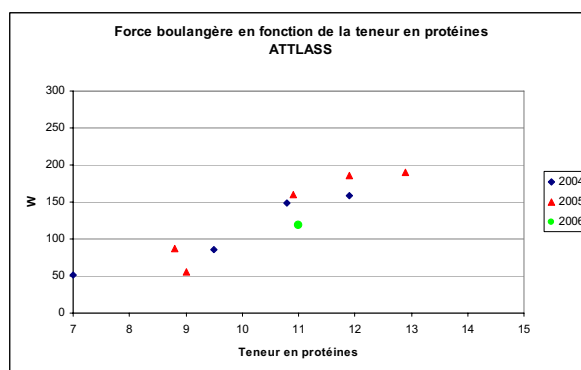
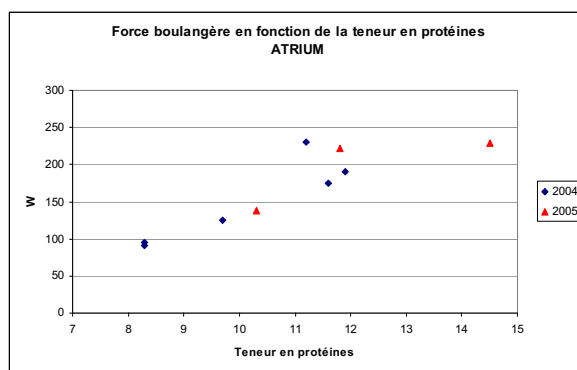




- Quelle est la relation entre teneur en protéines et W ?

Nous mettons en évidence une relation quasi linéaire entre W et teneur en protéines. Il est intéressant de noter que cette tendance constatée en agriculture biologique est conforme à celles observées en conventionnel. Les différences variétales sont intéressantes à constater : pente plus ou moins marquée, « droite » plus ou moins à gauche ou à droite du graphe.





AXE 2 : RECHERCHES EN VUE DE L'AMELIORATION DE LA QUALITE

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 1 : INFLUENCE DE LA DISPONIBILITE EN AZOTE ET SOUFRE SUR LE
DETERMINISME DE LA COMPOSITION PROTEIQUE FINE DU GRAIN DE BLE EN
CULTURE BIO. RELATION AVEC LA QUALITE BOULANGERE ET L'ELABORATION
DE LA RECOLTE**

Auteure : Marie-Hélène MOREL

Nom de l'organisme bénéficiaire : INRA - UMR IATE 1208

Nom du responsable scientifique : Stéphane Guilbert

Nom du Laboratoire : UMR 1208 Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes

Adresse : 2, place Viala, 34060 Montpellier CEDEX 01

Rapport Final

RESUME SIGNALÉTIQUE

L'objectif de la tâche était d'étudier l'effet de la disponibilité de l'azote et du soufre apportés, sur l'élaboration de la qualité du blé tendre en culture biologique. L'étude a été menée en plein champ (à la station ARVALIS d'Ouzouer-le-Marché), avec trois variétés (Caphorn, Renan, Cézanne) au cours de deux campagnes (2005, 2006). Nous avons étudié l'influence des apports combinés ou non d'intrants azotés (plumes hydrolysées) et de soufre minéral (soufre élémentaire micronisé) sur i) l'état physiologique des plantes après floraison, ii) la dynamique de croissance des grains, et iii) la qualité agronomique et boulangère de la récolte. Une attention particulière a été apportée à la dynamique d'accumulation de l'azote et au statut du soufre, dans le grain en cours de formation.

Du fait de la très faible pluviométrie durant les deux campagnes d'essais, la sécheresse a entraîné une mauvaise minéralisation des intrants azotés organiques provoquant une carence azotée notable. A la floraison, ces conditions environnementales défavorables se sont traduites par exemple par **des teneurs en nitrate très faibles de la feuille étendard (1 $\mu\text{mole/g}$ de matière fraîche) pour des teneurs habituelles variant de 8-20 $\mu\text{moles/g}$ m.h.** Les valeurs de l'indicateur de l'état nutritionnel en soufre du blé (rapport malate/sulfate de la feuille étendard) variaient de 10 à la floraison, à 20 pour des stades ultérieurs quel que soit le niveau des apports d'azote (0 U, 60 U et 120U). On considère qu'une plante est carencée en soufre lorsque le rapport malate/sulfate est supérieure à 1,5, mais ceci alors que les teneurs en malate et nitrate avoisinent 8-20 $\mu\text{moles/g}$. L'apport de soufre micronisé a permis de réduire l'amplitude de la carence en nitrate des feuilles mais cet effet est resté faible. Nous pouvons donc considérer que dans les conditions pédoclimatiques des deux années, **la carence en azote des plantes était avérée et que l'effet positif du soufre, qui pouvait contribuer à une meilleure utilisation de l'azote ajouté par les blés, est resté faible.**

Du fait de la carence azotée, les rendements à la récolte ont été plutôt faibles en 2005 (29,8 $\pm$ 3,7 q/ha, PMG 37,6 $\pm$ 3,7g) avec une teneur en protéine médiocre (9,4% $\pm$ 3,7). En 2006 les rendements étaient davantage dans la norme (40,6 $\pm$ 4,5 q/ha, PMG 38,03 $\pm$ 1,7g) mais la teneur en protéine est restée relativement faible (protéine 10,3 $\pm$ 1%). En 2005, l'apport de 120 U d'azote a permis d'augmenter le rendement de 2 à 5 points suivant les variétés, Renan demeurant la variété la plus pénalisée par la faible disponibilité de l'azote.

Un effet significatif des amendements en soufre et azote a été constaté en 2005 sur la teneur en protéine. Les effets sont additifs mais *in fine* relativement faibles (au plus 0,5% entre les conditions extrêmes 120 U azote avec soufre et 0 U azote sans soufre). En 2006, l'effet a été répété pour Renan, mais pour Cézanne il est resté à la limite de la significativité.

Sur le plan agronomique, l'application de soufre élémentaire à la floraison semble avoir un impact positif sur la teneur en protéine de la récolte. Cet effet du soufre demeure très faible (0,2 à 0,3%) et est assez comparable à celui des apports d'azote (0,4 à 0,6%).

Les tests boulangers effectués en 2005, pour tester la qualité d'utilisation des grains de la variété Caphorn (0 et 60U avec et sans soufre) ont montré que malgré la faible teneur en protéine des farines (7-7,4%), leur comportement boulangier était satisfaisant, de même que la qualité des pains. **Les conditions agronomiques testées n'ont eu aucun effet sur l'aptitude boulangère. De même tous les lots produits présentaient des profils protéiques similaires, aussi bien sur le plan qualitatif (testé par ProfilBlé®) que quantitatif.**

Le rapport N/S des protéines de réserve des grains à maturité variait de 8 à 12 indépendamment des conditions de mise en culture. Les valeurs du rapport N/S obtenues sont plutôt faibles comparées aux valeurs conventionnelles (14-15). **Il est le signe d'une bonne**

disponibilité en soufre, comparée à la disponibilité en azote. Dans nos conditions expérimentales, le déficit en azote disponible était tel que relativement, la disponibilité en soufre était assurée, indépendamment des apports réalisés à la floraison.

Compte tenu du rapport N/S obtenu on peut s'attendre à une synthèse préférentielle des protéines de réserve riches en soufre (sous-unités gluténines de faible poids moléculaire, su-GFPM). **L'impact du faible ratio N/S (<14) sur la qualité boulangère ou sur la teneur en su-GFPM n'a pas pu être estimé en l'absence d'autres lots produits dans des conditions agronomiques plus contrastées (double déficit azote, soufre ou forte disponibilité en azote avec un différentiel en soufre).**

Les conditions agronomiques n'ont eu aucune influence sur la dynamique d'accumulation des protéines au cours de la croissance du grain, que se soit i) en terme d'allocation entre les différents types de protéines de réserves, ii) en terme de profil d'oxydation et d'agglomération des gluténines. L'analyse protéomique des protéines salino-solubles n'a pas permis de dégager d'induction protéique spécifique suite à l'apport de soufre. Cette absence de résultat est cohérente avec la grande homogénéité des grains nonobstant les différentes conditions agronomiques testées. L'absence d'un lot témoin présentant un réel déficit en soufre obère la portée des analyses effectuées. Le travail analytique effectué n'est cependant pas inutile. Il méritera d'être confronté à d'autres données obtenues dans l'avenir avec des plans d'expériences équivalents mais à la condition de contrôler le facteur limitant « eau ».

Conclusions

En conditions de stress azoté et hydrique, l'apport de soufre élémentaire micronisé à la floraison a eu un impact limité sur la teneur en protéines des grains (0,2 à 0,3%). Aucun effet n'a été observé sur i) la composition qualitative des protéines, ii) la qualité boulangère des farines. Malgré une teneur en protéine faible (<8%), la qualité boulangère reste satisfaisante. Le rapport N/S des grains était inférieur à ce qui est généralement observé en agriculture conventionnelle (8-12 vs 14-15). Compte tenu du fort déficit en azote assimilable par les plantes dans le sol, le soufre apporté s'est très certainement retrouvé en quantité suffisante, voire excessive. Le faible ratio N/S pourrait entraîner une synthèse préférentielle de protéines de réserve riches en soufre (gluténines de faible poids moléculaire), favorables à la qualité boulangère et notamment à l'extensibilité de la pâte. L'absence de témoins produits selon des conditions agronomiques plus contrastées ne permet pas de conclure sur ce point.

En agriculture biologique et en conditions d'apport azoté limitant (faible minéralisation des intrants), la disponibilité en soufre a un impact mineur sur le rendement, la teneur en protéine du grain et la qualité boulangère. La question de l'impact favorable des apports de soufre foliaires à la floraison reste cependant posée lorsque la disponibilité en azote est assurée.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

L'objet de cette partie du travail était de mesurer l'impact des différentes étapes de la production et de la transformation des grains en farine et en pain sur la qualité des produits finis. Compte tenu de la durée du projet, il n'était pas raisonnable de chercher à évaluer l'ensemble des facteurs susceptibles d'influer sur les caractéristiques des produits finis. Il a semblé plus raisonnable au groupe projet de ne retenir que quelques actions prioritaires pouvant être étudiées dans une durée compatible avec le projet, de manière à dégager des conclusions claires à l'issue du programme.

Influence de l'azote et du soufre sur la composition protéique des grains (T1)

L'hypothèse sous jacente à cette action est que la composition protéique (en particulier le rapport gliadines/gluténines) est susceptible d'être modifiée en fonction de la disponibilité de l'azote mais aussi du soufre (dans certaines régions françaises les apports de soufre atmosphérique ont diminué de 80 % au cours des 20 dernières années). C'est pourquoi, une étude expérimentale a été engagée pour suivre l'accumulation et la répartition de ces deux constituants dans la plante et le grain et leurs conséquences sur la composition protéique du grain et des farines.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche proposée au dépôt du projet

Le travail a pour objectif de tester l'hypothèse selon laquelle l'alimentation soufrée des blés en culture bio joue un rôle primordial (1) dans la valorisation de l'apport d'azote par le grain ; (2) dans le déterminisme de la composition fine en protéine (ratio gliadine/gluténine, sous-unité gluténines de faible et haut poids moléculaires, ω -gliadine) et de leur assemblage ; (3) sur la qualité boulangère.

Un dispositif agronomique avec 3 niveaux d'azote, 2 niveaux de soufre (avec ou sans apport de soufre foliaire) et 3 cultivars (Renan, Caphorn et Cézanne) est mis en place par ARVALIS qui se chargera également des prélèvements d'épis en cours de croissance, du suivi de l'accumulation de biomasse et de l'évaluation de la récolte (rendement & qualité des grains). Entre début épiaison et floraison, l'état de carence en soufre de 12 des 18 traitements (2N x 2S x 3cvs) sera évalué par le dosage du rapport malate/sulfate de la feuille étendard avant l'apport de S foliaire à la floraison. Une campagne de 5 prélèvements successifs d'épis sera engagée dès que le grain atteindra le palier hydrique (18-26-31-36 et 43 jaf).

Les analyses viseront à dresser le bilan des flux métaboliques en S et N au cours de la croissance du grain ainsi que leurs conséquences sur le remplissage protéique du grain et son potentiel de qualité.

- La re-mobilisation du soufre des parties foliaires (feuille étendard) au bénéfice du grain sera évaluée par l'analyse de la composition du profil anionique de ces deux organes à 2 stades de maturation du grain (18 et 26 jaf).
- Sur les grains à 18 et 31 jaf, on réalisera une analyse fine des protéines salino-solubles de l'endosperme (approche protéomique) afin d'évaluer les bouleversements métaboliques induits par l'apport de soufre tardif.
- Sur les grains en fin de palier hydrique (31,36 et 43 jaf) on réalisera une analyse des différentes classes protéiques par RP-HPLC après extraction séquentielle et réduction

ainsi qu'une analyse de l'état d'agrégation des protéines par SE-HPLC.

- Sur les grains prélevés à 26, 32, 36 et 43 jaf on réalisera le dosage du N et du S, de la matière humide, des teneurs en thiols réduits totaux et extractibles.
- Les grains récoltés à maturité seront réduits en farine. La qualité boulangère, la composition en protéine (ProfilBlé®), seront évalués dans le cadre de l'axe 1.

L'ensemble des données biochimiques et physiologiques obtenues sur les grains récoltés et immatures, sera confronté aux évaluations agronomiques et technologiques afin de préciser le lien entre nutrition soufrée et azotée des plants et déterminisme physico-chimique de la qualité boulangère des blés bios.

En deuxième année, une répétition agroclimatique sera réalisée avec un programme allégé d'analyses, en vue de valider le modèle proposé et d'optimiser les caractéristiques boulangères des blés. Le protocole sera adapté en fonction des résultats de la première année.

b) Matériels et Méthodes

1 Dispositif expérimental mis en place (ARVALIS)

Fin 2004, à St Léonard-en-Beauce (41) et sous le contrôle de la station expérimentale d'Ouzouer-le-Marché (ARVALIS), 96 parcelles (11 rangs sur 10 m) ont été emblavées en agriculture biologique selon un dispositif en 4 blocs. Les variétés Caphorn, Cézanne, Renan ont été cultivées selon 3 modalités d'apports azotés (0, 60, 120 U, hydrolysats de plumes) et avec ou sans apport de soufre élémentaire micronisé à la floraison. Le dispositif a été doublé pour la variété Caphorn de façon à pouvoir réaliser des prélèvements destructifs en cours de croissance des plants. Les cultures précédentes et anté-précédentes étaient de la pomme de terre et du blé tendre et le reliquat azoté du sol quasi nul.

Fin 2005, un second dispositif a été mis en place à Josnes (41), toujours en agriculture biologique, selon un dispositif en 4 blocs, avec les variétés Renan et Cézanne, et avec les mêmes conditions d'apports azotés et soufrés qu'en 2004. Pour cet essai, les cultures précédentes et anté-précédentes étaient du trèfle violet et le reliquat azoté du sol était de 80 U.

En 2005 et 2006, l'azote a été apporté sous forme de plumes hydrolysées au stade dernière feuille, à raison de 0 U, 60 U et 120 U selon les parcelles. La composition en N et S de l'intrant utilisé se répartit comme suit pour 100g : azote ammoniacal 0.45 g, azote nitrique 0 g, azote organique 12 g, azote total 12.45 g, soufre total 0.7 g de SO₃ et soufre soluble 0.5 g de SO₃. Pour les plumes hydrolysées, le rapport N/S est égal à 17.8. L'apport de soufre micronisé a été réalisé à la floraison à raison de 40 U.

Courant juin et juillet 2005 et 2006, des prélèvements d'épis et de feuilles étendards ont été effectués, de la floraison à la maturité des plants et ce conformément au planning prévu (15, 23, 33, 40, 45, 53 jaf).

Le matériel végétal congelé a été mis à la disposition des laboratoires BIA, IATE et U&BMP en octobre 2005 puis octobre 2006. Les récoltes de grains murs ont été distribuées aux différents partenaires à la même époque, selon les besoins de chacun.

2 Méthodes

◆ Analyse de la récolte (ARVALIS, INRA-UMR IATE)

Les grains issus des différents blocs d'un même traitement ont été mélangés et la teneur en protéines des lots a été évaluée par NIRS. Les grains ont été transformés en farine selon le diagramme de mouture en usage pour le test CNERNA. L'analyse de la qualité des protéines des farines a été réalisée selon la méthode ProfilBlé® par ARVALIS Institut du Végétal. Les

tests de panification (NF V03-716 Essai de Panification de type Pain Courant Français) ont été réalisés sur les échantillons Caphorn (récolte 2005) par ARVALIS.

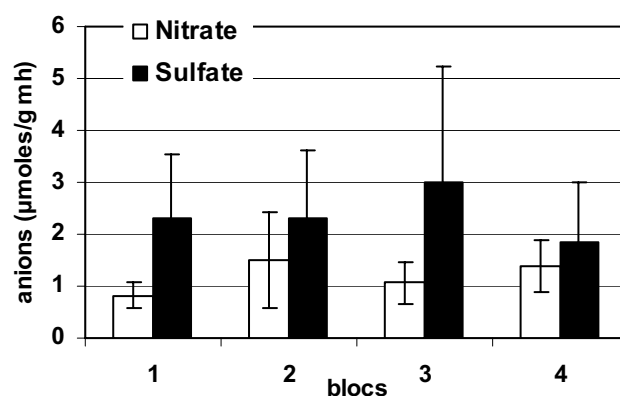
Le rapport N/S des protéines de réserve a été évalué par analyse élémentaire du soufre et de l'azote (méthode de Dumas) avec un analyseur NA2000 (Fisons, ThermoFisher Scientific, Courtaboeuf, France) modifié pour le dosage du soufre selon les directives du fabricant. Compte tenu de la faible sensibilité de l'appareil, la teneur en soufre n'a pas pu être mesurée directement sur les farines. Un gluten a donc été préparé à partir des farines par extraction des protéines totales à l'aide d'une solution de dithioérytritol 20 mM- SDS 2% (p/v) (rapport farine : solvant = 1:5) sous agitation pendant 1h à 60°C. Après centrifugation de l'extrait, une fraction du surnageant a été précipitée avec de l'acétone à froid (-20°C). Le précipité a ensuite été lavé avec de l'acétone 90% (v/v) et séché. Le précipité a ensuite été broyé au broyeur à bille avant la détermination de l'azote et du soufre. Une farine témoin (Elemental microanalysis, Sylab, Metz, France) dont le rapport N/S était donné pour être de 15 a été traitée selon ce protocole. Le rapport N/S de ses protéines de réserve a été trouvé égal à 16 ± 1.6 validant ainsi la pertinence de la méthode.

◆ Analyse du profil anionique des feuilles étendards (INRA-UMR B&BMP)

Pour chacun des traitements, 3 prélèvements ont été effectués, à la floraison puis 23 et 33 jours après floraison. De façon systématique, deux feuilles par bloc ont été prélevées, soient 8 feuilles par traitement agronomique.

Les feuilles prélevées ont été pesées puis rincées dans de l'eau désionisée pour éliminer toutes traces de contaminant puis séchées et congelées. L'analyse a été réalisée sur le matériel congelé et broyé selon les conditions décrites en [1]. Le profil anionique des feuilles visant à quantifier les anions minéraux et organiques a été déterminé par chromatographie ionique haute pression. Les composés solubles contenus dans les feuilles, préalablement pesées à l'état frais (MF) avant congélation, ont été extraits à chaud (70°C) pendant 30 minutes dans de l'eau de type MilliQ, en respectant le rapport 25 mg m.h./mL. Après centrifugation des extraits aqueux, puis filtration (0,22 µm), les anions ont été analysés à l'aide d'un chromatographe (Dionex LC20) équipé d'une colonne échangeuse d'ion (IonPac® AS11) et d'un conductimètre. L'élution des composés a été réalisée en utilisant un gradient linéaire (1 – 22 mM) préparé à partir d'une solution concentrée et décarbonatée d'hydroxyde de sodium (46 – 48 %) de qualité HPIC (Fisher) et d'eau MilliQ maintenue sous atmosphère d'hélium. Les résultats d'une étude de la variabilité intra et inter blocs du contenu anionique des feuilles étendard sont présentés dans la figure 1.

Figure 1 : Variabilité intra- et inter-blocs des anions nitrates et sulfates de la feuille étendard.



Les valeurs présentent la moyenne et l'écart-type des teneurs en nitrates et sulfates de 8 feuilles étendards prélevées à la floraison dans chacun des blocs d'un même traitement (Cézanne, azote 120 U, récolte 2006). La variabilité intra-bloc est de l'ordre de la variabilité inter-blocs.

◆ Analyse biochimique des grains immatures (INRA-UMR IATE)

A divers stades de la croissance des plants (15, 23, 33, 40, 45, 53 jaf) 2 épis ont été prélevés par blocs, soit un total de 8 épis pour chacune des conditions expérimentales. Les lots de matériel végétal ont ensuite été pesés et stockés à -18°C . Leur teneur en eau a été estimée par pesée après lyophilisation et stockage sur P_2O_5 (10j). A partir de chacun des lots, les grains ont été isolés et broyés (broyeur à bille sous azote liquide) puis utilisés par la suite comme de la farine.

La teneur en thiols réduits et la distribution en taille des protéines ont été déterminés comme décrits en [2]. L'analyse des gliadines par RP-HPLC est décrite en [3].

◆ Analyse biochimique et protéomique des protéines des grains immatures (INRA-BIA)

L'étude du protéome des protéines salino-solubles des grains immatures a été conduite sur les grains immatures (15, 23 et 40 jaf) de la variété Cézanne cultivée avec 60U d'azote, avec ou sans apport soufré (récolte 2005). En 2006, les grains immatures de la variété Renan 1 (0 Azote / 0 Soufre) et Renan 2 (0 Azote / Apport de Soufre) prélevés 16 jaf ont été analysés en détail.

Les conditions d'extraction des protéines salino-solubles ont été adaptées. Différents paramètres ont été optimisés : i) la nature du tampon d'extraction, ii) la quantité de protéines déposées sur le gel de 1^{ère} dimension et iii) les conditions d'isoelectrofocalisation. Selon la méthode ainsi développée, les albumens disséqués sur lit de glace puis lyophilisés et broyés sont extraits en tampon KCl 150 mM pH 7.8. Les protéines sont précipitées plusieurs fois à l'acétone et reprises dans le tampon de solubilisation suivant : urée 7M, thiourée 2M, Tris HCl 18 mM, Trizma Base 14 mM, Triton X-100 2%, Spermine 20mM, inhibiteur de protéase 5%, Ampholytes 1%, en présence d'agent réducteur (DTT 14 mM) et sous ultrasons (3%, 30s). Les extraits protéiques ont été dosés à l'aide d'un kit "non interfering protein assay" afin de déposer 200µg de protéines sur le gel de 1^{ère} dimension (13 cm, pH 3-10). La focalisation est conduite jusqu'à 60kV.h. Les gels sont ensuite équilibrés dans un tampon contenant du Tris-HCl 50 mM, pH 8.8, urée 6M, glycérol 87%, SDS 2% et quelques grains de bleu de bromophénol. Dans un premier temps, 1% de DTT est ajouté au tampon d'équilibration pour réduire les ponts disulfures, le DTT est ensuite remplacé par l'iodoacétamide 1% afin de bloquer les groupements -SH des cystéines par une réaction de carbamidométhylation. Le gel de 1^{ère} dimension est ensuite déposé sur un gel à 15% d'acrylamide, d'une épaisseur de 1,5 mm. La migration électrophorétique a été réalisée à 10°C en tampon Tris base 25 mM, glycine 192 mM, SDS 0,1 % sous une tension de 20 mA par gel. La coloration a été effectuée au bleu de Coomassie colloïdal (G250). Les gels ont ensuite été scannés avant de faire l'objet d'une analyse d'image (logiciel 2D Platinum)

c) Résultats

1 *Effet du dispositif agronomique sur l'état physiologique des plants*

Le tableau 1 présente les teneurs en anions minéraux et organiques mesurés dans les feuilles étendards prélevées à la floraison pour la variété Cézanne (récolte 2005). Ce prélèvement précède l'apport de soufre qui n'est donc pas pris en compte.

Tableau 1 : Profil anionique de la feuille étendard à la floraison (Cézanne, récolte 2005)

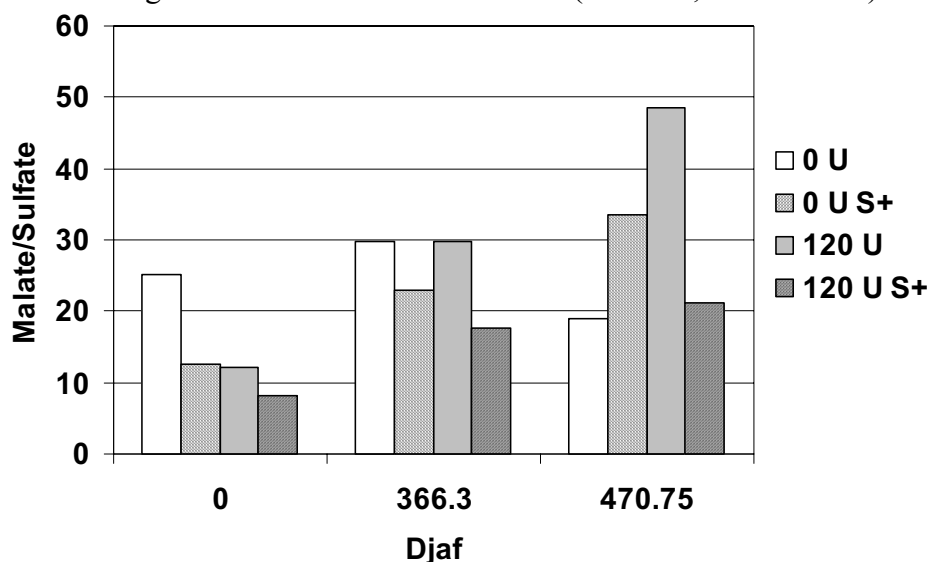
Traitement	Teneur ($\mu\text{moles.g}^{-1}$ m.h.)							
	Cl	NO ₃	SO ₄	PO ₄	Malate	Fumarate	Citrate	Malate/sulfate
0 U	46.07	0.88	5.77	17.77	26.14	0.19	9.35	4.53
60 U	55.59	0.87	3.97	17.70	21.12	0.04	8.45	5.31
120 U	68.70	0.91	3.64	17.60	23.72	0.24	9.28	9.06

La forte teneur en ions chlorure provient vraisemblablement d'une pollution des feuilles par la sueur du cueilleur.

La proportion d'anions organiques (malate et citrate) est nettement supérieure à celle des anions minéraux (nitrate et sulfate) absorbés par la plante. En règle générale la teneur en nitrate avoisine celle du malate et est de l'ordre de 8-20 $\mu\text{moles/g}$ m.h. Une teneur en nitrate aussi faible que 0.88 $\mu\text{moles/g}$ indique un état de carence azotée majeur.

En situation plus normale, on considère que le blé est carencé en soufre lorsque le rapport malate/sulfate excède 1,5. Ici, compte tenu de la faible teneur en nitrates des feuilles, la validité du rapport malate/sulfate comme indicateur d'une carence en soufre est discutable.

Figure 2 : Evolution du rapport malate/sulfate de la feuille étendard au cours de la croissance du grain en fonction des traitements (Cézanne, récolte 2006).



L'évolution du rapport malate/sulfate des feuilles étendards de la variété Cézanne cultivée avec 120 U d'azote, sans ou avec apport de soufre à la floraison (récolte 2006) est présentée sur la figure 2. On observe une situation de carence (malate/sulfate > 1,5) qui va en s'aggravant de la floraison à la fin du palier hydrique (460 DjaF, degrés jour après floraison). Le soufre semble avoir un effet positif en limitant la valeur du rapport malate/sulfate au début du remplissage du grain. Cet effet positif du soufre, notable à 366 DjaF a également été observé dans le cas de la variété Renan cultivé en 2006. A la fin du palier hydrique, la

situation de carence de la plante est très forte et l'effet positif de l'apport de 120 U d'azote, notable à la floraison, a totalement disparu.

Ces résultats indiquent que lors de la phase de remplissage des grains, les plants des récoltes 2005 et 2006 étaient en situation de forte carence azotée, carence qui n'a pas été compensée par les apports d'azote au stade trois nœuds.

2 Effets du dispositif agronomique sur le rendement à la récolte

♦ Analyse du rendement : récolte 2005

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse de variance pour le critère rendement (récolte 2005). Il n'y a pas d'interactions significatives entre les facteurs et tous les facteurs ont un impact significatif, sauf l'apport de soufre.

Tableau 2 : Influence des facteurs agronomiques sur le rendement à la récolte (2005)

Facteurs	Σ des carrés des écarts	dl	Carré Moyen	Test Fisher-Snédecors	3 P
azote	74.88	2	37.44	4.96	0.0100
soufre	7.729	1	7.729	1.02	0.3153
variété	88.32	2	44.16	5.85	0.0047
bloc	180.02	3	60.00	7.94	0.0001
Résidu	459.85	61	7.53		
Total (corrigé)	826.94	71			

Analyse variance somme des carrés - Type III

Le rendement varie selon la variété de 31.1 q/ha en moyenne pour Cézanne à 29,09 q/ha pour Renan et 28,4 q/ha pour Caphorn. Cette dernière variété ayant un rendement significativement inférieur à celui de deux autres (test Newman-Keuls 5%).

Tableau 3 : Test de Newman-Keuls (5%) du rendement moyen en fonction de l'apport d'azote

Azote	n	Rendement (q/ha)	Groupes homogènes
0 U	24	28.89	A
60 U	24	29.31	A
120 U	24	31.23	B

Le tableau 3 montre que les variations de rendement entre les différents traitements azotés sont faibles et du même ordre de grandeur que la variabilité inter-bloc, le rendement variant de 27.94 q/ha à 31.64 q/ha suivant les blocs considérés. Seul l'apport de 120 U d'azote à un impact significatif sur le rendement.

L'absence d'effet de l'azote apporté est à mettre sur le compte du faible régime de précipitations relevé entre début janvier et juin 2005 à St Léonard-en-Beauce (Annexe1). Ces conditions climatiques ont empêché la minéralisation des plumes hydrolysées et expliquent le faible rendement moyen obtenu (29.8 ± 3.4 q/ha).

♦ Analyse du rendement : récolte 2006

Le tableau 4 rend présente l'analyse de variance du rendement de cette campagne d'essai menée avec les variétés Renan et Cézanne.

Le facteur bloc n'est pas significatif, démontrant la réalisation d'un dispositif plus robuste que l'année précédente. L'apport d'azote n'a pas d'effet significatif alors même que le rendement moyen (40.58 ± 4.57 q/h) est bien supérieur celui obtenu l'année précédente. Ce résultat pourrait être dû à une bonne minéralisation du reliquat azoté du sol (80U) du fait d'un printemps 2006 bien plus pluvieux que celui de 2005 (Annexe 1).

Tableau 4 : Influence des facteurs agronomiques sur le rendement à la récolte (2006)

Facteurs	Σ des carrés des écarts	dl	Carré Moyen	Test Fisher-Snédecor	4 P
azote	30.88	2	15.44	1.33	0.2764
soufre	51.82	1	51.82	4.46	0.0411
variété	401.14	1	401.14	34.5	0.0000
bloc	36.21	3	12.07	1.04	0.3860
Résidu	466.07	40	11.62		
Total (corrigé)	985.13	47			

Analyse variance somme des carrés - Type III

Un effet significatif du soufre est observé, mais une analyse plus approfondie des résultats révèle également l'existence d'une interaction triple entre les facteurs bloc x soufre x variété. Deux parcelles de Cézanne ayant reçu 60 U et 120 U d'azote ainsi qu'un apport en soufre, se démarquent de l'ensemble avec des rendements de 53.4 q/ha et 53,2 q/ha. Le remplacement de ces 2 valeurs par la valeur du rendement moyen (40,4 q/ha) abaisse la valeur de *P* à 0.248 pour le facteur soufre.

Comme en 2005, la variété Cézanne se démarque significativement de Renan avec un rendement moyen de 42.39 q/ha contre 37.69 q/ha.

♦ Bilan sur les effets des apports soufrés et azotés sur l'élaboration du rendement

Sur les deux campagnes d'essais, 2005 et 2006, ni l'apport de soufre à la floraison, ni celui de plumes hydrolysées au stade trois feuilles ont entraîné de modification significative du rendement.

Pour la récolte 2005, l'absence d'effet de l'intrant azoté, épandu le 3 mai, est à mettre sur le compte de la sécheresse qui a prévalu en juin. En 2006, l'absence d'effet des plumes, alors même que le rendement est meilleur qu'en 2005 (40.4 q/ha contre 29.8 q/ha) indique une minéralisation plus efficace des reliquats organiques du sol grâce à un printemps pluvieux. Par la suite, la situation de sécheresse, identique à celle de 2005, a freiné la minéralisation des plumes (60 U et 120 U) apportées plus tardivement au stade 3 feuilles, le 18 avril 2006. L'absence de différence de PMG entre les récoltes 2005 (39.66 g, m.s.) et 2006 (40.39 g, ms) parle en faveur d'un tel scénario.

5 Effets du dispositif agronomique sur la teneur en protéine de la récolte

♦ Analyse de la teneur en protéine

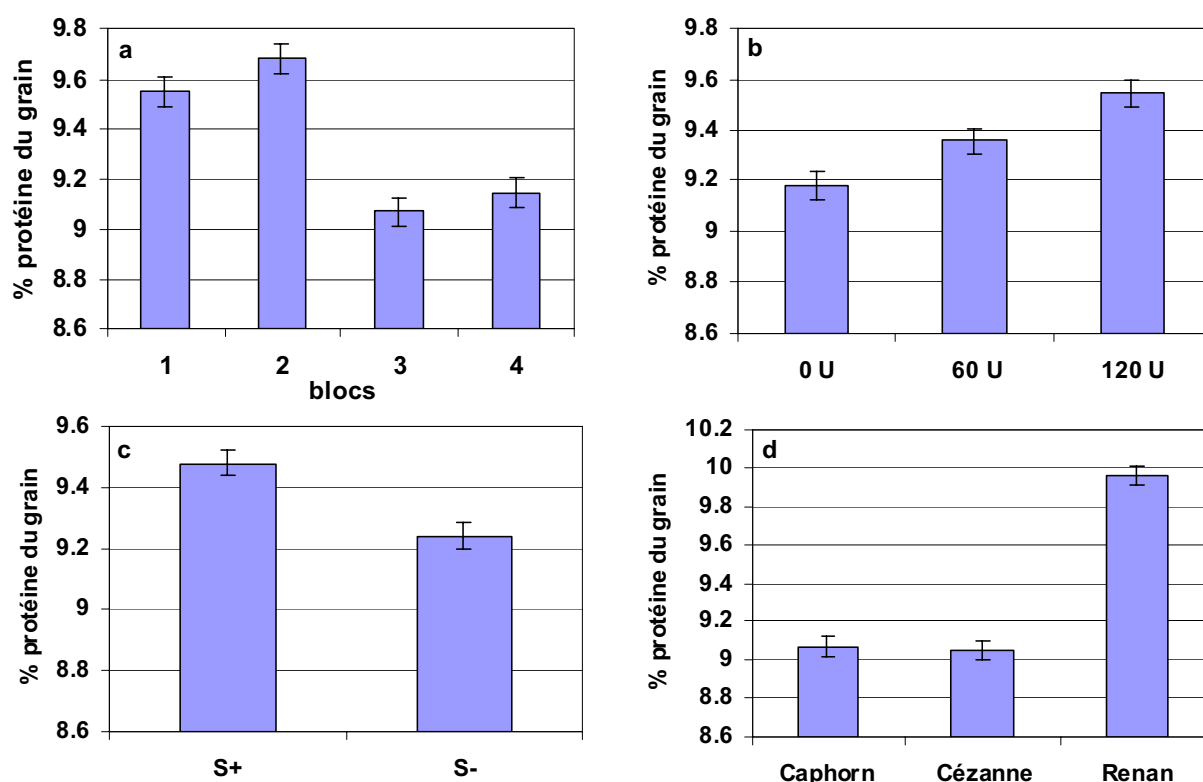
L'analyse de variance présentée dans le tableau 5 montre que tous les facteurs ont eu un effet très significatif alors même, qu'aucun effet d'interaction n'était observé.

Tableau 5 : Influence des facteurs agronomiques sur la teneur en protéine de la récolte (2005)
Analyse variance somme des carrés - Type III

Facteurs	Σ des carrés des écarts	dl	Carré Moyen	Test Fisher-Snédecour	6 P
azote	1.589	2	0.794	13.48	0.0000
soufre	1.028	1	1.028	17.45	0.0001
variété	13.06	2	6.531	110.75	0.0000
bloc	4.835	3	1.611	27.33	0.0000
Résidu	3.71	63	11.62		
Total (corrigé)	24.23	71			

Le facteur bloc est comme dans le cas précédent du rendement, très significatif. Les différences entre blocs sont répétables. Les blocs situés sur la partie droite du champ d'essai (blocs 3 et 4) ayant systématiquement donné des grains à plus faible teneur en protéines (figure 3a).

Figures 3a-d : Effets des traitements et de la variété sur la teneur en protéine de la récolte 2006



Les figures 3a-d présentent les variations de teneur en protéine selon les différentes modalités du dispositif. Les effets des apports azotés et soufrés sont faibles : 0.35% pour l'azote et 0.24% pour le soufre. Ces variations sont inférieures aux variations inter-blocs (0.6%) tout en étant très significatives. La variété Renan qui présentait le plus faible rendement a produit les grains qui présentent la plus forte teneur en protéine.

L'analyse de la teneur en protéine de la récolte 2006 ayant été réalisée après mélange des blocs, la robustesse du dispositif n'a pas pu être évaluée. Rappelons néanmoins, que le facteur bloc n'influe pas sur le rendement en 2006. L'analyse de variance sur 12 traitements (2 variétés x 3N x 2S) fait ressortir un effet significatif de la variété, Renan ayant accumulé 2 points de protéines de plus que Cézanne (11.13% vs 9.35% m.s. grain).

De nouveau on observe que la plus forte teneur en protéines de Renan par rapport à Cézanne est obtenue au prix d'un plus faible rendement. L'apport de 120 U d'azote permet une augmentation de la teneur en protéine de 0.6% (120 U vs 0 U ; $P < 0.01$), alors que l'apport de soufre n'impacte la teneur en protéine que de 0.2% ($P < 0.05$).

♦ Bilan sur les effets des apports soufrés et azotés sur la teneur en protéine de la récolte

Des résultats similaires ont été obtenus en 2005 et 2006. Les apports de soufre à la floraison et d'azote au stade trois feuilles ont eu un impact limité mais très significatif sur la teneur en protéine de la récolte. La portée limitée de ces effets est à mettre sur le compte de la faible minéralisation des apports azotés. L'apport d'azote tardif a néanmoins permis d'augmenter la teneur en protéine de la récolte de 0.5 points et l'apport de soufre de 0.2 points.

7 Effets du dispositif agronomique sur la qualité des protéines de réserve

♦ Effets du dispositif agronomique sur la composition qualitative des protéines

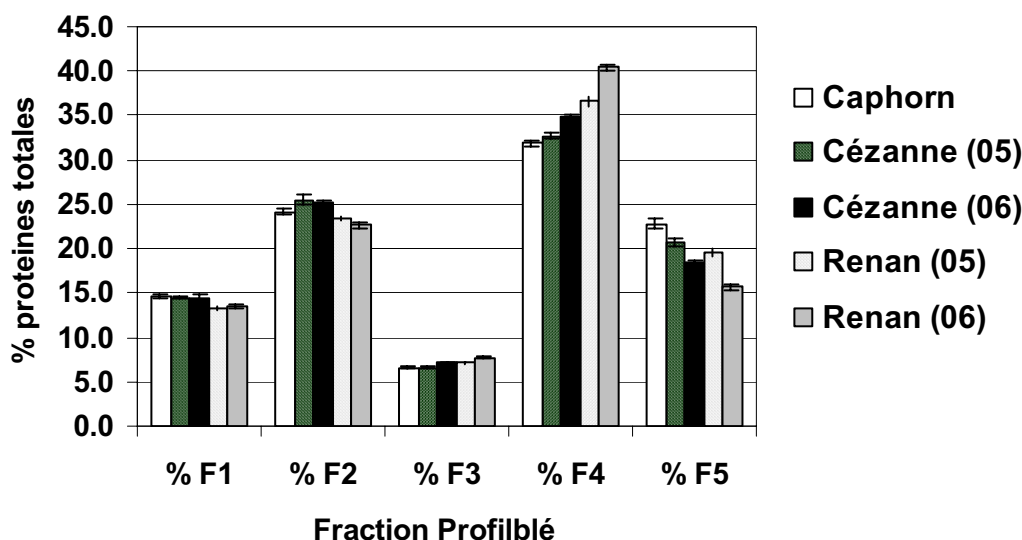
Analyses Profilblé®

L'analyse de la distribution en taille des protéines de réserve des farines issues des récoltes 2005 et 2006 a été réalisée selon la méthode ProfilBlé®. L'analyse statistique des résultats ne fait pas apparaître d'effet significatif du dispositif agronomique, excepté l'origine variétale. La composition des échantillons est donc présentée en terme de moyenne des différents traitements dans la figure 4. Les écart-types sont de l'ordre de la reproductibilité de la méthode d'analyse.

Les proportions des fractions F1, F2 et F3 sont stables entre les récoltes 2005 et 2006. Par contre les proportions en F4 et F5 varient entre 2005 et 2006 pour une variété donnée. Ce dernier résultat est à mettre sur le compte des variations de teneurs en protéines observées entre 2005 et 2006. Ainsi, pour la variété Renan la teneur moyenne en protéine des grains passe de 9.9 ± 0.2 en 2005 à 11.13 ± 0.3 en 2006. Classiquement l'augmentation de la teneur en protéine a pour effet d'augmenter la proportion de gliadines des farines et corollairement d'abaisser celle des albumines/globulines [5].

Figure 4 : Distribution en taille des protéines.

Les fractions F1 à F5 correspondent aux polymères de gluténines d'encombrement moléculaire important (F1) à moyen (F2), aux ω -gliadines (F3) aux γ - et α -gliadines (F4) et aux albumines/globulines (F5). Les valeurs représentent la moyenne et l'écart-type des différents traitements pour une variété donnée.



Analyse par RP-HPLC des compositions en gliadines et en sous-unité gluténines

Cette analyse qui avait pour but de confirmer l'absence d'impact du dispositif agronomique sur la composition en protéines de réserves a été conduite avec la variété Cézanne. Aucun effet des conditions de mise en culture (3 N x 2 S) sur la composition en gliadines ou en sous-unités gluténines n'apparaît après analyse de variance.

Tableau 6 : Proportion en ω - γ - et α -gliadines et en su-GHPM et su-GFPM des gliadines et des gluténines de la variété Cézanne (récolte 2005)

	ω -gliadine	γ -gliadine	α -gliadine
Gliadine	8.8 % (± 0.49)	56.9 % (± 2)	34.2 % (± 2)
	su-GHPM	su-GFPM	
Gluténines	11.6 % (± 0.62)	88.3 % (± 0.62)	

En conséquence, les valeurs sont présentées dans le tableau 6 en terme de moyenne des différents traitements. L'écart-type obtenu est de l'ordre de la reproductibilité de la méthode.

♦ Effets du dispositif agronomique sur le rapport N/S des protéines de réserve

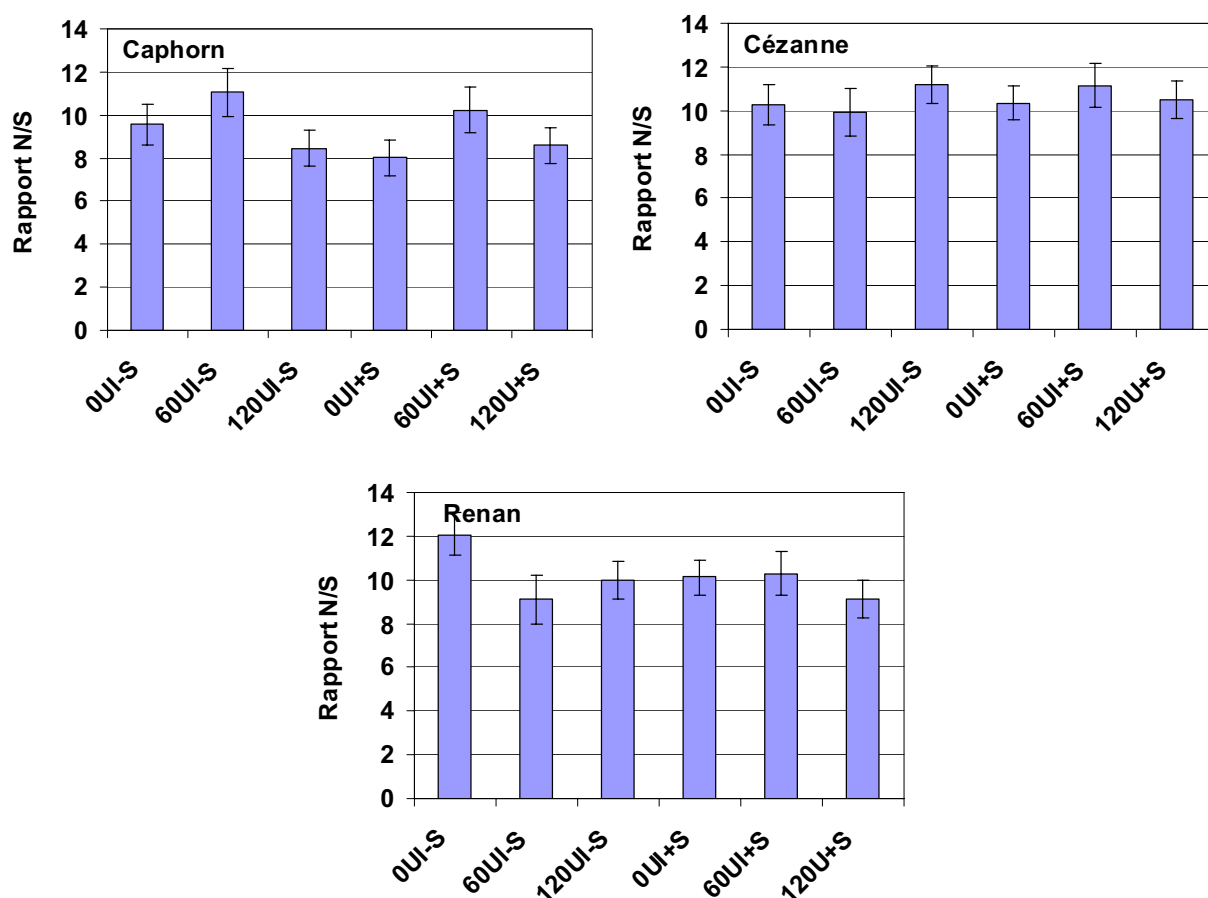
Le rapport N/S des protéines de réserve a été analysé pour la récolte 2005. Les figures 5a-c présentent les résultats obtenus pour les trois variétés et les différents traitements agronomiques.

Le rapport N/S apparaît relativement faible, autour de 9 pour Caphorn et 10 pour Cézanne et Renan. On ne note pas d'effet significatif du dispositif agronomique. Notamment, l'apport de

soufre à la floraison n'a pas eu d'influence sur la nature des protéines synthétisées par le grain.

Un blé est considéré comme carencé en soufre lorsque le rapport N/S dépasse 17. A partir de cette valeur et au-delà, un déséquilibre dans la composition en protéines de réserves est observé avec une accumulation de protéines dépourvues de soufre, comme les ω -gliadines, ou en contenant peu, comme les sous-unités gluténines de hauts poids moléculaires (su-GHPM). La synthèse préférentielle de ces protéines a un impact négatif sur la qualité du pain du fait de la trop forte élasticité conférée à la pâte par les su-GHPM. A l'inverse, en deçà d'un rapport N/S de 14, plusieurs auteurs ont rapporté une augmentation de la proportion de sous-unités gluténines de faibles poids moléculaires et une meilleure balance des propriétés d'élasticité et d'extensibilité des blés [4,5].

Figures 5a-c : Evolution du rapport N/S des protéines de réserve selon les traitements



♦ Effets du dispositif agronomique sur la qualité boulangère

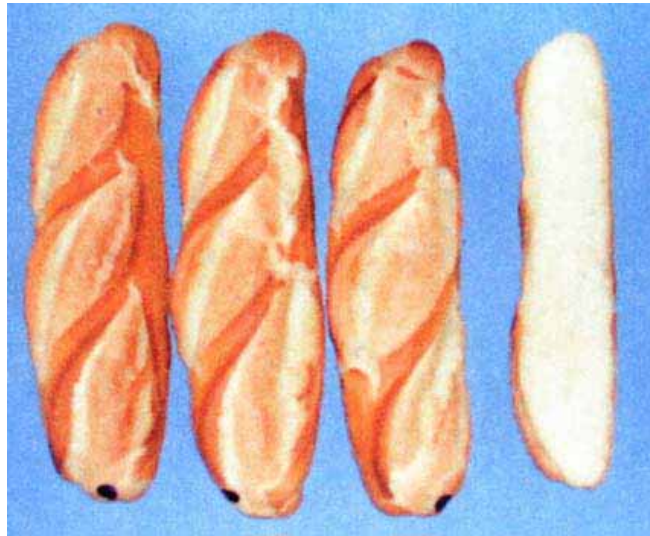
Le test boulanger a été appliqué aux échantillons provenant de la mise en culture de Caphorn avec 60 U d'azote, avec et sans apport de soufre (récolte 2005). Le tableau 7 présente les notations relatives à la qualité de la pâte et du pain, et la figure 6 une photo de la fournée obtenue.

Tableau 7 : Résultat des tests de panification sur les échantillons Caphorn (récolte 2005).

Variétés	Azote	Soufre	note totale/300	note pâte/100	note pain/100	note mie/100	vol/30
Caphorn	0	-	219	84	41	94	7.8
Caphorn	60	-	219	84	41	64	7.5
Caphorn	0	+	219	84	41	94	7.2
Caphorn	60	+	219	84	41	94	7.5

Rapport Final

Figure 6 : Aspect du pain (Caphorn, récolte 2005)



♦ Bilan sur les effets des apports soufrés et azotés sur la qualité des protéines

La composition qualitative des protéines des farines issues de la récolte 2005 a fait l'objet d'une étude exhaustive. Les résultats obtenus démontrent l'absence d'impact du dispositif agronomique utilisé. Seule la variabilité génétique influe sur la proportion des différentes classes de protéines de réserve, les apports d'azote ou de soufre restant sans effets. De ce fait, un impact limité sur la qualité boulangère pouvait être attendu et a été observé. C'est la raison pour laquelle nous avons limité le nombre des tests boulangers. La reconduction du dispositif en 2006 n'a pas permis d'obtenir une situation plus favorable si on en juge par les résultats ProfilBlé®.

Les conclusions précédemment tirées de l'analyse du rendement et de la teneur en protéine, sont confirmées par ces analyses plus fines : on est bien en présence d'une absence quasi totale de valorisation des apports d'azote (stade 3 feuilles) et de soufre à la floraison qui a eu pour effet d'annuler l'intérêt du dispositif agronomique mis en place.

Dans nos conditions expérimentales, le rapport N/S des grains de la récolte 2005 est en deçà des valeurs couramment rapportées dans la littérature. Cependant, ce facteur n'a pas joué en défaveur de la qualité boulangère et ce, alors même que la teneur en protéine des farines était faible ($\leq 9\%$). Une étude plus approfondie des interactions entre teneur en protéine et rapport N/S des protéines sur la qualité boulangère des farines mériterait d'être engagée afin de clarifier cet état de fait.

8 Evolution biochimique des protéines au cours de la croissance du grain

♦ Analyse protéomique de l'effet de l'apport soufré sur les protéines salino-solubles

Pour cette étude, nous avons choisi de comparer les échantillons 0UI-S et 0UI+S 16 DAA. Chaque échantillon a été extrait deux fois, et chaque extrait a fait l'objet de deux migrations différentes. On a donc réalisé et analysé 8 gels au total, dans les conditions préalablement définies.

L'ensemble des spots a été détecté par analyse d'image et apparié gel à gel par le logiciel (par rapport à un gel de référence, défini comme celui qui présentait le plus grand nombre de spots). La Figure 7 présente un exemple de gel après détection des spots.

Figure7 : Electrophorèse 2D de Renan (récolte 2006)



L'observation visuelle, ces gels présentent tous les mêmes caractéristiques, ce qui indique qu'il n'y a pas de différence entre les échantillons ayant reçu un apport soufré et ceux n'en ayant pas reçu. Le nombre de spots détectés par gel est présenté dans le tableau 8.

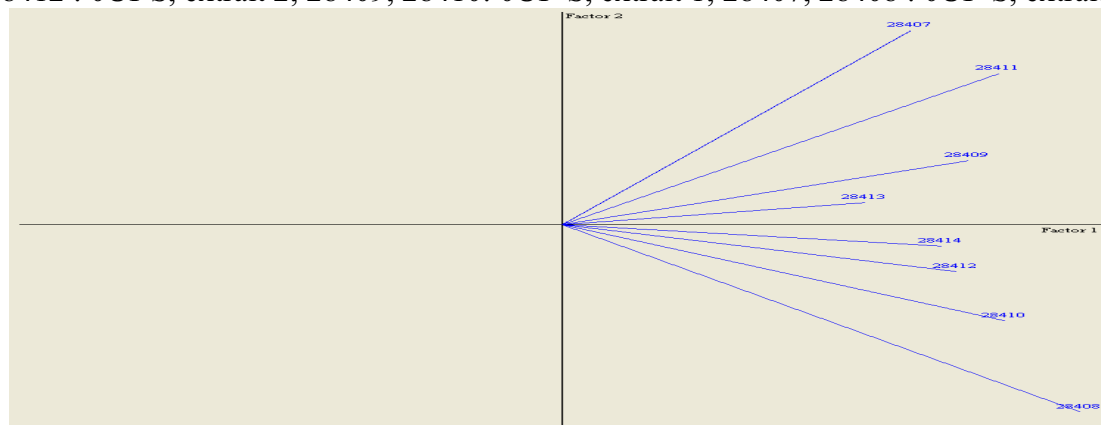
Tableau 8 : Nombre de spots détectés par gel

	Soufre (0/+)	Extrait	Strip	Nombre de spots
0UI-S	0	1	28414	146
0UI-S	0	1	28413	102
0UI-S	0	2	28412	161
0UI-S	0	2	28411	125
0UI+S	+	1	28410	186
0UI+S	+	1	28409	105
0UI+S	+	2	28408	209
0UI+S	+	2	28407	139
Moyenne 0UI-S	0			134 ± 26
Moyenne 0UI+S	+			160 ± 47

Une ACP sur le volume de l'ensemble des 80 spots majeurs communs aux 8 gels est réalisée par le logiciel sur l'ensemble des gels (Figure 8). La première composante de l'ACP explique 75% de la variabilité entre les échantillons, la seconde 8%.

D'après ces analyses, il n'y a pas de différences statistiquement significatives entre les échantillons sur le volume des 80 spots les plus importants.

Figure 8 : Analyse de la variabilité des gels en ACP; 28413, 28414: 0UI-S, extrait 1; 28411, 28412 : 0UI-S, extrait 2; 28409, 28410: 0UI+S, extrait 1; 28407, 28408 : 0UI+S, extrait 2.



Une première analyse inter-classes (avec ou sans apport soufré) a été réalisée et n'a pas permis de mettre en évidence de spots réellement statistiquement différents en termes de volume entre ces deux classes.

Cette absence de différence entre les échantillons est confirmée si l'on s'intéresse en détails à certaines zones des gels (Figures 9 et 10). On remarque sur la Figure 9 le spot très saturé de la PDI. Sur l'ensemble de ces figures, il est évident que les patterns de protéines sont les mêmes d'un échantillon à l'autre.

Figure 9 : zone de la PDI pour les 8 gels : r1 : gels Renan 1 (sans soufre), r2 : gels Renan 2 (avec soufre)

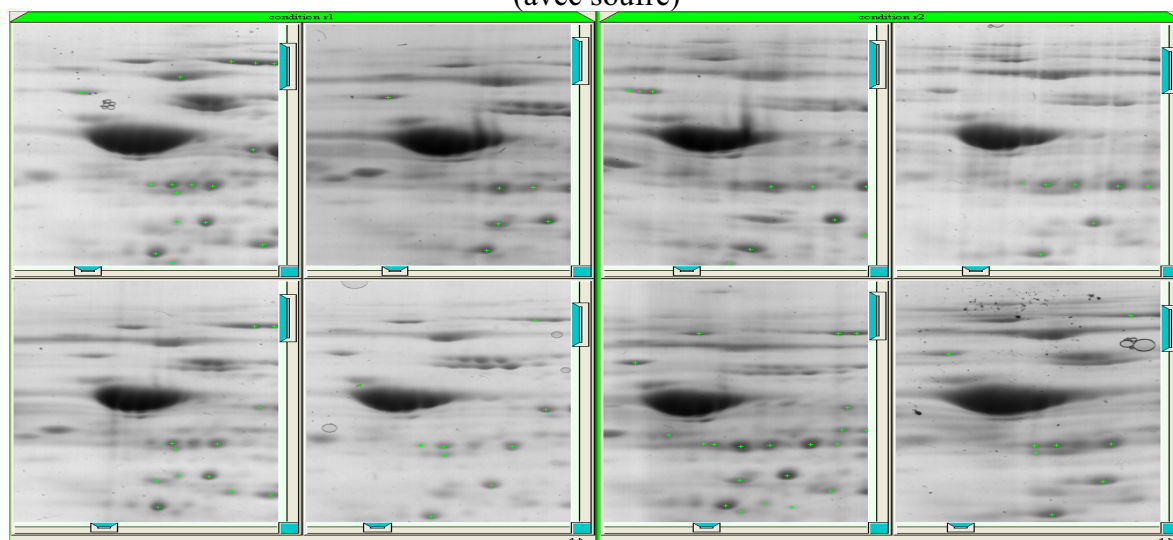
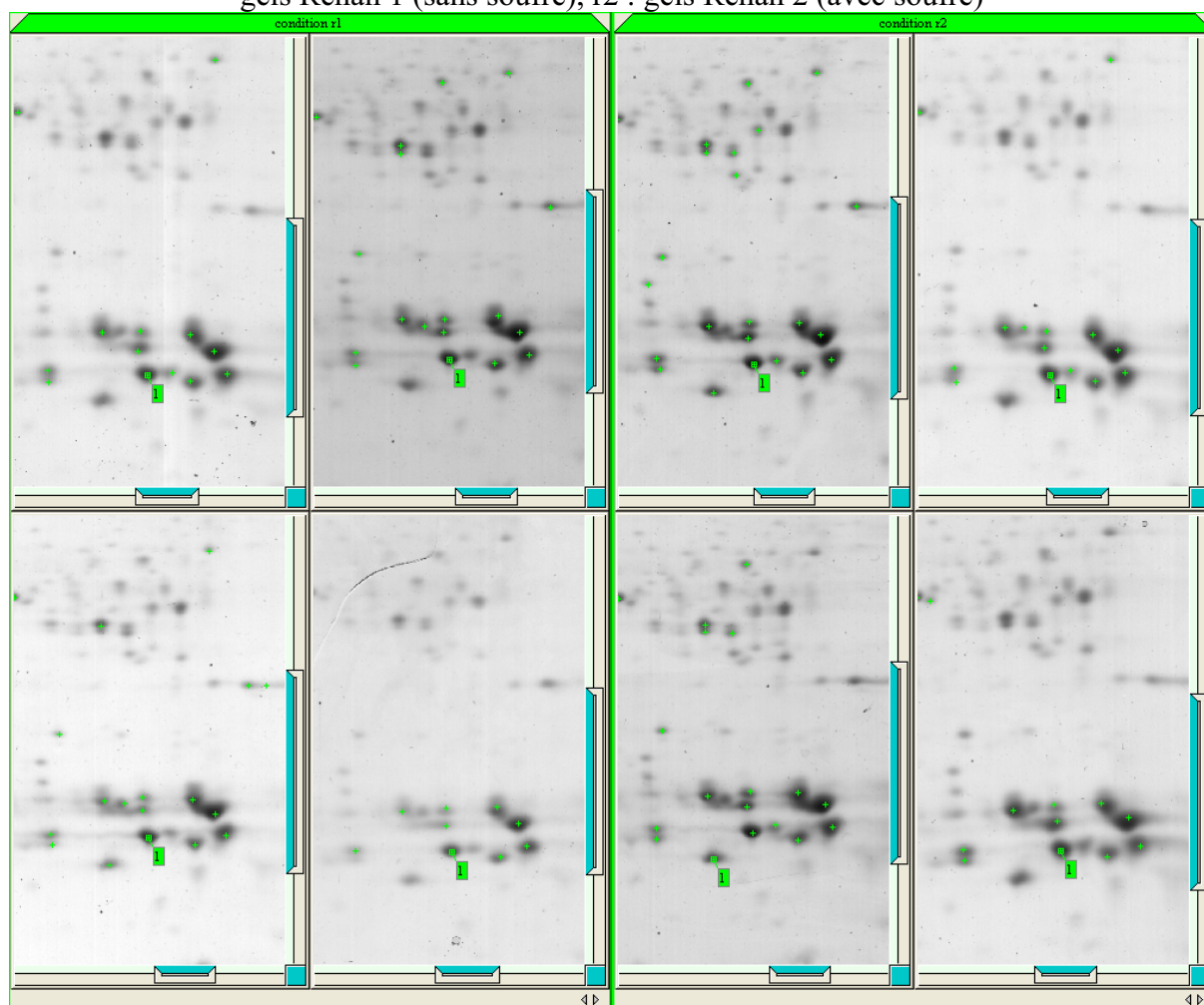


Figure 10 : zone des albumines/globulines (faibles poids moléculaire) pour les 8 gels : r1 : gels Renan 1 (sans soufre), r2 : gels Renan 2 (avec soufre)



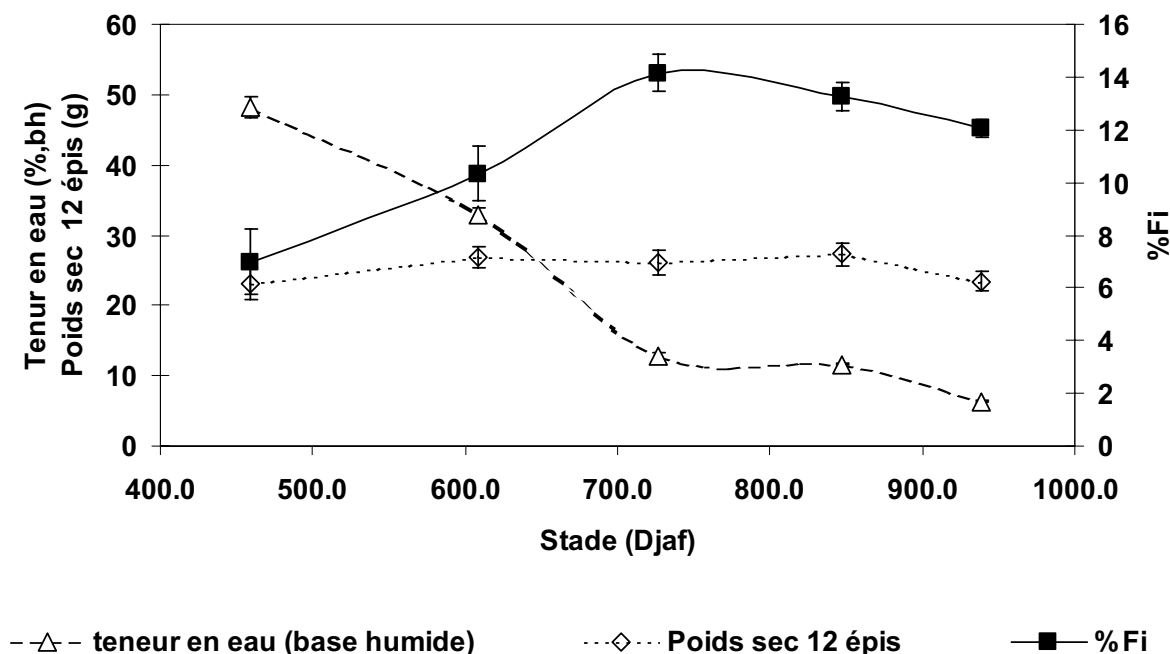
Cette analyse protéomique n'a pas permis de mettre en évidence de différence au niveau des protéines salino-solubles présentes dans les albumens de grains à 16 jaf ayant reçu différents niveaux d'apports soufrés. Des électrophorèses monodimensionnelles ont été réalisées sur les autres stades et n'ont pas non plus mis en évidence de différences au niveau du pattern des protéines.

♦ *Suivi de la dynamique d'agrégation des gluténines*

L'analyse a porté sur les grains des variétés Cézanne (récolte 2005 et 2006) et Renan (récolte 2006) récoltés à différents stades de la croissance du grain. Les dates de prélèvement sont données en degrés jour à la floraison (Djaf) calculés d'après les données météorologiques (Annexe 1). Tous les échantillons Cézanne (récolte 2005 et 2006) et Renan (récolte 2005) ont fait l'objet des analyses. Cependant, devant l'absence d'effet du dispositif agronomique sur la composition qualitative en protéines ou sur l'expression des protéines métaboliques (protéines salino-solubles), les données sont présentées en tant que moyenne et écart-type de tous les traitements (3 doses d'azote, avec et sans soufre).

La figure 11 présente pour la variété Cézanne (récolte 2005), la dynamique d'accumulation de matière sèche dans le grain, ainsi que sa teneur en eau et l'augmentation en gluténines insolubles dans le SDS.

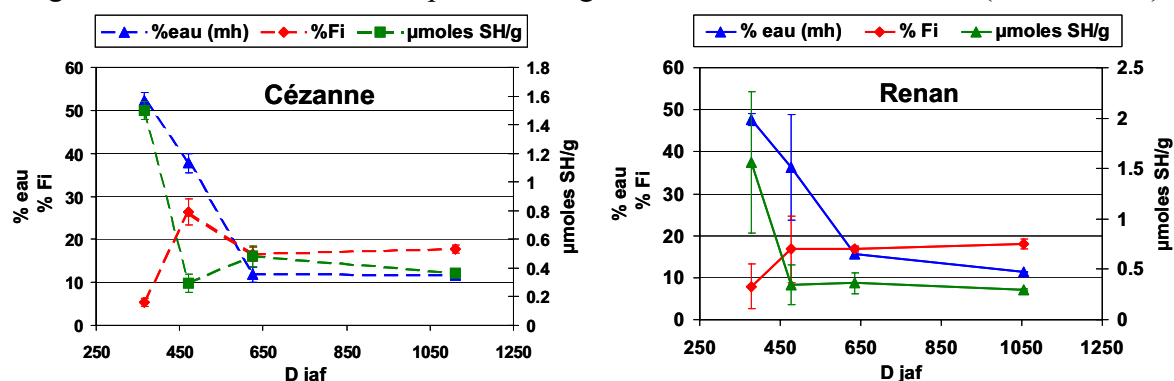
Figure 11 : Evolution du poids du grain et de sa teneur en eau et en gluténines insolubles (%Fi) (Cézanne, récolte 2005).



Le premier prélèvement à 458 Djaf correspond à la fin du palier hydrique et coïncide avec l'arrêt du remplissage du grain. L'agglomération des gluténines se produit au cours de la phase de dessiccation, phénomène qui conduit à leur insolubilisation.

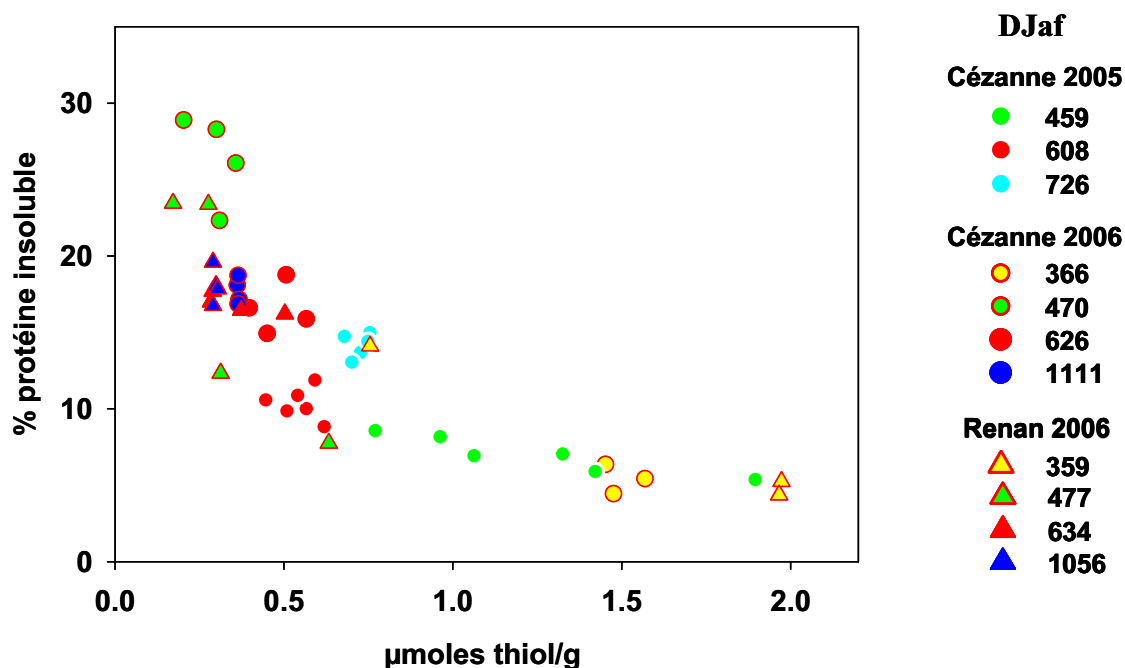
On observe au cours de la même période une forte diminution de la teneur en thiols réduits de l'albumen du grain. La figure 12 présente les résultats obtenus pour Renan et Cézanne (récolte 2006).

Figure 12 : Evolution de la composition du grain au cours de sa croissance (récolte 2006)



L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus avec les variétés Renan et Cézanne montre que l'insolubilisation des gluténines s'accélère lorsque la teneur en thiols réduits de l'albumen chute en deçà de 0.8 μmoles/g m.s. (Figure 13).

Figure 13 : Relation entre la teneur en thiols réduits de l'albumen et l'insolubilisation des gluténines



♦ *Bilan sur l'évolution de la composition du grain en cours de croissance*

L'absence de variabilité de la composition en protéine des grains issus des différents traitements agronomiques est amplement confirmée par les analyses réalisées. La cinétique d'agglomération des gluténines est également similaire et produit des blés présentant des teneurs en Fi identiques (cf. figure 4).

d) Discussion

Le dispositif expérimental mis en place n'a pas permis d'obtenir des grains de composition variable, que l'on se réfère (i) à la teneur globale en protéine, (ii) à la composition qualitative en protéines, (iii) à la composition en protéines métaboliques (fraction protéique salino-soluble), ou (iiii) à la dynamique d'insolubilisation des gluténines. La principale raison de cet échec est l'absence de minéralisation des apports azotés (plumes hydrolysées) réalisés au stade trois nœuds, et ce du fait de la sécheresse des printemps 2005 et 2006.

L'étude suggère malgré tout que les apports de soufre, comme ceux d'azote, pourraient favoriser l'accumulation de protéines dans le grain. L'effet du soufre est demeuré faible (0,2 à 0,3%) mais notable au regard de celui des apports azotés (0,4 à 0,6%).

Malgré une teneur en protéine faible (<8%), la qualité boulangère est restée satisfaisante. Il faut noter que le rapport N/S des grains était inférieur à ce qui est généralement observé en agriculture conventionnelle (8-12 vs 14-15). Compte tenu du fort déficit en azote assimilable par les plantes dans le sol, le soufre apporté s'est très certainement retrouvé en quantité suffisante, voire excessive. Le faible ratio N/S pourrait entraîner une synthèse préférentielle des protéines de réserve riches en soufre (gluténines de faible poids moléculaire), favorables à la qualité boulangère et notamment à l'extensibilité de la pâte. L'absence de témoins produits selon des conditions agronomiques plus contrastées ne permet pas de conclure sur ce point.

En agriculture biologique et en conditions d'apport azoté limitant (faible minéralisation des intrants), la disponibilité en soufre a un impact mineur sur le rendement, la teneur en protéine du grain et la qualité boulangère. La question de l'impact favorable des apports de soufre foliaires à la floraison reste cependant posée lorsque la disponibilité en azote est assurée.

3) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORTS AUX OBJECTIFS

En l'absence d'une réponse adéquate du dispositif agronomique mis en place, il n'a pas été possible de conclure quant à l'influence des apports de soufre sur i) la composition qualitative des protéines du blé et ii) sur l'influence de cette variable sur la qualité boulangère des blés produits en agriculture biologique.

L'absence d'un témoin produit en agriculture conventionnelle limite également la portée des analyses biochimiques fines réalisées au cours de la croissance des grains. Soulignons que pour des raisons évidentes ce témoin n'aurait pas pu être mis en place au côté du dispositif expérimental réalisé sur des terrains consacrés à l'agriculture biologique.

L'absence d'études analogues réalisées en conditions parfaitement contrôlées (chambre de culture) limite la portée des analyses que nous avons effectuées. Ce travail méritera donc d'être ré-analysé à lumière de nouvelles données.

4) VALORISATION

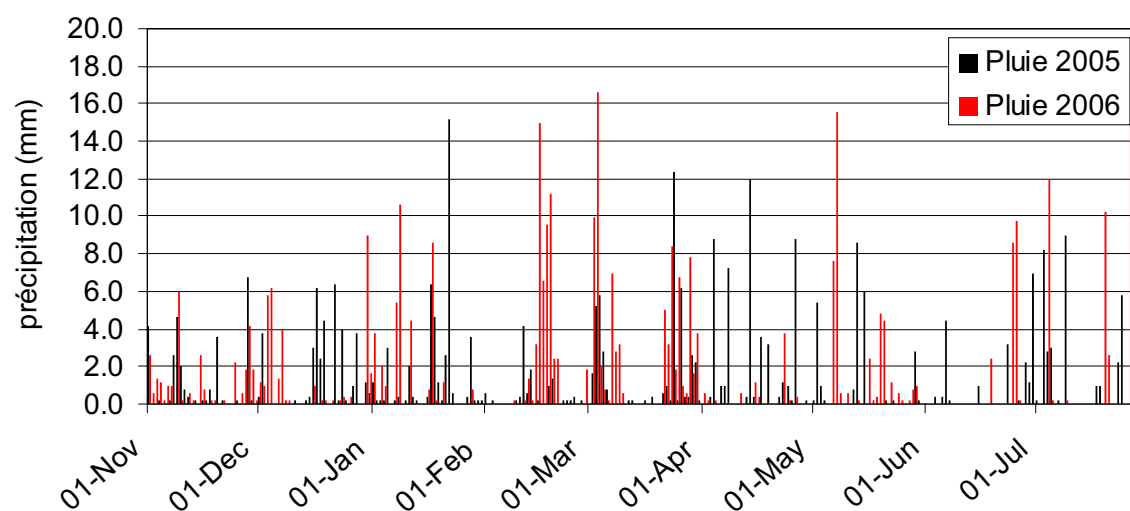
Hormis le présent rapport et les communications réalisées dans le cadre du programme, aucune publication à caractère scientifique n'est envisagée. C'est la raison de la longueur et du niveau de détail du présent rapport.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] El Kassis E., Cathala N., Rouached H., Fourcroy P., Berthomieu P., Terry N., and Davidian J-C. 2007 Characterization of a Selenate-Resistant Arabidopsis Mutant. Root Growth as a Potential Target for Selenate Toxicity. *Plant Physiol.* **43**: 1231-1241
- [2] Morel M-H., Bonicel J., Micard V. and Guilbert S. 2000. Protein insolubilisation and thiol oxidation in sulfite-treated wheat gluten films during aging at various temperatures and relative humidities. *J. Agric. Food Chem.* **48**:186-192.
- [3] Samson MF, Mabilille F., Cheret R., Abecassis J., Morel MH 2005. Mechanical and physicochemical characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm. *Cereal Chem.* **82**: 81-87.
- [4] Wrigley, C. W., du Cros, D. L., Moss, H. J., Randall, P. J., Fullington, J. G., and Kasarda, D. D. 1984. Effect of sulphur deficiency on wheat quality. *Sulphur Agric.* **8**: 2-7.
- [5] Hagel, I. 2005. [Sulfur and baking-quality of breadmaking wheat](#). Paper presented at 1st Sino-German Workshop on Aspects of Sulphur Nutrition of Plants, Shenyang, China, 23 – 27 May 2004; Published in Schnug, Prof. Dr. Dr. Ewald and De Kok, Prof. Dr. Luit, Eds. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 283, pp. 23-36. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig.

ANNEXES

Précipitations (année 2005 - Ouzouer - Le -Marché)



Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



TACHE 2 : EFFET DES PROCEDES DE FRACTIONNEMENT SUR LA QUALITE

Marc CHAURAND

Nom de l'organisme bénéficiaire : Institut National de la Recherche Agronomique

Nom du responsable scientifique : Marc Chaurand

Nom du Laboratoire : UMR IATE

Adresse : 2, place Viala 34060 MONTPELLIER

RESUME

L'objectif de ce travail était de mesurer l'impact du type de mouture, par cylindre et par meule, sur la qualité technologique des farines fabriquées à partir de blés issus de l'agriculture biologique.

Ce travail visait à la mise au point de nouveaux diagrammes de mouture sur cylindre et sur meule, avec comme finalité l'obtention de farines correspondant au meilleur compromis tant sur le comportement meunier, qu'en panification et densité nutritionnelle.

Par ailleurs les diagrammes mis au point devaient pouvoir être transférés facilement à des moulins commerciaux.

Différents diagrammes de mouture ont été étudiés et ont fait ressortir les principales conclusions suivantes :

- Les farines de meule sont caractérisés par des taux d'amidon endommagé plus élevés, en même temps qu'une richesse en fibres et micro-nutriment plus marquée que pour les farines sur cylindre. Néanmoins il a été possible d'obtenir les mêmes caractéristiques nutritionnelles en ajustant le diagramme de mouture sur cylindre et en y introduisant une étape de micronisation de certaines fractions de mouture.
- Le décorticage qui joue un rôle de « décontamination » des farines par élimination des tissus les plus périphériques. Plus spécifiquement sur meule, pour la qualité technologique des farines, le décorticage permet l'élimination de fibres, ce qui est favorable à la qualité organoleptique des pains fabriqués, sans que ne soit trop affecté le potentiel nutritionnel.
- La flexibilité de la mouture sur cylindre pour accéder à des farines ayant des propriétés fonctionnelles et des densités nutritionnelles différentes.

Enfin une transposition sur site industriel des différents diagrammes de mouture retenus a été réalisée sans modification majeure des équipements existants. Elle a permis la fourniture de quantités suffisantes de farines pour la réalisation d'essais de panification des « pains prototypes » issus de l'agriculture biologique.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

L'objectif de ce travail était de mesurer l'impact du type de mouture, par cylindre et par meule, sur la qualité technologique des farines fabriquées à partir de blés issus de l'agriculture biologique.

Ce travail devait conduire à la mise au point de diagrammes de mouture sur cylindre et sur meule, avec comme finalité l'obtention de farines correspondant au meilleur compromis tant sur le comportement meunier, qu'en panification et densité nutritionnelle. Il devait répondre à la fois aux recommandations du PNNS 2 (farine de type 80), comme à la demande des consommateurs de la filière biologique.

Par ailleurs le transfert des résultats obtenus à partir de moulins pilotes sur des moulins commerciaux a été réalisé, en vue de produire des quantités suffisantes de farine pour la fabrication de « pains prototypes » issus de l'agriculture biologique.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

Il s'agissait d'élargir la palette de production de farines en s'intéressant à des farines de composition variable en fibres, en amidon endommagé, comme de granulométrie différente.

Ce travail s'est effectué en trois étapes :

Une première étape permettant de mesurer l'impact du type de mouture, cylindres ou meules, ainsi que l'influence de différents paramètres de mouture (conditionnement, décortilage, micronisation, granulométrie). Ce travail a permis de repérer pour chaque type de mouture, des diagrammes conduisant à une farine « améliorée ». Ces farines étant utilisées pour la panification des « pains prototypes ».

Une deuxième étape a permis de vérifier la faisabilité de tels diagrammes et d'alimenter les boulangers en farine pour définir un protocole de panification des futurs « pains prototypes ».

Une dernière et troisième étape a permis d'effectuer une transposition industrielle des résultats, en reprenant les diagrammes de mouture qualifiés pour produire les farines des « pains prototypes ». Il s'agissait d'une étape de faisabilité sur site industriel, tant au niveau meunier que boulanger, qui a débouché sur une étude consommateur des différents pains fabriqués.

b) Matériels et méthodes

Il a été fait appel à différents équipements pilotes de la plate-forme de fractionnement des céréales de l'UMR IATE, pour réaliser d'une part les moutures (sur cylindre et sur meule), et d'autre pour faire varier les paramètres de cette mouture (décortilage, conditionnement, micronisation, granulométrie).

- **Mouture sur cylindres** : Réalisée sur un moulin *Buhler MLU 202* qui permet de produire une farine totale **Ft** (composée du mélange des 3 farines de broyage et des 3 autres de convertissage) ainsi que deux issues, des gros sons (**GS**) et des fins sons (**FS**).

GS et FS peuvent être brossés sur une brosse à sons *Centrifugeur Buhler MLU 302*, pour donner une farine de brosse (**Fb**) et un refus ou issues de brosse.

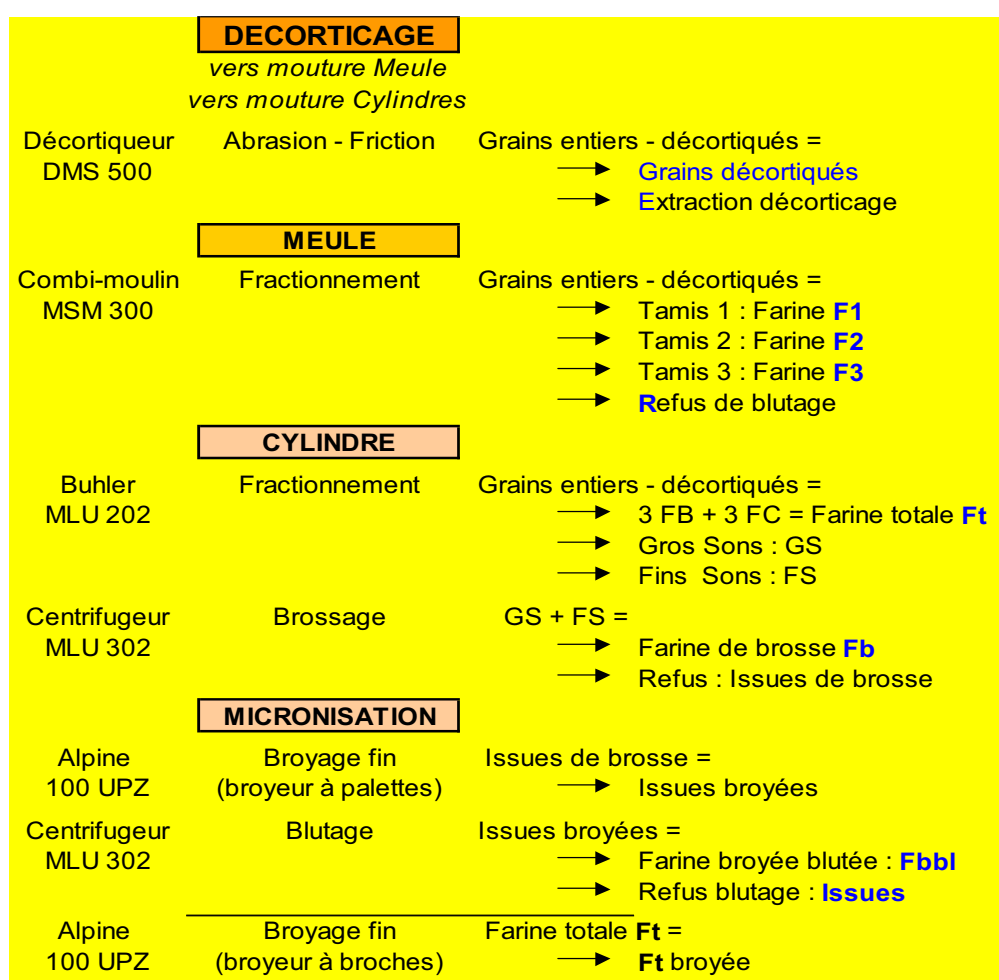
Ces issues de brosse peuvent à leur tour être micronisées sur une station de broyage ultra-fin *Alpine 100 UPZ* (broyeur à palettes) pour donner après blutage sur le *centrifugeur MLU 302*, une farine broyée blutée (**Fbrbl**) et des issues de blutage (**Ibl**). Dans ces conditions la mouture sur cylindres permet de regrouper 4 produits de mouture : la farine du moulin (**Ft**), la

farine de brosse des GS et FS (**Fb**), la farine broyée blutée (**Fbrbl**) et les issues correspondant au refus de blutage (**Ibl**).

Sur la station de broyage *Alpine UPZ 100* (broyeur à broches), il est également possible de microniser la farine totale, avec comme conséquence une réduction de taille des particules mais surtout un endommagement des grains amidons.

- **Mouture sur meules** : Réalisée à partir d'un *Combi-moulin MSM 300* équipé d'une paire de meules (diamètre 30 cm) et d'un tamisage intégré (3 tamis à farine). Quatre produits de mouture sont générés : 3 farines (**F1,F2 et F3**) et le refus de tamisage (**R**).

- **Décortiquage** : Avant passage en mouture, sur cylindres comme sur meules, un décortiquage des grains peut être réalisé. Le décortiquage des grains entiers effectué sur un équipement *Electra DMS 500* , génère après décortiquage deux produits : le grains décortiqué et une extraction correspondant à l'abrasion - friction des grains. Le niveau de décortiquage des grains est lié au temps de séjour dans le décortiqueur des grains.



Sur les méthodes :

Les résultats de rendements des différents produits de mouture ont été donnés sur les produits récupérés en %m.s.

Détermination de la teneur en eau : NF ISO 712 Céréales et produits céréaliers.

Détermination du taux de cendres : NF 03 - 720

Granulométrie sur granulomètre à diffraction laser *Coulter LS 230* (voie humide).

La teneur en phytates est donnée en mg/g de m.s. (V.Greffeuille et al). Cette teneur est utilisée en tant que marqueur de la couche à aleurone et au niveau du comportement meunier elle donne une première appréciation du potentiel nutritionnel

c) Résultats et discussions

1 Influence du type et des paramètres de moutures sur la qualité technologique des farines

Ces essais ont été conduits sur deux lots de blé fourni par Terrena, un lot « hard » Renan et un « soft » Apache, sur les deux types de mouture cylindre et meule.

Caractéristiques BLE :	RENAN	APACHE
PS	81.5	81.7
PMG	54.0	37.3
Dureté PSI	11 (Very Hard)	16 (Medium Hard)
Cendres	1,78 % m.s.	1.68 % m.s.

En termes de diagramme de mouture, de multiples combinaisons ont été testées en jouant sur différents paramètres de mouture capables d'influencer le comportement meunier (rendement, granulométrie...), les propriétés technologiques (granulométrie, amidon endommagé...), la densité nutritionnelle (teneur en cendres, en fibres, en « phytates ») : pour l'essentiel les adaptations ont porté sur des facteurs comme la formulation des farines, le conditionnement des grains (sec ou avec apport d'eau), l'absence ou l'application d'un décortiquage des grains, la micronisation de produits de mouture réincorporés dans les farines, la granulométrie des farines (ajout de semoule de convertissage dans farine totale), et dans le cas particulier de la meule sur la pression de meule exercée sur les grains.

Après divers essais préliminaires, un premier tri prenant en compte la faisabilité pour un éventuel transfert industriel, a permis de retenir 14 diagrammes : 8 sur cylindres et 6 sur meules. A l'exception de la farine témoin (T65) la formulation des farines s'est effectuée de manière à comparer Meule et cylindre sur des farines ayant des teneurs en cendres équivalentes. Dans nos essais ces teneurs sont supérieures à 0.80% pour s'aligner sur les farines de meule. Ces diagrammes sont :

- Notés de **1 à 8** suivi de **C** pour les moutures sur cylindres.
- 1C = Mouture classique avec conditionnement pour donner une farine T 65 prise comme farine Témoin.
- 2C = Idem 1C mais formulation d'une farine riche en cendres.
- 3C = Idem 2C mais sans conditionnement.
- 4, 5 et 6C = Idem 3C mais à partir de grains ayant été décortiqués avant mouture : 3 niveaux de décortiquage faible D1, moyen D2 et fort D3.

- 7C = Idem 3C avec une micronisation de la farine (Ft) : augmentation de l'amidon endommagé.
- 8C = Mélange de T65 (Ft+Fb) avec alimentation du convertissage (semoule bise) dans des proportions proche de 30 % de farine pour 70 % de semoule bise.
- Notés de 1 à 6 suivis de M pour les moutures sur meules.
- 1M = Mouture classique « à sec » réalisée sur meule.
- 2M = Idem 1M avec conditionnement des grains.
- 3,4 et 5M = Idem 1M avec des grains préalablement décortiqués : 3 niveaux de décortilage faible D1, moyen D2 et fort D3.
- 6M = Idem 1M avec pression meule faible.

<u>Mouture sur CYLINDRES</u>		<u>Moutures sur MEULES</u>	
1C	Mouture Témoin Farine de type 65		
2C	Mouture Référence (Conditionnée)	1M	Mouture Référence ("à sec")
3C	Mouture "à sec"	2M	Mouture conditionnée
4C	Mouture avec décortilage faible : D1	3M	Mouture avec décortilage faible : D1
5C	Mouture avec décortilage moyen : D2	4M	Mouture avec décortilage moyen : D2
6C	Mouture avec décortilage fort : D3	5M	Mouture avec décortilage fort : D3
7C	Mouture avec micronisation farine (Ft)	6M	Mouture Référence avec pression meule faible
8C	Mouture "bise" : mélange farines et semoules bises		

= 14 Diagrammes de Mouture * 2 Variétés (RENAN et APACHE)

L'ensemble de ces 14 farines a été fourni à l'U3M pour analyses des teneurs des principaux minéraux.

En **annexe 1** sont fournis les résultats des principales caractéristiques des produits de mouture des 14 diagrammes testés après les essais préliminaires. (TBL1 : rendements, TBL2 : cendres, TBL3 : Amidon Endommagé, TBL4 : « Phytates »).

Compte tenu des premiers résultats analytiques, seules 10 farines ont été retenues, pour effectuer des essais de panification réalisés par ARVALIS. Ces farines ont été choisies pour apprécier les effets :

d'un apport de fibres (diagrammes 2C et 1M : farines à 1.00% de cendres), une baisse de la teneur en fibres (teneur en cendres passant de 1.00 à 0.90 % entre 1M et 5M)
de l'amidon endommagé (sur cylindre entre 7C et 2C, sur meule entre 2M et 1M)

d'une granulométrie plus élevée par l'apport de produits de convertissage.
du décortilage, d'une part pour éliminer le péricarpe (niveau de décortilage faible D1 sur cylindre et meule : 4C/3M), et d'autre part un effet « décontamination » des grains (décortilage plus élevé D3, autour de 10 % : 6C).
La farine 1C correspondant à la farine témoin (type 65).

♦ *Comportement meunier*

Sur le **comportement meunier**, les résultats détaillés sont donnés en **annexe 2** TBL1.
L'analyse de ces résultats permet de mettre en évidence :

- **Un effet variété** sur le taux d'extraction favorable au lot Apache par rapport à celui de Renan, avec de meilleurs rendements pour la mouture témoin et pour l'ensemble des diagrammes retenus. D'autre part, à rendement meunier équivalent, les farines de la variété Apache se caractérisent par une teneur en cendres et une granulométrie (granulométrie moyenne = D50) plus faibles, ainsi qu'un faible taux d'amidon endommagé, à mettre en lien avec la dureté des blés.

A teneur en cendres équivalentes (2C/1M), les lots réagissent différemment, qu'il s'agisse du lot « hard » qui a un meilleur comportement sur cylindre ou du lot « soft » qui a des taux d'extraction équivalents sur les deux types de mouture.

Sur mouture cylindre, toujours à teneur en cendres équivalentes (diagramme 2C), Apache étant moins riche en matières minérales que Renan, l'ajout de produits périphériques micronisés (Fbbl) est supérieur sur Apache et conduit à la farine ayant la teneur en « phytates » la plus élevée (7.8 µg/g sur Apache 2C).

- **Un effet type de mouture**, avec un impact significatif de la meule qui donne des farines ayant des teneurs en amidon endommagé plus élevées, supérieures de 2 à 3 points par rapport à la mouture sur cylindre. Les farines obtenues sur meule ont en moyenne une granulométrie plus fine que sur cylindre. Les farines de meule (F1) ont des teneurs en « phytates » que seul l'ajout de produits périphériques micronisés permettent d'atteindre sur cylindre.

- **Des effets des différents paramètres de mouture**, qui selon le cas agissent en interaction en mélangeant effet variétal et type de mouture :

- Décortilage : Un faible taux de décortilage n'a pas d'effet significatif sur les caractéristiques mesurées, à l'exception du taux d'endommagement de l'amidon en augmentation sur meule (3M/1M) et sur cylindre (4C/2C) pour le seul lot Apache : l'élimination du « péricarpe » (niveau de décortilage D1 autour de 2%) semble rendre plus vulnérables les grains d'amidon.
- Un taux de décortilage élevé (D3 autour de 9%) sanctionne fortement les rendements, à l'exception de Renan sur cylindre. Les teneurs en fibres et en « phytates » sont elles systématiquement revues à la baisse, amputant la densité nutritionnelle des farines produites.
- Pression entre les meules : Les essais préliminaires faisant varier la pression entre les meules n'ont pas donné de différence significative quant au niveau d'amidon endommagé.
- . Micronisation des farines : Dans ce cas la micronisation des farines totales (7C) conduit à un endommagement supérieur de l'ordre de 3 à 4 points, pouvant être testé en panification (comparaison 7C/2C).
- Absence de réduction des semoules bises : Elle conduit à l'augmentation de la granulométrie des farines obtenues par mélange (8C), et à une baisse de l'amidon endommagé.

- Effet du conditionnement : Les essais préliminaires ont surtout montrés qu'une absence de conditionnement donne des teneurs en amidon endommagé plus élevées, avec un effet plus marqué sur meule, Apache étant plus sensible que Renan. Par contre les rendements sont améliorés, sans que ne soient modifiées significativement ni les teneurs en cendres ni celles en « phytates ». Ce résultat est à conforter, notamment pour s'assurer que dans le cas de la production de farine à taux de cendres élevés le conditionnement du blé n'est plus nécessaire.

L'élaboration de ces 10 farines nous a permis d'avoir une large palette de farines, sur les critères impliquant la valeur meunière comme le rendement, la teneur en matières minérales, la granulométrie mais aussi la densité nutritionnelle (teneur en « phytates ») et la qualité technologique

Pour conclure sur cette première étape, il faut noter la différence essentielle portant sur des taux d'amidon endommagé plus élevés sur mouture meule par rapport à la mouture cylindre. Un autre résultat important de ce travail a été la mise au point de nouveaux diagrammes de mouture générant des farines riches en fibres et micro-nutriment. Sur les matières premières un premier indicateur de cette richesse est la teneur en « phytates » (marqueur de la couche à aleurone) qui a plus que doublé par rapport à une farine témoin. Ce niveau d'enrichissement est étendu aux farines sur cylindre, grâce à l'adjonction de produits périphériques micronisés. L'objectif ce travail étant de trouver un compromis entre comportement meunier, densité nutritionnelle et valeur boulangère, ces farines ont été analysées sur leur teneur en minéraux (U3M INRA Theix) et testées en panification (ARVALIS : test BIPEA).

◆ *Analyse des minéraux*

Les analyses des principaux minéraux dans les différents produits de mouture ont été effectuées par l'U3M (INRA – Theix), permettent de compléter les données de composition des différentes farines. (**Annexe 2** – TBL2 Teneurs reconstituées des 10 farines à partir des teneurs des produits de mouture TBL3).

L'analyse de ces tableaux permet de dégager:

- Les teneurs en minéraux analysés sont généralement supérieures pour le lot hard (Renan), à l'exception de la teneur en Cu.
- Sur les différentes farines et d'une manière générale, à l'exception du Ca, les teneurs en minéraux des farines obtenues sont supérieures à celles de la farine témoin.
- Pour le Ca les valeurs mesurées, faiblement inférieures aux grains indiquent des moutures peu pénalisantes pour ce minéral.
- Pour le Mg, quel que soit le diagramme retenu, nous avons un accroissement de la teneur par rapport à une farine T65, sans que ne se dégage un diagramme ou un lot.
- Pour le K, des teneurs plus élevées sur les différentes farines par rapport à la farine témoin T65. Ces résultats restent néanmoins difficiles à interpréter car très erratiques avec certaines valeurs nettement supérieures aux grains.
- Pour le Zn, même remarque avec des teneurs plus élevées sur les différentes formulations de farine par rapport à la T65. Le lot hard donnant des valeurs plus élevées.

D'une manière générale, il est observé que la teneur en cendres est bien corrélée à la teneur en « phytates » et aux éléments minéraux, à l'exception du calcium.

♦ Essais de panification (test BIPEA)

Une première exploitation des résultats fournis par ARVALIS, permet d'effectuer un classement des différents pains et de dégager les grandes tendances influençant la note de panification.

Voir TBL4 (10 farines retenues) fourni en **annexe 2** et ci-dessous le classement des différents pains effectué à partir de la note totale de panification ou valeur boulangère :

Note Totale	Renan	Apache	Note Totale
281	1C	1C	272
252	5M	5M	269
250	6C	6C	267
235	2C	4C	243
222	8C	2C	239
221	2M	2M	235
221	7C	8C	220
217	4C	3M	220
209	3M	7C	219
190	1M	1M	199

Globalement, on obtient des notes supérieures pour les pains fabriqués avec les farines d'Apache (« soft »), exception faite de la farine témoin (1C) qui classe mieux Renan (« hard »).

Ce sont les farines issues du décortilage élevé (D3 autour de 9%) qui donne, quel que soit le type de mouture et le lot de blé, les meilleurs pains. Il semble que le taux d'amidon endommagé très différent entre meule et cylindre n'a pas influencé la valeur boulangère, mais qu'il s'agit plus de la teneur en fibres qui est déterminante : en effet parmi les farines fabriquées ce sont les seules de type 80 (5M et 6C), alors que les autres possèdent des teneurs en cendres supérieures .

Un décortilage plus faible (D1=2%) permet au lot Apache (4C) de bien se classer, avec une densité nutritionnelle (cendres et « phytates) supérieure au résultat précédent. Le classement et la note est moins bonne dans le cas de Renan.

Les farines de référence obtenues sur cylindre, avec micronisation des issues (2C) sont également bien notées et offrent un bon compromis entre comportement meunier, note de panification et densité nutritionnelle.

La micronisation de la farine totale (7C) augmente l'amidon endommagé , avec comme conséquence une baisse de la note de panification (à comparer à 2C).

Enfin la valeur boulangère la plus faible est obtenue sur les farines de meule broyée « à sec » (1M), cumulant taux de fibres et d'amidon endommagé élevés.

- A l'issue de ce travail on peut tirer **quelques enseignements à prendre en compte pour la mise au point de farines** donnant le meilleur compromis entre qualité technologique et potentiel nutritionnel :
- Les farines issues de la mouture sur cylindre ont des taux d'amidon endommagé inférieurs à ceux de la mouture sur meule. Ces différences sont à prendre en compte en panification pour obtenir des pains aux qualités organoleptiques satisfaisantes.
- Sur mouture cylindre la micronisation de produits périphériques permet d'obtenir des farines ayant un potentiel nutritionnel (« phytates ») amélioré, comparable à supérieur à celui obtenu par meule. On fait le même constat avec une amélioration des rendements meuniers.

- Sur mouture meule, le décortiquage permet d'éliminer des fibres, ce qui est favorable à la qualité organoleptique des pains, alors que le potentiel nutritionnel et selon le taux de décortiquage le rendement meunier restent relativement préservés.
- Un rôle de « décontamination » des produits de mouture par élimination des tissus les plus périphériques est également à souligner pour le décortiquage, mais cela est aussi valable pour la mouture cylindre.

2 Etape intermédiaire de validation des diagrammes de mouture et fourniture de farine pour mise au point de panification de pains prototypes

Les blés ont été fournis par l'ITAB et correspondent à un mélange constitué à 70 % par la variété Lona.

Caractéristiques BLE (Mélange ITAB: 70 % LONA) :		
PS	84,3	
PMG	37,5	
Dureté PSI	10 (Very Hard)	
Cendres	1,73 % m.s.	

Six diagrammes ont été retenus pour ce travail

◆ Trois en mouture sur cylindre (MLU 2002)

- Diagramme A : Référence cylindre, correspondant à une farine totale (Ft) constituée du mélange des farines de broyage et de convertissage.
- Diagramme B : Farine totale + farine micronisée blutée à partir de produits de mouture périphériques (remoulage).
- Sur ce diagramme l'objectif était d'obtenir une farine riche en fibres et micro-nutriments, par addition de produits périphériques dans la limite de l'obtention d'une farine de type 80. La micronisation intervenant pour préserver les critères de qualité d'un pain (volume...).
- Diagramme C : Farine totale + farine de broyage + « semoule bise ».
- La farine C correspond à un mélange 50/50 entre « semoule bise » (alimentation de la tête de convertissage) et une farine classique (farine A).

◆ Trois moutures sur meule (combi-moulin MSM 300)

- Diagramme D : Référence meule, correspondant à la farine F1 (obtenue au premier tamis) sur blé entier.
- Diagramme E : Farine F1 sur blé décortiqué à 10 %.
- Diagramme F : Farine F1 sur blé décortiqué à 15 %.

Sur meule, l'accent a été mis sur le décortiquage, de manière à éliminer les produits les plus périphériques (péricarpe...), potentiellement les plus « contaminés ».

La forte minéralisation de l'amande, ainsi que le comportement en mouture du lot de blé, n'a pas permis d'obtenir des farines de type 80 comme souhaité : les teneurs en cendres étant de l'ordre de 1 % pour les deux niveaux de décortiquage, alors que la farine de référence a une teneur en cendres de 1.14 (%m.s.).

Les caractéristiques de ces farines qui ont été fournies pour essais de panification sont données ci-dessous, et ont permis d'aider au choix des conditions de panification des futurs « pains prototypes ».

Caractéristiques FARINE :					
Diagramme	mouture	Farine	Rendements (% m.s.)	Cendres (% m.s.)	Phytates (mg/g m.s.)
A	Cylindre	Référence	71,9	0,58	2,85
B	Cylindre	Micronisation remoulage	78,7	0,90	5,30
C	Cylindre	50% "Semoules Bises"	80,4	0,84	4,70
D	Meule	Référence	79,5	1,14	7,93
E	Meule	Décortiqué 10%	79,8	1,10	7,48
F	Meule	Décortiqué 15%	78,6	0,97	6,84

3 Transposition industrielle pour la fabrication de farines utilisées pour la panification des « pains prototypes »

A partir des essais précédents nous avons retenus 6 diagrammes de mouture pour l'élaboration de 6 farines : farines utilisées, toujours sur site industriel à la panification de 6 « pains prototypes », testés par un jury de consommateurs (panification et test consommateurs font l'objet de rapports spécifiques).

Pour les diagrammes de mouture un cahier des charges précis a été fixé dont les principaux critères sont :

- les moutures sont effectuées sur site industriel (meunerie « bio »).
- l'utilisation d'un blé correspondant à un mélange industriel représentatif de la récolte en agriculture biologique.
- l'élaboration de farines riches en cendres, au moins de type 80, à l'exception du témoin.
- l'utilisation de diagrammes « réalistes » au plan industriel, pouvant être facilement mis en œuvre sur des équipements classiques.

Un mélange de blé constitué pour l'essentiel de la variété Lona. (cendres=1.80 – PSI = 12 (hard) – « phytates » = 14.4) a été utilisé pour l'élaboration des farines sur cylindre et sur meule.

Production de 6 farines pour pains prototypes

3 sur cylindres:

T65

T80 « Micronisée »

T80 « Semoules bises »

3 sur meules:

T80 « grains entiers »

T80 « grains décortiqués »

T110 « farine intégrale »

◆ CYLINDRE

Les moutures sur cylindre ont été conduites à la minoterie *GIRAUDINEAU* : Moulin de Pont-James – ST Colombar 44 310, voir annexe 3 Diagramme et descriptif.

3 farines ont été élaborées:

- une farine de référence de type 65, devant servir de témoin : T 65.
- une farine de type 80, formulée avec des produits périphériques micronisés (remoulages) : T 80 « micronisée ».

Ces deux farines ont été produites à partir d'un fonctionnement classique du moulin : on peut parler de mouture « normale ».

- une farine de type 80 formulée avec des « semoules bises » (alimentation du convertissage) : T 80 « semoules bises ».

Cette farine est formulée à partir de 35 % de T 65 issue de la mouture « normale », et 65 % de produits issues d'une mouture dite « courte ». Il s'agit de farines de broyage et de bluterie auxquels s'ajoutent des « semoules bises », alimentant les convertisseurs C1, C2 et C3. Ces alimentations sont collectées séparément (installation de by-pass) : la partie droite du diagramme n'étant plus alimentée.

Un tableau général des rendements de mouture, ainsi qu'un tableau des rendements des différentes farines formulées sont donnés en annexe 3.

◆ MEULE

Les moutures sur meule ont été effectuées à la minoterie *LEGALL* à Ergué Gabaric 29500 - voir annexe 4 Moulin, rendements et formulation des farines.

3 farines ont été produites sur meule :

- une farine de type 80 , classique sur grains entiers.
- une farine de type 80 sur grains décortiqués. Le décortiquage des grains a été effectué avant mouture sur un décortiqueur *Sataké VAF 10AM* (niveau de décortiquage 7.3%).
- une farine de type 110, sur grains entiers correspondant à un mélange d'une farine de type 80 avec une farine intégrale. Les proportions sont de 70 % de farine de bluterie pour 30 % de farine intégrale (sortie directe de la meule).

4 Caractéristiques des farines et commentaires

Un tableau des principales caractéristiques des farines produites est donné annexe 5 et appelle aux commentaires suivant :

En terme de rendements meuniers, on obtient des résultats supérieurs sur cylindre comme le montre le rendement d'une T65 cylindre (78.3%) équivalent à celui d'une T80 de meule (78.5%). Pour une teneur en cendres de type 80 sur cylindre (farine micronisée), on obtient 3 points de plus de rendement (81.5 %).

En ce qui concerne la farine de meule décortiquée, le niveau de décortilage relativement haut (7.3%) explique un rendement meunier légèrement plus faible pour une teneur en cendres (0.96) comme en «phytates» élevées : l'absence d'enveloppes entraîne un changement de comportement en mouture avec une réduction plus importante de la couche à aleurone.

Ce niveau de décortilage a été retenu pour pousser la «décontamination» en produits de moutures périphériques et tester son incidence en panification. Une optimisation prenant mieux en compte le rendement meunier est néanmoins réalisable.

Si l'on considère que la teneur en « phytates » est un marqueur de la couche à aleurone, toutes les farines fabriquées ont des valeurs supérieures à la farine témoin T65, améliorant leur densité nutritionnelle. Sur cylindre la farine « semoule bises » donne des résultats modestes sur ce critère alors que la T80 micronisée voit doubler sa valeur pour donner des résultats légèrement supérieurs à la T80 sur meule. Sur meule, la T80 obtenue après décortilage des grains et surtout la T110 « farine intégrale » voient leurs teneurs fortement augmentées.

Pour l'amidon endommagé les résultats pilotes sont confirmés par ceux de l'industrie, avec un taux d'amidon endommagé plus important sur meule que sur cylindre.

Observons également que le décortilage accentue le taux d'amidon endommagé, comme si l'abrasion des couches périphériques rendait plus « vulnérable » l'albumen et les grains d'amidon.

En matière de granulométrie, on obtient des produits plus fins et moins dispersés sur cylindre que sur meule, contrairement aux essais pilotes. Ce résultat est certainement à relier aux réglages de mouture retenus (écartement-pression des meules, débit).

d) Conclusion Générale

Au terme de ce travail il est important de noter quelques résultats forts :

Sur les différences meule – cylindre. Tout d'abord une différence fondamentale sur les taux d'amidon endommagé, qui sont significativement plus élevés sur les farines de meule par rapport à celles de cylindre. Une richesse en fibres, en « phytates » plus marquée pour les produits issus de la meule, même s'il est possible de gommer ces différences en introduisant des produits périphériques micronisés sur la mouture cylindre.

La grande flexibilité de la mouture sur cylindre qui permet de découpler tous les paramètres pouvant influencer sur la valeur nutritionnelle et les propriétés fonctionnelles des farines, taux d'amidon endommagé, teneur en fibres, teneur en minéraux ainsi que la granulométrie des produits.

Dans ce contexte, les meilleurs résultats ont été obtenus grâce à la micronisation d'une partie des sons, résultats qui sont à confirmer avec les essais de panification et les tests consommateurs sur les « pains prototypes ».

Enfin la réalisation sur sites industriels de ces différents diagrammes de mouture démontrent que la transposition industrielle peut s'effectuer avec peu de modification sur les équipements actuels.

ANNEXES

Annexe 1

Tableau 1 : Rendements Mouture (%m.h)

Rendements Mouture (%m.h.)								TBL: 1
		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec (12,6%)	sec
CYLINDRE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	"Micronisée"	Ft+SemouleBise
RENAN								
	Ft	71,6	72,3	75,4	75,7	75,0	76,4	22,0
	Fb	4,9	4,3	3,4	3,4	2,7	3,4	71,6
	Fbbl	8,8	9,6	7,5	6,6	5,8	---	6,4
	lbi	14,8	13,8	11,7	9,7	7,2	20,2	---
	extraction	---	---	1,9	4,6	9,3	---	---
							FtMicronisée	
APACHE								
	Ft	76,9	78,0	78,4	78,9	78,6	77,8	22,8
	Fb	3,4	2,9	2,7	2,5	2,3	3,2	69,9
	Fbbl	7,7	6,8	6,1	4,9	4,1	---	7,3
	lbi	12,1	12,3	10,8	7,9	6,3	19,0	---
	extraction	---	---	2,0	5,7	8,7	---	---
							FtMicronisée	
							76,4	
		2M	1M	3M	4M	5M	6M	
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec	
MEULE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible	
RENAN								
	F1	78,1	80,3	80,7	76,4	72,7	---	
	F2	3,8	3,7	4,5	4,9	3,8	---	
	F3	5,5	4,8	4,4	7,4	8,6	---	
	Refus	12,7	11,1	8,5	6,8	5,6	---	
	extraction	---	---	1,9	4,6	9,3	---	
APACHE								
	F1	74,0	80,7	79,6	79,3	79,0	69,1	
	F2	6,3	4,8	4,4	3,4	3,3	7,1	
	F3	6,7	4,9	5,9	5,8	4,3	11,9	
	Refus	13,0	9,5	8,1	5,8	4,7	11,9	
	extraction	---	---	2,0	5,7	8,7	---	

Tableau 2 : Cendres (% m.s.)

CYLINDRE		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C
		cond.	sec	cond.	cond.	cond.	sec	sec
		Cond.	Sec	D1	D2	D3	FtMicronisée	Ft+SemouleBise
RENAN	Blé 1,78							
	Ft	0,57	0,55	0,62	0,64	0,64	0,72	0,68
	Fb	1,81	2,00	2,53	2,35	2,42	2,49	1,64
	Fbbl	5,15	5,00	4,50	4,39	3,99	---	6,08
	lbi	5,36	5,17	5,80	5,90	7,22	5,34	---
	extraction	---	---	3,15	4,49	5,31	---	---
APACHE	1,68							
	Ft	0,53	0,62	0,63	0,60	0,61	0,60	0,64
	Fb	2,24	2,30	2,51	2,55	2,56	2,35	1,62
	lbi	5,19	4,77	4,05	4,68	4,65	---	---
	Issues	5,30	6,02	6,61	6,99	6,30	5,86	6,53
	extraction	---	---	3,53	5,22	4,81	---	---
MEULE		2M	1M	3M	4M	5M	6M	
		cond.	sec	sec	sec	sec	sec	
		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible	
RENAN	1,78							
	F1	1,04	1,02	1,08	1,02	0,90	---	---
	F2	1,33	1,50	1,42	1,14	1,11	---	---
	F3	2,75	1,96	1,97	2,29	1,70	---	---
	extraction	---	---	3,15	4,49	5,31	---	---
	Refus	6,06	6,64	6,83	7,04	6,63	---	---
APACHE	1,68							
	F1	0,88	0,91	0,96	0,93	0,88	0,98	---
	F2	1,17	1,13	1,11	1,16	1,39	1,13	---
	F3	2,47	3,38	2,6	3,88	2,39	1,77	---
	extraction	---	---	3,53	5,22	4,81	---	---
	Refus	6,26	7,59	7,44	7,67	7,32	6,68	---

Tableau 3 : % Amidon endommagé

CYLINDRE	1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C
	<i>cond.</i>	<i>sec</i>	<i>cond.</i>	<i>cond.</i>	<i>cond.</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>
CYLINDRE sur Ft	REF	Sec	D1	D2	D3	FtMicronisée	Ft+SemouleBise
RENAN	7,0	7,6	7,1	7,0	7,6	10,8	6,2
APACHE	5,9	6,7	6,8	6,4	6,9	9,3	5,1

MEULE	2M	1M	3M	4M	5M	6M
	<i>cond.</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>
MEULE sur F1	Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible
RENAN	8,9	10,0	10,3	9,9	9,8	---
APACHE	7,8	9,5	10,3	8,0	9,1	9,3

Tableau 4 : Phytates (mg/ g m.s.)

CYLINDRE	1C - 2C	3C	4C	5C	6C
	<i>cond.</i>	<i>sec (14,8%)</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>
Blé	Cond.	Sec	D1	D2	D3
RENAN	11,2				
Ft	1,4	1,9	2,6	3,0	2,3
Fb	12,4	15,4	19,8	19,4	16,5
Fbbl	42,1	42,4	35,5	34,4	28,6
lbl	41,3	43,2	47,8	50,2	43,5
extraction	---	---	13,1	33,1	46,0
APACHE	10,6				
Ft	3,1	2,0	3,5	3,5	2,1
Fb	20,3	15,9	22,5	21,5	17,7
Fbbl	49,1	34,2	48,9	41,8	34,8
lbl	41,4	50,7	59,5	56,1	52,4
extraction	---	---	11,4	33,6	37,4

MEULE	2M	1M	3M	4M	5M
	<i>cond.</i>	<i>sec (14,8%)</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>	<i>sec</i>
	Cond.	Sec	D1	D2	D3
RENAN	11,2				
F1	6,0	6,2	6,5	6,6	5,5
F2	8,4	8,9	8,0	7,0	4,2
F3	17,5	15,5	26,8	12,3	6,0
Refus	49,9	57,4	59,5	69,8	55,4
extraction	---	---	13,1	33,1	46,0
			12,2	10,8	8,6
APACHE	10,6				
F1	5,1	5,4	6,2	5,9	5,0
F2	4,1	6,1	5,6	7,1	10,5
F3	14,9	24,2	21,3	19,9	9,6
Refus	51,5	63,0	62,7	67,9	60,8
extraction	---	---	11,4	33,6	37,4
			11,7	9,4	9,1

Annexe 2 : Caractéristiques des 10 farines retenues :

Tableau 1 :

N°			Farines (passages)	Rendements (%m.h.)	Cendres (%m.s.)	Phytates (%m.s.)	Amidon endommagé sur Ft (%m.s.)	Granulométrie D50 Dispersion (µm)	
1	Diagramme 1C Mouture Témoin	Renan Apache	Ft+Fb Ft+Fb	76,4 80,2	0,65 0,60	2,1 3,1	7,0 5,9	86 77	145 141
2	Diagramme 2C Mouture Référence (Conditionnée)	Renan Apache	Ft+Fb+7,8%Fbbl Ft+Fb+Fbbl	82,9 87,9	1,00 1,00	5,2 7,8	7,0 5,9	80 73	145 142
3	Diagramme 1M Mouture Référence ("à sec")	Renan Apache	F1 F1+F2+3,3%F3	80,3 88,5	1,02 1,00	6,2 6,0	9,6 9,5	69 67	147 165
4	Diagramme 5M Mouture avec décortilage fort : D3	Renan Apache	F1 F1	72,7 79,0	0,90 0,88	5,5 5,0	9,8 9,1	71 50	149 129
5	Diagramme 7C Mouture avec micronisation farine (Ft)	Renan Apache	Ft+Fb+4,7%Fbbl Ft+Fb+Fbbl	83,7 87,7	1,00 1,00	6,1 5,0	10,8 9,3	30 25	92 87
6	Diagramme 2M Mouture conditionnée	Renan Apache	F1+F2 F1+F2+F3	81,9 87,0	1,04 1,02	6,1 5,8	8,9 7,8	71 70	157 180
7	Diagramme 8C Mouture "bise"	Renan Apache	Ft+Fb+27%SB Ft+Fb+35%SB	83,5 85,3	1,00 1,00	--- ---	6,2 5,1	155 163	253 228
8	Diagramme 4C Mouture avec décortilage faible : D1	Renan Apache	Ft+Fb+Fbbl Ft+Fb+Fbbl	86,4 87,2	1,03 0,93	6,1 7,3	7,1 6,8	90 82	163 155
9	Diagramme 3M Mouture avec décortilage faible : D1	Renan Apache	F1 F1+F2+F3	80,7 89,9	1,08 1,08	6,5 7,2	10,3 10,3	68 50	142 155
10	Diagramme 6C Mouture avec décortilage fort : D3	Renan Apache	Ft+Fb+Fbbl Ft+Fb+Fbbl	83,5 84,9	0,93 0,86	4,6 4,1	7,6 6,9	91 82	163 154

C : CYLINDRES

Ft = farines de broyage + farines de convertissage
 Fb = farines de broses des issues
 Fbbl = farines de blutage des issues brossées micronisées
 SB = semoules bises

M : MEULES

F1 = farine de blutage tamis 1
 F2 = farine de blutage tamis 2
 F3 = farine de blutage tamis 3

Tableau 2 : Teneur des principaux minéraux :
Valeurs reconstituées à partir des analyses fournies par U3M (INRA Theix)
10 farines retenues

N°	Farines (passages)	Ca mg/kg	Mg mg/kg	K mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	
1	Diagramme 1C Mouture Témoin	204 200	1534 1253	4981 4782	24 19	1,6 3,2	GrainsRenan GrainsApache
2	Diagramme 2C Mouture Référence (Conditionnée)	180 135	288 263	1316 3977	4,6 2,3	0,1 0,0	
3	Diagramme 1M Mouture Référence ("à sec")	201 163	572 600	2029 4877	10,6 7,9	0,8 0,7	
4	Diagramme 5M Mouture avec décortilage fort : D3	157 162	713 794	2581 2844	12,6 14,4	ND 0,1	
5	Diagramme 7C Mouture avec micronisation farine (Ft)	137 155	735 550	6894 2391	11,1 8,0	ND ND	
6	Diagramme 2M Mouture conditionnée	169 205	514 494	6184 2299	13,4 11,8	0,4 1,7	
7	Diagramme 8C Mouture "bise"	155 181	859 634	6430 3859	13,1 10,6	ND 1,0	
8	Diagramme 4C Mouture avec décortilage faible : D1	159 185	601 564	5687 2411	13,8 12,8	0,2 1,3	
9	Diagramme 3M Mouture avec décortilage faible : D1	181 156	660 640	3375 12900	15,4 8,1	0,8 0,5	
10	Diagramme 6C Mouture avec décortilage fort : D3	146 177	865 707	2857 3190	17,4 10,6	ND 0,3	

C : CYLINDRES

Ft = farines de broyage + farines de convertissage
Fb = farines de brosse des issues
Fbbl = farines de blutage des issues brossées micronisées

M : MEULES

F1 = farine de blutage tamis 1
F2 = farine de blutage tamis 2
F3 = farine de blutage tamis 3

Tableau 3a : Teneur en Mg (mg/kg)

Grains départ :		RENAN	1534						
		APACHE	1253						
GrainsDécort.:		RENAN	---	1583	1427	1302	---	---	
		APACHE	---	1306	1106	996	---	---	
		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec (12,6%)	sec	
CYLINDRE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	"Micronisée"	Ft+SemouleBise	
RENAN									
	Ft	229	212	311	258	339	256 - 340	→	
	Fb	1150	1403	1758	1786	1603	1721		Fbroyage
	Fbbl	3929	3690	3654	3321	3054	3503		Semoule Bise
	Issues	5409	5142	5614	5686	5718	5956		Gros Sons
	Edécortilage	---	---	2505	3984	4539	---		
							FtMicronisée		
APACHE									
	Ft	197	302	318	351	394	223 - 333	→	
	Fb	1765	1833	2150	2183	2197	1397		Fbroyage
	Fbbl	4139	3879	4083	3996	3948	3338		Semoule Bise
	Issues	5411	5038	5277	5740	5481	5776		Gros Sons
	Edécortilage	---	---	1788	2722	3726	---		
							FtMicronisée		
		2M	1M	3M	4M	5M	6M		
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec		
MEULE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible		
RENAN									
	F1	857	713	865	858	735	---		
	F2	896	1106	1129	895	778	---		
	F3	1522	2522	2953	2605	1302	---		
	Refus	5521	6200	6783	6891	6472	---		
	Edécortilage	---	---	2505	3984	4539	---		
APACHE									
	F1	592	488	615	671	550	2272		
	F2	577	725	757	727	907	583		
	F3	1153	2485	1887	1645	2338	556		
	Refus	4940	5628	5935	6341	5700	5240		
	Edécortilage	---	---	1788	2722	3726	---		

Tableau 3b : Teneur en K (mg/kg)

Grains départ :		RENAN	4981						
		APACHE	4782						
GrainsDécort.:		RENAN	---	5430	4266	4110	---	---	
		APACHE	---	5256	3964	3756	---	---	
		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec (12,6%)	sec	
CYLINDRE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	"Micronisée"	Ft+SemouleBise	
RENAN									
	Ft	1152	2089	2548	3410	1724	5916 -2777	1271	Fbroyage
	Fb	3703	3788	7533	6683	5073	5564	5107	Semoule Bise
	Fbbl	10455	9971	9762	9232	9557	10466	22317	Gros Sons
	Issues	14445	12570	14345	13705	13598	15081		
	Edécortilage	---	---	9407	12340	13445	---		
							FtMicronisée		
APACHE									
	Ft	3900	12622	13112	12117	11769	1419 - 1441	1439	Fbroyage
	Fb	5728	5916	6357	7654	6471	5163	3974	Semoule Bise
	Fbbl	14318	12246	13168	12855	12477	11575	15097	Gros Sons
	Issues	17455	17109	15355	16961	13720	16970		
	Edécortilage	---	---	15250	13875	14464	---		
							FtMicronisée		
		2M	1M	3M	4M	5M	6M		
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec		
MEULE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible		
RENAN									
	F1	6429-2828	2581	2857	3003	6894-2998	---		
	F2	6453-6429	3867	4742	4362	2998-4823	---		
	F3	2828-6453	8413	8778	8768	4823-6894	---		
	Refus	14855	15425	16675	17010	16332	---		
	Edécortilage	---	---	9407	12340	13445	---		
APACHE									
	F1	3083	4051	2828	2321	2391	8568		
	F2	2532	3176	3776	3338	3475	3160		
	F3	5442	10346	7572	7735	10386	4684		
	Refus	17463	19165	16162	17200	16720	16795		
	Edécortilage	---	---	15250	13875	14464	---		

Tableau 3c : Teneur en Ca (mg/kg)

Grains départ :		RENAN	204						
		APACHE	200						
GrainsDécort.:		RENAN	---	179	170	171	---	---	
		APACHE	---	207	388	186	---	---	
		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec (12,6%)	sec	
CYLINDRE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	"Micronisée"	Ft+SemouleBise	
RENAN								→	
	Ft	177	155	153	145	144	148 - 154	151	Fbroyage
	Fb	221	220	240	237	225	251	176	Semoule Bise
	Fbbl	446	428	434	364	333	419	506	Gros Sons
	Issues	528	486	506	466	443	532		
	Edécortilage	---	---	740	693	653	---		
							FtMicronisée		
APACHE								→	
	Ft	131	147	131	128	144	173 - 180	171	Fbroyage
	Fb	217	257	273	247	254	304	197	Semoule Bise
	Fbbl	465	458	413	418	408	546	550	Gros Sons
	Issues	595	535	536	545	515	566		
	Edécortilage	---	---	767	673	682	---		
							FtMicronisée		
		2M	1M	3M	4M	5M	6M		
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec		
MEULE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible		
RENAN									
	F1	153	157	146	144	137	---		
	F2	158	191	182	141	147	---		
	F3	204	263	255	209	159	---		
	Refus	575	583	548	540	522	---		
	Edécortilage	---	---	740	693	653	---		
APACHE									
	F1	174	185	171	161	155	168		
	F2	183	204	187	176	170	176		
	F3	254	345	243	204	232	209		
	Refus	604	596	547	737	511	565		
	Edécortilage	---	---	767	673	682	---		

Tableau 3d : Teneur en Zn (mg/kg)

Teneur en Zn (mg/kg)								
Grains départ :		RENAN	24					
		APACHE	19					
GrainsDécort.:	RENAN	---	27	27	22	---	---	
	APACHE	---	18	16	15	---	---	
		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec (12,6%)	sec
CYLINDRE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	"Micronisée"	Ft+SemouleBise
RENAN								
	Ft	3	4	8	7	7	8 - 11	7
	Fb	28	36	48	50	46	46	25
	Fbbl	82	84	75	75	73	71	66
	Issues	86	80	85	88	85	85	
	Edécortilage	---	---	52	70	70	---	
							FtMicronisée	
APACHE								
	Ft	1	5	3	3	5	7 - 8	5
	Fb	31	38	41	39	40	40	21
	Fbbl	67	57	58	61	60	56	49
	Issues	67	65	69	70	68	73	
	Edécortilage	---	---	42	51	56	---	
							FtMicronisée	
		2M	1M	3M	4M	5M	6M	
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec	
MEULE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible	
RENAN								
	F1	13	13	17	12	11	---	
	F2	22	22	22	15	13	---	
	F3	31	51	54	41	26	---	
	Refus	84	88	96	98	99	---	
	Edécortilage	---	---	52	70	70	---	
APACHE								
	F1	9	13	9	10	8	9	
	F2	13	12	13	11	14	10	
	F3	24	39	34	28	41	18	
	Refus	65	72	71	76	78	64	
	Edécortilage	---	---	42	51	56	---	

Tableau 3e : Teneur en Cu (mg/kg)

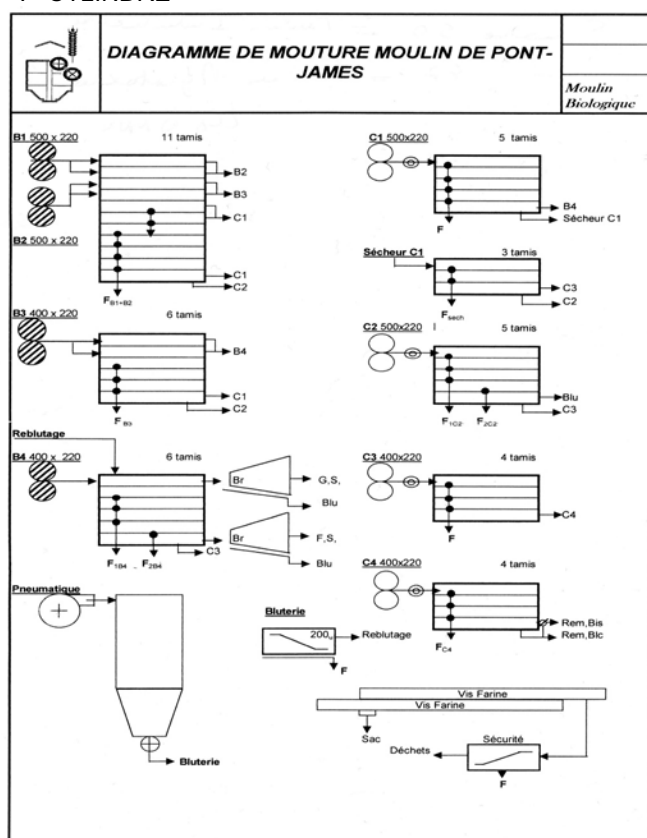
Grains départ :		RENAN	1,6						
GrainsDécort.:		APACHE	3,2						
		RENAN	---	1,6	1,6	0,6	---	---	
		APACHE	---	3,3	2,4	1,9	---	---	
		1C - 2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec (12,6%)	sec	
CYLINDRE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	"Micronisée"	Ft+SemouleBise	
RENAN								→	
	Ft	ND	ND	ND	ND	ND	ND		ND
	Fb	1,9	2,3	3,3	3,0	2,7	2,0		0,5
	Fbbl	8,8	8,0	7,3	6,9	6,1	5,0		ND
	Issues	4,4	3,5	4,7	5,2	4,8	5,4		
	Edécortage	---	---	ND	ND	ND	---		
							FtMicronisée		
APACHE								→	
	Ft	ND	ND	ND	ND	ND	0,9 - 0,5		ND
	Fb	0,5	0,8	1,4	1,5	1,5	5,3		1,6
	Fbbl	7,7	5,4	6,7	4,9	6,5	10,1		7,3
	Issues	8,2	7,0	9,7	10,3	10,5	10,9		
	Edécortage	---	---	ND	ND	ND	---		
							FtMicronisée		
		2M	1M	3M	4M	5M	6M		
		cond.	sec (14,8%)	sec	sec	sec	sec		
MEULE		Cond.	Sec	D1	D2	D3	Pfaible		
RENAN									
	F1	ND	ND	ND	ND	ND	---		
	F2	ND	ND	ND	ND	ND	---		
	F3	ND	1,8	1,7	0,8	ND	---		
	Refus	5,1	3,4	8,5	8,8	8,6	---		
	Edécortage	---	---	ND	ND	ND	---		
APACHE									
	F1	1,0	2,0	0,2	ND	ND	ND		
	F2	0,5	1,0	1,0	ND	ND	ND		
	F3	2,0	6,0	4,0	3,0	5,0	ND		
	Refus	5,5	6,4	8,9	10,8	12,2	6,6		
	Edécortage	---	---	ND	ND	ND	---		

Tableau 4 : Essais de panification – ARVALIS (panifJFISCHER2005)

Variété	DIAG.	Hydratation	Note Pâte	Note Pain	Volume Moyen	Note Volume	Note Mie	Note Totale
RENAN	1C	65,5	97	87	1766	16,8	97	281
RENAN	8C	64,3	97	34	1560	10,8	91	222
RENAN	2C	65,1	94	50	1650	13,5	91	235
RENAN	2M	68,1	84	49	1631	12,9	88	221
RENAN	4C	64,5	79	50	1640	13,2	88	217
RENAN	3M	67,7	78	43	1660	13,8	88	209
RENAN	6C	64,3	90	66	1661	13,8	94	250
RENAN	5M	67,1	89	69	1685	14,4	94	252
RENAN	7C	65,9	85	45	1619	12,3	91	221
RENAN	1M	66,5	74	37	1396	5,7	79	190
APACHE	1C	61,1	88	87	1855	19,5	97	272
APACHE	8C	60,1	80	46	1790	17,7	94	220
APACHE	2C	60,6	89	65	1749	16,2	85	239
APACHE	2M	64,0	78	72	1816	18,3	85	235
APACHE	4C	61,6	77	75	1859	19,5	91	243
APACHE	3M	64,7	85	47	1720	15,6	88	220
APACHE	6C	60,4	97	73	1794	17,7	97	267
APACHE	5M	61,9	99	76	1815	18,3	94	269
APACHE	7C	61,5	81	50	1718	15,3	88	219
APACHE	1M	63,7	77	46	1636	12,9	76	199

Annexe 3 : CYLINDRE

Annexe 3 : CYLINDRE



Moulin SOCAM

540 kg/h

Produits de mouture :

Farines de broyage (4)

Farines de convertissage (4)

Farine de bluterie

Gros son

Fin son

Remoulage blanc

Remoulage bis

Annexe 4 : MEULE Rendements et Formulation Farines (%m.s.)

Farines	Produits de mouture pour 100 kg	RDTs	
		BLE	Farine
Référence (T80)	farines de bluterie <i>refus de bluterie</i>	78,5	100,0
		21,5	
		78,5	
Référence Décortiquée	farines de bluterie <i>refus de bluterie</i> <i>extraction (décortilage)</i>	77,3	100,0
		15,4	
		7,3	
		77,3	
Référence + Intégrale (70 / 30)	farines de bluterie <i>refus de bluterie</i> = 70 %	54,9	70,0
		15,0	
	farine intégrale = 30 %	30,0	30,0
		84,9	

Annexe 5 : Caractéristiques des farines

MOUTURE	FARINE	RDTs (% m.s.)	CDRS (% m.s.)	AcPhy (mg/g m.s.)	AE (% m.s.)	Granulométrie (µm)	
						D50	dispersion
CYLINDRE	T 65	78,3	0,64	3,1	7,6	78	197
CYLINDRE	T 80 Micronisée	81,5	0,84	5,6	7,7	71	166
CYLINDRE	T 65 + "Semoule Bise" (35/65)	82,7	0,83	4,0	4,4	244	347
MEULE	Référence	78,5	0,86	5,3	9,1	89	266
MEULE	Référence Décortiquée (décortilage = 7,3 %)	77,3	0,96	6,6	10,2	91	306
MEULE	Référence + Intégrale (70/30)	84,9	1,09	8,0	8,4	112	493
Blé Mélange Industriel : cendres = 1,80 - PSI = 12 (Hard) - AcPhy = 14,4							

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

Qualités des blés biologiques et Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques



TACHE 3: EFFET DU PROCEDE DE PANIFICATION SUR LA QUALITE DES PAINS BIOLOGIQUES

Partie A : Influence des caractéristiques des farines sur l'étape de fermentation

Partie B : Analyses physico-chimiques de pains issus des tâches 2/T6 et 3/T3

Partie C : Amélioration de la qualité nutritionnelle des pains (influence de l'étape fermentaire) en relation avec tâche 2/T4

Auteur : Bernard ONNO

Collaboration : Christian Rémesy, Hubert Chiron, Marc Chaurand, Arvalis

Nom de l'organisme bénéficiaire : ENITIAA (Ecole Nationale des Ingénieurs des Techniques des Industries Agro Alimentaires)

Nom du responsable scientifique : Bernard ONNO

Nom du Laboratoire : Laboratoire de Microbiologie Alimentaire et Industrielle - ENITIAA – Nantes Atlantique Universités

Adresse : ENITIAA BP 82225 - Rue de la Géraudière - 44 322 Nantes Cédex

RESUME

Eléments de contexte :

- La majorité des pains biologiques actuels sont au levain (procédé Annexe 1), la plupart du temps au levain traditionnel (naturel) : goût, conservation, ...
- Les caractéristiques du levain influencent celles du pain (pH, acidité, teneur en acides organiques, QF rapport entre acide lactique et acétique) et la conduite du procédé
- La maîtrise du levain (activité, régularité, ...) est donc au cœur du procédé et un des gages de qualité du produit fini
- Cette maîtrise nécessite rigueur et repose sur différents paramètres
 - o Le milieu (farine, eau) : source de nutriments, hydratation, ...
 - o L'environnement : température, hydratation, temps, ...
 - o Les ferments : levain traditionnel, ferments commerciaux, ...

Démarche de l'étude : 3 parties

- A - Influence du paramètre farine sur l'étape de fermentation
- B - Analyses physico-chimiques de pains issus des tâches 2/T6 et 3/T3
- C - Amélioration de la qualité nutritionnelle des pains (influence de l'étape fermentaire) en relation avec tâche 2/T4

Principaux résultats

- Une influence du paramètre type mouture (meule ou cylindre) a été observée sur l'activité des bactéries lactiques (acidification) et des levures (production de gaz). La mouture sur meule favoriserait ces activités. Cet effet pourrait être relié à la teneur en amidons endommagés des farines. Un effet variété a également été observé sur ces mêmes activités. La variété Renan favoriserait l'activité fermentaire des flores du levain.
- Une analyse des caractéristiques physicochimiques (pH, acidité, acides organiques) de pains au levain du commerce et de différents producteurs permet d'observer la variabilité des produits sur ces descripteurs
- Les paramètres de conduite du levain (température 10 à 30°C), hydratation (100 à 200%) et durée de la fermentation (12 à 18h) influencent l'activité fermentaire du levain et les caractéristiques de la pâte (pH, pousse, teneurs en acides lactique et acétique). La teneur en magnésium soluble de la pâte et du pain est influencée par la température et l'hydratation du levain. La biodisponibilité des éléments minéraux Magnésium et Zinc sera augmentée avec l'acidité de la pâte. Dans le cas des pains au levain, la limite de cet effet réside dans l'acceptabilité de l'acidité des pains par le consommateur.
- En marge de cette étude, des expérimentations ont été menées pour observer l'influence de la mouture et de la fermentation sur la teneur en mycotoxines des farines. Si la mouture semble avoir un effet sur cette teneur, il n'a pas été observé d'effet du mode de fermentation (poolish, levains) et les paramètres température et hydratation ont des effets limités.

PARTIE A : INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES FARINES SUR L'ETAPE DE FERMENTATION

INTRODUCTION PARTIE A

La majorité des pains biologiques actuels sont au levain. Le levain apporte au pain les caractéristiques spécifiques (goût, acidité, biodisponibilité des minéraux, conservation plus longue...).

La maîtrise de la conduite du levain est un des gages de qualité du produit fini. Cette maîtrise de la fermentation au levain repose sur différents paramètres dont le milieu (farine, hydratation), l'environnement et les ferments.

L'objectif de cette partie de la contribution au projet est d'étudier l'influence du paramètre farine sur le comportement d'un levain.

En premier lieu la démarche expérimentale sera présentée. Les matériels et méthodes feront l'objet de la deuxième partie. Enfin, les résultats et la discussion figureront en dernière partie.

1) MATERIEL ET METHODES

Pour étudier l'influence du paramètre farine sur le comportement d'un levain, différentes fermentations sont effectuées avec des farines issues de moutures meule ou cylindre (1C, 2C, 1M, 5M et 8C) et de 2 variétés de blé (Renan et Apache).

a) Les matières premières

1 Les ferments

3 ferments différents sont utilisés:

- 1 levain ferme naturel fournit par un industriel (Biofournil SA). C'est une pâte ferme obtenue par fermentation naturelle de farine et d'eau.
- 1 levain liquide commercial (Lesaffre SA), culture mixte de bactéries et levures sélectionnées, avec un fort pourcentage d'eau. Il se conserve 6 semaines à 4°C.
- 1 fabrication Poolish obtenu à partir de levure fraîche achetée en boulangerie.

2 La levure fraîche

Souche de *Saccharomyces cerevisiae*, est achetée en boulangerie.

3 Les farines

- 5 farines différentes provenant de deux variétés : Renan et Apache, utilisées pour la fabrication des levains. Les farines sont caractérisées par le rendement, le taux de cendres, la teneur en amidon endommagé (tableau ci-dessous) et le type de mouture meule ou bien cylindre.

Farine	Rendements (%)		Cendres (%)		Amidon endom. (%)	
	R	A	R	A	R	A
1C	76,4	80,2	0,65	0,6	7	5,9
2C	82,9	87,9	1	1	7	5,9
1M	80,3	88,5	1,02	1	9,6	9,5
5M	72,7	79	0,9	0,88	9,8	9,1
8C	83,5	85,3	1	1	6,2	5,1

b) Démarche expérimentale

1 Fermentation au levain Biofournil

- 10 fermentations au levain (5x2 répétitions) sont réalisées avec 5 farines différentes : 1C, 2C, 1M, 5M, 8C, variété Renan. Ces fabrications sont réalisées selon le procédé Bonébel. Comme la formulation pour le levain Bonébel est faite pour le levain liquide il faut ajuster la quantité d'eau pour ce levain ferme.
- Les 10 fabrications sont effectuées dans les mêmes conditions, à 25°C, pendant 16 heures.
- Des contrôles sont réalisés au cours de la fermentation du levain et sur le produit final (figure n°1).

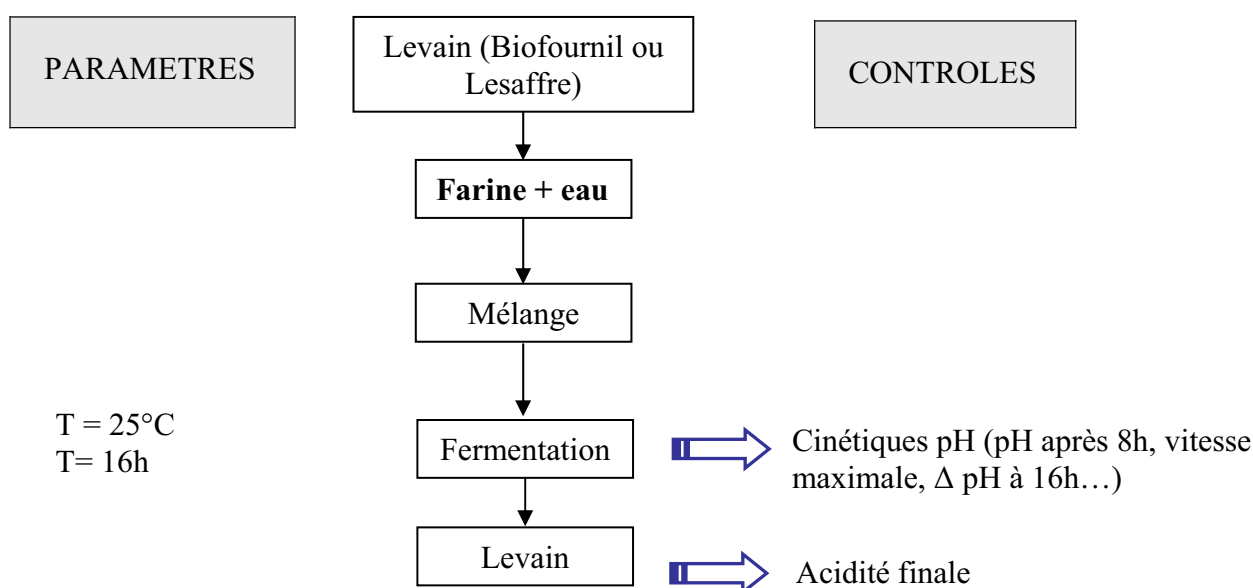


Figure n°1 : Diagramme de fabrication du levain

2 Fermentation au levain Lesaffre

10 fermentations au levain (5x2 répétitions), ainsi que les contrôles, sont réalisées avec 5 farines différentes (1C, 2C, 1M, 5M, 8C, variétés Renan et Apache) comme dans le cas précédent, sauf que le levain liquide Lesaffre est utilisé (figure n°1).

3 Fermentation Poolish

Cette phase consiste à faire fermenter les 5 levains (5*2 répétitions) fabriqués à partir de 5 farines différentes (variété Renan et Apache), pendant 7 heures à 25°C. La fabrication du levain suit le procédé Bonébel comme les deux fermentations précédentes, mais au lieu de rajouter le levain c'est la levure qui est mélangée avec de l'eau et de la farine.

Pendant ces fermentations, le dégagement de CO₂ est mesuré (figure n°2).

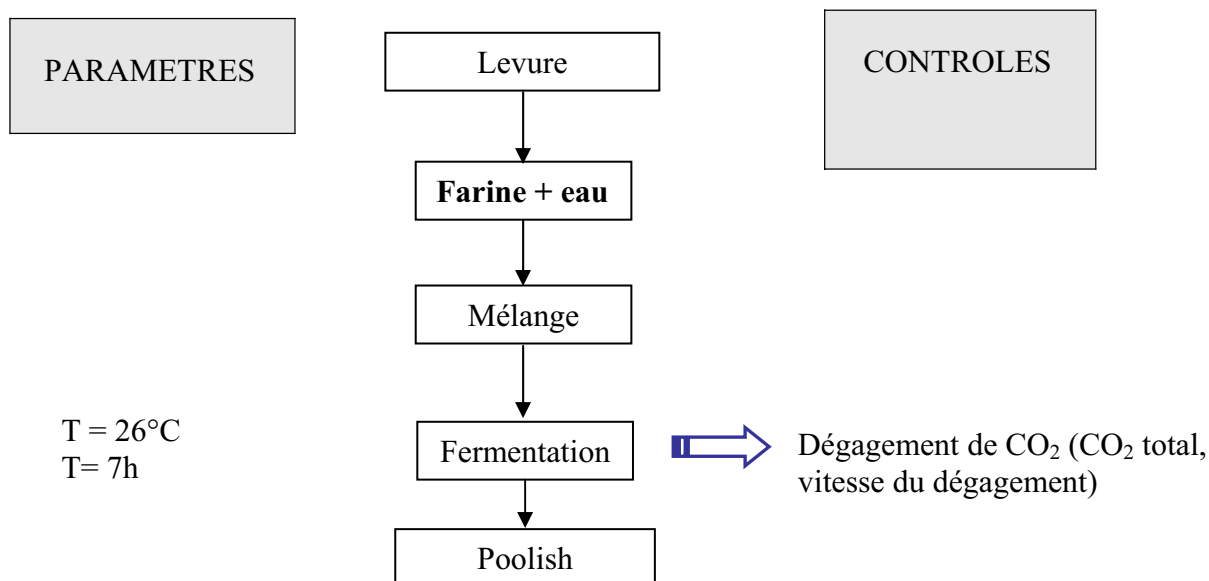


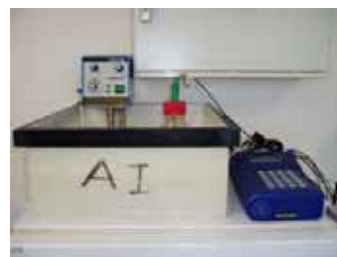
Figure n°2 : Diagramme de fabrication du levain Poolish

c) Méthodes analytiques du levain

1 Analyses physicochimiques et analytiques

♦ Suivi du pH

Au cours de la fermentation au levain (Biofournil et Lesaffre), le pH est mesuré à l'aide de la centrale d'acquisition Solomat. L'appareil peut recevoir plusieurs sondes pH afin de suivre simultanément le pH de plusieurs produits. Après configuration et étalonnage des sondes, l'acquisition est lancée. Une mesure est effectuée toutes les cinq minutes et enregistrée par la centrale Solomat.



♦ Dosage de l'acidité totale titrable (TTA)

Le dosage de l'acidité est effectué sur les échantillons de levain après 16 heures de fermentation à 25°C: 10 g sont prélevés et mis en agitation dans 90 g d'eau distillée dans un bécher. La solution est neutralisée par addition de soude à 0,1N à l'aide d'une burette jusqu'à pH 8,4. Le volume versé correspond à l'acidité totale titrable. Le résultat est exprimé en volume de Soude 0,1N /10g de levain.

♦ Dégagement de CO₂

Le dégagement de CO₂ est mesuré sur des levains Poolish de 50g, placés dans un flacon fermé hermétiquement, suivant le dispositif ci-contre, dans un bain-marie à 25°C.

Le flacon est relié par un tube à une colonne graduée contenant un réactif bleu n'absorbant pas le CO₂. Cette colonne est elle-même reliée à un flacon ouvert (réserve à pression atmosphérique). Le dégagement de CO₂ va entraîner une différence de pression visualisée par le déplacement du liquide ($\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$). Cette différence est lue directement sur la colonne graduée, exprimée en ml de CO₂/100g de pâte.



2 Traitement des résultats : méthodes statistiques

♦ Les réponses étudiées

Un certain nombre de descripteurs est calculé à partir des analyses effectuées sur le levain : cinétiques pH ($pH_{initial}$, pH à 8 heures de fermentation, pH_{final} , ΔpH à 16 heures, V_{max} pH) et acidité totale après fermentation.

Sur le levain Poolish, le dégagement de CO_2 est mesuré.

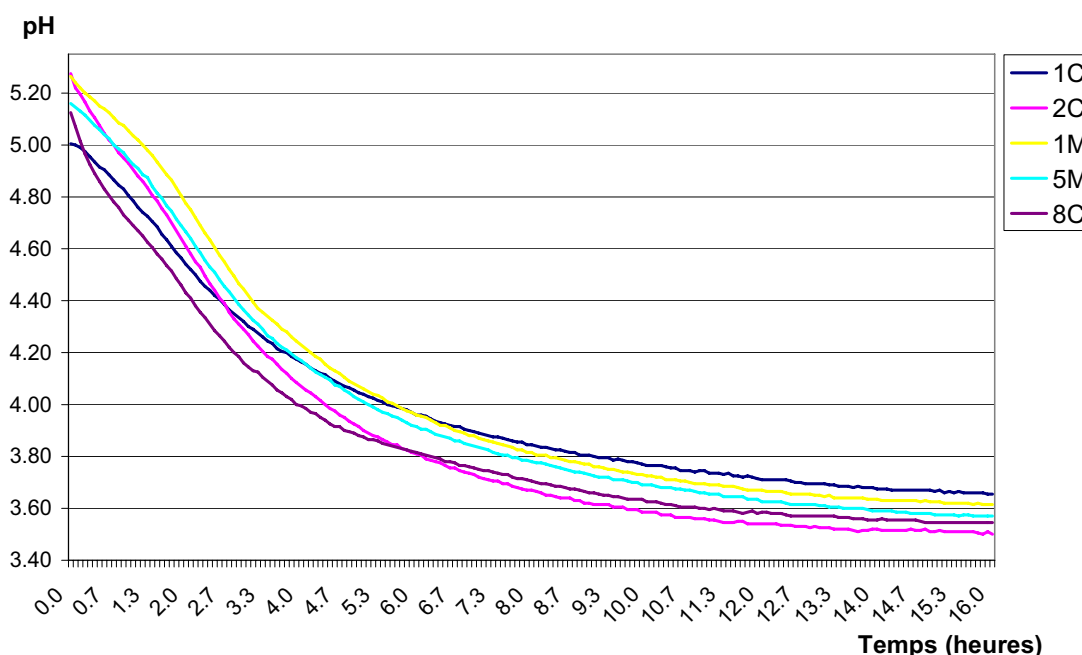
Une analyse de la variance est appliquée aux résultats obtenus afin d'identifier les réponses significatives. Ces réponses représentatives sont retenues pour le traitement par Analyse en Composantes Principales (ACP) pour trouver les corrélations entre les paramètres de la farine et les réponses mesurées sur les levains. Ces traitements statistiques sont réalisés avec le logiciel Statgraphics.

2) RESULTATS ET DISCUSSIONS

a) L'influence de paramètre farine sur le comportement d'un levain : résultats par levain et par farine

1 Activité fermentaire de levain Biofournil

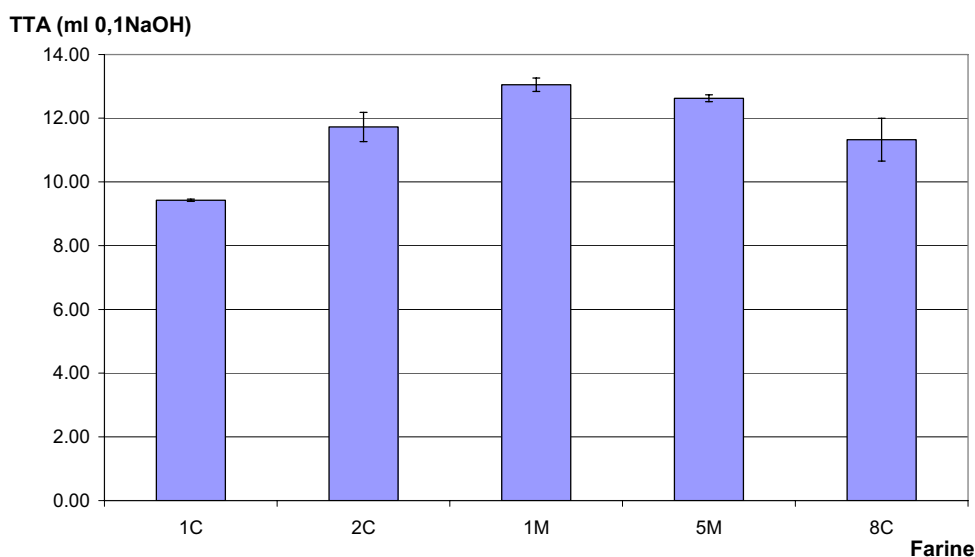
Dans le cas de levain Biofournil il y a peu de différences entre les différentes cinétiques en fonction des farines utilisées (graphique n°1).



Graphique n° 1: Suivi du pH au cours de la fermentation des levains (Biofournil, farine Renan)

Au cours de la fermentation, le pH diminue de 1,36 - 1,78 - 1,65 - 1,59 et 1,58 unités pour les farines 1C, 2C, 1M, 5M et 8C, respectivement. ΔpH de levain fait à partir de la farine 1C et donc le plus faible, en plus ce levain est le moins acide à la fin de fermentation. La farine 1C peut être considéré comme un témoin, c'est la farine avec le taux de cendres le plus faible (0,65% m.s.), donc la moins riche en éléments nutritifs et par conséquent la moins favorable théoriquement à l'activité fermentaire.

L'acidité finale confirme ces résultats (graphique n°2). Le levain élaboré à partir de la farine 1C est le moins acide ($9,43 \pm 0,04$ ml 0,1N NaOH). Par contre le levain fabriqué à partir de la farine 1M est le plus acide ($13,05 \pm 0,21$ ml 0,1N NaOH), c'est la farine dont le taux de cendres est plus important (1,02% m.s.). L'acidité finale des levains élaborés à partir des farines broyées à la meule (farine 1M et 5M) est plus élevée.



Graphique n° 2: Acidité Totale Titrable après fermentation des levains (Biofournil, Renan)

Après avoir étudié les différences de moyennes des réponses sur les levains par analyse de la variance, seules les réponses acidité finale, ΔpH et $V_{\max} pH$ apparaissent comme les réponses représentatives dont les différences de moyennes sont statistiquement significatives (tableau n°1).

Farine	Rendements (%m.h.)	Cendres (%m.s.)	Amidon endommagé (%m.s.)	Réponses significatives		
				Acidité finale (ml 0,1N NaOH)	ΔpH	$V_{\max} pH (h^{-1})$
1C	76,4	0,65	7	9,43	1,36	0,36
2C	82,9	1	7	11,73	1,78	0,42
1M	80,3	1,02	9.6	13,05	1,65	0,36
5M	72,7	0,9	9.8	12,63	1,59	0,42
8C	83,5	1	6.2	11,33	1,58	0,96

Tableau n°1: Réponses significatives des levains et les paramètres des farines (Biofournil, Renan)

Quant à l'acidité finale des levains, ce sont les levains fabriqués à partir de la farine 1C et la farine 1M dont l'écart des moyennes des acidités est le plus important. Les levains 2C et 8C appartiennent à un groupe homogène. ΔpH de levain 1C est distinct de ceux des levains 2C et 1M. Pour la vitesse maximale de pH, c'est le levain 8C qui se différencie des autres levains.

Les réponses significatives sont ensuite traitées par Analyse en Composantes Principales (ACP) pour trouver les corrélations entre les caractéristiques des farines et ces réponses.

L'objectif de cette méthode est de représenter les liens entre les différentes réponses mesurées sur les levains et entre les paramètres des farines. La proximité de deux variables sur le plan factoriel exprime une corrélation positive. Si elles sont opposées, et dans la même direction, cela signifie qu'elles sont corrélées négativement.

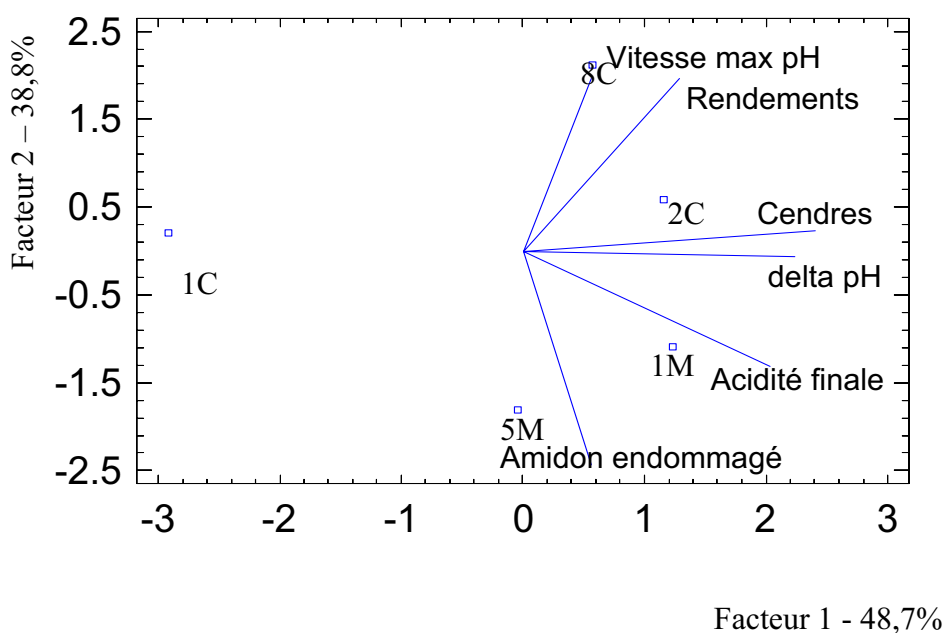


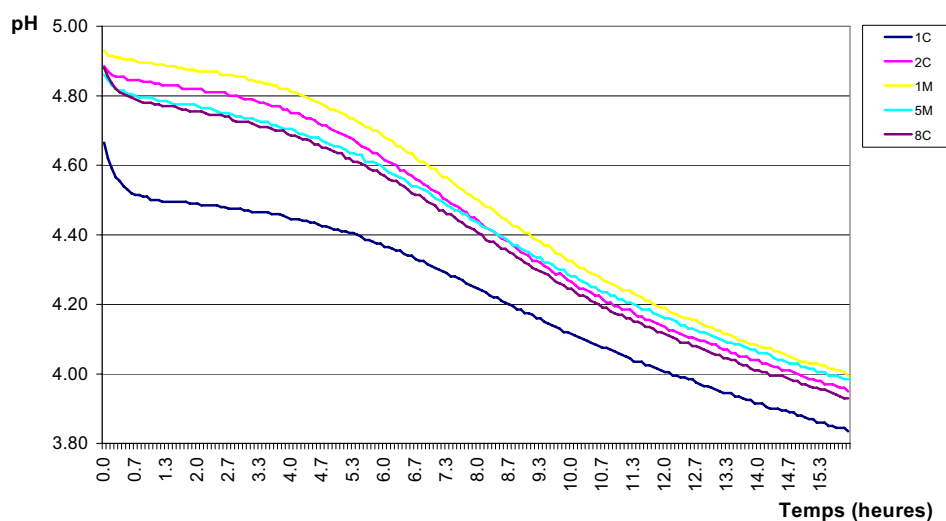
Figure n°3: Analyse en Composantes Principales (Biofournil, Renan)

La figure n°3 représente les axes de corrélations des réponses. Les variables taux de cendres, ΔpH à 16 heures et acidité finale sont corrélées positivement ce qui prouve que l'activité fermentaire est plus élevée en apportant plus de facteurs de croissance. Les descripteurs vitesse maximale de pH et rendements sont négativement corrélés avec amidon endommagé. Le levain 1C, taux de cendres 0,65, se distingue des autres levains pour les réponses observées.

2 Activité fermentaire de levain Lesaffre

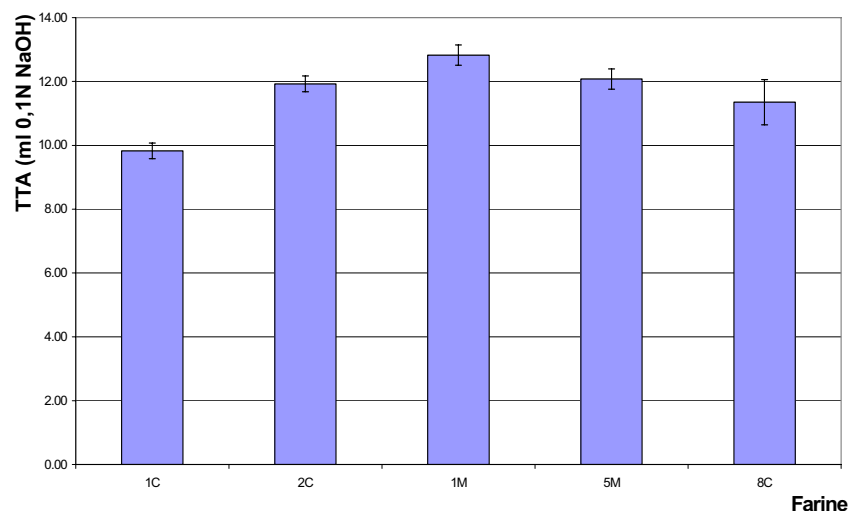
◆ Variété Renan

Dans le cas du levain Lesaffre, les cinétiques pH ne se distinguent non plus. Par contre d'après le graphique n°3 il apparaît que le levain 1C est plus acide que les autres levains.



Graphique n°3: Suivi du pH au cours de la fermentation des levains (Lesaffre, Renan)

Mais les valeurs des acidités totales titrables sur les produits finaux montrent que le levain 1C est le moins acide (graphique n°4), on peut donc supposer que la sonde qui a mesuré le pH du levain 1C a indiqué les valeurs plus basses. En examinant ces résultats sur les acidités finales, on observe de nouveau que c'est le levain 1M qui est le plus acide, tandis que l'acidité de levain 1C est la plus faible. Les autres levains présentent des valeurs proches.



Graphique n°4: Acidité Totale Titrable après fermentation des levains (Lesaffre, Renan)

En appliquant une analyse de la variance sur tous les descripteurs, ce sont les réponses pH initial, pH à 8 heures et acidités finales qui se révèlent significatives (tableau n°2).

Farine	Rendements (%m.h.)	Cendres (%m.s.)	Amidon endommagé (%m.s.)	Réponses significatives		
				pH initial	pH à 8 heures	Acidité finale (ml 0,1N NaOH)
1C	76,4	0,65	7	4,67	4,25	9,83
2C	82,9	1	7	4,89	4,44	11,93
1M	80,3	1,02	9,6	4,93	4,5	12,83
5M	72,7	0,9	9,8	4,86	4,44	12,08
8C	83,5	1	6,2	4,88	4,41	11,35

Tableau n°2: Réponses significatives des levains et les paramètres des farines (Lesaffre, Renan)

pH initial et pH à 8 heures de fermentation est plus faible pour le levain 1C, les autres levains appartiennent dans le même groupe homogène. Par contre en acceptant le fait que la sonde pour le levain 1C montrait les valeurs plus basses, on ne peut pas considérer ces résultats corrects. Quant à l'acidité finale des levains, les résultats se montrent identiques à ceux de Biofournil.

En traitant ces réponses représentatives et les caractéristiques des farines par Analyse en Composantes Principales, on prouve que le pH initial et après 8 heures et l'acidité finale sont positivement corrélés avec le taux de cendres des farines (figure n°4).

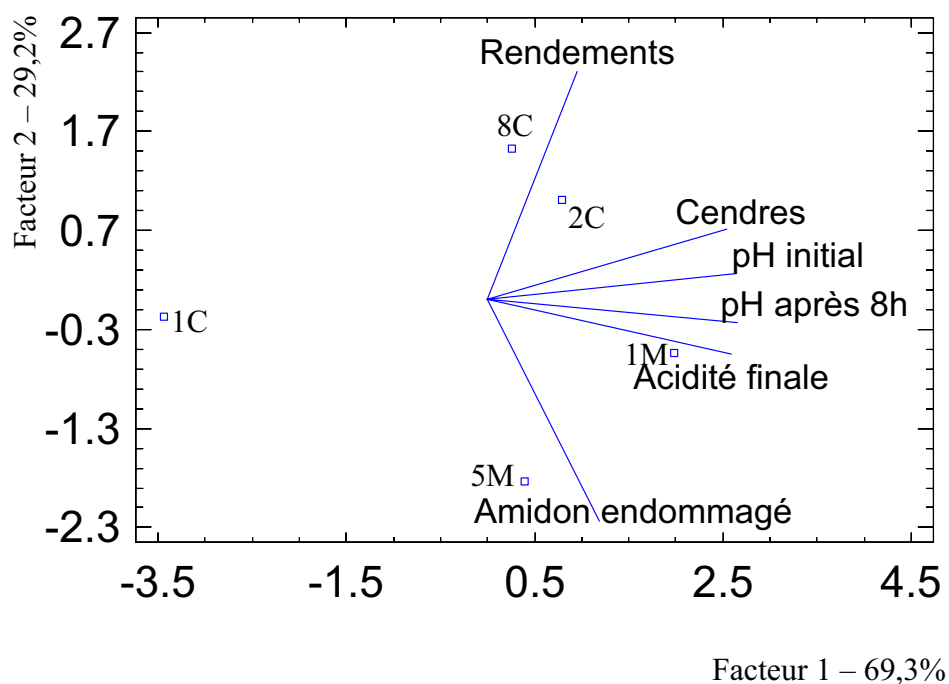
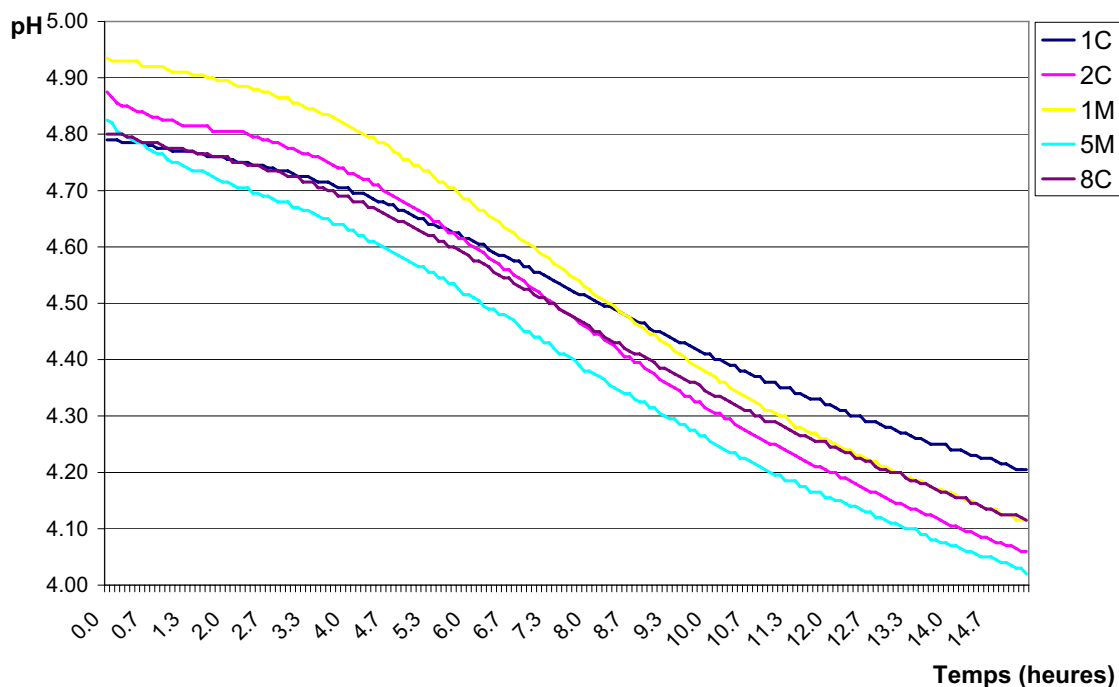


Figure n°4: Analyse en Composantes Principales (Lesaffre, Renan)

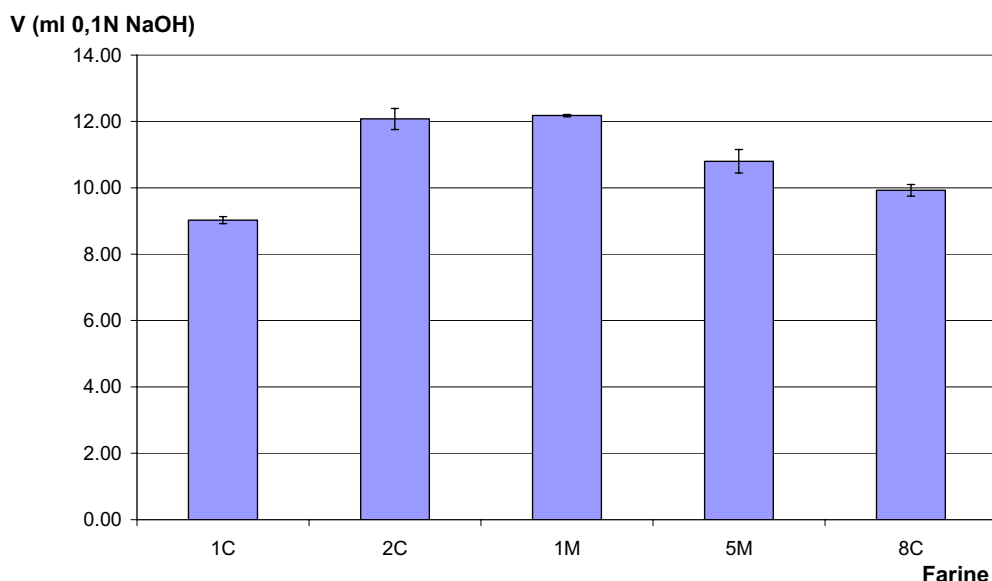
♦ Variété Apache

Comme dans tous les cas précédents les cinétiques pH des différents levains ne varient pas beaucoup même pour les farines de variété Apache (graphique n°5). Mais d'après le graphique n°5 il paraît que le levain 5M est le plus acide tout au long de la fermentation.



Graphique n°5: Suivi du pH au cours de la fermentation des levains (Lesaffre, Apache)

En étudiant l'acidité finale des levains, ce sont les levains 2C et 1M dont l'acidité finale est plus élevée. L'acidité du témoin – levain 1C est le plus faible (graphique n°6).



Graphique n°6: Acidité Totale Titrable après fermentation des levains (Lesaffre, Apache)

Parmi tous les réponses sur les différents levains (annexe n°7), ce sont les réponses pH initial, Δ pH à 16 heures et acidité finale qui sont retenues comme les réponses statistiquement significatives après les avoir traitées par Analyse de la variance (tableau n°3).

Farine	Rendements (%m.h.)	Cendres (%m.s.)	Amidon endommagé (%m.s.)	Réponses significatives		
				pH initial	Δ pH à 16h	Acidité finale (ml 0,1N NaOH)
1C	80,2	0.6	5,9	4,79	0,59	9,03
2C	87,9	1	5,9	4,88	0,83	12,08
1M	88,5	1	9,5	4,94	0,83	12,18
5M	79	0.88	9,1	4,84	0,81	10,8
8C	85,3	1	5,1	4,8	0,7	9,93

Tableau n°3: Réponses significatives des levains et les paramètres des farines (Lesaffre, Apache)

Le levain 1M est le moins acide au début de la fermentation, à la fin il devient plus acide. Δ pH de levain 1C est le plus faible, les autres levains représentent Δ pH similaires. A la fin de fermentation le levain 1C reste toujours le moins acide (9,03 ml 0,1N NaOH), tandis que les acidités des levains 2C et 1M sont plus élevées (environ 12 ml 0,1 N NaOH).

En observant les axes de corrélation (figure n°5), on voit les liens positifs entre le taux de cendres, pH initial, Δ pH et acidité finale. Cela prouve que le paramètre taux de cendres influence l'activité fermentaire des levains.

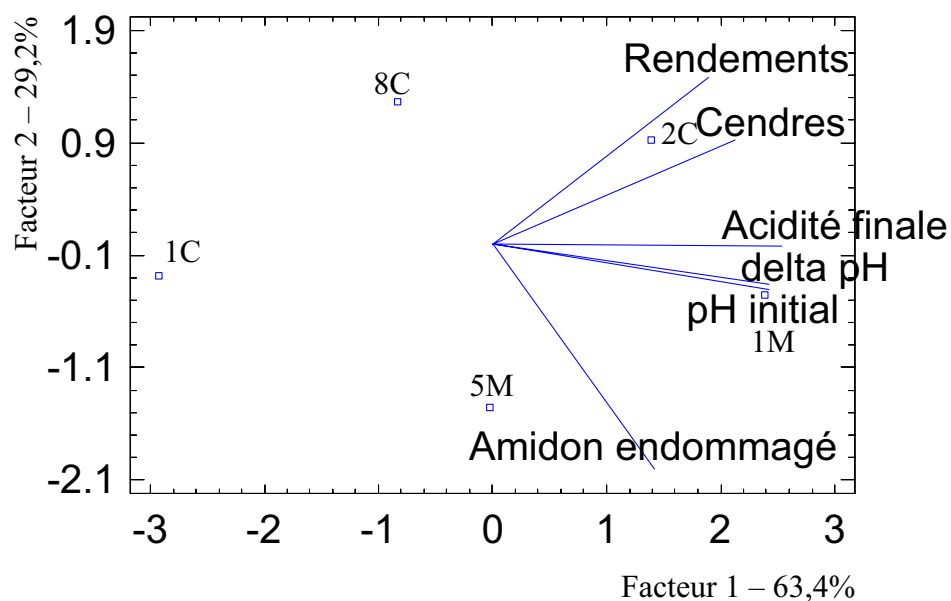
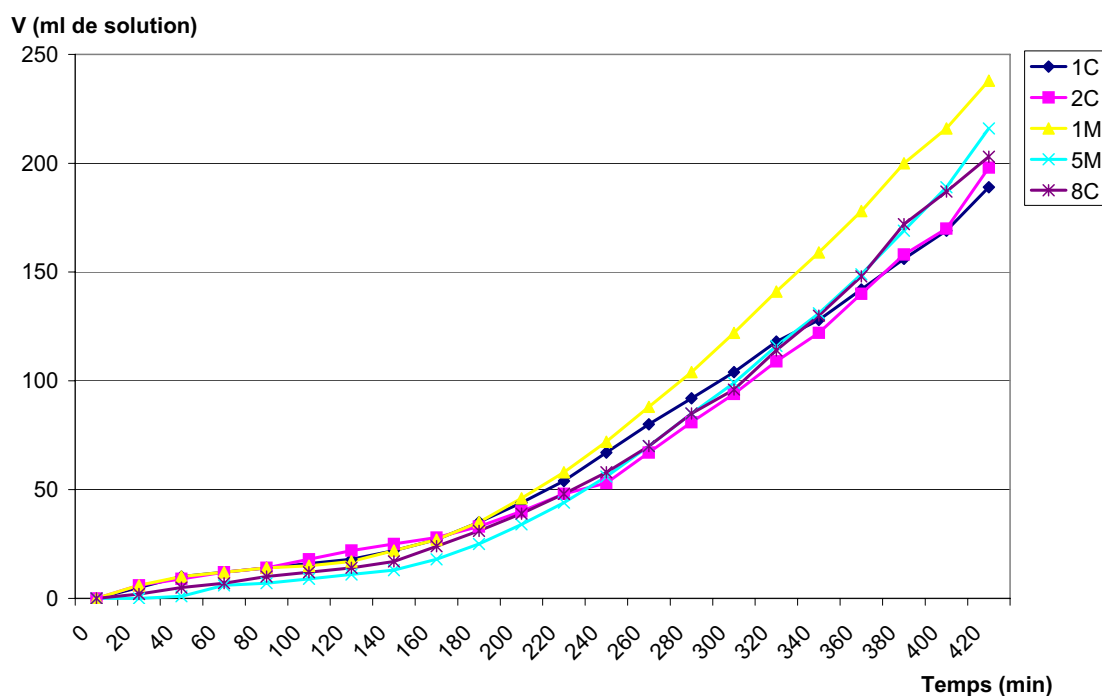


Figure n°5: Analyse en Composantes Principales (Lesaffre, Apache)

3 Activité fermentaire de Poolish

♦ Variété Renan

10 fermentations (5x2 répétitions) au levain Poolish sont effectuées pour étudier l'influence de paramètre farine sur les performances du dégagement de CO₂. Au cours de 7 heures de fermentation à 25°C, le volume de production de gaz est relevé chaque 20 minutes afin d'évaluer les cinétiques de dégagement.



Graphique n°7: Suivi du dégagement de CO₂ au cours de la fermentation (Poolish, Renan)

Il n'y a pas de grandes différences entre les cinétiques du dégagement (graphique n°7). En traitant les résultats CO₂ total et vitesse maximale du dégagement par analyse de variance, on trouve que les vitesses maximales appartiennent à un groupe homogène pour tous les levains étudiés tandis que les moyennes de volume de CO₂ total se distinguent (tableau n°4).

Farine	Rendements (%m.h.)	Cendres (%m.s.)	Amidon endommagé (%m.s.)	V _{max} (ml CO ₂ /min, 100g)	Réponse significative
					CO ₂ total (ml, 100g)
1C	76,4	0,65	7	0,66	189
2C	82,9	1	7	0,86	198
1M	80,3	1,02	9,6	1	238
5M	72,7	0,9	9,8	0,86	216
8C	83,5	1	6,2	0,86	203

Tableau n°4: Réponses sur Poolish (Renan) et les paramètres des farines

L'Analyse en Composantes Principales démontre que le taux de cendres et aussi l'amidon endommagé sont liés avec le CO₂ total (figure n°6). Les levains fabriqués à partir des farines broyées à la meule ont la quantité de CO₂ total dégagé plus élevée que les levains élaborés à partir des farines cylindres.

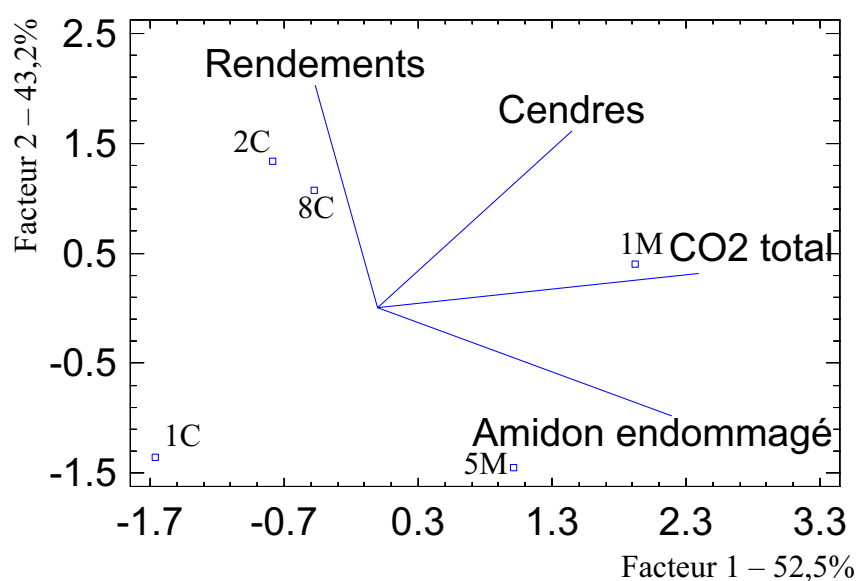
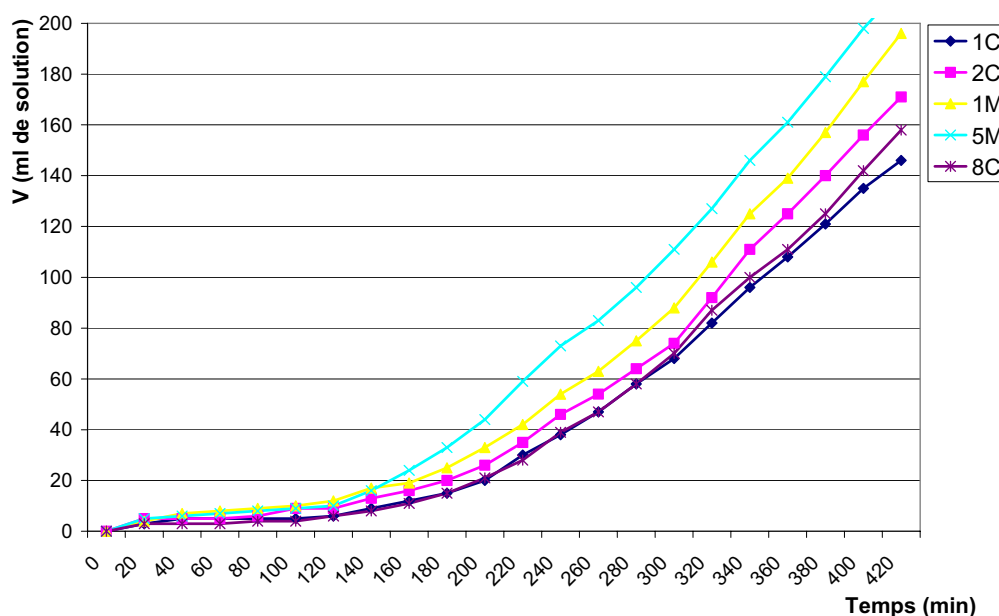


Figure n°6: Analyse en Composantes Principales (Poolish, Renan)

♦ Variété Apache

Les cinétiques du dégagement de CO₂ sur les levains Poolish fabriqués à partir des farines de variété Apache se révèlent similaires. Comme dans le cas précédent ce sont les levains 1M et 5M dont le dégagement de CO₂ est plus élevé. Le dégagement de CO₂ du levain 1C est plus faible (graphique n°8).



Graphique n°8: Suivi du dégagement de CO₂ au cours de la fermentation (Poolish, Apache)

Les vitesses maximales du dégagement sont similaires (tableau n°5), donc c'est seulement le CO₂ total qui est traité par Analyse en Composantes Principales. Les levains 1C et 5M n'appartiennent pas dans un groupe homogène.

Farine	Rendements (%m.h.)	Cendres (%m.s.)	Amidon endommagé (%m.s.)	V _{max} (ml CO ₂ /min, 100g)	Réponse significative
					CO ₂ _{total} (ml, 100g)
1C	76,4	0,65	7	0,7	146
2C	82,9	1	7	0,96	171
1M	80,3	1,02	9,6	0,96	196
5M	72,7	0,9	9,8	0,96	214
8C	83,5	1	6,2	0,86	158

Tableau n°5: Réponses sur Poolish (Renan) et les paramètres des farines

L'Analyse en Composantes Principales montrent que le CO₂ total est étroitement lié avec le pourcentage d'amidon endommagé des farines. C'est toujours le levain 1C qui sert comme le témoin qui est à l'écart des autres levains (figure n°7).

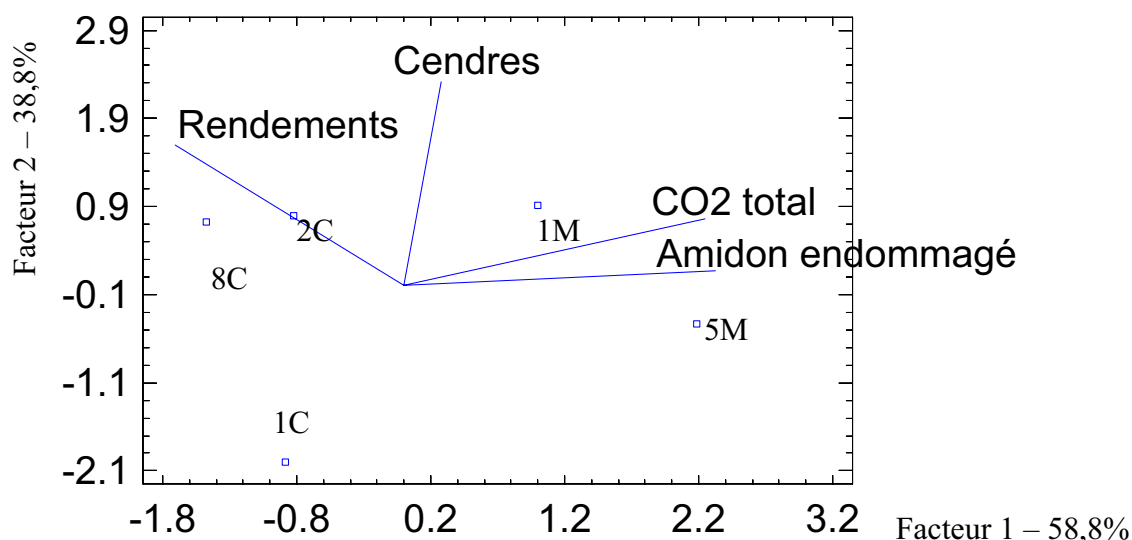


Figure n°7: Analyse en Composantes Principales (Poolish, Apache)

b) L'influence de paramètre farine sur le comportement d'un levain : synthèse de l'ensemble des résultats

1 Caractéristiques des farines utilisées pour les essais de panification selon le diagramme de fabrication (tableau n°1)

Mouture	Variété de blé	Farine (passages)	Taux cendres (% m.s.)
C1 : cylindre 1 Mouture témoin	Renan	Ft + Fb	0,65
	Apache	Ft + Fb	0,6
C2 : cylindre 2 Mouture référence	Renan	Ft + Fb + 7,8% Fbbl	1,00
	Apache	Ft + Fb + Fbbl	1,00
C8 : cylindre 8 Mouture « bise »	Renan	Ft + Fb + 27% SB	1,00
	Apache	Ft + Fb + 35% SB	1,00
M1 : Meule 1 Mouture référence (« à sec »)	Renan	F1	1,02
	Apache	F1 + F2 + 3,3% F3	1,00
M5 : Meule 5 Mouture décorticage fort	Renan	F1	0,90
	Apache	F1	0,88

Tableau n°1 : Caractéristiques des moutures

Ft : farines de broyage + farines de convertissage
Fb : farines de broches des issues
Fbbl : farines de blutage des issues brochées micronisées
SB : semoules bises

F1 : farine de blutage tamis 1
F2 : farine de blutage tamis 2
F3 : farine de blutage tamis 3

2 Synthèse des résultats : Analyse en Composantes Principales

ACP Levain Biofournil/Lesaffre

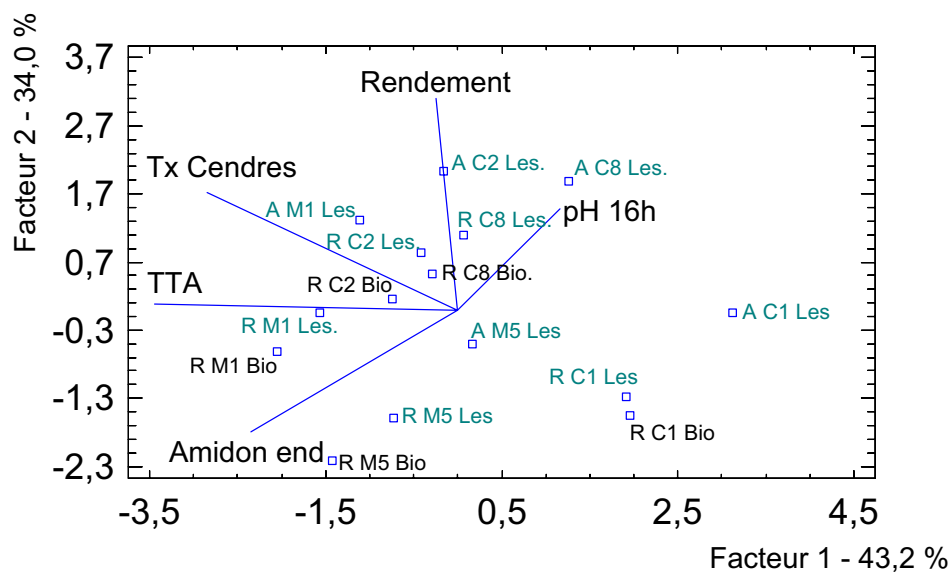


Figure n°1 : ACP Levain Biofournil/Lesaffre

3 Résultats des tests au levain naturel ferme (Biofournil) et levain liquide (Lesaffre)

De façon générale, l'utilisation d'un levain naturel ou liquide commercial n'influence pas l'acidité de la pâte (tableau n° 1).

Le type de broyage influence l'acidité du levain et par conséquent celle du pain.

La panification au levain à partir de farines broyées sur meules, permet d'obtenir des pâtes plus acides.

Caractéristiques farine							Fermentation	Réponses mesurées				
Variété blé	Mouture	Rendement (% m.h.)	Cendres (% m.s.)	Amidon end. (% m.s.)	Granulométrie D50 (µm)	Granulométrie Dispersion (µm)	Levain	pH initial	pH 8h	pH 16h	ΔpH	TTA (ml NaOH 0,1N)
Apache	Cylindre 1	80,2	0,6	5,9	77	141	Les.	4,79	4,51	4,2	0,59	9,03
Renan	Cylindre 1	76,4	0,65	7	86	145	Bio.	5,01	3,84	3,66	1,36	9,43
Renan	Cylindre 1	76,4	0,65	7	86	145	Les.	4,67	4,25	3,84	0,83	9,83
Apache	Cylindre 2	87,9	1	5,9	73	142	Les.	4,88	4,46	4,05	0,83	12,08
Renan	Cylindre 2	82,9	1	7	80	145	Bio.	5,28	3,67	3,5	1,78	11,73
Renan	Cylindre 2	82,9	1	7	80	145	Les.	4,89	4,44	3,95	0,94	11,93
Apache	Cylindre 8	85,3	1	5,1	163	228	Les.	4,8	4,46	4,11	0,7	9,93
Renan	Cylindre 8	83,5	1	6,2	155	253	Bio.	5,2	3,7	3,55	1,58	11,33
Renan	Cylindre 8	83,5	1	6,2	155	253	Les.	4,88	4,41	3,93	0,95	11,35
Apache	Meules 1	88,5	1	9,5	67	165	Les.	4,94	4,53	4,11	0,83	12,18
Renan	Meules 1	80,3	1,02	9,6	69	147	Bio.	5,15	3,81	3,62	1,65	13,05
Renan	Meules 1	80,3	1,02	9,6	69	147	Les.	4,93	4,5	4	0,94	12,83
Apache	Meules 5	79	0,88	9,1	50	129	Les.	4,84	4,38	4,02	0,81	10,8
Renan	Meules 5	72,7	0,9	9,8	71	149	Bio.	5,19	3,78	3,57	1,59	12,63
Renan	Meules 5	72,7	0,9	9,8	71	149	Les.	4,86	4,44	3,99	0,88	12,08

Tableau n° 2 : Résultats pH et TTA des essais Lesaffre et Biofournil

♦ * ACP Essais levain Biofournil

➤ Seule, la variété Renan a été testée pour les essais Biofournil

Facteur 1 : 50,5%

Facteur 2 : 39,9%

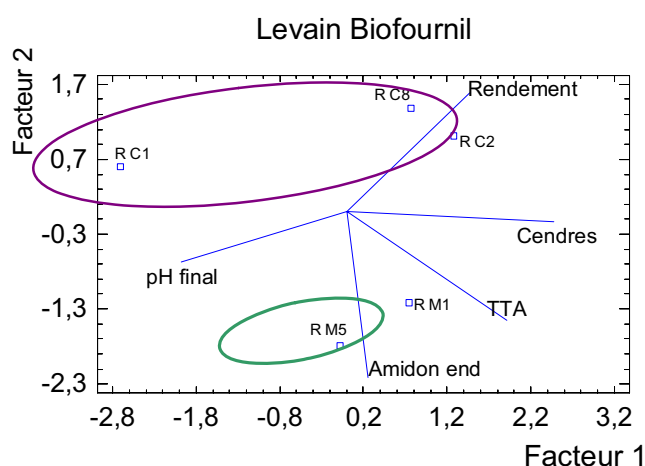


Figure n°2 : ACP Levain Biofournil

- L'acidité totale de la pâte est liée à la quantité d'amidon endommagé : les sucres sont davantage accessibles pour les bactéries lactiques, donc une activité fermentaire plus importante.

- **La mouture meule favorise la fermentation acide** (figure n°2, cercle vert): obtention d'une pâte plus acide donc un pain au levain plus caractéristique. La farine complète apporte davantage de minéraux, ce qui favorise l'activité des bactéries lactiques. De plus, son pouvoir tampon ralenti la baisse de pH, les bactéries sont moins sensibles à l'acidité du milieu et par conséquent augmente l'activité microbienne lactique.

♦ ACP Essais levain Lesaffre

➤ Les deux variétés de blé ont été testées pour les essais Lesaffre

Facteur 1 : 49,1%

Facteur 2 : 31,7%

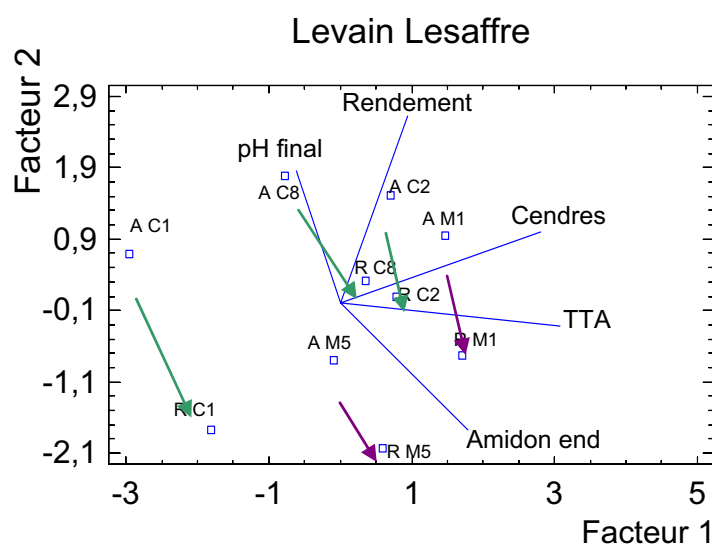


Figure n°3 : ACP Levain Lesaffre

- **La variété de blé influence l'acidité de la pâte** : la variété Renan semble augmenter l'acidité de la pâte pour les deux types de mouture cylindre (Figure n°3, flèche verte) et meule (figure n°3, flèche violette).

- Cependant, **le type de mouture influence l'acidité de la pâte** : la **meule 1** donne des pâtes plus acides que la meule 5 et les moutures issues de cylindres.

4 ACP Essais fabrications Poolish

Variété blé	Mouture	Rendement (% m.h.)	Cendres (% m.s.)	Amidon end. (% m.s.)	Granulométrie D50 (µm)	Granulométrie Dispersion (µm)	CO ₂ total (ml/100g)
Apache	Cylindre 1	80,2	0,6	5,9	77	141	146
Renan	Cylindre 1	76,4	0,65	7	86	145	189
Apache	Cylindre 2	87,9	1	5,9	73	142	171
Renan	Cylindre 2	82,9	1	7	80	145	198
Apache	Cylindre 8	85,3	1	5,1	163	228	158
Renan	Cylindre 8	83,5	1	6,2	155	253	203
Apache	Meules 1	88,5	1	9,5	67	165	196
Renan	Meules 1	80,3	1,02	9,6	69	147	238
Apache	Meules 5	79	0,88	9,1	50	129	214
Renan	Meules 5	72,7	0,9	9,8	71	149	216

Tableau n°3 : Résultats du dégagement de CO₂ des pâtes issues de la fabrication Poolish

- La production de CO₂ illustre l'activité fermentaire des levures. Elle est corrélée directement avec la quantité d'amidon endommagée (figure n°4). L'amidon devient accessible aux enzymes présentes dans la farine, qui vont transformer l'amidon en sucres simples. Ces sucres vont être transformés en alcool et dioxyde de carbone.

- Le type de mouture meule influence la production de gaz : la farine issue de meule est dite complète, elle apporte des éléments nutritifs (minéraux, vitamines...) ce qui favorise l'activité microbienne.

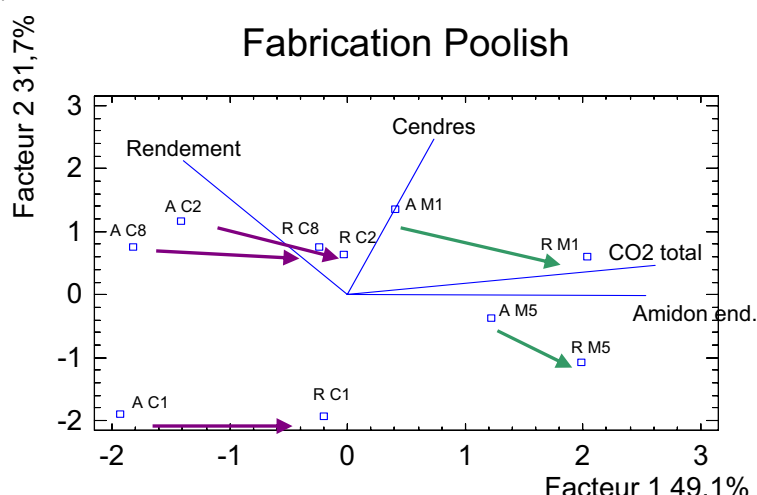


Figure n°4 : ACP Poolish

- La variété de blé semblerait aussi influencer l'activité fermentaire : la variété Renan se rapproche de la composante CO₂ (figure n°4).

CONCLUSION PARTIE A

D'après cette partie de l'étude, l'augmentation du taux de cendres des farines favorise l'activité acidifiante des levains, donc l'activité des bactéries lactiques. La mouture sur meule et la variété Renan ont tendance à augmenter l'acidité des levains.

Quant aux fermentations sur Poolish, le pourcentage d'amidon endommagé des farines, la mouture sur meule et la variété Renan influencent positivement le dégagement de CO₂ pendant la préfermentation.

PARTIE B : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE PAINS ISSUS DES TACHES 2/T6 ET 3/T3

1) INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Les pains au levain présentent des différences d'aspect et de goût liées pour partie à leurs caractéristiques physico-chimiques. Peu d'informations sont disponibles sur ces caractéristiques ayant pour référence, la législation sur les pains au levain (décret pain 93-1074).

Les objectifs de cette partie de l'étude étaient donc :

- de caractériser du point de vue physico-chimique, différents pains bio du commerce
- de mettre en relation ces caractéristiques avec d'autres analyses ou observations.

2) ECHANTILLONS

Différents pains commerciaux ont été analysés. Ils proviennent d'un échantillonnage réalisé dans les tâches 2/T6 et 3/T3.

- Série 1 : échantillons commerciaux tests conso (Tâche 2/T6)
- Série 2 : échantillons commerciaux enquête pratiques boulangères (Tâche 3 - HC)

3) METHODES ANALYTIQUES DES PAINS COMMERCIAUX

a) Mesure du pH

Les échantillons de pain ont été conservés par congélation, jusqu'à analyse.

Après décongélation, 10g de produit sont dilués dans de l'eau distillée et broyés. La mesure de pH est effectuée sur cette solution.

b) Dosage de l'acidité totale titrable (TTA)

Le dosage de l'acidité est effectué sur les échantillons de pain mis en solution (paragraphe 3.1.1). La solution est neutralisée par addition de soude à 0,1N à l'aide d'une burette jusqu'à pH 8,4. Le volume versé correspond à l'acidité totale titrable. Le résultat est exprimé en volume de Soude 0,1N /10g de pain.

c) Dosage des acides organiques

Les acides L et D lactique, l'acide acétique issus de l'activité des bactéries lactiques du levain, sont dosés par kit enzymatique (Biosentec).

4) RESULTATS ET COMMENTAIRES

Les résultats obtenus pour les 24 produits commerciaux analysés sont regroupés dans le tableau B1 ci-dessous.

Les pH de ces pains, dits au levain, varient de 4,0 à 5,4. Les autres descripteurs Acidité Titrable (TTA), teneur en acides L et D lactique et acide acétique, ainsi que le QF (Quotient Fermentaire : rapport entre les concentrations molaires de l'acide lactique et de l'acide acétique) montrent également des variations importantes. Notons une certaine variabilité des réponses dans le temps pour un même fournisseur.

Echantillons n=24	pH	TTA	Ac L lactique	Ac D lactique	Ac lactique total	Ac acétique	QF (Lact/acét)
		Vol NaOH/10g	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	
PTB 1 27/09	4,01	7	3,67	2,30	5,97	0,94	4,23
PTB 2 27/09	4,06	8,3	4,00	2,46	6,45	0,96	4,49
PTB 65	4,03	6,9	2,97	2,86	5,83	0,94	4,15
PTB 110	4,42	7,3	2,43	2,43	4,86	0,77	4,23
PT Epeau	4,83	6,8	2,97	1,89	4,86	0,87	3,73
PVT 60 26/09	4,07	5,6	3,62	1,30	4,91	0,46	7,09
14105LB 0,39	4,36	6,2	3,08	2,19	5,27	0,91	3,86
pd08 0705 d	4,4	6,2	4,75	0,65	5,40	0,59	6,06
pv tourton 27/09	4,1	8	4,91	1,92	6,83	1,31	3,49
F C T	4,3	4,9	2,59	1,97	4,56	0,79	3,87
boule bio L.	4,83	5,7	2,97	1,38	4,35	0,91	3,17
levain jy 6 27/09	4,54	6,7	3,73	1,84	5,56	1,02	3,65
Bonebel oct	4,65	3,8	1,80	1,65	3,45	0,54	4,26
B. oct	4,66	5,4	1,74	1,46	3,20	1,00	2,13
Boule bio distrib. oct	4,16	5,8	3,72	1,43	5,15	0,86	4,00
Boule bio distrib. juin	4,19	6,5	4,54	0,86	5,40	0,85	4,2
boule R/ 28 06	4,62	5,3	1,94	0,92	2,86	0,99	1,9
boule R/ 09 06	4,92	4,5	1,66	0,65	2,31	0,76	2,0
PT/28 06	4,72	5,3	1,81	1,06	2,87	1,19	1,6
PT/09 06	5,41	3,75	1,23	0,50	1,73	0,51	2,3
Bonnebel/28 06	4,69	4,3	1,62	1,1	2,72	0,53	3,4
Bonnebel/09 06	4,32	5,5	2,2	0,95	3,16	1,1	1,9
campagne Bio/28 06	4,72	4,5	1,58	0,77	2,35	0,85	1,8
campagne distrib.09 06	4,53	4,75	2,1	0,14	2,24	1,18	1,26

Tableau B1 : Analyses physico-chimiques de pains au levain commerciaux
(valeurs extrêmes surlignées)

Les variations en termes de valeurs maximales, minimales, moyennes et d'écart types sont résumées dans le tableau B2 ci-dessous.

échantillons (n=24)	pH	TTA	Ac L lactique	Ac D lactique	Ac lactique total	Ac acétique	QF (Lact/acét)
		Vol NaOH/10g	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	
Max	5,4	8,3	4,9	2,9	6,8	1,3	7,1
Min	4,0	3,8	1,2	0,1	1,7	0,5	1,3
Moyenne	4,5	5,8	2,8	1,4	4,3	0,9	3,5
Ecart-type	0,3	1,2	1,1	0,7	1,5	0,2	1,4
Coef.de variation (%)	7,7	21,3	38,8	49,3	35,1	25,7	40,8

Tableau B2 : Bilan des variations sur les résultats d'analyses physico-chimiques de pains au levain commerciaux

Ces résultats tendent à montrer de fortes différences d'un levain à un autre en terme de métabolisme des bactéries lactiques composant ces levains. Ces variations, si l'on ne tient pas compte des variations dues aux méthodes d'analyse, peuvent être dues à la nature des flores présentes (bactéries lactiques homo ou hétéro-fermentaires), aux paramètres de conduite des levains (température, temps, hydratation) et aux caractéristiques des farines mises en œuvre. Elles posent aussi question par rapport au texte du décret pain dans sa partie relative au pain au levain et aux caractéristiques exigées pour cette appellation ($\text{pH} \leq 4,3$, teneur en acide acétique > 900 ppm soit $0,9\text{g/kg}$).

La mise en relation de ces descripteurs physio-chimiques avec les observations des pratiques boulangères d'une part et les analyses physiques et sensorielles des produits n'a pu être réalisée faute de temps et d'accès aux informations des pratiques boulangères.

CONCLUSION PARTIE B

Il apparaît de fortes variations entre des produits commerciaux issus de panification au levain, concernant leurs caractéristiques physico-chimiques (pH, Acidité, teneurs en acides organiques). Ces résultats sur des produits présents sur le marché, ne constituent qu'un éclairage partiel, à un moment donné, il serait nécessaire d'élargir l'échantillonnage et de mettre ces résultats en relation avec les pratiques boulangères.

PARTIE C : OPTIMISATION D'UN PROCEDE DE FERMENTATION AU LEVAIN DE BLE CONCASSE



1) CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche national sur l'amélioration de la qualité des pains biologiques, en partenariat avec l'INRA de Theix, des artisans boulangers et l'ENITIAA.

Un nouveau procédé de panification à partir de farine complète (pain Bonébel) a été récemment développé en vue d'accroître la densité nutritionnelle du pain en fibres, minéraux et vitamines.

Cependant l'utilisation de ce type de farine peut altérer les caractéristiques finales du produit par la présence de téguments. De plus, l'acide phytique présent en grande quantité dans la farine complète rend indisponible les minéraux, notamment le magnésium par une réaction de complexation. Il faut donc adapter le mode de panification en vue de conserver la totalité des minéraux.

Une solution envisagée, la pré-fermentation au levain : Par acidification du milieu, la concentration en acide phytique est abaissée (Rémesy, Lennhardt, 2005).

L'objectif de ce projet est donc d'optimiser un procédé de fermentation au levain de blé concassé dans le but d'augmenter la densité nutritionnelle du pain (augmenter la biodisponibilité du magnésium) :

- Sélectionner un ferment parmi ceux issus du commerce ou d'artisans boulangers en comparant leur activité sur la fermentation de blé concassé.
- Optimiser les paramètres de la fermentation du levain avec le ferment sélectionné.

2) METHODOLOGIE

Trois étapes principales ont été nécessaires pour mener à bien ce projet :

- tout d'abord la phase de sélection du ferment parmi cinq proposés
- ensuite, la phase d'optimisation avec le ferment choisi
- et enfin la validation de l'optimisation.

a) Démarche expérimentale

1 Sélection du ferment

5 fermentations au levain, ainsi que la fabrication de la pâte à partir de ces levains, sont réalisés avec 5 ferments différents.

Une fabrication Poolish servira de référence. Ces fabrications sont réalisées selon le procédé Bonébel.

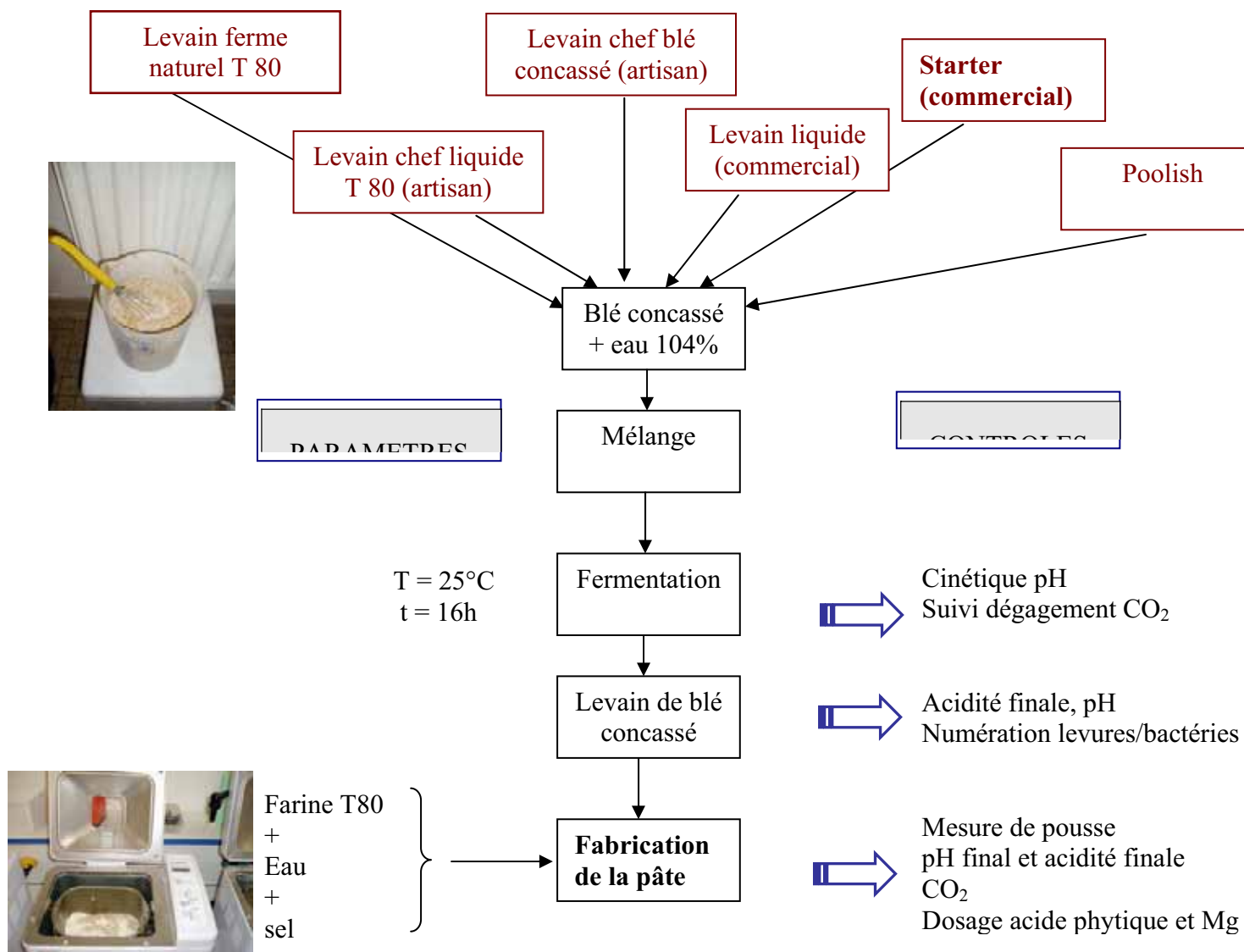


Figure n° 1: Diagramme de fabrication du levain et de la pâte

2 Optimisation du procédé de fermentation du levain

La phase d'optimisation consiste à déterminer les conditions optimales de fermentation pour obtenir une **pâte à haute valeur nutritionnelle** :

- riche en minéraux disponibles (magnésium, zinc...).
- concentration en acide phytique minimale.

D'autre part, on souhaite obtenir une **activité fermentaire satisfaisante** :

- pousse maximale
- pH du pain $\approx 4,3$ (réglementation pain au levain)

Pour cela nous avons fait varier trois paramètres de fermentation :

- la température (T)
- le temps (t)
- l'hydratation du levain (H) : % eau pour 100g de blé, selon un plan d'expériences centré composite, dont le niveau des facteurs figure dans le tableau n°1.

La méthodologie de réponse de surface a été utilisée comme méthode statistique.

Variables	Niveau des facteurs				
	- α	-1	0	+1	+ α
Temps (heures)	12	13	15	17	18
Température (°C)	10	14	20	26	30
Hydratation (%)	100	120	150	180	200

Tableau n°1: Domaine expérimental du plan d'expériences

Les données seront traitées par régression multiple et Analyse en Composantes Principales, à l'aide du logiciel Statgraphics, pour déterminer les effets significatifs et corrélation entre les réponses (tableau n°2) :

Etape	Réponses
	- PHINITIAL ; PHFINAL
LEVAIN	- VMAX PH
	- TTA (TOTAL TITRABLE ACIDITY)
	- PH AVANT ET APRES FERMENTATION (PH T0 ; PH TF)
	- TTA AVANT ET APRES FERMENTATION (TTA T0 ; TTA TF)
	- ACIDE ACETIQUE ET LACTIQUE (ACETATE ; LACTATE)
PATE	- CO2 TOTAL DEGAGE
	- POUSSE TF
	- MAGNESIUM SOLUBLE (MG SOLUBLE)

Tableau n°2 : Réponses étudiées

3 Application : Panification du levain optimisé et validation

Après avoir déterminé les conditions optimales de fermentation des levains, une fabrication sera réalisée dans ces conditions là.

Pour valider l'optimisation, le levain optimisé sera analysé et utilisé pour une panification comparative avec le procédé Bonébel actuel.

b) Les matières premières

1 Les ferments

6 ferments différents ont servi pour la phase de sélection :

- **1 levain chef naturel** de blé concassé entretenu par un boulanger artisan. Ce levain est obtenu à partir d'un mélange de blé concassé et d'eau, soumis à une fermentation naturelle à 10°C, dans le fournil du boulanger. La conservation se fait par rafraîchis et maintien à 10°C.
- **1 levain chef liquide naturel** issu de la fermentation d'un mélange eau – farine T80 et entretenu par un boulanger artisan. Une forte hydratation de la farine est nécessaire pour obtenir un levain crémeux. La conservation se fait par rafraîchis et maintenu à 10°C.
- **1 levain ferme naturel** fourni par un industriel. C'est une pâte ferme obtenue par fermentation naturelle de farine et d'eau.
- **1 starter commercial** : il s'agit d'une culture mixte de bactéries et levures sélectionnées dont la composition est inconnue. Ce type de ferment se trouve sous forme déshydratée, à conserver entre -25°C et -18°C. Il est conseillé d'ensemencer 10g pour 5kg de farine.
- **1 levain liquide commercial**, culture mixte de bactéries et levures sélectionnées, avec un fort pourcentage d'eau. Il se conserve 6 semaines à 4°C.
- **1 fabrication Poolish** obtenue à partir de levure fraîche achetée en boulangerie.

2 La farine et le blé concassé

- Le **blé concassé** constitue l'ingrédient principal du levain. C'est du **blé broyé biologique** issu du premier et second broyage (Minoterie Girodineau, 44310 S^t Colomban).
- La farine utilisée pour la fabrication de la pâte est de la **farine de froment biologique T80**, ce qui correspond à un taux de cendre d'environ 0,85% (Minoterie Girodineau, 44310 S^t Colomban).

3 Le sel

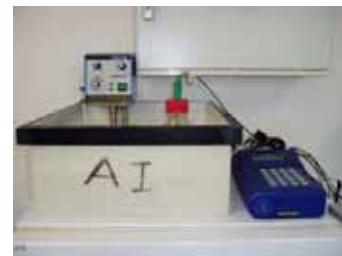
Le sel employé est du sel de cuisine.

4 La levure fraîche

Il s'agit d'une souche de *Saccharomyces cerevisiae*, achetée en boulangerie.

c) Analyses biochimiques et physicochimiques

- Suivi du pH : Mesure du pH au cours du temps (/20 min) à l'aide de la centrale d'acquisition SOLOMAT.
- Dosage de l'acidité totale titrable : TTA(ml NaOH/10g.) : Neutralisation de 10g de levain ou 10 g de pâte, par addition de soude à 0,1N à l'aide d'une burette jusqu'à pH = 8,4. Vversé = TTA
- La pousse : Mesure du volume de la pâte toutes les 20 min, pendant 2h. Le rapport de la hauteur à l'instant (t) sur la hauteur initiale correspond à la pousse.



- Dégagement de CO₂ (ml CO₂/100g)

Le dégagement de CO₂ est mesuré sur des pâtons de 100g, maintenus à 25°C, à l'aide du dispositif ci-contre.

- Dosage de l'acide phytique par HPLC (mg/100g)

L'acide phytique est dosé par chromatographie ionique en phase liquide (INRA Theix, Annexe n° 3).

- Dosage du magnésium total et soluble (mg/100g)

Le magnésium est dosé par spectrométrie d'absorption atomique à 285 nm (INRA Theix, Annexe 4)

- Magnésium total : traitement acide fort
- Magnésium soluble : dosage du surnageant

- Dosage de l'acide lactique et acétique (g/L)

La teneur en acides organiques de la pâte est déterminée à l'aide du kit enzymatique **Enzytec**.



3) RESULTATS ET DISCUSSIONS

a) Sélection du ferment

1 Activité fermentaire des pâtes

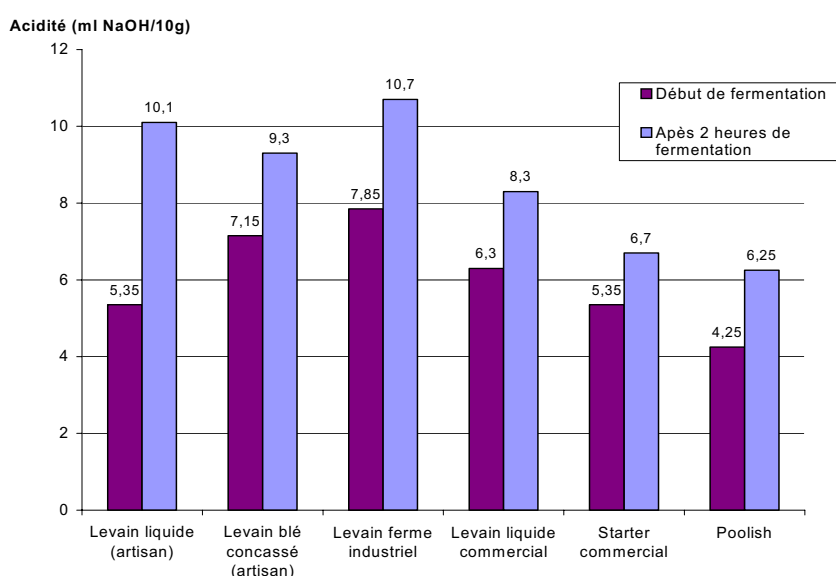
- ◆ Acidité Totale Titrable (en ml de NaOH à 0,1N/10g)

Levain	1	2	3	4	5	6
	Levain liquide (artisan)	Levain de blé concassé (artisan)	Levain ferme industriel	Levain liquide commercial	Starter commercial	Poolish
Levures (UFC/g)	$3,6 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^7$	$1,37 \cdot 10^7$	$6,2 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$
Bactéries lac. (UFC/g)	$1,6 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^8$	$< \text{à } 10^5$

Tableau n° 3: Population microbienne des levains

La population bactérienne est en moyenne de $1,7 \cdot 10^9$ UFC/g pour les levains 1, 2, 3, elle atteint seulement $3,4 \cdot 10^8$ UFC/g pour le starter commercial, elle est quasi nulle pour la fabrication Poolish (Tableau n°3). Ceci explique une meilleure acidification de la pâte obtenue à partir des levains 1, 2 et 3 (graphique n°1) correspondants au levain liquide artisan, levain de blé concassé et le levain ferme.

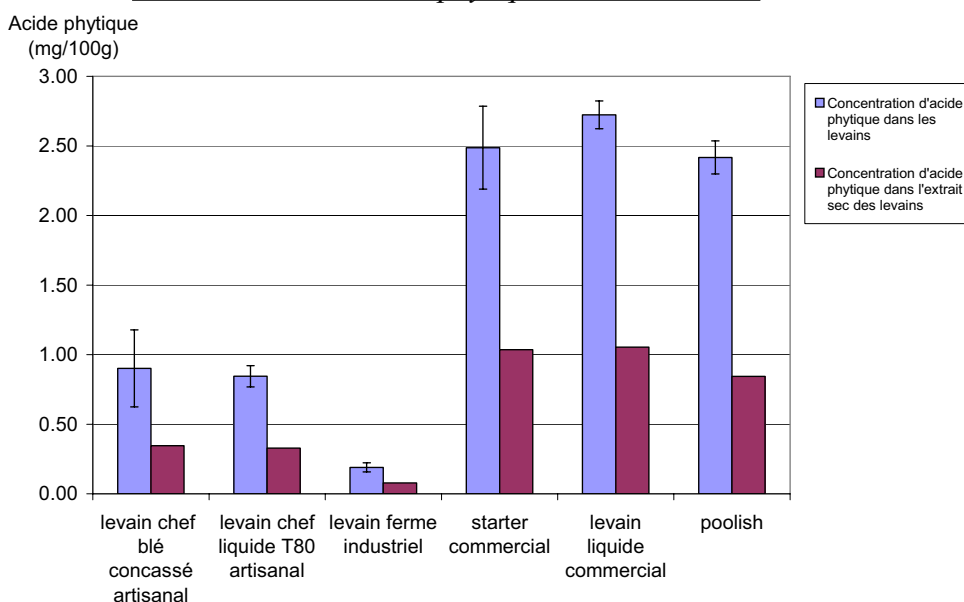
Ce sont des levains issus de fermentation naturelle, la flore endogène est très diversifiée par rapport à un levain commercial (souches sélectionnées), ce qui peut expliquer



Graphique n° 1: Acidité de la pâte avant et après pointage

2 Analyses nutritionnelles

◆ Concentration en acide phytique dans les levains



Graphique n° 2: Concentration en acide phytique (mg/100g) dans les levains

La concentration en acide phytique est comprise entre 0,19 et 0,90 mg/100g, pour le levain chef blé concassé, le levain liquide artisan et le levain ferme industriel, après fermentation. Cette teneur est nettement inférieure à celles des autres levains, dont la concentration varie entre 2,4 et 2,7 mg/100g.

Pour confirmer ces résultats, la concentration en acide phytique dans l'extrait sec a été calculée (graphique n°2). On note bien que la concentration en acide phytique dans les levains obtenus avec le starter commercial, le levain liquide commercial et le Poolish est plus élevée que dans les trois autres levains.

L'acidité du milieu est responsable de la destruction de l'acide phytique. En effet, **les phytases végétales et bactériennes sont activées en milieu acide, hydrolysent cet acide et libèrent les minéraux** (Lopez *et al.*, 2001). Les levains « naturels » ont une forte acidité par rapport au starter commercial et la fabrication Poolish (graphique n° 1). Leur activité fermentaire sera donc susceptible d'augmenter la concentration en magnésium soluble dans la pâte.

◆ Biodisponibilité du magnésium dans les levains et les pâtes

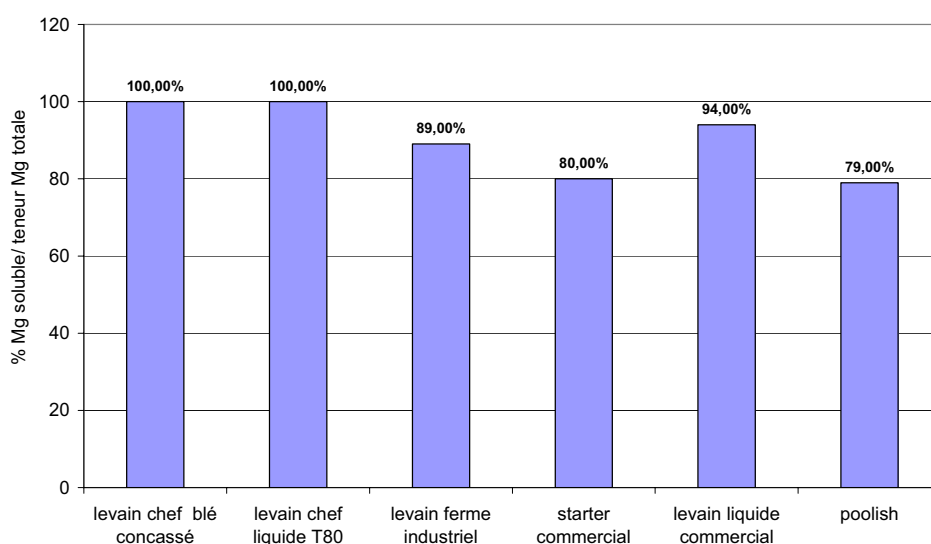
L'acide phytique est responsable de la complexation des minéraux, par conséquent la biodisponibilité du magnésium augmente lorsque la concentration en acide phytique diminue (Lopez *et al.*, 2005). Au stade levain, la panification au levain naturel apporte entre 143 % et 168 % de magnésium disponible en plus qu'une fabrication à base de levure (Poolish) (tableau n° 4). Il y aurait donc un intérêt d'utiliser une panification au levain pour améliorer la qualité nutritionnelle des pains.

Levains	% Mg soluble/ Poolish
Poolish	+ 0%
Levain chef blé concassé artisanal	+ 143,3 %
levain chef liquide T80 artisanal	+ 152,0 %
levain ferme industriel	+ 167,8 %
starter commercial	+ 126,8 %
levain liquide commercial	- 22,8%

Tableau n° 4: Comparaison de la biodisponibilité du magnésium des levains avec une fabrication Poolish

- ♦ L'ensemble de ces résultats nous a conduit à travailler avec le levain naturel de blé concassé, pour la suite du projet

Ce type de levain augmente la **biodisponibilité du magnésium dans la pâte, donc celle du pain**. L'augmentation de la température favorise l'activité des phytases ($T^{\circ}\text{C}$ optimum = 55°C , Bressani R., 2004). Lors de la cuisson du pain, on peut escompter une quantité d'acide phytique, donc augmenter la quantité de magnésium. D'après le graphe n° 3, **100% du magnésium est rendu disponible dans les pâtes au levain de blé concassé et levain liquide artisan.**



Graphique n° 3: Biodisponibilité du magnésium dans la pâte (% Mg soluble/ Mg total)

b) Phase d'optimisation du procédé de fermentation

Objectifs : Obtenir une pâte à haute valeur nutritionnelle et une activité fermentaire satisfaisante :

- concentration minimale en acide phytique
- concentration maximale en magnésium biodisponible
- pousse satisfaisante
- $\text{pH} \approx 4,3$

Pour cela, nous avons fait varier les paramètres technologiques suivants : la **température**, l'**hydratation** et le **temps de fermentation** des différents levains.

1 Variations des réponses mesurées

	Levain			Pâte							
	pH _i	pH _f	TTA*	pH t ₀	pH t _f	TTA*	ac. acétique (g/L)	ac. Lactique (g/L)	CO ₂ total (ml)	pousse t _f	Mg soluble (%/Mg total)
Moyenne	5,21	4,22	7,41	4,96	4,61	6,66	0,42	2,59	37,29	1,45	80,59
valeur min	4,89	3,81	3,15	4,41	4,21	4,90	0,21	1,36	21,00	1,17	93
valeur max	5,40	4,82	11,05	5,43	5,21	8,50	0,54	3,57	58,00	1,68	60

* ml NaOH/10g

Tableau n° 5: Amplitude des réponses mesurées

Le tableau n° 5 résume l'amplitude et la variation des réponses mesurées sur le levain et la pâte : on note une amplitude très faibles des mesures de pousse (1,17-1,68).

Le pH final (4,21-5,21) et l'acidité totale du levain (4,9-8,5) sont corrélés négativement, ils nous renseignent sur la production d'acides organiques par les bactéries lactiques et par conséquent sur l'activité fermentaire du levain.

2 Analyse en Composantes Principales

Descripteurs	
Levain	Pâte
pH initial	pH t ₀
pH final	pH t _f
TTA	TTA t ₀
	TTA t _f
	CO ₂ total
	pousse
	magnésium
	Acétate
	lactate

TTA : [ml NaOH 0,1N/10g]

CO₂: [ml/100g]

Magnésium: [% Mg soluble/ Mg total]

Acétate/lactate : [g/L]

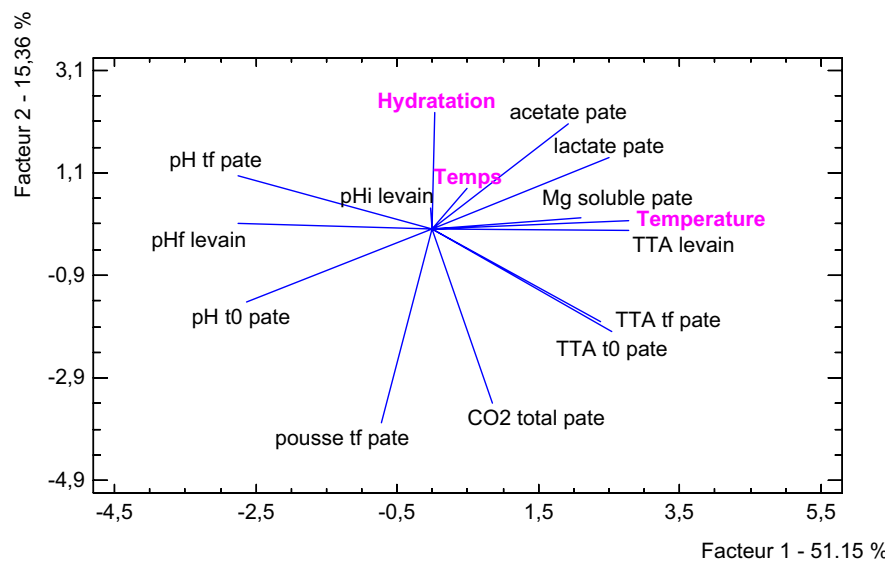


Figure n°2 : Analyse en Composantes principales

Le plan factoriel explique **66,5 %** du phénomène biologique étudié (figure n°2) pour l'ensemble des réponses.

Un premier traitement statistique des données par ACP, nous montre l'efficacité du plan d'expériences : l'acidité du levain est corrélée positivement avec l'acidité de la pâte et la teneur en acides organiques selon la composante 1. Le pH est corrélé négativement avec l'acidité. La pousse et le dégagement de CO₂ sont corrélés positivement entre eux, selon la composante n°2.

➤ **L'acidité de la pâte et la biodisponibilité du magnésium sont corrélées positivement avec la température de fermentation du levain.**

On retiendra les réponses suivantes pour interpréter le plan d'expériences : pH final pâte, teneur en acides organiques, pousse et magnésium soluble.

3 Etude de l'influence des facteurs levains sur les caractéristiques physico-chimiques de la pâte et les propriétés nutritionnelles

◆ Influence des facteurs au niveau levain sur le pH final de la pâte

R^2 : 88,5% (satisfaisant)

Effets significatifs ($\alpha = 10\%$) :

- Effet principal : Température (P-value = 0,00)
- Effet quadratique : Température*Température (P-value = 0,015)

Variations pH : 4,21 – 5,21

L'augmentation de la température de fermentation du levain a pour conséquence de diminuer le pH de la pâte (figure n°3). La température favorise la croissance des bactéries du levain, donc la concentration en acides organiques augmente au cours de la fermentation. Ces acides sont responsables de l'acidité du pain, d'où un abaissement du pH. Il serait donc intéressant de doser ces acides, pour déterminer l'influence de la température sur la concentration en acides acétique et en acides lactique.

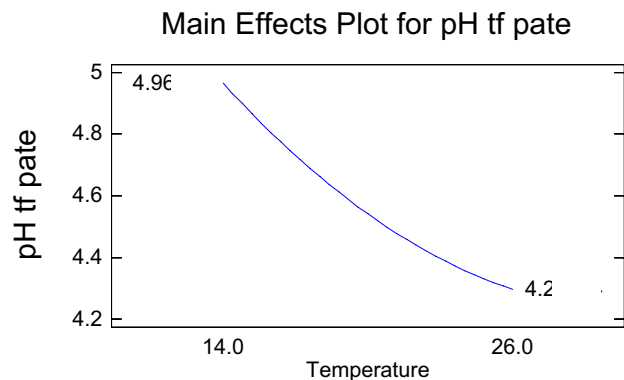


Figure n° 3: Effet principal de la température sur le pH tf pâte

◆ Influence des facteurs au niveau levain sur la teneur en acides organiques de la pâte

✓ acide acétique

R^2 : 69,95% (satisfaisant)

Effets significatifs ($\alpha = 5\%$) :

- Effets principaux: Température (P-value = 0,00)

Hydratation (P-value = 0,03)

- Effets quadratiques :
Température*Température (P-value = 0,06)

Hydratation*Hydratation (P-value = 0,0)

- Interactions : Température*hydratation (P-value = 0,04)

Main Effects Plot for ac acétique

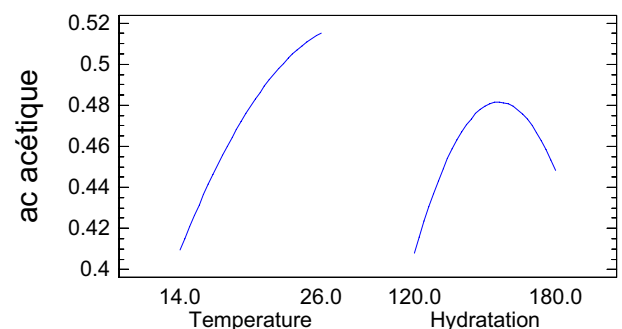


Figure n° 4: Effet principal de la température et de l'hydratation

Variations ac. acétique : 0,21 – 0,54 g/L

✓ Acide lactique

R^2 : 82,6 % (satisfaisant)

Effets significatifs ($\alpha = 5\%$) :

- effet principal : Température (P-value = 0,00)
- effet quadratique : Hydratation*Hydratation (P-value = 0,0)

Variations ac. lactique: 1,36 – 3,57 g/L

Dans le domaine expérimental considéré, l'augmentation de la température de fermentation favorise la production d'acide lactique et acétique. La concentration en acide lactique est quatre fois supérieure à celle de l'acide acétique. L'acide lactique est responsable du goût du pain, l'acide acétique interviendrai comme exhausteur de goût (Guinet, 1994). Il est important de maîtriser le paramètre température pour déterminer la flaveur du pain.

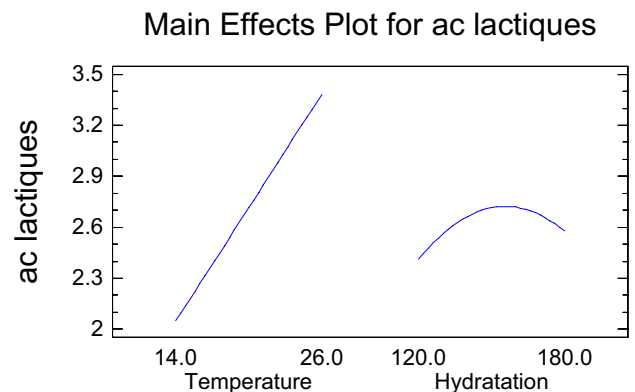


Figure n° 5: Effet principal de la température et de l'hydratation

◆ *Influence des facteurs au niveau levain sur la pousse*

R^2 : 58,21% (faible)

Effets significatifs ($\alpha = 10\%$) :

- effet principal : Temps (P-value = 0,05)
- effet quadratique : Hydratation * Hydratation (P-value = 0,02)

Variations pousse : 1,17 – 1,68

D'après la figure n°6, le temps de fermentation du levain a un effet négatif sur la pousse. Cette tendance peut être due à l'acidification du milieu par les bactéries, ce qui est défavorable à la croissance des levures et donc limite le dégagement de CO_2 et par conséquent la pousse.

De même, l'hydratation peut affecter le développement des microorganismes qui ont besoin d'une A_w optimale.

Dans le domaine expérimental étudié, l'hydratation doit se situer aux alentours de 110% pour maximiser la pousse. Cependant, il faut tenir compte du R^2 qui est faible, et d'une faible amplitude des valeurs. Cela nous donne une tendance.

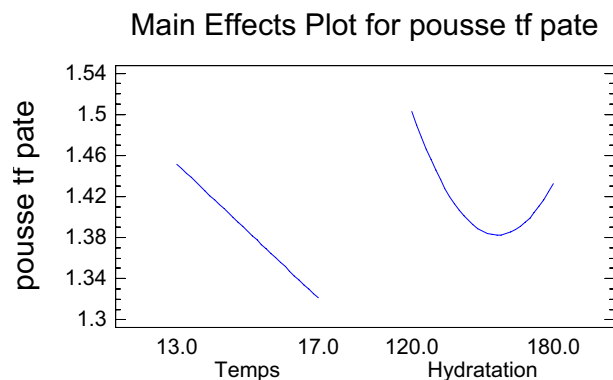


Figure n°6: Effet principal du temps et de l'hydratation

♦ Influence des facteurs au niveau levain sur la teneur en magnésium biodisponible de la pâte

R^2 : 71,5% (satisfaisant)

Effets significatifs ($\alpha = 10\%$) :

- effet principal : Température (P-value = 0,00)
- effet quadratique : Hydratation * Hydratation (P-value = 0,05)
- interactions : temps-hydratation (0,07) et température-hydratation (0,01)

Variations Mg soluble (%/teneur totale) : 60 - 93

La biodisponibilité du magnésium augmente de façon importante lorsque que la température et le temps de fermentation du levain augmentent (figure n° 7). Ceci s'explique par l'activité des phytases (destruction de l'acide phytique et libération des minéraux) qui est optimale en milieu acide et à Haute température. Comme nous l'avons vu précédemment, une augmentation de la température et du temps de fermentation diminue le pH de la pâte donc favorise l'action de ces enzymes. Leur température optimum se situe à 55°C (Lesage, 1995), ce qui explique l'effet de la chaleur sur la teneur en magnésium soluble.

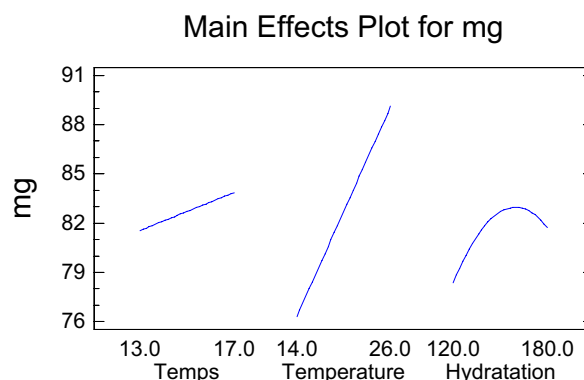


Figure n° 7: Effet principal des facteurs sur la biodisponibilité du Mg.

D'autre part, l'effet quadratique de l'hydratation explique un optimum d'activité des enzymes. La concentration en phytases dans le levain (milieu aqueux) doit être optimale pour augmenter les chances de rencontre entre l'enzyme et le substrat.

4 Optimisation du procédé de fermentation au levain

L'optimisation multi-réponses sous Stagraphics propose les paramètres suivant (tableau n°6), pour les réponses du tableau n°7 :

	Niveau bas	Niveau Haut	Optimum
Temps (heure)	12	18	13
Température (°C)	10	30	26
Hydratation (%)	100	200	103

Tableau n° 6 : Paramètres de fermentation optimisés

Les paramètres déterminés sont proches des conditions de fermentation du procédé Bonébel, excepté la température. Actuellement, M. Gautier, boulanger artisan, rafraîchi son levain minimum 13 heures avant la panification et l'hydrate à 104%. Il conditionne le levain à 10°C. Une comparaison des paramètres optimisés avec ceux du procédé Bonébel, va permettre de mettre en application ces résultats et valider l'optimisation.

Réponses	Valeur
pH tf pâte	4,3
Pousse	1,7
Magnésium (% Mg soluble/Mg total)	93,26

Tableau n°7 : Réponses du procédé optimisé

c) Validation de l'optimisation et application

Afin de valider l'optimisation du procédé de fermentation de levain au blé concassé, deux panifications ont été réalisées avec un levain à 10°C et un levain à 26°C. Les résultats des analyses effectuées sur le levain, la pâte et le pain figurent dans le tableau n° 7 :

	Levain		Pâte t = 2h		Pain	
T°C levain	10°C	26°C	10°C	26°C	10°C	26°C
pH	4,13	3,96	4,17	4,08	4,51	4,4
TTA (ml NaOH 0,1N/10g)	8,8	11,05	7	7,5	4,45	5,6
Ac. Acétique (g/l)	0,45	0,63	0,32	0,36	0,52	0,6
Ac. Lactique (g/L)	3,89	5,4	3,73	4,5	3,52	4,24
Magnésium biodisponible (% Mg soluble/Mg total)	90	82	78	86	87	100
Zinc (% Zn soluble/Zn total)	64	67	24	36	40	66

Tableau n° 8 : Analyse du levain, de la pâte et du pain avec un levain à 10 et 26°C

D'un point de vue nutritionnel, la panification au levain favorise la biodisponibilité des minéraux

(Mg, Zn...) par acidification du milieu. En travaillant le levain à 26°C, 100% du magnésium présent dans le pain est rendu disponible pour l'organisme.

Par ailleurs, l'utilisation de farine complète pour ce procédé, apporte davantage de fibres et minéraux qu'un pain à la levure (tableau n°9), ce qui renforce la valeur nutritionnelle du pain.

CONSTITUANTS	PAIN ORDINAIRE (BLANC)			PAIN AU LEVAIN DE BLE CONCASSE		
	FIBRES* (G)	MG (MG)	ZN (MG)	FIBRES (G)	MG (MG)	ZN (MG)
/ 150 G	4,8	36	0,99	7,05	50,7	1,5
AJR**	37	300	13	37	300	13
% AJR	13	12	8	19	17	11,5

* Fibres totales : Solubles + Insolubles

INRA)

**AJR : Apports Journaliers Recommandés

(source :

Tableau n° 9 : Comparaison des valeurs nutritionnelles Pain Bonébel/ Pain blanc

Si on considère que la ration journalière de pain est de 150g. , on peut supposer qu'un pain au levain de blé concassé couvre 19% des AJR en ce qui concerne les fibres, seulement 13%

pour un pain normal. Pour le magnésium, le pain blanc couvre 12% des AJR, 19% pour le pain au levain de blé concassé. Cependant, le pain au levain permet de rendre disponible 100% du magnésium pour l'organisme.

D'un point de vue technologique, la mise en œuvre de ce type de levain reste simple : c'est un mélange d'eau et de blé concassé soumis à une fermentation naturelle. Cependant, ce type de procédé présente des inconvénients pour les industriels au niveau du procédé et au niveau du produit.

Le levain naturel nécessite un entretien régulier (rafraîchi toute les 24h). On peut s'attendre également à une variabilité du produit final, du fait de l'implantation aléatoire de la flore lactique au cours de la fermentation.

CONCLUSION PARTIE C

D'après cette étude, la température de fermentation du levain favorise la biodisponibilité du magnésium dans la pâte et par conséquent dans le pain.

Les conditions idéales de conduite d'un levain de blé concassé, pour rendre disponible 100% du magnésium dans le pain, seraient : Temps **13 heures**, Hydratation **104%**, Température **26°C**.

Le gain en % de magnésium disponible est de **15%**, par rapport au levain conduit à 10°C.

La proposition d'un nouveau paramètre de fermentation aux boulangers artisan, pose un problème de coût et d'organisation. La fabrication à 26°C entraîne l'investissement d'une étuve. D'un point de vue pratique, la fabrication demanderait un rafraîchi toutes les 12 heures, alors que le procédé habituel à plus basse température, ne demande un rafraîchi qu'une seule fois par jour.

Cette étude redémontre, par ailleurs, l'influence des paramètres de conduite de la fermentation du levain sur les caractéristiques bio-physico-chimiques des pâtes et pains.

BIBLIOGRAPHIE PARTIE C

- **AFSSA**, 2001 - Apports nutritionnels conseillés pour la population français. Ed. Tec et Doc.
- **Andlid TA., Veide J., Sandberg AS.**, 2004. – Metabolism of extracellular inositol hexaphosphate (phytate) by *Saccharomyces cerevisiae*. J. Food Microbiology, 97, p 157-169.
- **Bressani R.**, 2004. - Effect of processing conditions on phytic acid, calcium, iron and zinc contents of lime-cooked maize. J. Agric. Food Chem., 52, p 1157-1162.
- **Burgot JL.**, 2002. – Méthodes instrumentales d'analyse chimique et applications : Méthodes chromatographiques, électrophorèses et méthodes spectrales. Ed. Tech et Doc Lavoisier, p 127-142, p 277-289.
- **C. Ch.**, 2003. - Une culture du levain en effervescence. Filière Gourmande, n°96, p 34-40.
- **Chevreux C.**, 2005. - Les levains, encore du potentiel. Filière Gourmande, n°111, p 26-28.
- **Darmon J.**, 2002. - « Nous tablons sur l'avenir des levures et levains biologiques ». Filière Gourmande, n°69, p 32-33.
- **De Angelis M.**, 2003 – Phytase activity in sourdough lactic acid bacteria: purification and characterization of a phytase from *Lactobacillus sanfranciscensis* CB1. J. Food Microbiology, 87, p 259-270.
- **Guinet R., Godon B.**, 1994. - La panification française. Ed. Tech et Doc Lavoisier, p 202-216.
- **Lesage L.**, 1995 – Acide phytique: devenir au cours de la panification. (Mémoire ENSMIC).
- **Le Thuaut L.**, 2005. - Biotransformations alimentaires : La panification, aspects biochimiques et enzymatiques (cours ENITIAA).
- **Lopez HW., Krespine V., Rémesy C.**, 2001. - Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium. J. Agric. Food Chem., p 2657-2662.
- **Lopez HW., Rémesy C.**, 2005 - Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. J. Agric. Food Chem., 53, p 98-102.
- **Martinez- Anaya.**, 1994 - Effect of processing conditions on acidification properties of wheat sourdough. J Food Microbiology., 22, p 249 - 255.
- **Onno B.**, 1993 - Les levains de panification : microbiologie. Industries des Céréales, n°82, p 11-18.
- **Onno B., Roussel Ph.**, 1994 - Technologie et microbiologie de la panification au levain, publication, Bactéries Lactiques. Ed. Lorica, Ch V-5, p 302, 305, 309 –319.
- **Lopez HW., Rémesy C.**, 2001. - Maîtrise de la valeur nutritionnelle du pain. Industries de céréales, n°124, p 15-20.
- **Rémesy C., Leenhardt F.**, 2005. - Le développement d'une nouvelle gamme de pains de haute valeur nutritionnelle. Industries des céréales, n°143, p 33-35.
- **Roussel Ph., Chiron H.**, 2002. - Les pains français, Evolution, qualité, production. Ed. maé-ERTI, 433 p.
- **Souci SW, Fachmann W., Kraut H.**, 2000. – La composition des aliments, Tableaux des valeurs nutritives. Ed Medpharm Scientific Publishers, pp 572 – 612.

Programme Recherche INRA-CIAB/ACTA/ACTIA 2005-2007

Qualités des blés biologiques et Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques



TACHE 4 : VALEUR NUTRITIONNELLE DU PAIN BIOLOGIQUE

Auteur: Christian Rémésy

Nom de l'organisme bénéficiaire : INRA

Nom du responsable scientifique : C Rémésy

Nom du Laboratoire : Unité de Nutrition Humaine

Adresse : INRA Theix - 63122 Saint Genès Champanelle

RESUME SIGNALETIQUE

Pour optimiser la valeur nutritionnelle des pains bio, il est certes important de disposer de blés de bonne valeur boulangère mais il faut surtout disposer de farines de densité nutritionnelle suffisamment élevées et utiliser des procédés de panification qui assurent une bonne hydratation des fibres et une hydrolyse importante de l'acide phytique.

Concernant le choix des matières premières, il ne semble pas exister des différences bien significatives dans la teneur des grains entiers et surtout des farines blanches en minéraux en fonction des variétés testées. Seuls les grains de quelques variétés anciennes semblent avoir des teneurs en minéraux (magnésium, zinc) plus élevées mais la proportion de leur amande farineuse semble plus faible.

L'essentiel de la valeur nutritionnelle des farines dépend du degré de blutage et donc du type de farine. Il existe en effet une relation linéaire entre le type de farine (défini par la teneur de minéraux /100gr) et la teneur en fibres et micronutriments. Les farines blanches produites sur cylindres sont d'un type plus faibles que celles issues de meules de pierres. Cependant si on incorpore des remoulages ou des sons micronisés dans une farine blanche produite sur cylindres, on obtient par exemple des farines de type 80 de densité nutritionnelle similaire à des farines de meules de pierre. Il est également intéressant de produire des farines de type 80 sur cylindres en évitant de convertir les semoules en farine, ce qui permet de préserver les semoules vêtues, de disposer directement de farines de type 80 dans lesquelles les micronutriments sont particulièrement bien préservés.

Parce qu'elles sont plus riches en fibres et en acide phytique que les farines blanches de type 55-65, les farines de type 80 nécessitent une plus forte hydratation et une plus longue fermentation que les farines conventionnelles. Lorsque les farines de type 80 ou 110 sont reconstituées par addition de son ou de farines intégrales à la farine blanche de base, il est préférable de faire subir une préfermentation en milieu très hydraté aux fractions riches en son. Lorsqu'on utilise des semoules, il est indispensable de pratiquer une étape d'autolyse suffisamment longue avant le pétrissage. En bio, comme en conventionnel, la panification gagne à être conduite avec une longue fermentation, un pétrissage très modéré et un ensemencement en ferments très faible. Dans ces conditions on préserve au maximum la structure des grains d'amidon, ce qui est indispensable pour disposer de pains avec un bon index glycémique.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

L'objectif du programme est d'étudier les facteurs qui conditionnent l'obtention de pains bio de hautes valeurs nutritionnelles et organoleptiques.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche suivie

En accord avec le programme prévisionnel nous avons travaillé sur l'analyse de la densité minérale des blés, sur les caractéristiques des farines et des fractions de mouture fournies par l'UTCA de Montpellier et sur l'impact des fermentations au levain sur la bioaccessibilité des minéraux. Dans la mesure où le développement de pains confectionnés avec des farines de type 80 est devenu à la fois un objectif commun du Programme National Nutrition Santé et de la filière bio, nous avons recherché les diverses solutions possibles pour l'obtention de ces pains. Dans la mesure où l'augmentation de la densité nutritionnelle du pain peut nécessiter d'utiliser des fractions riches en fibres, nous avons recherché les conditions qui permettent de mieux fermenter ces fractions en particulier pour accroître la biodisponibilité des minéraux.

b) Résultats

1 Etude de la densité nutritionnelle de 50 variétés de blé

Analyse d'un premier lot de 50 variétés sous forme de grains entiers, de farines blanches, de remoulages et de sons. Les minéraux analysés ont été les suivants : Mg, K, Ca, Fe et Cu.

L'analyse des grains entiers n'a pas permis de mettre en évidence une variabilité significative dans les teneurs en minéraux. Bien que nous n'ayons pas dosé dans des essais comparatifs témoins la teneur de ces variétés de blé en agriculture conventionnelle, les teneurs de blé bios semblent tout au plus légèrement supérieures aux résultats moyens des blés conventionnels. Le procédé de mouture utilisé a été particulièrement pénalisant pour la farine blanche dont les concentrations en Mg ont représenté seulement 20% des teneurs rencontrées dans les farines intégrales.

Concernant les teneurs en minéraux des sons et des remoulages, nous avons trouvé des teneurs en minéraux dans les remoulages particulièrement élevées.

Nous avons recherché les corrélations qui existent entre les teneurs en minéraux des farines blanches, des farines intégrales, des remoulages et des sons.

Ces corrélations sont très fortes pour le Zn, le Ca et moindres pour le K et le Mg.

Aux vues de ces résultats, il est clair que la nature des variétés a une influence peu importante sur la densité nutritionnelle des farines par rapport celle exercée par les procédés de fractionnement.

2 Analyse de 11 variétés de blé selon leurs origines géographiques ou agronomiques

Au cours de la deuxième année, nous avons dosé les teneurs en minéraux (Mg, Ca, Zn, Fe, K et Cu) seulement dans les grains entiers.

11 variétés de blé (Atlas, Saturnus, Renan, Pactole, Aristos, Achat, Ataro, Edison, Apache et Atrium) chacune de 4 origines géographiques ou agronomiques différentes, plus 3 variétés anciennes, Touselle, Anduze et Rouge de Bordeaux, ont été analysées. Aucune variation

significative avec ce type d'échantillonnage n'a pu être mis en évidence concernant les influences géographiques ou agronomiques.

Il est notable que les variétés anciennes sont les plus riches en Mg, Zn, Fe et Cu. Ces blés semblent donc d'excellentes sources de magnésium et d'oligoéléments, mais ces teneurs plus élevées s'expliquent largement par une proportion plus élevée d'enveloppes. Compte tenu de l'influence majeure des procédés de mouture, les choix de variétés anciennes peuvent être justifiées seulement sur d'autres critères tels que des qualités organoleptiques éventuellement.

3 Influence du diagramme de mouture

9 productions expérimentales de farines bisées ont été réalisées à l'UTCA de Montpellier avec Marc Chaurand, chacune à partir de la variété Renan ou Apache. Les moutures suivantes ont été testées : 1 mouture sur cylindres témoin destinée à la production de farine blanche ; 5 moutures sur cylindres destinées à la production de farines bisées: 1 de référence, 2, après un décorticage d'intensité faible ou fort et 1 avec addition de semoules; 4 moutures meules : à sec, conditionnée, avec un décorticage faible et fort. Nous avons également dosé l'ensemble des issues.

Les résultats obtenus concernant les diverses fractions ont été analysés par Marc Chaurand. La mouture sur meules permet d'accroître sensiblement les teneurs en magnésium des farines en comparaison de la mouture sur cylindres.

c) Les voies de production des farines type 80

Le classement actuel des farines est pertinent sur le plan technologique mais pas suffisamment valorisé sur le plan nutritionnel. Rappelons que le type 55 signifie que 100 g de farine contiennent environ 0,55 g de minéraux. L'absence de l'unité de référence rend incompréhensible la valeur du type de farine, qui est souvent assimilé par le public à un indice de granulométrie. Pourtant, le type de farine est intéressant à connaître puisqu'il y a une proportionnalité très forte entre le type et l'ensemble des éléments protecteurs (minéraux mais aussi fibres et vitamines).

Dans la mesure où des farines assez complètes sont difficiles à panifier et conduisent à des pains très éloignés des pains blancs habituels au goût des consommateurs, il a été décidé d'adapter le procédé de mouture et de panification pour aboutir à des pains de type 80 (voire 110).

Les travaux précédemment réalisés dans le cadre de l'AQS blés bio ont mis en évidence que les farines de meules de pierre avaient une meilleure densité nutritionnelle que les farines blanches sur cylindres (Chaurand, et al 2005). Cependant il est important de trouver des solutions pour disposer de farines de type 80 produites avec des moulins à cylindre.

Les meuniers peuvent confectionner des farines type 80 en additionnant des remoulages à la farine blanche. De plus le boulanger peut lui-même maîtriser l'utilisation de ces remoulages en les incorporant en proportion variable dans la pétrissée en fonction du type de pain recherché. Dans ce programme un choix a été fait d'utiliser des sons micronisés. Pour plus de praticité, il est important de mettre en avant les sons micronisés dans la filière bio , ce que pratiquent déjà des meuniers équipés de moulins à cylindre et habitués à produire des farines de type 80.

Il est possible d'utiliser directement les sons (mélange de fins sons et gros sons) plutôt que les remoulages de façon à faire apparaître les particules d'enveloppes et produire ainsi une gamme de pains bis « au son ». Dans la mesure où les sons n'ont pas subi d'hydratation suffisante, cela aboutit à des produits de qualité très moyenne.

Afin d'améliorer l'offre de farines bisées et de trouver des procédés qui respectent au maximum la structure du grain de blé, nous avons mis au point deux procédés originaux testés sur le terrain :

1 Incorporation de blé entier concassé

Une des solutions les plus simples pour produire des pains bis est d'opérer un mélange farine blanche/ farine complète (80/20%). Cependant si on panifie ce type de mélange sans précaution particulière (par exemple avec une faible hydratation et un temps de fermentation bref), on obtient des pains de qualité bien moyennes. Nous avons pensé qu'il était préférable d'utiliser des farines grossières, telles qu'une boulange issue du 1er broyage sur cylindres (qualifiée de B1) ou du blé concassé à la meules de pierre, et d'adapter en conséquence le mode de panification.

La méthode qui a été mise au point consiste à conduire une panification en deux temps: Avant la panification classique, une première étape est consacrée à l'hydratation de la boulange (1,25 litre par kg de blé), avec un faible ensemencement de pâte fermentée ou de levain liquide; cette préfermentation peut durer de 12 à 20 h et être conduite à température ambiante ou partiellement au froid. Dans la mesure où il faut beaucoup de temps pour hydrater le blé grossièrement broyé, seul un long pointage bac peut dispenser de cette étape de préfermentation.

2 L'utilisation des « semoules vêtues »

En France, les blés tendres destinés à la panification sont du type moyennement durs avec un degré de dureté qui peut différer selon les variétés et les conditions de culture. Ceci signifie que l'albumen du blé tendre est naturellement désagrégé en farine et en semoules. Il faut donc mettre en œuvre une deuxième étape de claquage et de convertissage pour réduire les semoules en farine.

Il est bien connu que l'on peut faire du pain avec de la semoule de blé dur, même si le produit obtenu est sensiblement différent de notre baguette de pain blanc. Puisque le pétrissage arrive à former une pâte panifiable avec de la semoule de blé dur, un résultat similaire peut être obtenu avec des semoules de blé tendre qui ont la capacité de se désagréger plus facilement que les particules de blé dur. C'est pourquoi nous avons pensé qu'il était envisageable, pour faire du pain, de ne plus écraser les semoules de blé tendre en farine.

Ceci présente divers avantages :

- pour réduire les dépenses d'énergie occasionnées par la réduction des semoules en farine
- et surtout pour disposer de farines et de pains de meilleure qualité nutritionnelle. En effet, des fragments de téguments externes restent adhérents à certaines semoules dites « vêtues » ce qui augmente leur teneur en fibres, minéraux et vitamines.

Lorsqu'on écrase le blé, en ménageant les semoules (ni claquage, ni convertissage), on obtient un mélange d'environ 50% de farine et de 50% de semoules (70% de grosses et 30 % de fines semoules) et cet ensemble correspond à un type 80.

Tableau 1 : Composition des farines

TYPES (/100g farine)	T 55	T 65	T80 classique	T80 semoules	T 150
<i>Protéines (g)</i>	11.5	11.6	11.8	12	12.1
<i>Glucides (g)</i>	71	70	69	69	61
<i>Fibres (g)</i>	3.2	3.5	4.8	4.7	11.5
<i>Potassium (mg)</i>	140	150	183	184	380
<i>Phosphore (mg)</i>	120	130	175	176	320
<i>Magnésium (mg)</i>	28	30	50	50	105
<i>Calcium (mg)</i>	15	16	18	23	35
<i>Fer (mg)</i>	1.2	1.4	1.8	2.0	3.9
<i>Zinc (mg)</i>	0.9	1.1	1.6	1.4	2.9
<i>Vitamine E (mg)</i>	0.34	0.40	0.615		2.1
<i>Vitamine B1 (mg)</i>	0.11	0.12	0.26		0.47
<i>Vitamine B2 (mg)</i>	0.05	0.05	0.06		0.17
<i>Vitamine B6 (mg)</i>	0.10	0.13	0.24		0.46
<i>Folates (µg)</i>	16	16	22		50

La préservation des semoules réduit les oxydations, ce qui est important pour la conservation des vitamines et en particulier de la vitamine E et des caroténoïdes. Autre avantage évident : la pulvérulence des farines est fortement diminuée ; une particule de semoule de 1 mm pouvant donner théoriquement 1000 particules de farine de 0,1 mm. Ceci devrait avoir une influence favorable sur la prévention de nombreuses maladies professionnelles dues aux poussières de farine.

L'utilisation des semoules en panification ne pose pas de problèmes particuliers, il faut seulement laisser aux semoules le temps de s'hydrater et assurer un bon développement des fermentations, comme pour toute panification de qualité. Ce nouveau procédé de mouture devrait se traduire par une amélioration très sensible de la qualité nutritionnelle du pain et également des conditions de vie des boulangers.

En conclusion, il existe une solution simple de production de farines type 80 riches en semoules de blé tendre et ceci est également une voie nouvelle complémentaire de l'utilisation de blé concassé en panification. La production d'un nouveau type de farines riches en semoules devrait faciliter l'évolution du secteur de la boulangerie vers des pains type 80 en particulier dans la filière biologique.

d) Importance de la fermentation des fractions riches en fibres

Dans la plupart des procédés de panification utilisant des fractions riches en fibres (farines complètes, sons, remoulages, semoules vêtues), le taux d'hydratation et le temps de fermentation sont insuffisants pour aboutir à une hydratation suffisante des fibres et à une bonne dégradation de l'acide phytique, d'où l'intérêt de faire subir une préfermentation à ces fractions dans des conditions optimales.

1 Fermentation des sons (figures 1-4)

Nous avons donc comparé l'impact d'une fermentation au levain très hydraté sur deux types de produits : une farine complète ou du son.

Nous avons mis en évidence que l'acidification était plus rapide en fermentant la farine complète qu'avec du son mais après 4 heures de fermentation le pH du son fermenté avoisine 5, ce qui est déjà très favorable à la dégradation de l'acide phytique. Avec le son, on observe une moindre production d'acide lactique qu'en présence de farine complète, mais compte tenu de l'inconvénient d'une trop forte acidification de la pâte par le levain, une moindre production d'acide lactique est sans doute un avantage.

Figure 1a

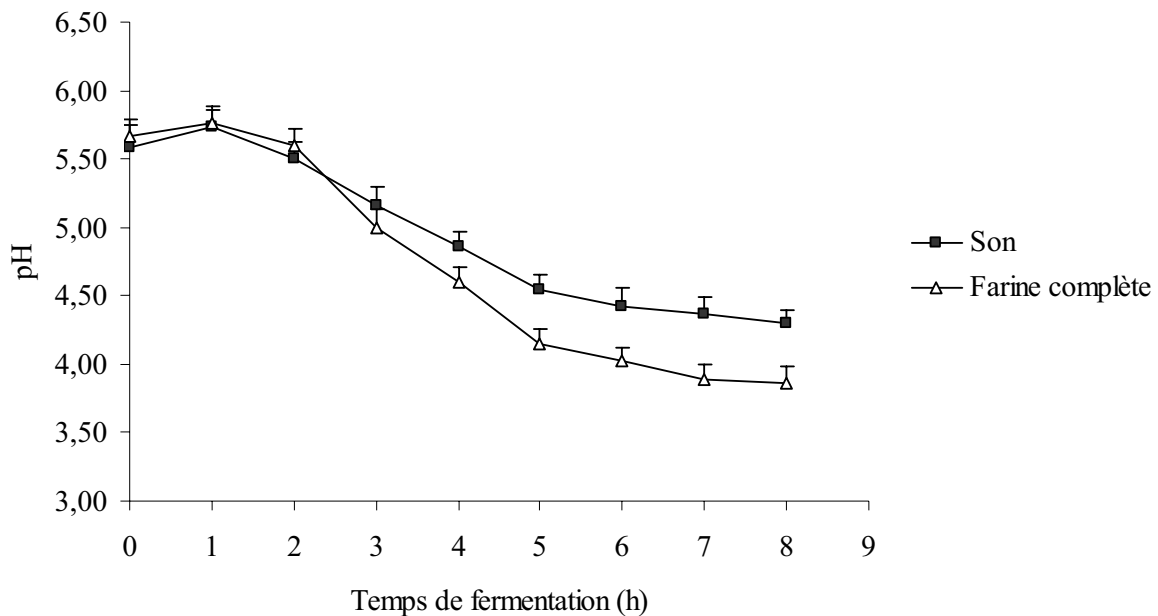
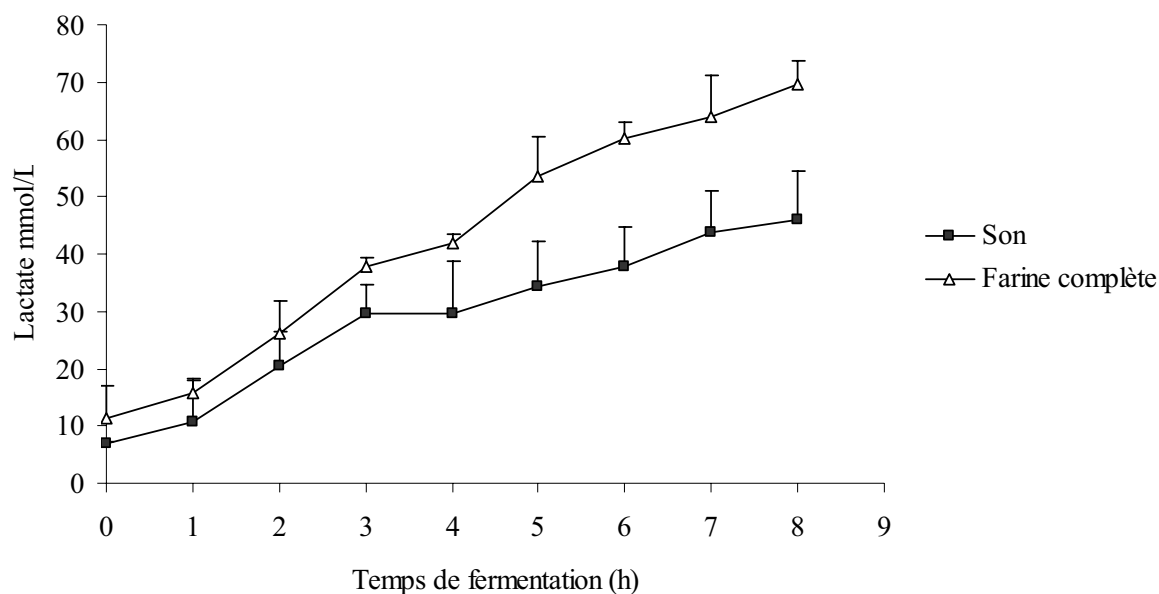
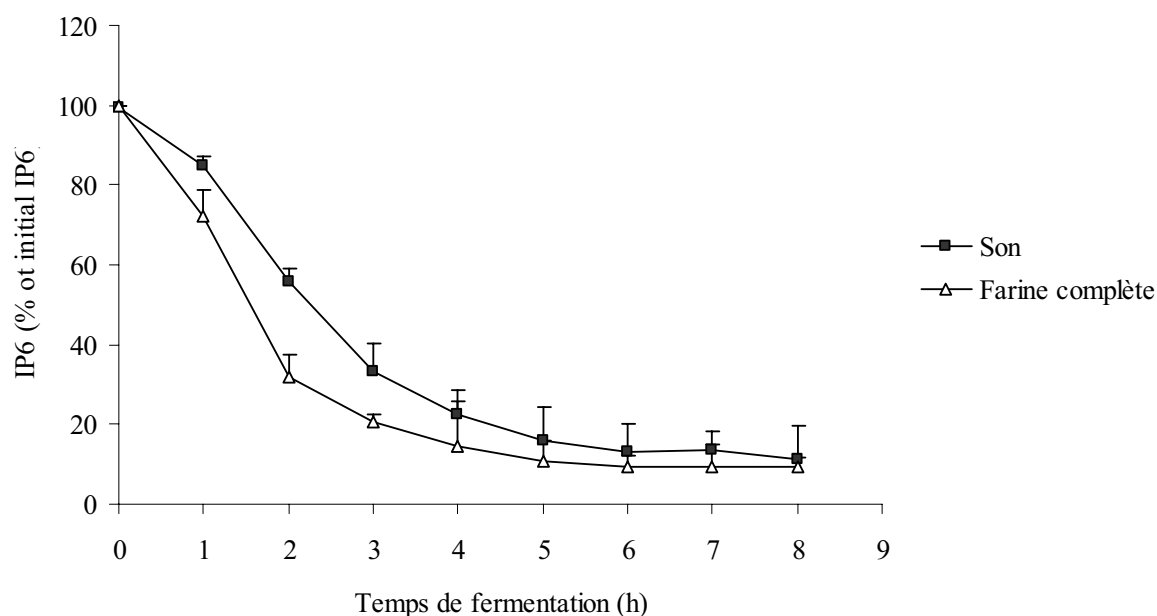


Figure 1b



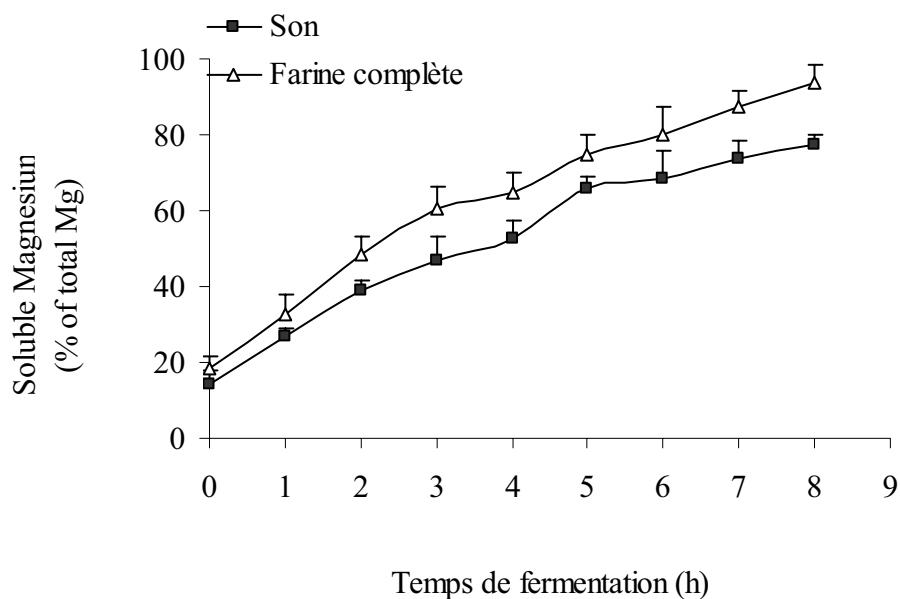
La dégradation d'acide phytique est également moins rapide en présence de son qu'avec une farine complète, mais après 8 heures de fermentation elle est quasi-totale pour les deux types de produits riches en fibres.

Figure 2



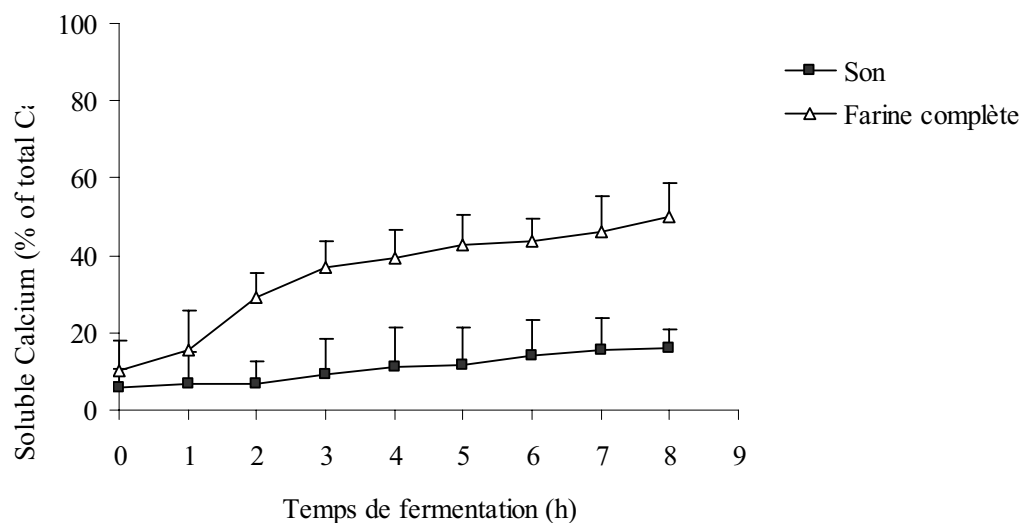
Après 8 heures de fermentation, la solubilisation du magnésium est presque totale avec la farine complète, et proche de 80 % avec le son.

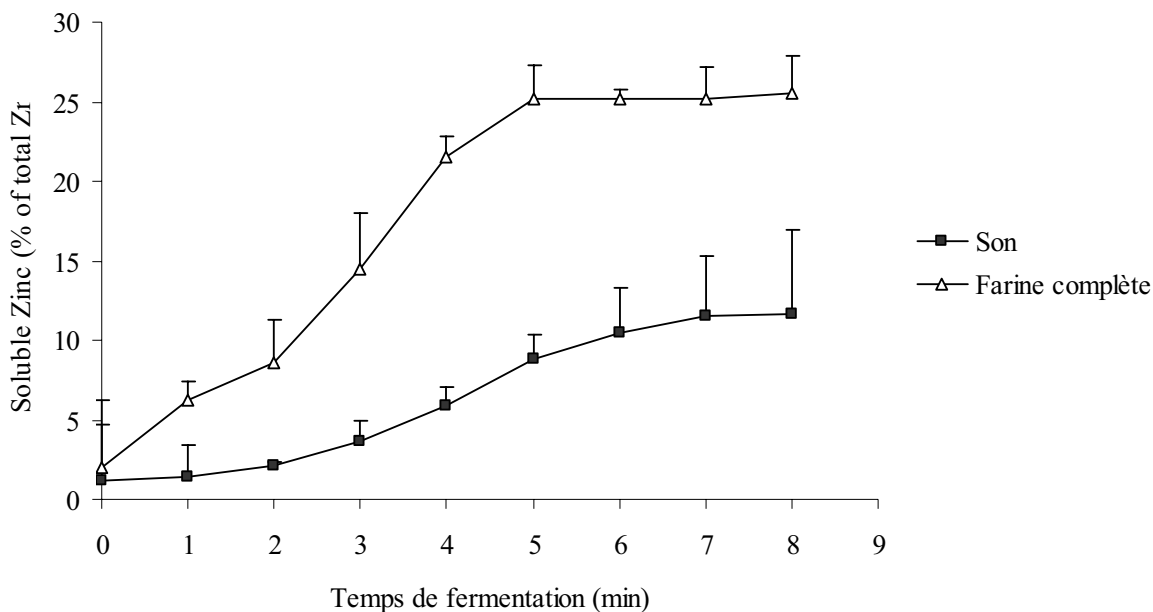
Figure 3a



On observe, par contre, une bien moindre solubilisation du calcium et du zinc avec du son fermenté en comparaison d'une farine complète.

Figures 3b et 4





Cette étude montre que le son gagne à subir une fermentation au levain, ce qui permet d'obtenir une acidification et un profil d'acide lactique relativement similaire à ceux d'une farine complète. La moindre acidification du son peut provenir d'un manque de glucides fermentescibles mais aussi de sa richesse en minéraux, susceptibles d'exercer un effet tampon vis-à-vis de l'abaissement du pH. Le résultat essentiel que nous avons obtenu est le fait que la dégradation de l'acide phytique est quasi-totale, même en présence de son, pourvu que le temps de fermentation soit suffisamment long (environ 8 heures).

Concernant la solubilisation des minéraux, le magnésium est toujours apparemment plus soluble et biodisponible que le calcium et le zinc. Cependant, le fait que la fermentation au levain détruit dans tous les cas la majorité de l'acide phytique, laisse supposer que le calcium et le zinc peuvent être solubilisés dans le tractus digestif par l'acidification gastrique et la forte dilution du contenu digestif.

En conclusion, selon nos conseils, des boulangers bios ont déjà pratiqué la fermentation du son avant son incorporation en panification avec d'excellents résultats organoleptiques. Il était important de montrer que cette technique se justifiait aussi pour détruire l'acide phytique et augmenter la biodisponibilité des minéraux de la même façon que dans une farine complète.

2 Maîtrise de l'utilisation des levains

Ce travail a été effectué en collaboration avec Bernard Onno

L'expérience avait pour but de sélectionner le type de levain le mieux adapté à la réalisation d'un pain de valeur nutritionnelle optimisée, notamment du point de vue de la biodisponibilité des minéraux. Les 5 types de levain testés (levain T80 ferme et liquide artisanal, levain de blé concassé, levain liquide commercial, starter commercial) sont comparés à une poolish (culture de levures essentiellement).

Résultats : Les concentrations en acide phytique après 16h de fermentation sont inférieures à 0.5mg / 100 g d'extrait sec de levain pour le levain de blé concassé, le levain liquide artisanal et le levain ferme industriel. Le starter commercial, le levain liquide commercial et la poolish présentent des concentrations d'acide phytique environ 2 fois plus élevées après fermentation.

Ces résultats sont à mettre en parallèle avec l'évolution du pH des levains au cours de la fermentation car l'acidité du milieu est responsable de la destruction de l'acide phytique via l'activation des phytases végétales et microbiennes. L'acidification des levains blé concassé, liquide artisanal et ferme industriel se fait rapidement jusqu'à atteindre un pH de 4 environ, tandis qu'elle est plus lente dans le cas du levain liquide commercial. La cinétique de pH du starter est similaire à celle de la poolish pour des pH finaux stables à 5.5 environ.

En parallèle, on observe un pourcentage de Mg soluble plus élevé pour les levains de blé concassé, levain liquide artisanal et le levain ferme industriel que pour les autres types de levain testés.

L'acide phytique piège les minéraux, il est donc logique qu'une moindre teneur en acide phytique s'accompagne d'une meilleure solubilité du Mg ou d'autres minéraux

L'ensemble de ces résultats a permis de sélectionner le levain naturel de blé concassé pour l'optimisation du procédé de fermentation. Il s'agissait de maîtriser l'impact respectif du taux d'hydratation, de la température et de la durée de fermentation lors de la préparation du levain qui sera directement incorporé à la pâte.

Résultats : La solubilité du Mg augmente de façon importante avec la température et la durée de fermentation du levain. La « bioaccessibilité » du Mg est optimale après 12h de fermentation, avec une hydratation du levain aux alentours de 100% et à une température de 29°C.

e) Les critères de qualité nutritionnelle du pain

Les deux critères majeurs pour déterminer la qualité nutritionnelle du pain concernent la densité nutritionnelle et l'index glycémique

1 Densité nutritionnelle (Tableau 2)

PAINS	K		Ca		Mg		Zn	
	g/kg	% soluble	mg/kg	% soluble	mg/kg	% soluble	mg/kg	% soluble
Pain T65	1771	100	264,4	50	327	100	7,46	14
pain T80 cylindres	2276	100	305,5	37	514	84	13,06	5
Farine de meule	2207	100	288,7	44	614	89	14,32	7
tradition + 25% B1 blé (direct)	2120	100	308,3	33	596	57	11,56	4
tradition + 25% B1 blé préfermentée	2060	100	289,8	39	553	87	10,95	6
MOY Pains T80	2166		298		569		12	

PAINS	Fibres					
	<i>solubles</i>	<i>insolubles</i>	<i>Vit B1</i>	<i>Vit B6</i>	<i>Vit E</i>	<i>Protéines</i>
	<i>g/100g</i>	<i>g/100g</i>	<i>mg/100g</i>	<i>mg/100g</i>	<i>mg/100g</i>	<i>g/100g</i>
Pain T65	0,9	1,2	0,14	0,05	0,01	11,8
pain T80 cylindres	1,15	4,7	0,28	0,1	0,18	11,75
Pain farine de meule	1	4,5			0,24	10,3
tradition + 25% B1 blé (direct)						
tradition + 25% B1 blé préfermentée	0,9	4,35	0,21	0,08	0,09	
tradition + 50% semoules	0,75	4,8	0,16	0,08	0,16	
MOY Pain T80	1,0	4,6	0,2	0,1	0,2	11,0

Nous avons pu comparer l'impact de trois modes de production de pains type 80, à partir de farines de meules de pierre, d'une farine de cylindre additionnée de remoulages ou d'un mélange 75% farine blanche et 25% de farine intégrale.

◆ Minéraux

Il existe une augmentation de + 50% en Mg dans les pains de type 80 en comparaison des pains de tradition. Cet enrichissement est encore plus important (+ 75%) en ce qui concerne le Zn. L'augmentation des teneurs en Ca et K est beaucoup plus modérée.

L'utilisation de farines de meule permet de disposer de pains plus riches en Mg (+20%). Sur ce point, on retrouve exactement le même résultat qu'au niveau des farines.

L'incorporation de 25% de B₁ dans une farine tradition permet d'obtenir des teneurs en minéraux voisines de celle des farines de type 80 reconstituées. Dans le tableau 2, nous avons mesuré la solubilité des minéraux de quelques types de pains. Tous les pains testés ont été panifiés à la levure, sauf celui au blé préfermenté au levain. On note dans ce type de pain une élévation de la solubilité du calcium et du magnésium, ce qui a une influence directe sur leur biodisponibilité.

◆ Fibres et vitamines

Aucune différence significative des teneurs en fibres solubles et insolubles et vitamines B n'est observée entre les différentes méthodes de production de pains de type 80 (par addition des remoulages à la farine blanche ou de blé concassé avec ou sans préfermentation ou de semoules de blé).

Seule la teneur en vitamine E des pains produits à partir de farine de meules est légèrement plus élevée ce qui s'explique par la meilleure récupération du germe (qui concentre la majeure partie de la vitamine E du grain) avec ce procédé de mouture par écrasement.

Aux vues de ces résultats, la manière de confectionner les farines de type 80 ne revêt pas une influence nette sur la qualité nutritionnelle du pain. L'essentiel semble d'une part de disposer

de farines au moins de type 80 et d'adapter le procédé de fermentation lorsqu'on utilise des fractions riches en fibres.

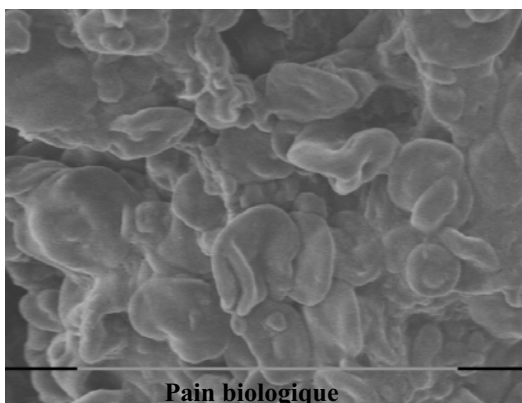
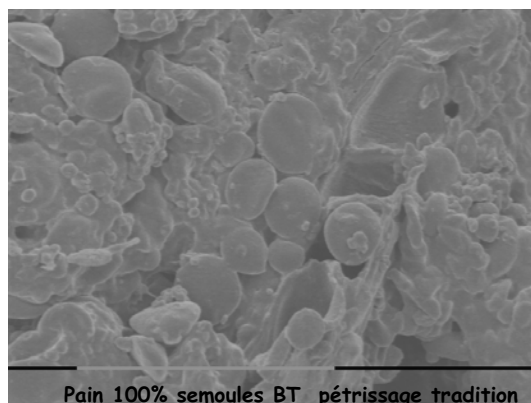
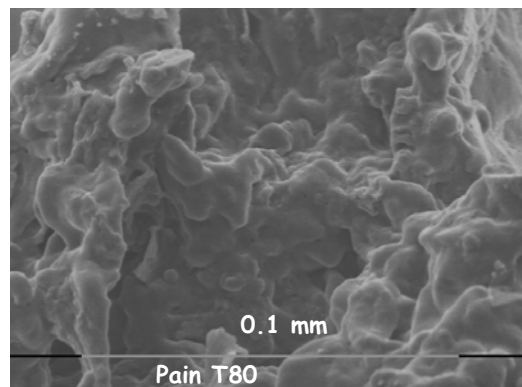
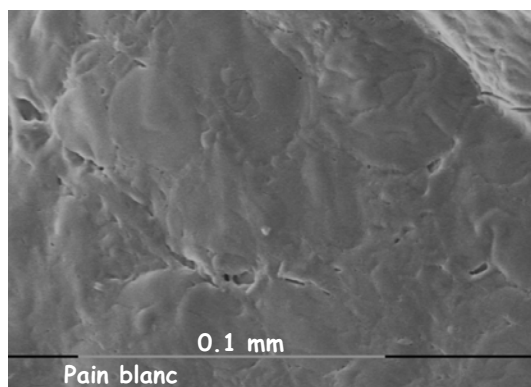
2 Préservation des grains d'amidon dans le pain après cuisson

On a longtemps attribué au pain blanc un très mauvais index glycémique. En réalité le pain présente un index glycémique très variable en fonction des techniques de panification. Il est probable que l'index glycémique du pain varie en fonction de sa masse volumique. Ainsi le pain de tradition française, moins aéré qu'un pain blanc courant a un index glycémique abaissé. Les pains bio de masse volumique élevée seraient donc à ranger dans la catégorie des pains à index glycémique modéré (inférieur à 70).

En théorie, la vitesse de digestion de l'amidon est proportionnelle à son degré de gélatinisation et à l'accessibilité de la mie aux amylases. On considère que la cuisson du pain aboutit à une forte gélatinisation de son amidon. Compte tenu du coût très élevé des études cliniques pour contrôler l'index glycémique, il nous a semblé intéressant d'examiner la préservation des grains d'amidon dans divers type de pains. Ces observations ont été réalisées au microscope à balayage électronique.

Trois facteurs sont susceptibles de ménager les grains d'amidon : un pétrissage très modéré, l'absence d'utilisation d'une amylase exogène et la taille des particules de farines. Dans ces conditions, nous avons trouvé que l'utilisation de farines intégrales broyées grossièrement ou de semoules aboutissait à une bonne conservation des grains d'amidon.

Sur le plan nutritionnel, il est peu souhaitable d'encourager la filière bio à produire des pains de trop faible masse volumique pour plaire aux consommateurs. Par contre il est particulièrement important que les pains bios bénéficient de la meilleure fermentation possible, à la fois pour des objectifs organoleptiques et nutritionnels. La nécessité de réduire le sel soit aussi être rapportée aux boulangers bio pour répondre aux recommandations de santé publique.



3) BILAN DU TRAVAIL REALISE

Notre contribution à l'avancement du programme a été :

- de montrer que le type de farine quel que soit les techniques de mouture utilisées était déterminant pour prédire la densité nutritionnelle du pain
- de mettre en évidence qu'il était possible (et souhaitable) de préserver au mieux les grains d'amidon par un pétrissage très modéré et la conservation de semoules.
- de proposer de nouveaux types de mouture pour la production de farines de type 80. Nous avons en effet mis en évidence qu'il était intéressant d'utiliser directement des semoules bises en panification, ce qui permet d'aboutir à des farines de type 80 et également de préserver davantage les micro nutriments du blé
- de montrer qu'il était important de faire subir aux fractions riches en fibres (blé concassé, son) une fermentation préalable en milieu très hydraté avant leur utilisation en panification ; ceci permet de disposer de pains avec des fibres mieux hydratées et d'assurer une meilleure bio disponibilité des minéraux.

4) DISCUSSION GENERALE

Une des préoccupations de la filière bio est de connaître la nature des variétés de blés qu'elle doit sélectionner pour faire un meilleur pain possible.

La question de la valeur boulangère ou des autres qualités agronomiques n'est pas réellement dans notre champ d'investigation.

Théoriquement, sur le plan nutritionnel, il est intéressant de disposer de variétés de blé suffisamment riches en protéines, en fibres digestibles et en minéraux et micro nutriments bio disponibles. A notre connaissance, la sélection n'a guère porté jusqu'à présent sur la question des fibres ou des vitamines. Concernant les minéraux, il est clair que l'augmentation éventuelle des teneurs en minéraux que l'on pourrait obtenir par la sélection est de moindre importance que celle obtenue par la maîtrise des procédés de mouture. Certains micro nutriments tels que les caroténoïdes, naturellement abondants dans l'en grain, méritent d'être sélectionnés dans la filière conventionnelle comme dans la filière bio. Par ailleurs, il semble que les variétés les plus riches en protéines soient également les plus riches en vitamines (Thèse F. Leenhardt, 2005), d'où la possibilité de faire une sélection plus globale via ce paramètre.

Sur le plan nutritionnel, comme nous l'avons souligné, la filière bio gagne à avoir un rôle pionnier en utilisant presque exclusivement des farines de type 80. La possibilité pour des petits artisans ou des paysans boulangers d'écraser les grains avec des équipements peu onéreux (moulins à meules de pierre) doit être encouragée puisque les farines obtenues sont largement de type 80 et souvent un peu plus riches en Mg que des farines de type similaire produites sur cylindres. Cependant, il est utile de développer les farines de type 80 sur cylindres. La possibilité d'obtenir ce type de farine par l'utilisation des semoules devrait être encouragée dans la filière bio, naturellement beaucoup plus orientée vers le choix de technologies douces.

Une des originalités de la filière bio est de panifier préférentiellement au levain naturel. L'utilisation du levain offre un avantage unique pour accroître la biodisponibilité des minéraux. Cependant, le déroulement de la panification n'est pas toujours optimal pour

hydrater les fibres et détruire l'acide phytique. Il faut donc souligner l'importance de l'hydratation de la pâte et du temps de fermentation mais aussi l'intérêt de pratiquer la préfermentation de fractions riches en fibres.

L'intérêt du levain dépasse sans doute la question de la biodisponibilité des minéraux puisqu'il développe un très grand nombre d'activités fermentaires et en particulier une certaine hydrolyse du gluten qui pourrait s'avérer utile pour prévenir les cas d'intolérance au gluten. Ce sujet n'a pas à notre avis suffisamment été abordé.

On a souvent reproché au pain bio d'avoir une masse volumique très élevée. Or nous avons montré que des pains bios tels qu'ils sont produits par les paysans boulangers présentaient la caractéristique intéressante de conserver des grains d'amidon apparemment (microscopie électronique à balayage) peu gélatinisés. Il est donc fort probable que les pains bios aient un meilleur index glycémique (IG) que les pains blancs courants mais aussi que le pain de tradition française qui présente pourtant un IG amélioré. Il serait donc risqué d'encourager trop fortement la filière bio à faire des pains plus présentables sur des critères de masse volumique pour ressembler aux produits conventionnels. En la matière, nous ne disposons pas d'une très grande marge de manœuvre pour tenir compte à la fois des préférences habituelles des consommateurs et la réalisation d'un pain relativement optimal sur le plan nutritionnel. Un des risques serait de faire évoluer les pains bio principalement selon une démarche de marketing qui leur ferait perdre de leur valeur nutritionnelle.

Il est normal qu'en plus des critères de sécurité, la filière bio tende vers l'excellence nutritionnelle (respect également des normes de réduction de sel), cependant, il est important de pouvoir proposer au public un pain bio dont le prix ne favorise pas une alimentation à 2 vitesses. Déjà, dans la filière conventionnelle la présentation du pain sous forme de baguette de tradition française contribue fortement à renchérir le pain. C'est pourquoi la filière bio devrait privilégier des présentations du pain sous forme de boule par exemple, qui permette de proposer un pain bio à des prix au kg raisonnables. Ceci est d'autant plus justifié qu'une panification au levain en milieu suffisamment hydraté permet une excellente conservation du pain.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Leenhardt F, Levrat-Verny M-A, Chanliaud E & Rémésy C. (2005) Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. *J. Agric Food Chem.* 12;53(1):98-102. (IF= 2.507)
- Chaurand M, Rémésy C, Fardet A, Leenhardt F, Bar-L'Helgouach C, Taupier-Letage B & Abecassis J. (2005) Influence du type de mouture (cylindres vs meules) sur les teneurs en minéraux des différentes fractions du grain de blé en cultures conventionnelle et biologique. *Industries des Céréales* n°142.
- Leenhardt F, Lyan B, Rock E, Boussard A, Potus J, Chanliaud E & Rémésy C. (2005) Wheat lipoxigenase activity induces greater losses of carotenoids than vitamin E during breadmaking. *J. Agric Food Chem.* 54(5):1710-5. (IF= 2.507)
- Leenhardt F, Lyan B, Rock E, Boussard A, Potus J, Chanliaud E, & Rémésy C. (2006) Genetic variability of carotenoid concentration and lipoxigenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *Eur. J. Agron.* 25(2): 170-176. (IF= 2.085)
- Leenhardt F, Rémésy C (2007) Addition of bread wheat semolina to flour leads to preservation of starch granular structure during bread making , C E Spring Meeting, Montpellier 2007
- Oury F-X, Leenhardt F, Rémésy C, Chanliaud E, Duperrier B, Balfourier F & Charmet G. (2006) Genetic variability and stability of grain mineral contents in bread wheat. *Eur. J. Agron.* 25(2) : 177-185.
- Lioger D., Leenhardt F. & Rémésy C. (2006) Intérêt de la fermentation en milieu très hydraté des produits céréaliers riches en fibres pour améliorer leur valeur nutritionnelle. *Industries des Céréales.* n°149: 14-22.
- Lioger D, Leenhardt F, Demigne C & Rémésy C. (2006) Sourdough fermentation of wheat fractions rich in fibres before their use in processed food. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 87 (1368-1373)
- Fardet A, Leenhardt F, Lioger D, Scalbert A & Rémésy C. (2006) Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition Research Reviews*, 19, 18-25.
- Lioger D & Rémésy C. (2006) Efficiency of sourdough fermentation on phytic acid breakdown and mineral bioavailability in wheat fractions rich on fibres. *Third International Symposium on Sourdough.* Bari, Italy.
- Rémésy C, Leenhardt F,(2007) Développer les pains bis de type 80, valeurs boulangères , 9 : 36-39



Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 5 : VALEUR SENSORIELLE DU PAIN BIOLOGIQUE ET OUTILS DE
CARACTERISATION OBJECTIVE**

Auteurs : G. Della Valle, H. Chiron, I. Chaunier, A. L. Reguerre, V. Voyau

Nom de l'organisme bénéficiaire : Institut National de la Recherche agronomique

Nom du responsable scientifique : G. Della Valle

Nom du Laboratoire : BIA MC2

Adresse : rue de la Géraudière - BP 71627 - 44316 Nantes Cedex 03

RESUME

Les pains biologiques doivent, comme tout produit alimentaire répondre aux goûts du consommateur, et disposer de propriétés organoleptiques satisfaisantes, ce qui requiert une évaluation sensorielle. Par une démarche scientifique pluridisciplinaire, la valeur sensorielle de pains bio a été établie et sa qualité globale appréciée par un ensemble de méthodes instrumentales (texture (moelleux/ croustillant), imagerie 2D (alvéolation, finesse, taille moyenne), perméabilité à différents gaz et propriétés mécaniques (compression, relaxation) sous conditionnement (incluant le rassissement sur trois jours);

A partir des résultats, des pains « prototypes » ont été préparés pour des tests de dégustation, plus simples que l'évaluation sensorielle complète réalisée (afin d'orienter le choix des pains faisant l'objet de l'analyse consommateur (ST6) sur la base de la confrontation de ces résultats avec ceux issus des tests nutritionnels (ST4).

Les résultats obtenus concernent la mise au point des méthodes de mesure sur des pains types ayant fait l'objet d'une caractérisation sensorielle après étude de profil (T6) : volume spécifique (pain, mie), évaluation de l'alvéolage (imagerie +ACP), propriétés mécaniques de la mie (compression, relaxation). La mesure des propriétés physiques de pains élaborés avec les farines expérimentales (T2) est en relation avec la structure et le procédé.

Concernant l'approche du comportement rhéologique de la **pâte** en grandes déformations par **compression uniaxiale lubrifiée** ou **LSF** (Lubricated Squeezing Flow) : détermination de la viscosité élongationnelle et de l'indice de rhéodurcissement. Ces mesures de compression en conditions lubrifiées ont permis de quantifier le comportement rhéologique de farines biologiques (indice de consistance, indice de rhéodurcissement et indice d'écoulement) et ainsi de les différencier.

Les mesures de compression/relaxation sur la mie de pain (effectuées sur machine universelle d'essai de matériaux) ont pour but de caractériser sa texture par ses propriétés mécaniques.

L'influence du procédé de mouture sur le comportement rhéologique des pâtes a été mis en évidence. En effet, pour une même teneur en eau, les farines de meules donnent des pâtes ayant une viscosité significativement plus importante que des pâtes fabriquées avec de la farine de cylindres.

Par contre les valeurs de l'indice de rhéo-durcissement sont peu différentes pour les farines testées : il y a peu d'effet « procédé de mouture » sur ce critère, ainsi que pour les indices d'écoulement.

La discrimination des produits est la plus importante selon le module d'Young de leur mie (facteur de variation compris entre 2.5 et 3.5 selon le jour de l'analyse). Les valeurs de la contrainte résiduelle (exprimant la force qu'exerce l'échantillon pour revenir à sa hauteur initiale après déformation jusqu'à 1/3 de sa hauteur initiale) présentent en revanche de plus faibles variations entre produits (facteur de 2).

Ces résultats recoupent également l'augmentation de la valeur des paramètres observés au cours du temps. Le module d'Young est de plus en plus élevé traduisant une rigidification de l'ensemble des produits. Après 24 heures de conservation, l'augmentation (d'un facteur compris entre 2 et 4) des valeurs du module de Young de la mie témoigne d'une rigidification des mies.

Il semblerait, que les farines se classent entre elles selon leur module d'Young initial ($E(0,1)$) et gardent ce classement quelque soit la déformation pour les autres critères (contraintes

critiques, résiduelles et module matériau densifié). L'approche sensorielle du moelleux est complexe et multi-factorielle. En comparant les résultats des deux approches, il apparaît que les meilleures corrélations sont obtenues entre les valeurs du module de Young de la mie et les classements sensoriels.

L'analyse des propriétés mécaniques des mies pourrait donc se baser uniquement sur les valeurs du module initial. Cependant, la seule valeur lue directement sur la courbe $\sigma = f(\epsilon)$, et donc la plus fiable, est celle de la contrainte résiduelle (σ_r), en fin de relaxation.

Il est donc plus judicieux de se baser sur la valeur de la contrainte résiduelle (σ_r), pour analyser les propriétés mécaniques des mies et rechercher un lien avec leur structure et texture.

Les perméabilités mesurées ne permettent pas de différencier les deux procédés de mouture, bien qu'elles semblent anti-corrélée à la masse volumique des mies, notamment pour les mies les plus denses présentant un coefficient de perméabilité faible ($< 200 D$), opposé à celui de la farine C ($> 310D$), de densité plus faible (123 g/cm^3 , cf. tableau 4).

L'appréciation visuelle constitue l'un des principaux critères d'évaluation de la qualité des produits de panification par le consommateur. Le but de l'analyse d'images est de mettre au point une méthode objective de classification de pains biologiques, en fonction de la finesse et de l'hétérogénéité de leurs alvéoles. Cette caractérisation de la **structure alvéolaire** de tranches de pain par **imagerie 2D** procède par morphologie mathématique et traitement statistique des résultats. Cette méthode permet de sélectionner deux axes : l'axe 1 décrit la finesse (ou la taille moyenne, à l'opposé) de la structure des mies en opposant celle à texture fine à droite, à celles aux textures plus grossières à gauche, ce premier axe y contribue à hauteur de 74%. L'axe 2, bien que moins discriminant (17%) permet tout de même de décrire l'hétérogénéité de la structure des mies.

Ainsi selon cette composante, les mies homogènes (arrangement d'alvéoles de taille moyenne) s'opposent aux mies plus hétérogènes caractérisées par la présence d'alvéoles de plus grandes et plus petites tailles. Cette méthode met en évidence la proximité des textures visuelles de plusieurs produits testés. Malgré la bonne performance du jury pour les trois jours d'analyse, l'approche sensorielle de l'alvéolage n'a permis que la discrimination des produits extrêmes.

Le test de panification BIPEA ne met en évidence que très peu de différence d'alvéolage entre les pains étudiés. Le procédé de panification impacte donc davantage la texture que la matière première farine. Si l'impact des moutures sur le comportement en panification a ainsi pu être mis en évidence, en revanche, l'application du protocole BIPEA a conduit à des densités trop faibles pour conduire à des caractéristiques de texture très différentes. Des recommandations ont donc été émises pour la mise en œuvre d'essais de panification intégrant les spécificités matières premières et diagrammes proches des pratiques boulangères bio, afin que celui-ci ne masque pas les différences liées aux farines

En conclusion, l'effet « procédé de mouture » est très important sur l'indice de consistance des pâtes, faible pour les moutures cylindres, il est plus élevé pour les farines de meules. Les caractéristiques sensorielles ont pu être comparées aux mesures physiques et ont montré une bonne aptitude de ces dernières (compression, analyses d'image des mies) à décrire la texture. Les méthodes de caractérisation mécaniques et sensorielles permettent une discrimination globalement satisfaisante des produits entre eux. L'approche sensorielle permet une discrimination plus nette au premier jour de l'analyse par contre l'approche instrumentale met mieux en évidence les effets du rassissement.

Les caractéristiques sensorielles des pains bios étudiés ont pu être comparées aux mesures physiques et ont montré une bonne aptitude de ces dernières (compression, analyses d'image des mies) à décrire la texture. L'effet « procédé de mouture » est très important sur l'indice de consistance des pâtes, faible pour les moutures cylindres, il est plus élevé pour les farines de meules. Les caractéristiques sensorielles ont pu être comparées aux mesures physiques et ont montré une bonne aptitude de ces dernières (compression, analyses d'image des mies) à décrire la texture. La carte de ressemblance élaborée par la méthode de l'analyse d'images montre qu'une discrimination des produits en fonction de leur texture visuelle a été obtenue. Les méthodes de caractérisation mécaniques et sensorielles permettent donc une discrimination globalement satisfaisante des produits entre eux. L'approche sensorielle permet une discrimination plus nette au premier jour de l'analyse par contre l'approche instrumentale met mieux en évidence les effets du rassissement. Enfin des recommandations ont été émises pour l'élaboration de pains bio dans le sens de modifications de protocole afin que celui-ci ne gomme pas les différences liées aux farines.

Contexte :

En dépit de tous les intérêts des pains biologiques (santé & environnement), ce produit doit, comme tout produit alimentaire répondre aux goûts du consommateur, et disposer de propriétés organoleptiques satisfaisantes, ce qui requiert une évaluation sensorielle. Par une démarche scientifique pluridisciplinaire, la valeur sensorielle du pain bio a été établie et sa qualité globale appréciée par un ensemble de méthodes instrumentales, selon les étapes suivantes :

1) à partir d'une première évaluation sensorielle sur des produits existants, les critères permettant de classer les produits par méthodes statistiques appropriées ont été établis ;

2) plusieurs méthodes instrumentales liées à la texture (moelleux/ croustillant) et au goût : imagerie 2D (alvéolation, finesse, taille moyenne), perméabilité à différents gaz et propriétés mécaniques (compression, relaxation) sous conditionnement (incluant rassissement) ont été validées ; les interprétations structurales sur la transformation des constituants et de leurs interactions bien qu'hors champ du projet, sont venues appuyer la pertinence de ces mesures physiques ;

parmi ces méthodes, les plus robustes et celles dont les résultats ont été jugés les plus pertinents, de façon plus systématique sur les pains bios produits à partir de différents moutures (T2 ST3)

A partir de ces résultats, des pains ont été préparés pour des tests de dégustation, plus simples que l'évaluation sensorielle complète réalisée (afin d'orienter le choix des pains faisant l'objet de l'analyse consommateur (ST7) sur la base de la confrontation de ces résultats avec ceux issus des tests nutritionnels (ST5).

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

Etablissement de critères d'évaluation sensorielle

Validation de plusieurs méthodes instrumentales liées à la texture (moelleux / croustillant) et au visuel des pains bio: imagerie 2D (alvéolation, finesse, taille moyenne), perméabilité à différents gaz (incluant tortuosité), propriétés mécaniques (compression, relaxation) sous conditionnement (incluant rassissement à 24h) ;

A la fois par comparaison avec des tests sensoriels et avec des interprétations structurales sur la transformation des constituants et de leurs interactions (rétrogradation amidon, complexes amylose/lipides...).

Sélection, parmi ces méthodes, de celles dont les résultats seront jugés les plus pertinents, de façon plus systématique sur les pains bios produits à partir de différentes moutures (définies dans l'axe 2, tâche 2) et à partir de différents procédés de fermentation (définis dans l'axe 2, tâche 3).

Les travaux décrits ci-dessous ont fait l'objet d'un Master (S. François, 2005 Recherche en vue de l'amélioration de la qualité des pains biologiques, perception des consommateurs et

caractérisation sensorielle et instrumentale des pains, et d'un mémoire ingénieur ENITIAA de V. Voyau 2006 : Evaluation de la qualité des pains bio par des méthodes instrumentales.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

1 Mise au point des méthodes de mesure sur des pains types ayant fait l'objet d'une caractérisation sensorielle après étude de profil (T6)

Volume spécifique (pain, mie), évaluation de l'alvéolage (imagerie +ACP), propriétés mécaniques de la mie (compression, relaxation)

2 Mesure des propriétés physiques de pains élaborés avec les farines expérimentales (T2) et relation avec la structure et le procédé

id. méthodes ci-dessus plus rhéologie de la pâte et perméabilité de la mie.

Le comportement des farines issues de l'agriculture biologique a été caractérisé par les différentes méthodes suivantes :

- Approche du comportement rhéologique de la pâte en grandes déformations par compression uniaxiale lubrifiée ou LSF (Lubricated Squeezing Flow) : détermination de la viscosité élongationnelle et de l'indice de rhéodurcissement ;
- Test de panification BIPEA, normalisé sous la norme AFNOR V 03-716 ;
- Caractérisation de la structure alvéolaire de tranches de pain par imagerie 2D ; analyse par morphologie mathématique et traitement statistique des résultats
- Perméabilité aux gaz des différentes mies ;
- Comportement mécanique en compression/relaxation, sur de la mie de pain (sur machine universelle d'essai de matériaux Instron)

3 Réalisation de pains bio pour phase test consommateurs

Avec les six farines biologiques dites prototypes de décembre 2006 fabriquées sur un moulin à cylindres métalliques (C. Giraudineau) et sur un moulin à meule (granit du Sidobre) à un passage (Y. Le Gall), deux séries de panification ont été réalisées à Nantes (17 janvier) et à Strasbourg le 9 février par H. Chiron, J. Fischer à partir de farines :

- cylindres T65, cylindres T80 micronisée, cylindres + semoules vêtues
- meules T80, meule T80 blé décortiqué, meule T110 recomposée

Pour les conditions de moutures se reporter au rapport T2 ST2 : Effet des procédés de fractionnement sur la qualité de M. Chaurand. Le protocole de panification retenu s'est inspiré des résultats de l'enquête « pratiques boulangères spécifiques au pain bio » T3 ST3, Etat des lieux des techniques utilisées par les boulangers travaillant les farines biologiques. Toutefois l'utilisation de semoules vêtues a nécessité deux étapes supplémentaires de prémélange liquide et de repos autolyse.

FORMULE DE FABRICATION : Farine 100, levain liquide commercial actif 15 %, sel 1.8%, levure 0.02%, eau : 55%. Absence d'acide ascorbique. Le diagramme retenu est le suivant :

Étapes unitaires	Durées
Pétrissage Artofex 32 RPM	10 minutes
Pétrissage Artofex 54 RPM	5 minutes
Température fin de pétrissage cible	25°C
Durée totale de pointage	180 minutes
Rupture (rabat) après 90 minutes	1
Température de l'étuve de fermentation	26°C
Hygrométrie de l'étuve	75 %
Pesée	Manuelle
Masses crues	400g baguettes, 600g boules
Détente	15 minutes
Façonnage	Manuel baguettes, manuel boules
Apprêt	180 minutes
Scarification	Manuelle
Paramètres de cuisson	Four à sole réfractaire 250°C avec vapeur d'eau
Durée de cuisson	Baguettes 27 minutes – Boules 40 minutes
Ressuage	Ambiance à 24°C

Tableau 1 : Diagramme de panification



Photo N°1 : Pains fabriqués à partir de farine cylindres T80 après ajout des sons micronisés
08 / 02 / 07



Photo N° 2 : Pains fabriqués à partir de la farine cylindres T55 08 / 02 / 07



Photo N° 3 : Pains fabriqués à partir de la farine cylindres avec ajout des semoules vêtues 08 / 02 / 07

	Note pâte sur 100	Note pain sur 100	Note Mie sur 100	Note totale sur 300	Masse volumique (g/cm ³)
Cylindres T55	73.5	78.4	97	248.9	0.28
Cylindres T80 Micronisés	100	80.8	100	280.8	0.30
Cylindres semoules vêtues	81.9	61.2	97	240.1	0.28
Meules T80	100	86.5	94	280.5	0.28
Meules sur grains décortiqué	91.1	81.4	94	266.5	0.29
Meule T110	81.9	49.7	91	222.6	0.29

Tableau 2 : Résultats des essais de panification (grille de notation AFNOR) :

Pour ce type de pain la conduite de mouture par cylindres tout particulièrement en T55 est inadaptée. Le procédé cylindres avec ajout de semoules vêtues complexifie le mode opératoire et pénalise surtout la note totale pain qui prend en compte l'aspect extérieur et la note de volume. La note totale de la farine cylindres T80 est identique à la note totale farine de meule T80 et ces deux modalités conduisent au meilleur résultat. Leur comportement en panification n'est essentiellement pénalisant qu'en termes de note pain. L'effet de décortication préalable du grain (qui augmente la teneur en cendres) pénalise la note totale (-14 points).

Ces deux séries d'essais en situations réelles puisque pratiquées dans des fournils professionnels livrent plusieurs enseignements :

- la formule de panification type pain au levain avec une dose de sel abaissée à 1.8 % par rapport à la farine mise en œuvre est optimisée.
- le nouveau protocole retenu correspond bien à la réalité du marché de ces pains, il apparaît en effet qu'ils ont été unanimement appréciés par les deux jurys de consommateurs.
- le choix du levain liquide commercial, bien que d'autres options de fermentation acides soient envisageables, est pertinent. Toutefois, les séquences de fermentation (trois heures de pointage et trois heures d'apprêt) pourraient être réduites de trente minutes sans impact majeur sur le niveau de levée à la mise au four.
- en façonnage manuel, le format baguette assez inhabituel sur ce type de pain a donné des résultats très intéressants (réussite correcte des scarifications).
- les aspects de mies très caractéristiques des pains au levain (forte irrégularité alvéolaire), présentaient des différences visuelles significatives non reflétées dans la grille de notation AFNOR.

Au vu des moyennes relevées sur le marché français, le niveau d'expansion des pains est élevé. Par contre, il est très surprenant de ne pas observer de différences plus marquées en termes de masses volumiques entre les six farines prototypes (0.28 à 0.30) panifiées en Alsace. La photographie N°3 page 6 montre un aspect extérieur très correct compte tenu de l'ajout des semoules vêtues. Deux hypothèses peuvent être avancées :

- la puissance fermentaire assez faible de ce type de panification ne permet pas de différencier des potentialités d'expansion du réseau de gluten spécifique à chaque conduite de mouture.

- L'énergie de pétrissage retenue (pourtant conforme aux pratiques) bien qu'apte à générer des masses volumiques très acceptables pour ce type de pain, est insuffisante pour exprimer des différences.

Procès verbaux de notation en annexe 1.

Recommandations pour un essai de panification adapté aux pains bios :

L'utilisation de farines plus extraites par exemple de type 80 cylindres et l'emploi de farines de meules également de type 80 (dont le comportement est notablement différent de celles issues d'une mouture par cylindres) imposent un protocole de panification spécifique, (nos essais ont été réalisés sur farines réalisées dans des moulins professionnels et non de laboratoire).

Afin de se rapprocher des pouvoirs fermentaires des panifications majoritairement utilisées sur le marché des pains bios, le pourcentage de levure doit se situer aux environs de 0.2% de levure par rapport à la farine mise en œuvre (soit environ 10 fois plus faible que dans le protocole BIPEA).

L'option d'une fermentation acidifiante est souhaitable quoique non exclusive puisqu'on assiste à l'émergence de pains bios fermentés à l'aide de préfermentation liquides ensemencées avec des doses très faibles de levure. L'existence de levains commerciaux liquides et actifs est une solution. Leur DLUO impose des précautions d'emploi. L'option acidification par une faible concentration d'acide lactique à 90 (Merck 366 0500) avec un ajout en plus faibles quantité d'acide acétique a été testée avec Jacky Fischer, elle devra être validée.

Les deux étapes de fermentation (pointage ou fermentation en masse avec un rabat) et apprêt ou fermentation individuelle) de chacune 2H30 permettent une maturation de la pâte indispensable. En effet l'oxydation du réseau de gluten s'opère ici en absence d'acide ascorbique E300. Concernant l'aspect extérieur des pains il conviendra d'élaborer une grille de notation qui prenne en compte des différences significatives par rapport aux pains BIPEA (croûtes plus épaisses, souvent plus colorées , moins croustillantes, scarifications moins ouvertes). Par ailleurs ce schéma de fabrication à faible énergie de pétrissage conduit à des pains dont les masses volumiques se situent en moyenne entre 0.29 et 0.36. Cette plus forte densité doit à l'évidence être prise en compte dans la grille de notation. Il est prématuré pour dire si ce faible niveau d'expansion écrête les différences de valeurs d'utilisation des blés bios.

Il faudrait dans un premier temps former un groupe de boulangers d'essais (par exemple de moulins produisant des farines bios) puis mettre sur pied un « ring test » d'essais de panification « configuration pain bio T80 » afin d'évaluer sur différentes farines les réponses en termes de variation de valeur boulangère.

b) Matériels et Méthodes

Les farines utilisées dans la phase mesures instrumentales provenaient d'une étude réalisée au sein du programme. Cette étude avait pour but de préciser l'impact du type de mouture (utilisant des meules ou des appareils à cylindres) ainsi que de leur composition sur la valeur boulangère des farines. Les essais ont été conduits de manière à mesurer l'effet de sollicitations mécaniques différentes (réduction sur cylindre et compression sur meules), mais également l'incidence du décortiquage des grains de blé avant mouture sur la qualité des farines obtenues. Pour cela deux types de mouture ont été abordés (une sur appareil à cylindres, l'autre sur meules), auxquels on a associé ou non une étape de décortiquage, plus ou moins poussé, des grains avant mouture.

Ces farines possèdent les caractéristiques suivantes, données dans le tableau 3 :

Diagramme	mouture	Farine	Rendements (% m.s.)	Cendres (% m.s.)	Phytates (mg/g m.s.)
.2.b.1...	Cylindre	Référence	71,9	0,58	2,85
B	Cylindre	Micronisation remoulage	78,7	0,90	5,30
C	Cylindre	50% "Semoules Bises"	80,4	0,84	4.70
D	Meule	Référence	79,5	1,14	7,93
E	Meule	Décortiqué 10%	79,8	1,10	7,48
F	Meule	Décortiqué 15%	78,6	0,97	6,84

Tableau 3 : Caractéristiques des farines biologiques étudiées

La farine C est composée de 50% de farine référence cylindre et de 50% de semoules bises. Les semoules bises sont des produits issus de la tête de convertisseur, lors du procédé de mouture des grains. Ceux-ci sont passés sur des cylindres de broyage puis sur des convertisseurs. C'est la tête de convertissage qui a été récupérée telle quelle, sans passage ensuite par les convertisseurs. Les semoules bises sont donc un produit de plus forte granulométrie qu'une farine (diamètre des agglomérats > 160µm), où il reste quelques fragments d'enveloppes du grain. Le pourcentage d'amidon endommagé est moins important dans cette fraction que pour une farine ayant en plus subi un passage sur des cylindres convertisseurs.

La spécificité de la farine B réside dans le fait que les remoulages du broyage de cette farine ont été récupérés, ils ont ensuite été micronisés puis ajoutés à la farine. Les remoulages sont essentiellement constitués de poudre de sons qui résultent de l'ensemble des tamisages du broyage, toutes étapes confondues (broyeurs + convertisseurs). La micronisation de ces remoulages est effectuée sur un broyeur à broches, elle avait pour but de réduire la granulométrie des sons qui était ainsi inférieure à celle d'une farine classique.

Les farines de meules notées « décortiqué » 10% ou 15 %, proviennent d'une mouture effectuée sur des grains préalablement décortiqués. Ces derniers, avant d'être moulus, ont en effet été réduits par des cylindres, de l'extérieur vers l'intérieur, et ont ainsi été débarrassés de 10% ou 15% de leur enveloppe externes.

1 La compression de la pâte en conditions lubrifiées

◆ Définition et intérêt de la compression en conditions lubrifiées (LSF)

Le but de l'utilisation de cette méthode est, à travers l'étude du comportement rhéologique de pâtes à pain, de définir des indicateurs quantitatifs permettant de comparer les différentes farines biologiques entre elles et ainsi leur texture finale de pain liée au comportement de la pâte. En effet, les seules évaluations de la texture du pain, utilisées aujourd'hui par les boulangers sont obtenues lors de l'évaluation par la méthode BIPEA (norme AFNOR V03-716 ;, ROUSSEL CHIRON, 2002). Le test BIPEA consiste en une notation de la pâte, de l'aspect du pain et de l'aspect de la mie. Ce test est donc relativement empirique et assez subjectif malgré des critères bien définis.

La structure alvéolaire du pain est le résultat de la croissance de bulles au sein du milieu viscoélastique qu'est la pâte à pain. Au cours de la fermentation, lors du grossissement des bulles de gaz, la pâte située entre deux bulles est comprimée et subit une extension bi-axiale. La compression uniaxiale (selon l'axe de la hauteur du pâton) en conditions lubrifiées ou LSF (Lubricated Squeezing Flow) permet de simuler les forces de compression subies par la pâte lors de l'extension de ces bulles (cf. figure 2).

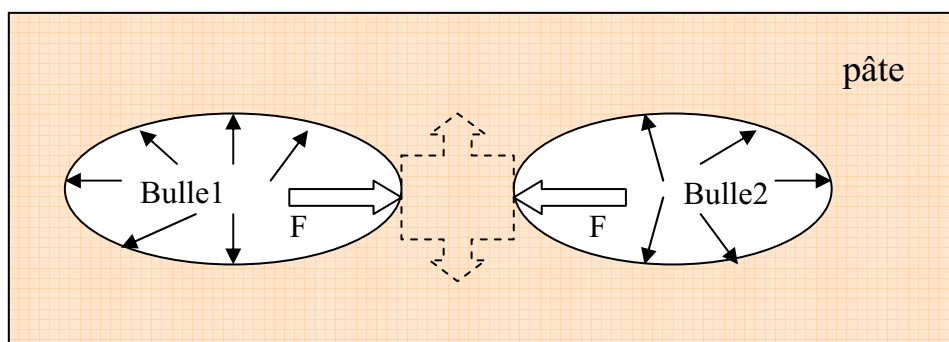


Figure 1 : Compression de la pâte à pain, lors de l'extension de bulles de gaz pendant la fermentation.

Par ailleurs, cette technique de compression permet de s'affranchir de l'empirisme de certaines méthodes, comme le gonflement d'une bulle de pâte avec l'alvéographe Chopin, en obtenant des valeurs de viscosités, qui sont des caractéristiques intrinsèques du milieu, éventuellement utilisables dans un modèle mathématique. En effet, l'alvéographe Chopin sert à estimer la « force boulangère » d'une farine, mais de manière très empirique. Un pâton est gonflé pour simuler la poussée gazeuse qui a lieu pendant la fermentation. Au cours du gonflement, l'alvéographe enregistre les variations de pression s'exerçant sur les parois internes de cette bulle, jusqu'à éclatement. Sur la courbe obtenue on peut lire des valeurs représentatives de la force de la farine : le travail « W » en joule, qui correspond à la surface sous la courbe, « P »

exprimé en mm H₂O et qui représente la déformation de la pâte sous la pression de l'air insufflé, et « L », l'allongement qui correspond à l'extensibilité de la pâte. Aucune de ces valeurs n'exprime directement la viscosité de la pâte contrairement à la LSF dont les mesures permettent d'obtenir une valeur de viscosité en Pa.s.

De plus la compression en conditions lubrifiées permet de s'approcher au mieux des conditions réelles de la fermentation (vitesses de déformation réelles très lentes, proches de 10^{-4} ou 10^{-3}s^{-1}) . Elle permet aussi le calcul de la déformation et de la contrainte pendant toute la durée de l'essai.

Des études en LSF ont déjà été réalisées auparavant sur différentes farines (CHAUNIER, 2005 ; LASSOUED 2005, ROUILLE 2003)elles restent à valider, ici pour des farines issues de l'agriculture biologique.

♦ La LSF dans le cadre du programme « Pains bio »

Ce travail s'est inscrit dans un ensemble d'études au sein du programme qui ont pour finalité commune de définir une farine conduisant au meilleur équilibre entre comportement meunier des blés, qualité organoleptique et densité nutritionnelle des pains fabriqués.

Les mesures de compression en conditions lubrifiées ont permis de quantifier le comportement rhéologique de farines biologiques (indice de consistance, indice de rhéodurcissement et indice d'écoulement) et ainsi de les différencier.

Des mesures préliminaires ont été effectuées pour la mise au point d'une méthode de mesure en LSF.

♦ Principe de la méthode et protocole expérimental

Le principe de la méthode LSF consiste à comprimer des échantillons avec une machine de traction/compression de type INSTRON 1122, équipée d'un capteur de force (cf. figure 2).

L'INSTRON est un dynamomètre constitué d'un plateau fixe et d'une traverse mobile sur laquelle on peut fixer différents plateaux supérieurs selon le type d'essai. Les plateaux utilisés sont en téflon, matériau très lisse, afin de limiter les frottements. De plus, ils sont lubrifiés (d'où le nom de cette méthode) avec de l'huile de paraffine pour assurer un glissement parfait de l'échantillon à la surface des plateaux. S'il n'y a pas de lubrifiant ou en quantité insuffisante, cela provoque un cisaillement important dans l'échantillon au contact du plateau, ce que l'on cherche à éviter .

Les caractéristiques de cette huile, qui satisfont le critère de Secor (LASSOUED, 2005), sont les suivantes :

- Densité 0,845-0,890
- Viscosité dynamique : de 110 à 230 mPa.s

La force appliquée à la pâte est mesurée. Grâce à une carte d'acquisition, les valeurs mesurées (20 / sec) sont enregistrées par un ordinateur, ce qui permet leur exploitation.

La compression est réalisée sous l'action du plateau supérieur qui se déplace à vitesse constante.

♦ Protocole des manipulations réalisées avec l'INSTRON

La préparation des pâtons s'effectue à l'aide d'un Farinographe Brabender afin de disposer de conditions de préparation identiques pour toutes les mesures et d'un enregistrement de consistance de pâte.

Les mesures en compression sont réalisées sur de la farine non levurée, car l'incorporation de levures rendrait le matériau évolutif, et donc susceptible de changer de masses volumiques très rapidement.

Les pâtons pèsent 5g et sont réalisés à l'aide de moules en téflon ($\varnothing = 20\text{mm}$; $h = 12$ à 13mm).

La teneur en eau des pâtons est fixée à 42,7% du poids total, soit environ 52,7% d'hydratation par rapport au poids de farine (hydratation habituelle d'une pâte à pain : 60 à 63% par rapport à la farine). Ce pourcentage d'hydratation, inférieur de près de 10% par rapport à celui de la pâte à pain s'explique pour des raisons de praticité. En effet, avec une trop forte teneur en eau de la pâte, le pâton s'affaisse sous son propre poids rendant impossible une mesure en compression. La valeur de 42,7% (par rapport au poids total) a été choisie en référence à des études déjà menées auparavant (ROUILLE, 2003). Elle correspond à une hydratation idéale des pâtons pour des mesures en LSF, pour des pains « blancs » non bio.

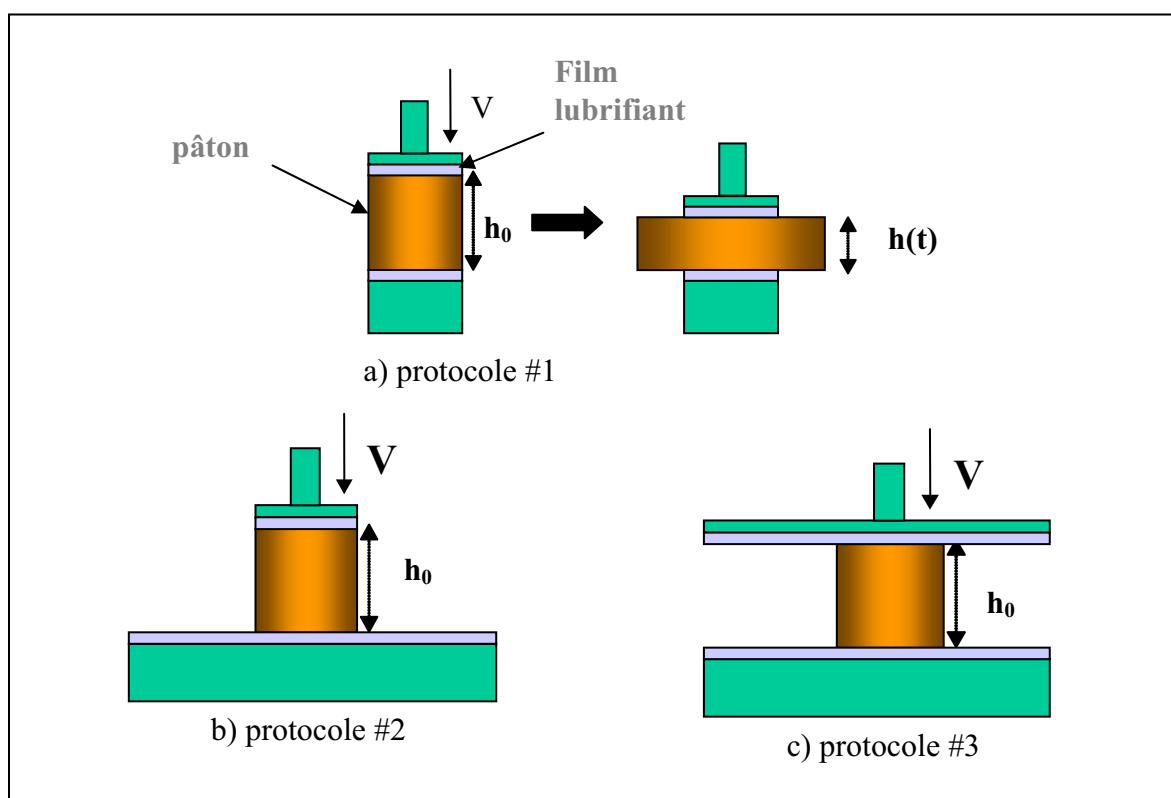


Figure 2 : Compression en conditions lubrifiées, à surface constante (a) et (b) ou à volume constant (c). Sur la figure h_0 est la hauteur initiale du pâton, $h(t)$ est la hauteur du pâton à l'instant t . (LASSOUED, 2005).

♦ Détermination de la viscosité et de l'indice de rhéo-durcissement

Les différents calculs effectués servent à déterminer la viscosité élongationnelle η_E de la pâte pour une déformation donnée et son indice de rhéo-durcissement pour une vitesse de déformation $\dot{\epsilon}_b$ donnée : $\eta_E = M \dot{\epsilon}_b^{n-1}$

Pour un produit rhéo-fluidifiant, ce qui est le cas d'une pâte à pain, l'indice d'écoulement, n est inférieur à 1. ($n \approx 0,2$ pour une pâte à pain) et M est l'indice de consistance.

Le caractère rhéo-durcissant de la pâte est évalué par un indice de : SHI (Strain Hardening Index). Cet indice est calculé à partir de la relation entre la contrainte et la déformation, modélisée par une loi exponentielle (VAN VLIET et al., 1992) :

$$SHI = \left(\frac{\partial \ln \sigma}{\partial \epsilon_b} \right)_{\epsilon_b = cst}$$

Le SHI est donc la pente de la droite tracée sur la courbe $\ln \sigma = f(\epsilon_b)$. Dans nos calculs, les valeurs de σ ont été relevées sur la courbe $\sigma = f(\epsilon_b)$, pour une vitesse de déformation de $0,01s^{-1}$, pour chaque valeur de ϵ_b .

2 Compression/relaxation de la mie de pain

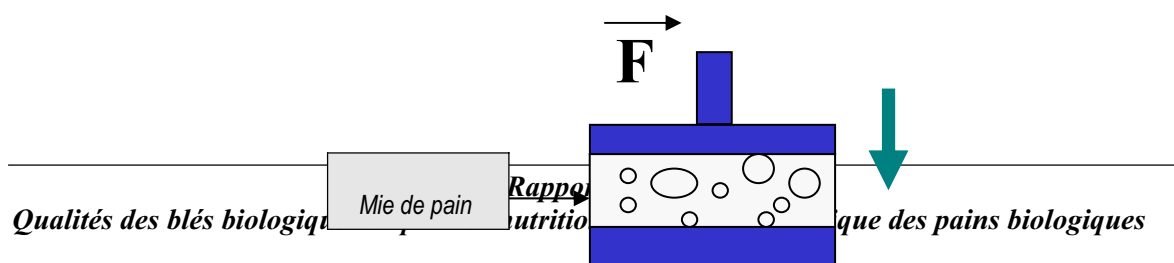
Les mesures de compression / relaxation sur la mie de pain ont pour but de caractériser sa texture par ses propriétés mécaniques. Les manipulations ont toutes été réalisées selon le même protocole à l'aide de l'INSTRON 1122.

Les mesures ont été faites sur les six types de pains fabriqués lors du test de panification de la première campagne de mouture.

Pour chaque type de pain, 6 essais de compression sont réalisés sur des échantillons, prélevés dans trois pains différents afin d'assurer la plus large gamme de prélèvement des échantillons.

Les échantillons de mie sont découpés dans des tranches de pain de 30mm d'épaisseur à l'aide d'un emporte-pièce dont le diamètre varie selon le mode de mouture (50mm de diamètre pour les pains issus de mouture sur cylindres, et de 40mm de diamètre pour les pains issus de mouture sur meules car la section des tranches est plus petite).

Ils sont ensuite placés sur une base fixe. Un plateau mobile descend et vient comprimer l'échantillon, à une vitesse de 50mm/min, jusqu'à une hauteur finale de l'échantillon de 10mm (compression à 1/3 de la hauteur initiale). La mie est ainsi comprimée pendant 1 minute, puis le plateau mobile remonte (cf. figure 11).



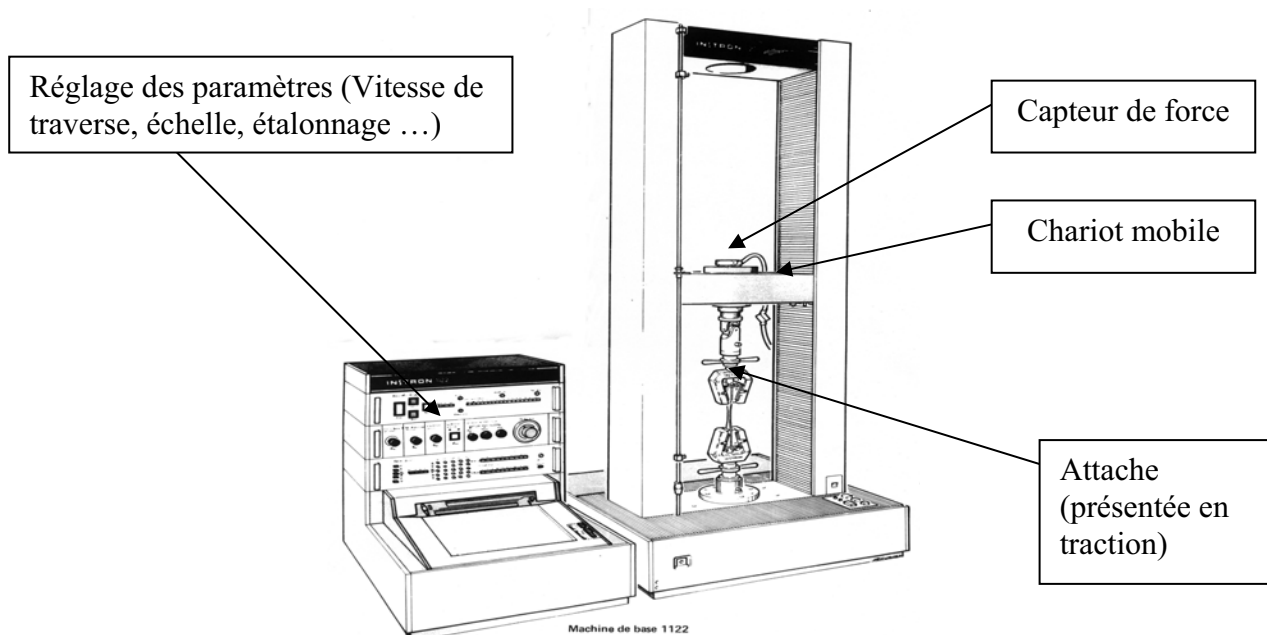


Figure 3 : Schéma de compression/relaxation sur de la mie de pain et Instron 1122.

Le temps de relaxation de la mie est égal à cinq fois le temps de compression (environ deux minutes) et l'on mesure la contrainte résiduelle au bout de ce temps.

Pendant la manipulation, la force exercée sur la mie est mesurée par un capteur situé sur le plateau mobile. A partir de ces données, enregistrées en continu sur un ordinateur la déformation et la contrainte sont calculées ; puis la courbe contrainte en fonction de la déformation est tracée, où seront lues les contraintes critique (σ_c) et résiduelle (σ_r).

La figure 4 explique comment sont obtenus les résultats à partir de l'évolution de la contrainte au cours de la compression et de la relaxation.

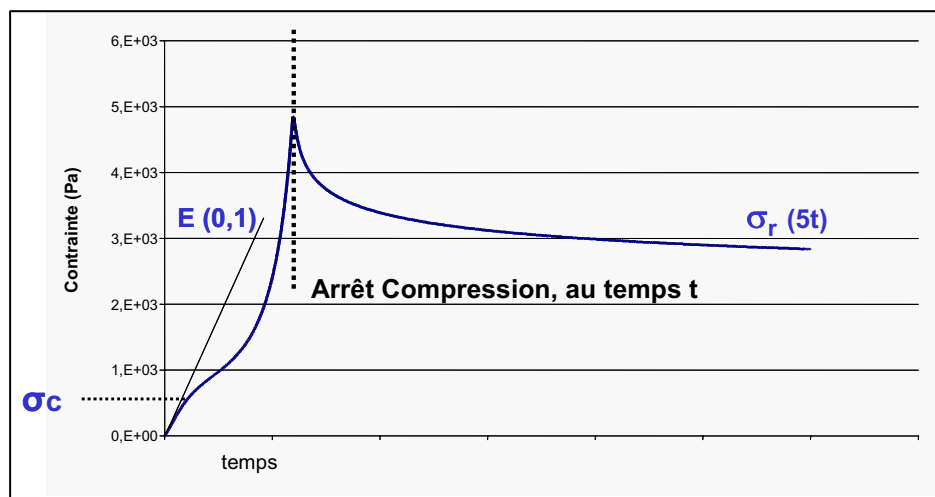


Figure 4 : Courbe-type compression/relaxation.

Les calculs de contrainte et de déformation de la mie sont effectués à l'aide des équations suivantes :

- contrainte appliquée sur la mie : $\sigma = F(t)/A$
 F étant la force mesurée par le capteur et A la surface de l'échantillon qui est comprimée
- déformation, au sens de Hencky : $\varepsilon = \ln(h(t)/h_0)$

- $h(t)$ étant la hauteur de l'échantillon à l'instant t et h_0 la hauteur initiale de l'échantillon.

La pente de la tangente à la courbe $\sigma = f(\varepsilon)$, pour une faible déformation de 0,1, dans le domaine élastique constitue le module d'Young initial $E(0,1)$.

3 L'analyse d'images

L'appréciation visuelle constitue l'un des principaux critères d'évaluation de la qualité des produits de panification par le consommateur. Le but de l'analyse d'images est, ici, de mettre au point une méthode objective de classification de pains biologiques, en fonction de la finesse et de l'hétérogénéité de leurs alvéoles.

L'analyse d'images sur les mies de pain s'est effectuée en différentes étapes d'acquisition, de binarisation, sélection de la région d'intérêt, traitement par morphologie mathématique pour tracer des courbes granulométriques (une / image de mie) avant de les exploiter par analyse en composantes principales. Ces étapes permettent d'aboutir à une carte de ressemblances où sont placées les différentes images d'échantillon selon la taille moyenne des alvéoles et l'homogénéité de l'alvéolage. (REGUERRE et al, 2005).
Méthode en annexe 2.

4 Perméabilité des mies

Des mesures de perméabilité ont été effectuées sur des pains congelés, puis décongelés, issus du test de panification Bipea AFNOR.

La perméabilité d'un milieu est définie par son aptitude à être traversé par un fluide sous l'effet d'un gradient de pression (cf. figure 5). Largement employée pour les milieux poreux, cette notion est moins courante pour les solides alvéolaires de porosités plus faibles. Dans le cas de mousses solides alimentaires, sa mesure complète l'évaluation de la structure et de la texture du produit final, notamment la connectivité des cellules gazeuses et la perméabilité de leurs parois. L'objectif de ce travail est de mesurer le coefficient de perméabilité de mies de pain obtenues suivant le protocole normalisé de panification BIPEA.

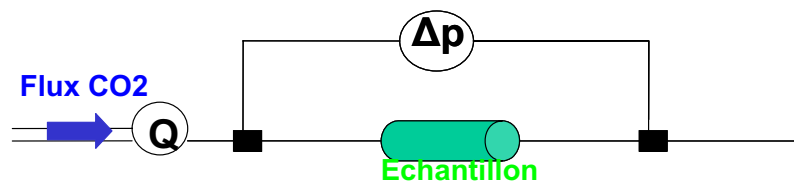


Figure 5 : Mesure de perméabilité : schéma de principe.

L'échantillon ($L = 12$ cm) est prélevé à l'aide d'un emporte-pièce ($\varnothing = 3,5$ cm). Il est ensuite placé dans une cellule hermétique traversée par un flux de CO_2 de viscosité μ et de débit Q connus ($\approx 0,4$ L/min). En régime laminaire permanent, la mesure de la différence de pression dP mesurée entre l'entrée et la sortie de la cellule (1 à 75 mBar ou hPa) permet de déterminer le coefficient de perméabilité k de l'échantillon par la loi de Darcy :

$$k = Q/S \cdot dx/dP \cdot \mu$$

$$\text{Equation aux dimensions : } [m^3 \cdot s^{-1} / m^2] \cdot [m/Pa] \cdot [Pa \cdot s] = [m^2]$$

k : coeff. de perméabilité (m^2 , ou Darcy : $1D = 9,87 \cdot 10^{-13} m^2$)

Q : débit d'air sec (m^3/s)

S : surface perpendiculaire au déplacement du fluide (m^2)

dx : longueur de l'échantillon (m)

dP : différence de pression Entrée-Sortie (Pa)

μ : viscosité du CO_2 à 300K, $15 \cdot 10^{-6}$ Pa.s (Handbook Phys.&Chem.)

5 Protocole Test de panification BIPEA

Une méthode directe d'appréciation de la valeur boulangère d'une farine (aptitude d'une farine à être plus ou moins panifiable), est l'essai de panification. Il suppose un fournil expérimental et la mise en oeuvre d'un protocole normalisé d'un test de fabrication à échelle réduite (cf. tableau 1). En France, celle-ci est appréciée pour le pain courant français par la méthodologie dite « BIPEA », normalisée sous la norme AFNOR (Agence Française de NORMalisation) : V03-716.

Les farines sont panifiées selon la recette:

- farine : base 100 = 1800g
- sel : 2,2%
- levure : 2,5%
- eau : de 61 à 70%

Le pourcentage d'eau à incorporer dans la farine sera décidé par le boulanger selon les valeurs obtenues à l'alvéographe (en particulier la valeur de P) ou à celles du Farinographe. L'objectif étant d'atteindre en fin de pétrissage une consistance de l'ordre de 350 Unités Brabender au Farinographe.

La fabrication du pain s'opère en plusieurs étapes dont les critères sont définis par la méthode BIPEA (cf. tableau 1).

Etapes de fabrication	Caractéristiques de fabrication	Matériel utilisé	
Pétrissage	Pétrins : Vitesse lente : Vitesse rapide : T°C pâte : 25°C ± 1°C	Artoflex 4 min à 50tr/min 17 min à 70tr/min	Mahot 4min à 40 tr/min 15min à 80tr/min
Pointage	20 min à 27°C ± 2°C	Chambre de fermentation à 75% d'hygrométrie	
Divisage	Manuel, en pâtons de - 350g ± 1g pour le pain - 25g ± 1g pour le mesureur de pousse		
Boulage	Manuel		
Détente	20 min à T° ambiante (20-22°C)		
Façonnage	Mécanique : longueur des pâtons 32cm ± 1cm	Façonneuse de boulangerie à deux ou trois rouleaux de laminage (écartement des rouleaux : 5mm)	
Apprêt	120 min à 27°C ± 2°C		
Mise au four	Scarification de 3 coups de lame	Lame à scarification de boulanger	
Cuisson	25min à 260°C ± 10°C	Four à sole équipé d'un système de génération de vapeur d'eau	

Tableau 4 : Diagramme de fabrication pour l'essai de panification par la méthode BIPEA

Les différentes étapes unitaires du protocole sont ensuite évaluées par une grille de notation (cf. annexe 1).

La notation par croix dans la grille permet de déterminer un profil qualité, correspondant à la dispersion des croix par rapport à la note 10 (caractère normal ou suffisant).

L'interprétation de cette grille est basée sur le principe suivant :

- Si la caractéristique jugée présente un défaut par excès, l'appréciation est notée dans la partie « excès » de la grille. Suivant l'intensité du défaut la case cochée sera :

- 7 si la caractéristique est jugée un peu excessive
- 4 si la caractéristique est jugée excessive
- 1 si la caractéristique est jugée très excessive

- Si la caractéristique jugée présente un défaut en insuffisance, l'appréciation est notée dans la partie « insuffisance » de la grille. Suivant l'intensité de défaut les notes 7, 4, et 1 pourront être attribuées pour les caractères un peu suffisant, insuffisant et très insuffisant.

Ce système de notation des observations proposé par P. Roussel (1989) dans le cadre du BIPEA est calqué sur les intensités de défaut qui sont souvent employées en boulangerie pour l'appréciation qualitative des pâtes et des pains. Il peut se rapprocher d'une base d'interprétation assez courante : 10 (bon), 7 (assez bon), 4 (médiocre), 1 (mauvais).

Si la grille permet de bien identifier les qualités et défauts aux différents stades de la fabrication, elle ne définit pas un niveau de qualité. La note globale ou note de valeur boulangère sur 300 points est beaucoup plus facile à utiliser pour le classement, la sélection ou dans les contrats d'achats de blé.

Par un jeu de coefficients appliqué à chaque note individuelle de la grille, on détermine :

- une note de pâte exprimée sur 100 points.

Sont ainsi évaluées : la pâte au cours du pétrissage, au cours du façonnage, l'activité fermentative lors des deux temps de détente, et sa tenue à la mise au four.

- une note d'aspect extérieur de pain sur 100 points.

Cette note tient compte de la couleur du pain, de son épaisseur, du croustillant et du coup de lame.

- une note de mie sur 100 points.

Pour la mie, on teste sa texture, l'alvéolage, son odeur et sa couleur.

Le total sur 300 points exprime la valeur boulangère (, ROUSSEL CHIRON 2002).

Remarques :

→ Le test BIPEA est conçu à l'origine pour des farines à faible taux de cendres (farines de type T55 à T65).

→ Le test a été mis au point sur des farines obtenues par mouture sur cylindres, c'est-à-dire à faible teneur en germe et donc en matières grasses

→ Ce test entraîne donc une réponse non optimale lorsqu'il est pratiqué sur des farines de type supérieur à T65 en raison de la concentration élevée en levure et du caractère intensif de l'étape de pétrissage.

c) Résultats

1 Propriétés rhéologiques de la pâte

Les mesures de compression en conditions lubrifiées ont été effectuées sur des pâtes à pain préparées à l'aide des six farines étudiées et selon le protocole décrit dans la partie matériel et méthode. Les propriétés rhéologiques des pâtes sont caractérisées par les valeurs de leur viscosité (cf. figure 6), du SHI (cf. figure 7), et de l'indice d'écoulement. Les notations des farines étant indiquées au Tableau 2.

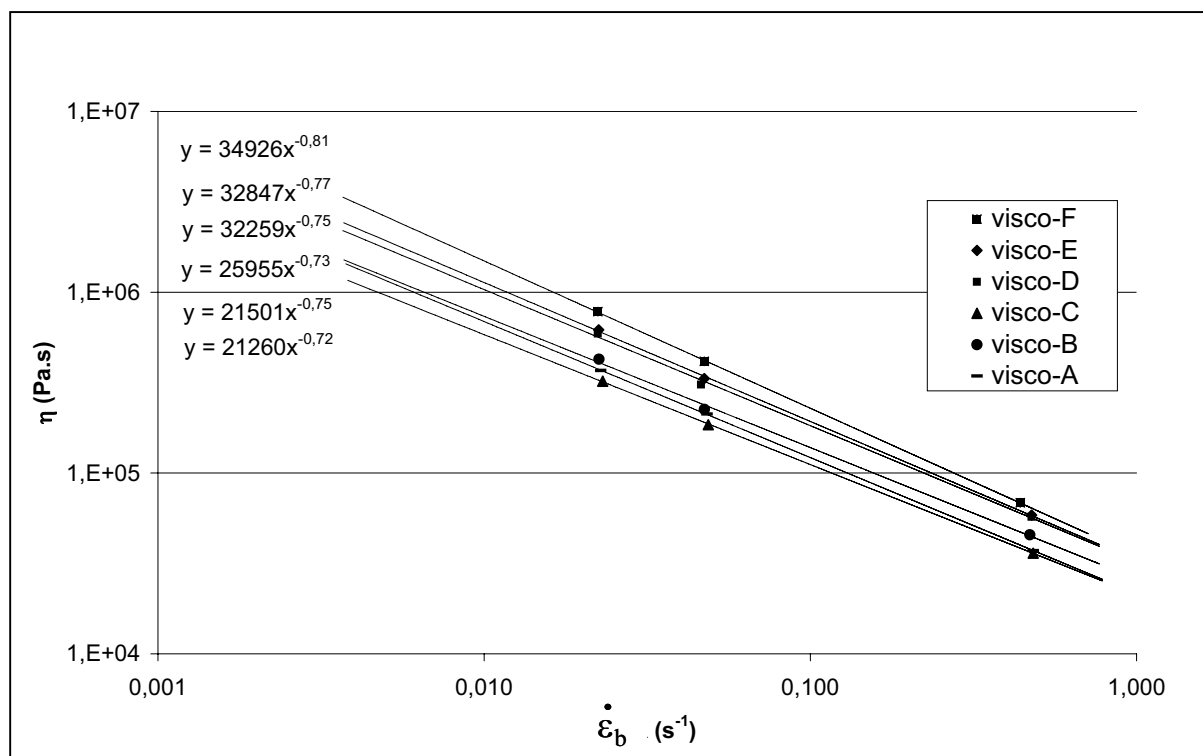


Figure 6 : Variation de la viscosité en fonction de la vitesse de déformation pour les 6 farines étudiées ; pour $\epsilon_b = 0,1$.

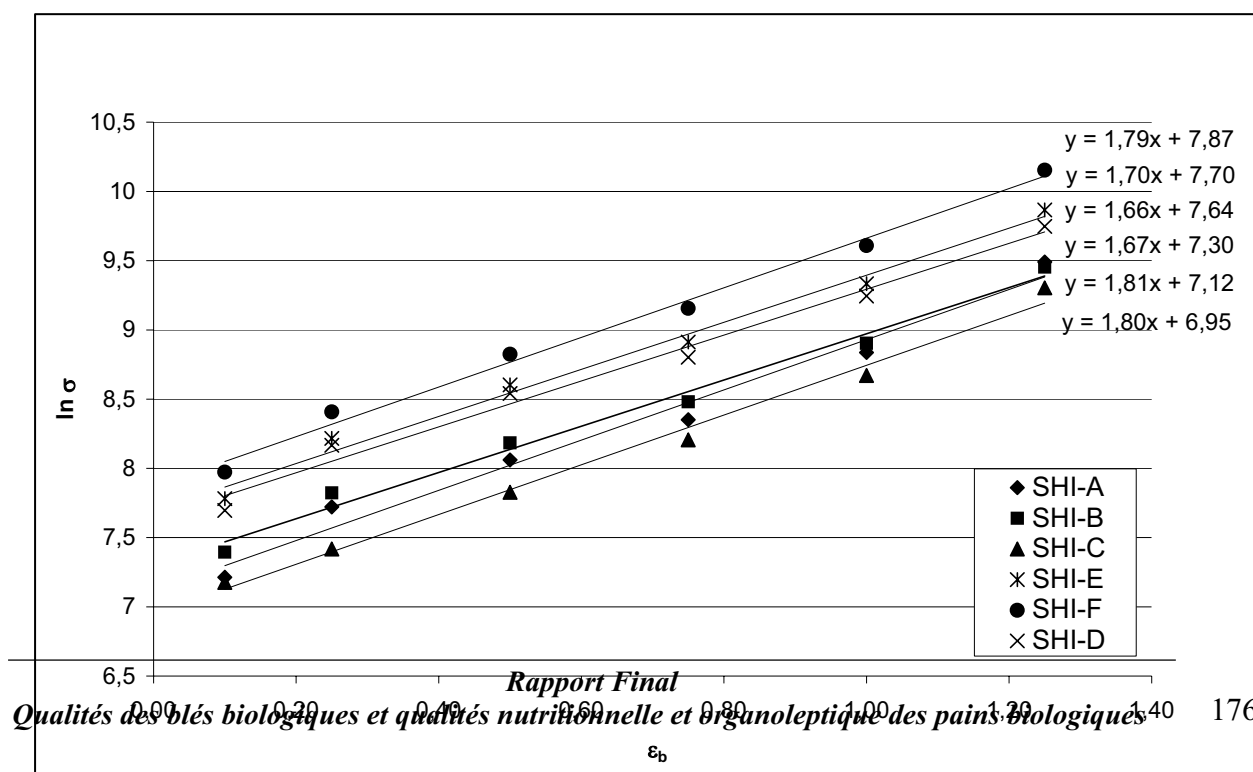


Figure 7 : Logarithme de la contrainte en fonction de la déformation, pour les 6 farines étudiées.

Les deux courbes ci-dessus, mettent en évidence l'influence du procédé de mouture sur le comportement rhéologique des pâtes. En effet, pour une même teneur en eau, les farines de meules donnent des pâtes ayant une viscosité plus importante, de façon significative, que des pâtes fabriquées avec de la farine de cylindres (cf. tableau 3).

Type de mouture	Farine	SHI	M	n	Farinographe (en Unité Brabender)
.2.c.1...	A	1,81	21 500	0,25	950
	B	1,67	25 960	0,27	980
	C	1,8	21 260	0,28	840
MEULES	D	1,66	32 260	0,25	> 1000
	E	1,7	32 850	0,23	> 1000
	F	1,79	34 930	0,19	> 1000

Tableau 5 : SHI, indices de consistance et d'écoulement des six pâtes étudiées.

Les valeurs de l'indice de rhéo-durcissement sont peu différentes pour les farines testées : il y a peu d'effet « procédé de mouture » sur ce critère, ainsi que pour les indices d'écoulement, à l'exception de la farine F, qui présente un indice un peu plus faible.

En revanche, l'effet « procédé de mouture » est très important sur l'indice de consistance des pâtes : M est faible pour les moutures cylindres et est, par contre, très élevé pour les farines de meules (on retrouve un classement des consistances similaire à celui obtenu au Farinographe Brabender).

Cette consistance importante des farines de meules pourrait s'expliquer par la présence de particules d'enveloppes du grain (sons) dans ces farines, visible dans leur taux de cendres. En effet ces particules absorbent beaucoup d'eau ; Une plus grande quantité d'amidon endommagé dans les farines de meules pourrait aussi être à l'origine de cette augmentation de la consistance puisqu'il absorberait lui aussi davantage d'eau.

2 Compression de la mie de pain : propriétés mécaniques et texture.

♦ Premiers résultats et comparaison avec l'analyse sensorielle

Ce test a d'abord été appliqué à des pains bio (BioFournil), ou de fabrication proche (Bonebel), afin d'évaluer son aptitude à la caractérisation de leur texture et de son évolution, (les mesures ont été faites sur 4 jours). Les résultats sont illustrés ci-dessous par les variations des modules initiaux.

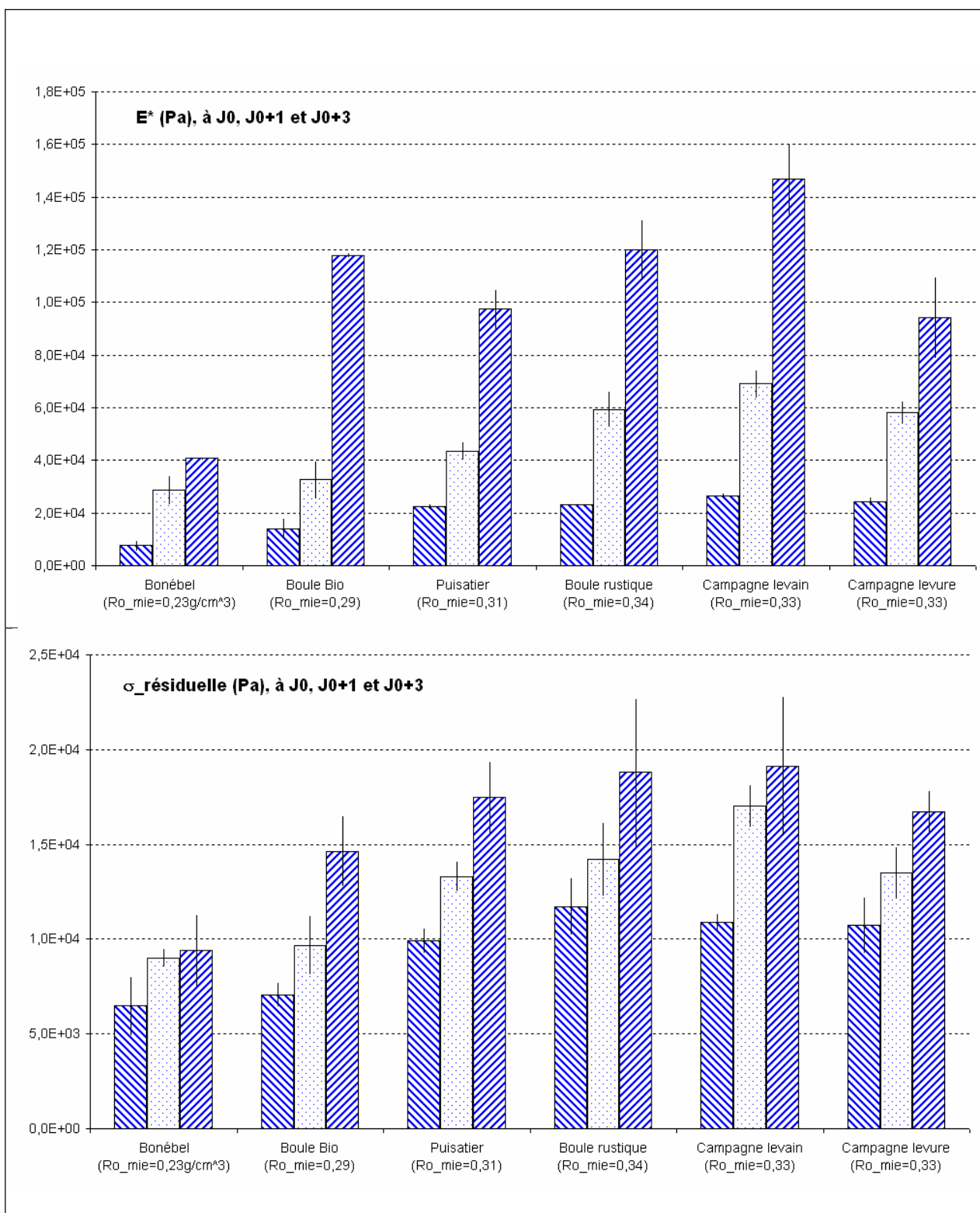


Figure 8 : courbes contrainte/déformation des mies de pains commerciaux en compression et évolution des valeurs de module (pente initiale de la courbe) sur 4 jours.

◆ Evolution du comportement élastique des produits au cours du temps

La discrimination des produits est la plus importante selon le module d'Young de leur mie (facteur de variation compris entre 2.5 et 3.5 selon le jour de l'analyse). Les valeurs de la contrainte résiduelle (exprimant la force qu'exerce l'échantillon pour revenir à sa hauteur initiale après déformation jusqu'à 1/3 de sa hauteur initiale) présentent en revanche de plus faibles variations entre produits (facteur de 2). Ces résultats recoupent également l'augmentation de la valeur des paramètres observés au cours du temps. Le module d'Young est de plus en plus élevé traduisant, une rigidification de l'ensemble des produits.

Au premier jour de l'analyse on constate que la discrimination des produits entre eux est peu évidente. Seuls le pain Bonebel et la boule Bio Carrefour se distinguent par leur valeurs de module d'Young de la mie, plus faibles ($E_{mie} > 20$ kPa). Ce sont aussi les deux produits aux mies les moins fermes et ceux qui présentent les masses volumiques les plus faibles (< 0.3 g/cm³).

Après 24 heures de conservation, l'augmentation (d'un facteur compris entre 2 et 4) des valeurs du module de Young de la mie témoigne d'une rigidification continue des mies. Toutefois Bonebel et boule bio Carrefour préservent leur qualité supérieure de comportement. Par contre, le pain de campagne levain présente le module de la mie le plus élevé (> 60 kPa) et une contrainte résiduelle particulièrement forte > 15 kPa.

Au troisième jour de l'analyse, les valeurs du module de Young augmentent fortement pour trois des six produits (boule bio, boule rustique, campagne levain). Les mies deviennent plus résistantes à la déformation traduisant l'amplification du phénomène de rassissement, décrit notamment par Launay B. et Bure B. 1977.

Seul le Bonebel se distingue pour la bonne conservation de ses propriétés mécaniques, y compris au stade J+3. Ce dernier s'oppose en particulier au campagne levain qui est l'un des pains les plus affecté par le rassissement.

Les méthodes de caractérisation mécaniques et sensorielles (ST6) permettent une discrimination globalement satisfaisante des produits entre eux. L'approche sensorielle permet une discrimination plus nette au premier jour de l'analyse par contre l'approche instrumentale met mieux en évidence les effets du rassissement.

L'approche sensorielle du moelleux est complexe et multi-factorielle. En comparant les résultats des deux approches, il apparaît que les meilleures corrélations sont obtenues entre les valeurs du module de Young de la mie et les classements sensoriels.

3 Propriétés mécaniques des mies de pain bio fabriqués au labo

Un traitement des données obtenues selon le protocole décrit en Fig.4 à partir des courbes contrainte-déplacement, donne les résultats suivants (cf. tableau 6) :

Type de mouture	Mie	ρ (kg/m ³)	Teneur en eau (%)	$E(0,1)$ (Pa)	$E(1,1)$ (Pa)	σ_r (Pa)	σ_c (Pa)
CYLINDRES	A	134	44,8	6715	6130	2182	942
	B	163	47,4	8314	9422	3247	1300
	C	123	44,5	4739	6403	2501	758

MEULES	D	166	47,7	11620	19303	6163	1936
	E	153	48,7	11318	14438	4725	1548
	F	187	48,6	7160	11756	3287	865

Tableau 6 : Masse volumique des mies de pain (ρ), modules E (pour des déformations linéaires de Hencky de 0,1 (module initial) et 1,1 (déformation à 66%)) et contraintes (σ), mesurées lors de la compression des mies de pain.

Les différentes valeurs calculées varient dans un intervalle de +/- 10 %, calculé par les écarts-types trouvés après 6 répétitions. Ces résultats montrent une plus forte teneur en eau pour les farines de meules, qui s'explique en partie par une hydratation beaucoup plus importante de ces farines lors du test de panification. Ces valeurs de teneur en eau sont cohérentes avec les plus fortes masses volumiques des mies des farines de meules et leurs modules et contraintes plus élevées, notamment pour D et E (cf. tableau 6).

L'ensemble des résultats sont rassemblés en annexe 3.

On constate que la farine **D**, référence meule, présente les valeurs les plus élevées de modules ($E(0,1) > 11,6$ kPa), de contraintes résiduelles ($> 6,1$ kPa) et critiques ($> 1,9$ kPa). Des résultats proches sont obtenus avec la farine **E**. A l'opposé, les farines **A** et **C** donnent les valeurs les plus faibles. A l'exception de la farine F, au taux de décortilage supérieur, les farines de cylindres ont un comportement mécanique caractérisé par des valeurs plus faibles que celui des farines de meules. A partir des valeurs de force mesurées par le capteur, des calculs sont effectués et permettent de tracer la courbe contrainte en fonction de la déformation (cf. figure 24).

Les valeurs de contraintes résiduelle (σ_r) et critique (σ_c) sont lues sur cette courbe.

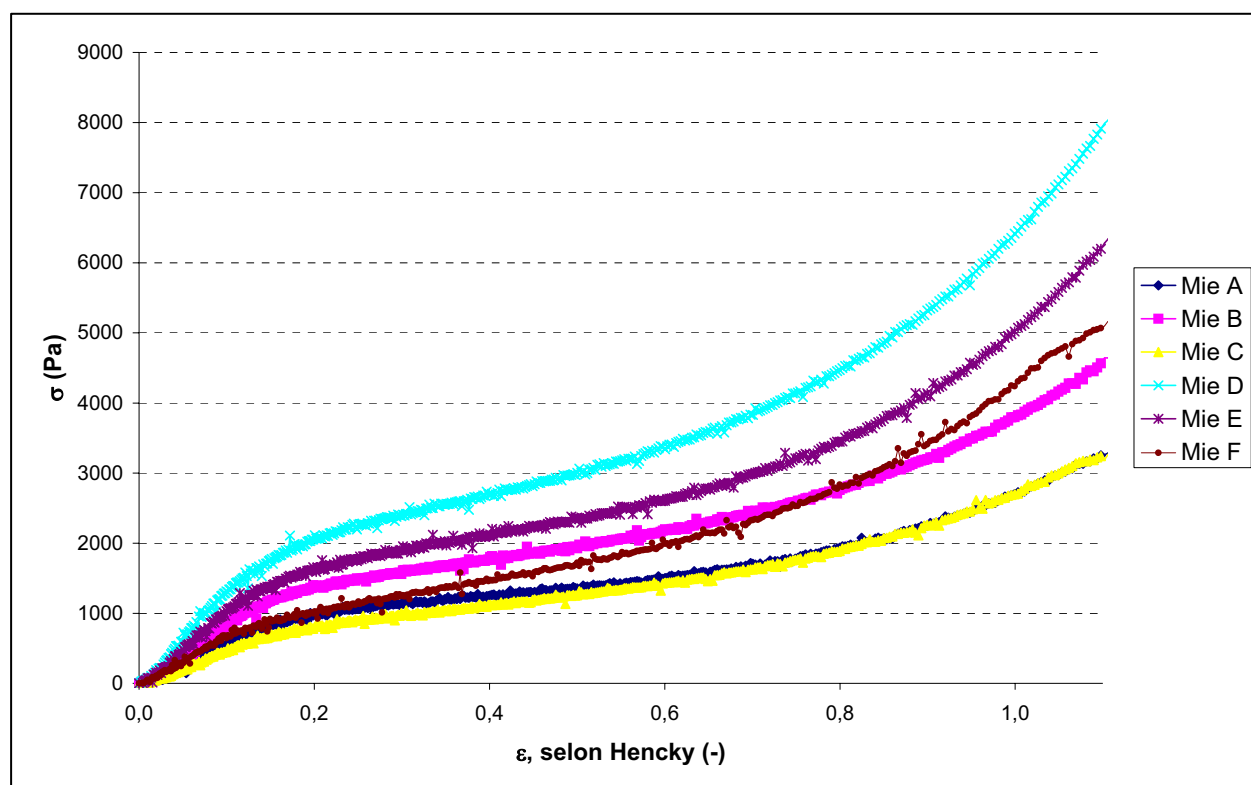


Figure 9 : Courbes moyennes de la contrainte en fonction de la déformation, pour toutes les mies de pains étudiées.

Il semblerait, d'après la figure 24, que les farines se classent entre elles selon leur module d'Young initial ($E(0,1)$) et gardent ce classement quelque soit la déformation pour les autres critères (contraintes critiques, résiduelles et module matériau densifié).

L'analyse des propriétés mécaniques des mies pourrait donc se baser uniquement sur les valeurs du module initial. Cependant, la seule valeur lue directement sur la courbe $\sigma = f(\varepsilon)$, et donc la plus fiable, est celle de la contrainte résiduelle (σ_r), en fin de relaxation. Cela est par ailleurs réalisable, d'un point de vue pratique, la durée des manipulations ne dépassant pas les 3 minutes.

Il est donc plus judicieux de se baser sur la valeur de la contrainte résiduelle (σ_r), pour analyser les propriétés mécaniques des mies et rechercher un lien avec leur structure et texture.

La contrainte résiduelle a donc été tracée, pour les six farine étudiées, en fonction de la masse volumique de la mie pour juger de son influence selon les farines (cf. figure 10).

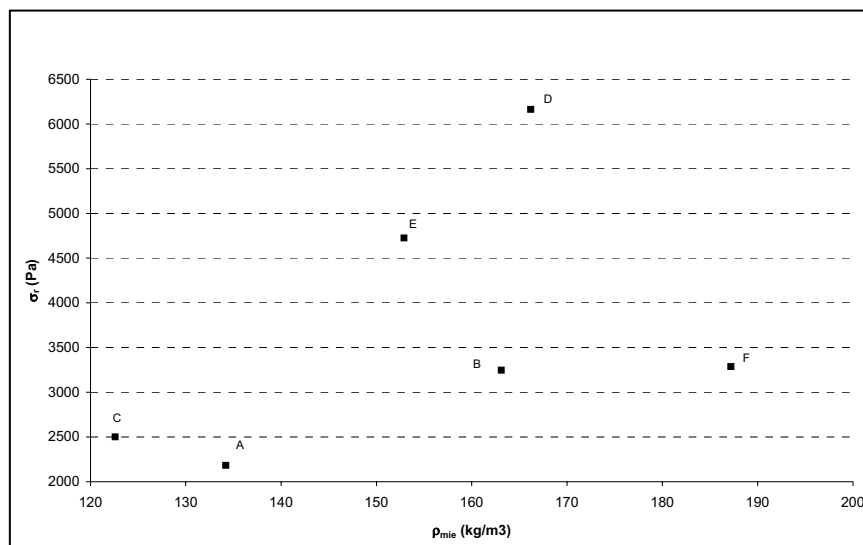


Figure 10 : Contrainte résiduelle (σ_r) en fonction de la masse volumique de la mie, pour les six farines étudiées.

Ce graphe ne montre pas de corrélation entre la contrainte résiduelle et la masse volumique de la mie. Les farines de meules D et E présentent cependant une valeur plus élevée de la contrainte résiduelle que les farines de mouture sur cylindres.

Il semble donc que la structure cellulaire des mies n'a pas d'influence leurs propriétés mécaniques. Donc, les propriétés mécaniques des matériaux pariétaux, susceptibles de varier en fonction de la composition des farines, influeraient directement sur celles des mies. Le taux de déformation (66%, en linéaire) jusqu'auquel ont été réalisées les compressions n'est pas suffisant pour mesurer le module mécanique du matériau pariétal.

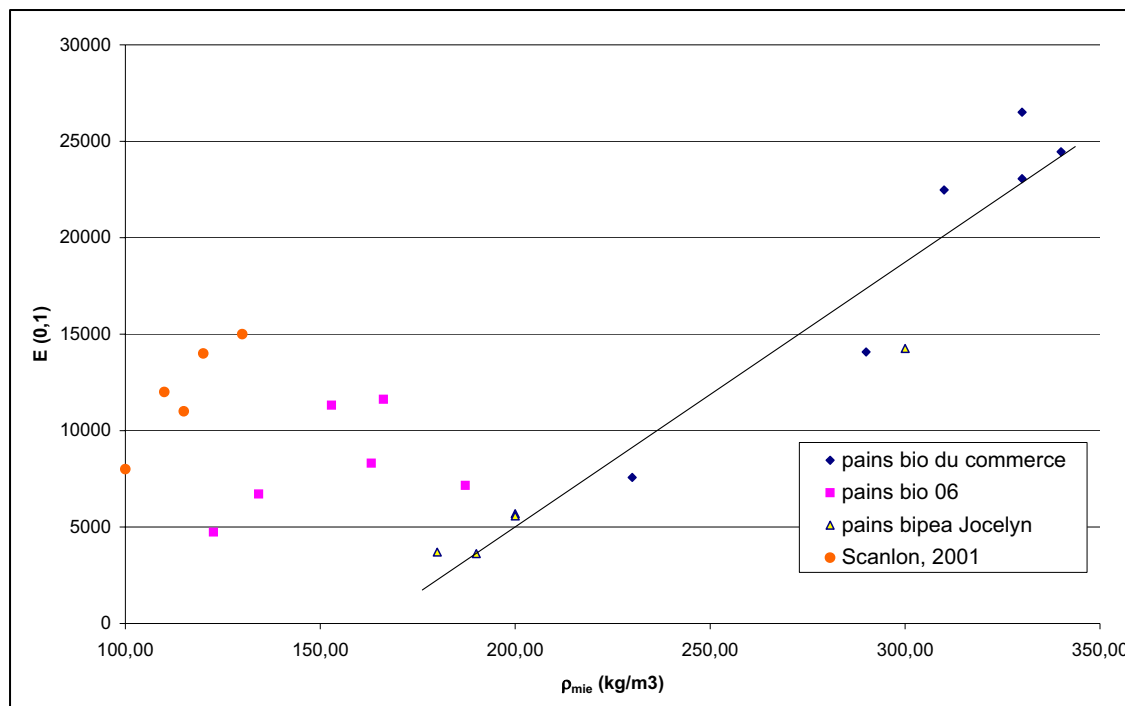


Figure 11 : Module initial en fonction de la masse volumique de la mie, pour les farines étudiées (pains bio 2006), pour des pains bio du commerce (étude faite en 2005 par Solène François, stage Master), pour des pains Bipea (ROUILLE ,2003) et des pains de mie (SCANLON et ZGHAL., 2001).

Les pains biologiques du commerce et les pains réalisés par J. Rouillé selon le protocole BIPEA sont groupés autour d’une même courbe de tendance (cf. figure 11). Le module initial varie donc, pour ces pains, de façon linéaire avec la masse volumique de la mie. Il n’en est pas de même pour les pains biologiques étudiés. Tout d’abord, ceux-ci ont une masse volumique particulièrement faible par rapport aux pains biologiques du commerce (ceci étant sans doute dû au protocole BIPEA du test de panification qui donne des pains plus volumineux) et présente des propriétés mécaniques élevées.

4 Coefficient de perméabilité des mies

Type de mouture	Mie	Perméabilité en Darcy (D)
CYLINDRES	A	253 *
	B	216 *
	C	312 +/- 79
MEULES	D	199 *
	E	202 +/- 34
	F	151 +/- 44

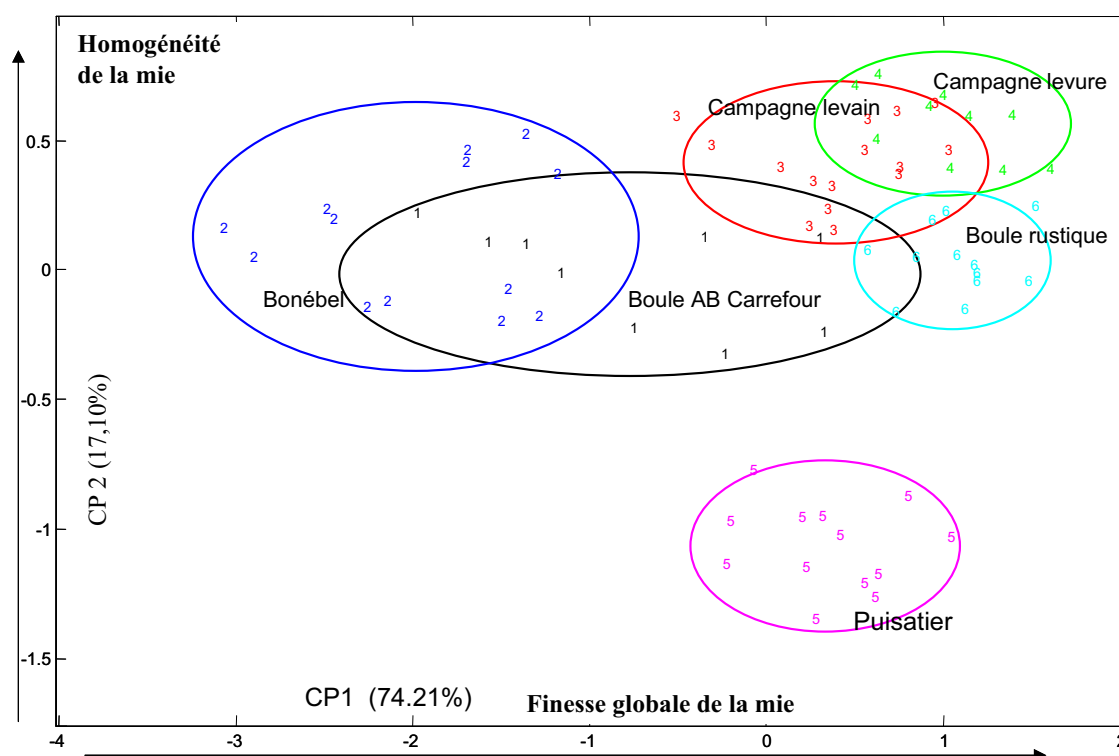
Tableau 7 : Perméabilité des pains bio

* les écart-types n'ont pas pu être calculés pour ces valeurs car seuls deux essais ont pu être réalisés pour ces farines.

Les perméabilités mesurées (cf. tableau 6) ne permettent pas de différencier les deux procédés de mouture, bien qu'elles semblent anti-corrélée à la masse volumique des mies, notamment pour les mies les plus denses (mie F : 187 g/cm³, cf. tableau 4) présentant un coefficient de perméabilité faible (< 200 D), opposé à celui de la farine C (> 310D), de densité plus faible (123 g/cm³, cf. tableau 4).

5 Alvéolage des mies de pain

* Pains bio commerciaux : comme pour les mesures en compression, ce test a d'abord été appliqué à des pains commerciaux pour en tester l'aptitude. La figure 19 correspond à la représentation graphique obtenue pour la projection sur le plan factoriel F1 – F2. L'axe 1 y contribue à hauteur de 74%, cet axe décrit la finesse (ou la taille moyenne, à l'opposé) de la structure des mies en opposant celle à texture fine à droite, à celles aux textures plus grossières à gauche. L'axe 2, bien que moins discriminant (17%) permet tout de même de décrire l'hétérogénéité de la structure des mies. Ainsi selon cette composante, les mies homogènes (arrangement d'alvéoles de taille moyenne) s'opposent aux mies plus hétérogènes caractérisées par la présence d'alvéoles de plus grandes et plus petites tailles.



(a)

Fig.12 : carte de ressemblance des produits (a) commerciaux, (b) fabriqués au fournil INRA, selon leur alvéolage (texture visuelle)

La proximité du campagne levain, du campagne levure et de la boule rustique sur la carte de ressemblance reflète la similitude de leur texture de mies : de textures fines, elles se caractérisent par l'arrangement homogène des alvéoles dans la matrice. Ces produits se

distinguent ainsi du Bonébel et dans une moindre mesure de la boule bio Carrefour, qui présente une texture de mie homogène mais plus grossière (alvéoles plus grosses).

Ayant une finesse de mie équivalente au campagne levain, le pain Puisatier se distingue par la forte hétérogénéité de l'arrangement de ses alvéoles (association de petites et grosses alvéoles). Il apparaît comme le produit ayant la texture la plus hétérogène parmi les six produits testés.

La carte de ressemblance élaborée par la méthode de l'analyse d'images montre qu'une discrimination des produits en fonction de leur texture visuelle a été obtenue. Elle permet la classification des produits selon la finesse de leur mie, et dans une moindre mesure selon l'hétérogénéité de leur texture. Cette méthode met en évidence la proximité des textures visuelles de plusieurs produits testés. Malgré la bonne performance du jury pour les trois jours d'analyse, l'approche sensorielle de l'alvéolage n'a permis que la discrimination des produits extrêmes.

6 Pains des farine bio du programme

La figure 13 représente la carte de ressemblance obtenue pour les mies de pain fabriquées à partir des farines bio.

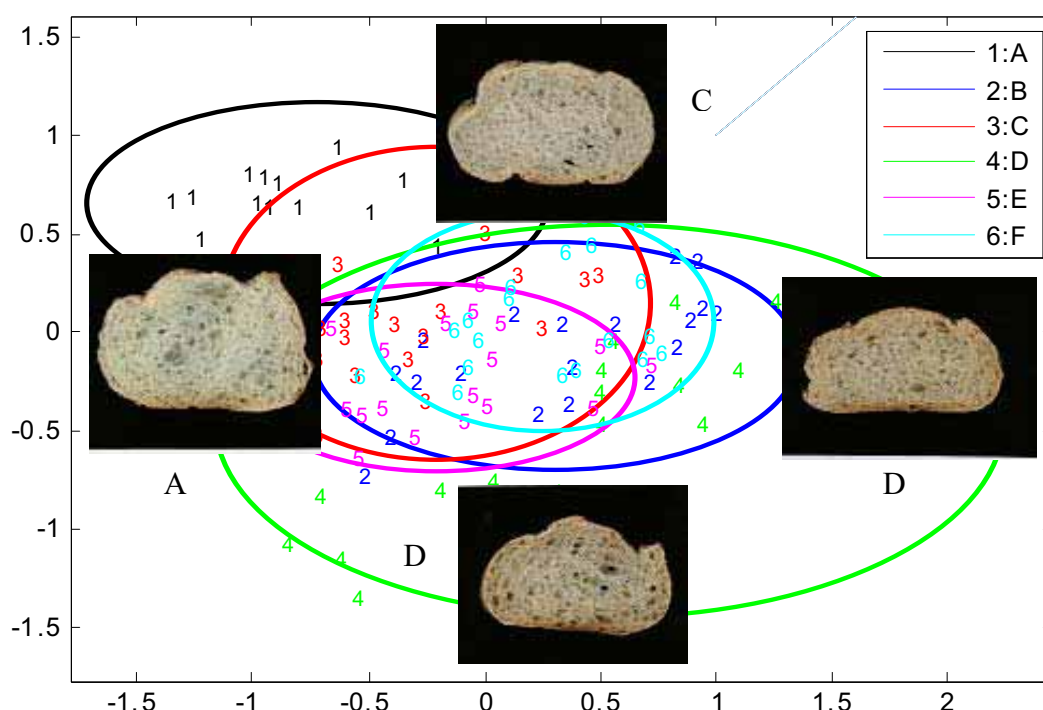


Figure 13 : carte de ressemblance. Les images insérées sur le graphique représentent les images caractéristiques des extrêmes des axes.

Elle ne permet pas de distinguer les images étudiées en groupes nettement distincts. Cependant, deux types de mie se différencient légèrement des autres : la référence cylindre (A) et la référence meule (D). En effet, le groupe de points « 1 », qui rassemble les pains fabriqués à partir de la farine référence cylindre A, se situe en haut de l'axe 2 et à gauche sur

l'axe 1. Cette position des points met en évidence une texture de mie plus grossière et assez homogène.

Le groupe des points « 4 » (farine référence meule, D) a également une position particulière et se concentre au bas de l'axe 2. Il présente donc une texture de mie assez hétérogène dans la taille de ses alvéoles, avec des moyennes et des grosses alvéoles ainsi que des petites parois. Par ailleurs, son ellipse caractéristique s'étale sur tout l'axe 1. Ceci reflète une grande hétérogénéité des mies de pains, tous fabriqués à partir de la farine de meules D. En effet, les différentes images analysées rendent compte de tranches de pain ayant des mies très fines et d'autres des mies beaucoup plus grossières.

Le test de panification BIPEA qui présentent le gros avantage d'être normalisé, ne met donc en évidence que très peu de différence d'alvéolage entre les 6 pains étudiés (ce qui justifie la mise au point d'un test de panification spécifique).

7 Les tests de panification

Les six farines ont été testées le même jour dans les mêmes conditions, selon le même protocole « BIPEA ».

Une forte hydratation de la pâte a été nécessaire, notamment pour les farines de meules (hydratation des pâtes > 70% pour les farines de meules, entre 63% et 68% pour les farines de cylindres). En effet, la trop grande consistance des pâtes pour une faible hydratation (cf. résultats de la compression en conditions lubrifiées) nécessitait un complément d'hydratation afin d'obtenir une consistance correcte pour la panification.

Cette importante fixation d'eau serait sans doute due aux sons et aux matières fibreuses contenus dans la farine de meules qui ont un important potentiel de fixation d'eau.

Les résultats des tests BIPEA sont détaillés en annexe 3 et les notes obtenues pour les différentes farines sont reportées dans le tableau 8 .

Type de mouture	Farine	Masse volumique (g/cm ³)	Note pâte /100	Note pain /100	Note mie /100	Note globale /300
CYLINDRES	A	0,165	90	81	97	268
	B	0,186	86	66	76	228
	C	0,162	78	72	82	232
MEULES	D	0,216	75	56	73	204
	E	0,203	81	56	79	216
	F	0,217	84	56	76	216

Tableau 8 : Notes obtenues au test BIPEA par les farines biologiques

Les farines de meules obtiennent de moins bonnes notes globales que les farines de cylindres et semblent surtout pénalisées par les notes de pain. Les pains D, E et F présentent par ailleurs de faibles volumes (cf. annexe 2) et sont donc plus denses.

La farine A, référence cylindres a obtenu la meilleure note de panification et ne présente pas de défaut particulier.

Les farines B et C différaient de la référence cylindres par l'ajout de remoulages ou de semoules bises. On note une activité fermentaire plus forte pour ces deux farines, qui a fragilisé la tenue du pâton, au moment de la mise au four. Cela a aussi pénalisé les coups de lame et également l'expansion au four et donc le volume pour la farine B.

La farine B présente par ailleurs une consistance excessive ainsi qu'un déficit d'allongement et d'extensibilité.

La farine C a obtenu la note de pâte la plus faible des farines de cylindres. On constate en effet une dégradation de la valeur boulangère au moment du pétrissage avec une pâte collante, trop extensible, pas assez consistante ni élastique. Le volume du pain est par contre équivalent et même un peu supérieur à celui de la farine référence cylindre. Les semoules incorporées ont une influence sur l'odeur du pain.

Les farines de meules ayant subi un traitement de décortication obtiennent une meilleure note de pâte. Ceci pourrait être lié au taux de cendres qui diminue lorsque le pourcentage de grain décortiqué augmente. En effet la farine, contenant moins de fragments de sons, absorbe plus rapidement l'eau lors du pétrissage. Ainsi elle ne pénalise pas le collant de la pâte, son relâchement ou encore son extensibilité.

Les différents niveaux de décortication n'influencent pas de façon nette les autres caractéristiques du pain.

Enfin, il existe sur cette série de moutures d'essais une séparation nette entre les meules et les cylindres en ce qui concerne la couleur de la mie, beaucoup plus crème pour les meules. Ceci est à mettre en relation avec le tableau 3.

3) DISCUSSION

Les caractéristiques sensorielles ont pu être comparées aux mesures physiques et ont montré une bonne aptitude de ces dernières (compression, analyses d'image des mies) à décrire la texture.

Ces méthodes ont donc pu être reconduites pour évaluer le comportement en panification de farines bio et étoffées par des mesures rhéologiques sur la pâte. Elles ont montré que l'effet « procédé de mouture » est très important sur l'indice de consistance des pâtes, faible pour les moutures cylindres, très élevé pour les farines de meules, ce classement des consistances est similaire à celui obtenu au Farinographe. Cette consistance importante des farines de meules pourrait s'expliquer par la présence de particules d'enveloppes du grain (sons) dans ces farines, qui augmentent leur taux de cendres. En effet ces particules absorbent beaucoup d'eau, qui est alors moins disponible pour le gluten, elles constituent en outre des amorces de fragilité dans le réseau protéique lors de l'expansion. Une plus grande quantité d'amidon endommagé dans les farines de meules pourrait aussi être à l'origine de cette augmentation de la consistance puisqu'il absorberait lui aussi davantage d'eau. Si l'impact des moutures sur le comportement en panification a ainsi pu être mis en évidence, en revanche, l'application du protocole BIPEA a conduit à des densités trop faibles pour conduire à des caractéristiques de texture très différentes. Des recommandations ont donc été émises pour l'élaboration de pains bio dans le sens de modifications de protocole afin que celui-ci ne gomme pas les différences liées aux farines, (alinéat 2.a.3)

4) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

Le principal écart affiché réside dans l'impossibilité, inhérente à ce type de réalisations, de mesurer directement les propriétés physiques des produits employés pour faire des tests sensoriels par des autres partenaires, très éloignés. Cela n'a pas permis de compléter la validation de toute la démarche du projet, en dépit de l'aptitude avérée des méthodes employées dans cette tâche.

5) VALORISATION

Communication de posters aux journées techniques de la Meunerie Française AEMIC, novembre 2006

Communication au séminaire farines et pains bios organisé par l'Agence Bio au salon National de la boulangerie 23 janvier 2006.

BIBLIOGRAPHIE

CHAUNIER L., CHIRON H., DELLA VALLE G., REGUERRE A-L., DESSEV T., 2005.- Mesure des propriétés élongationnelles de pâtes à pain et évaluation de la texture des mies par analyse d'images. *Rhéologie*, volume 8, 13-19.

FNEGE, FONDATION NATIONALE POUR L'ENSEIGNEMENT DE LA GESTION DES ENTREPRISES., (Page consultée le 5 avril 2006).- Site de la FNEGE. [En ligne]. <http://www.fnege.net>

LASSOUED-OUALDI N., 2005.- *Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : effet de la composition.* - Massy : ENSIAA, 162p. (Doctorat en Sciences Alimentaires : Massy : 2 décembre 2005).

REGUERRE A.L., DEVAUX M-F., LASSOUED N., CHIRON H., 2005.- Caractérisation Par Analyse d'Images de Produits Céréalières Alvéolaires selon leur Texture Visuelle. *Cahier Technique INRA*, 56, pp 17-32.

ROUILLE J., 2003.- *Mécanisme d'alvéolation de la pâte et la mie de pain français.* - Nantes : Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, 173p. (Doctorat en Génie des Procédés : Nantes : 2 avril 2003).

ROUSSEL P., CHIRON H., 2002.- *Les pains français Evolution, qualité, production.* - Valdoré-Belfort : Maé Editeurs Erti, 433p.

FRANCOIS S. ; 2005.- Recherche en vue de l'amélioration de la qualité des pains biologiques. Mémoire de fin d'études, Master Sciences Technologie Santé, Université de Rennes

ANNEXES

Annexe 1

B i p e a

Circuit "03 - PANIFICATION"

Produit : **FARINE T 80**

Essai de : **semâles vêtues**

Date :

Code adhérent :

Quantité de farine :

Quantité d'eau :

Nom du responsable de l'analyse :

Codes échantillons : **03 B**

Hydratation :

03 B

Insuffisant				Excès			
1	4	7	10	7	4	1	

PETRISSAGE

LISSAGE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
CONSISTANCE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
EXTENSIBILITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
RELACHEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5

$$\begin{array}{ccc} \text{TOTAL} & \times & \text{COEFFICIENT} \\ 19,0 & \times & 0,75 \\ \hline & = & 14,3 \end{array} /25$$

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 1 =	10	/10

FACONNAGE

ALLONGEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
DECHIREMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 1 =	10

$$\begin{array}{ccc} \text{TOTAL} & \times & \text{COEFFICIENT} \\ 23,5 & \times & 0,75 \\ \hline & = & 17,6 \end{array} /25$$

$$\begin{array}{ccc} & & \\ & & \\ \hline & = & 81,9 \end{array} /100$$

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
PATE : DECHIREMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0

$$\begin{array}{ccc} & & \\ & & \\ \hline & = & 10,0 \end{array} /10$$

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 1 =	10
TENUE DE LA PATE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 2 =	20

$$\begin{array}{ccc} \text{TOTAL} & \times & \text{COEFFICIENT} \\ 30 & \times & 1,00 \\ \hline & = & 30,0 \end{array} /30$$

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	x 1 =	7
COULEUR	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 2 =	20
EPAISSEUR	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
CROUSTILLANT	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5

$$\begin{array}{ccc} \text{TOTAL} & \times & \text{COEFFICIENT} \\ 58,0 & \times & 0,75 \\ \hline & = & 43,5 \end{array} /70$$

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	x 1 =	7
REGULARITE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 1 =	10
DECHIREMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 1 =	7

$$\begin{array}{ccc} & & \\ & & \\ \hline & = & 61,2 \end{array} /100$$

VOLUME

	1er	2e	3e	4e	
VOLUME MOYEN	1775	1805			cm³
MASSE MOYENNE	530	530			g

Moyenne				
1790	cm³	337,7	cm³	17,7
530,0	g	VOLUME MOYEN POUR 100 g	VOLUME	/30

Produit : **FARINE T80**

Essai de : **MICRONISE**

Date :

Code adhérent :

Nom du responsable de l'analyse :

Codes échantillons : **03 B**
03 B

Quantité de farine :

Quantité d'eau :

Hydratation :

Insuffisant				Excès			
1	4	7	10	7	4	1	

PETRISSAGE

LISSAGE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
CONSISTANCE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
EXTENSIBILITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
RELACHEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0

$$\begin{array}{ccc} \boxed{25,0} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{25,0} / 25 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{PETRISSAGE} \end{array}$$

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10	/10

FACONNAGE

ALLONGEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10

$$\begin{array}{ccc} \boxed{25,0} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{25,0} / 25 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{FACONNAGE} \end{array} \quad \boxed{100,0} / 100$$

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
PATE : DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0

$$\boxed{10,0} / 10$$

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
TENUE DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 2 =	20

$$\begin{array}{ccc} \boxed{30} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{30,0} / 30 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{MISE AU FOUR} \end{array}$$

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
COULEUR	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 2 =	20
EPAISSEUR	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
CROUSTILLANT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5

$$\begin{array}{ccc} \boxed{64,0} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{64,0} / 70 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{ASPECT DU PAIN} \end{array}$$

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
REGULARITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	7

$$\boxed{80,8} / 100$$

VOLUME

	1er	2e	3e	4e	
VOLUME MOYEN	1760	1760			cm ³
MASSE MOYENNE	530	530			g

Moyenne	1760	332,1	16,8	/30
	cm ³	cm ³	VOLUME MOYEN POUR 100 g	VOLUME
	530,0	g		

Produit : **FARINE T 80**

Essai de : **MEULES**

Date :

Code adhérent :

Nom du responsable de l'analyse :

Codes échantillons : **03 B**
03 B

Quantité de farine :

Quantité d'eau :

Hydratation :

	Insuffisant				Excès				
	1	4	7	10	7	4	1		
PETRISSAGE									
LISSAGE				X				x 0,5 = 5,0	
COLLANT DE LA PATE				X				x 0,5 = 5,0	
CONSISTANCE					X				
EXTENSIBILITE				X				x 0,5 = 5,0	
ELASTICITE				X				x 0,5 = 5,0	
RELACHEMENT				X				x 0,5 = 5,0	
25,0 x 1,00 = 25,0 /25 TOTAL COEFFICIENT PETRISSAGE									
POINTAGE									
DETENTE : RELACHEMENT				X				x 1 =	
								= 10 /10	
FACONNAGE									
ALLONGEMENT				X				x 0,5 = 5,0	
DECHIREMENT				X				x 0,5 = 5,0	
ELASTICITE				X				x 0,5 = 5,0	
COLLANT DE LA PATE				X				x 1 = 10	
25,0 x 1,00 = 25,0 /25 100,0 /100									
APPRET									
ACTIVITE FERMENTAIRE				X				x 0,5 = 5,0	
PATE : DECHIREMENT				X				x 0,5 = 5,0	
								10,0 /10	
MISE AU FOUR									
COLLANT DE LA PATE				X				x 1 = 10	
TENUE DE LA PATE				X				x 2 = 20	
30 x 1,00 = 30,0 /30 TOTAL COEFFICIENT MISE AU FOUR									
CARACTERISTIQUES DU PAIN									
SECTION				X				x 1 = 10	
COULEUR				X				x 2 = 20	
EPAISSEUR			X					x 0,5 = 3,5	
CROUSTILLANT			X					x 0,5 = 3,5	
67,0 x 1,00 = 67,0 /70 TOTAL COEFFICIENT ASPECT DU PAIN									
COUPS DE LAME									
DEVELOPPEMENT				X				x 1 = 10	
REGULARITE				X				x 1 = 10	
DECHIREMENT				X				x 1 = 10	
								86,5 /100	
VOLUME									
	1er	2e	3e	4e					
VOLUME MOYEN	1845	1865			cm ³				
MASSE MOYENNE	514	524			g				
1855 cm³ 357,4 cm³ 19,5 /30 Moyenne VOLUME MOYEN POUR 100 g VOLUME									

Produit : **FARINE T 65**

Essai de : **CYLINDRES**

Date :

Code adhérent :

Nom du responsable de l'analyse :

Codes échantillons : **03 B**
03 B

Quantité de farine :

Quantité d'eau :

Hydratation :

Insuffisant				Excès			
1	4	7	10	7	4	1	

PETRISSAGE

LISSAGE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
CONSISTANCE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
EXTENSIBILITE	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
RELACHEMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0

$$\begin{array}{ccc} \boxed{22,0} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{22,0} /25 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{PETRISSAGE} \end{array}$$

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	x 1 =	7	/10

FACONNAGE

ALLONGEMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	x 0,5 =	3,5
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10

$$\begin{array}{ccc} \boxed{22,0} & \times & \boxed{0,75} = \boxed{16,5} /25 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{FACONNAGE} \end{array} \quad \boxed{73,5} /100$$

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0	10,0 /10
PATE : DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0	APPRET

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
TENUE DE LA PATE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 2 =	14

$$\begin{array}{ccc} \boxed{24} & \times & \boxed{0,75} = \boxed{18,0} /30 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{MISE AU FOUR} \end{array}$$

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
COULEUR	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 2 =	14
EPAISSEUR	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
CROUSTILLANT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5

$$\begin{array}{ccc} \boxed{58,0} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{58,0} /70 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{ASPECT DU PAIN} \end{array}$$

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
REGULARITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
DECHIREMENT	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	x 1 =	7

$$\boxed{78,4} /100$$

VOLUME

	1er	2e	3e	4e	
VOLUME MOYEN	1990	1825	1830		cm ³
MASSE MOYENNE	530	530	530		g

Moyenne				
1882	cm ³	355,1	cm ³	20,4 /30
530,0	g	VOLUME MOYEN POUR 100 g	VOLUME	

Produit : **FARINE T 80**

Essai de : **DECORTIQUE**

Date :

Code adhérent :

Nom du responsable de l'analyse :

Codes échantillons : **03 B**
03 B

Quantité de farine :

Quantité d'eau :

Hydratation :

Insuffisant				Excès			
1	4	7	10	7	4	1	

PETRISSAGE

LISSAGE	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
CONSISTANCE	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	x 0,5 =	5,0
EXTENSIBILITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
RELACHEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0

$$\begin{array}{ccc} \boxed{23,5} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{23,5} /25 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{PETRISSAGE} \end{array}$$

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10	/10

FACONNAGE

ALLONGEMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
DECHIREMENT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
ELASTICITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10

$$\begin{array}{ccc} \boxed{23,5} & \times & \boxed{0,75} = \boxed{17,6} /25 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{FACONNAGE} \end{array}$$

$$\boxed{91,1} /100$$

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0
PATE : DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 0,5 =	5,0

$$\boxed{10,0} /10$$

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
TENUE DE LA PATE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 2 =	20

$$\begin{array}{ccc} \boxed{30} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{30,0} /30 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{MISE AU FOUR} \end{array}$$

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
COULEUR	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 2 =	20
EPAISSEUR	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5
CROUSTILLANT	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	x 0,5 =	3,5

$$\begin{array}{ccc} \boxed{67,0} & \times & \boxed{1,00} = \boxed{67,0} /70 \\ \text{TOTAL} & & \text{COEFFICIENT} \quad \text{ASPECT DU PAIN} \end{array}$$

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
REGULARITE	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10
DECHIREMENT	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	x 1 =	10

$$\boxed{81,4} /100$$

VOLUME

	1er	2e	3e	4e	
VOLUME MOYEN	1805	1660	1595		cm ³
MASSE MOYENNE	536	536	526		g

Moyenne				
1687	cm ³	316,7	cm ³	14,4
532,7	g	VOLUME MOYEN POUR 100 g	VOLUME	/30

Produit : **FARINE T110**

Essai de : **MEULET80+INTE**

Date :

Code adhérent :

Quantité de farine :

Quantité d'eau :

Nom du responsable de l'analyse :

Codes échantillons : **03 B**
03 B

Hydratation :

	Insuffisant				Excès				
	1	4	7	10	7	4	1		
PETRISSAGE									
LISSAGE				X				x 0,5 = 5,0	
COLLANT DE LA PATE					X			x 0,5 = 3,5	
CONSISTANCE				X				20,5 x 0,75 = 15,4 /25 TOTAL COEFFICIENT PETRISSAGE	
EXTENSIBILITE				X					x 0,5 = 5,0
ELASTICITE			X						x 0,5 = 3,5
RELACHEMENT					X				x 0,5 = 3,5
POINTAGE									
DETENTE : RELACHEMENT				X				x 1 = 10 /10	
FACONNAGE									
ALLONGEMENT					X			x 0,5 = 3,5	
DECHIREMENT				X				x 0,5 = 5,0	
ELASTICITE			X					x 0,5 = 3,5	
COLLANT DE LA PATE				X				x 1 = 10	
22,0 x 0,75 = 16,5 /25 TOTAL COEFFICIENT FACONNAGE									
APPRET									
ACTIVITE FERMENTAIRE				X				x 0,5 = 5,0	
PATE : DECHIREMENT				X				x 0,5 = 5,0	
10,0 /10 APPRET									
MISE AU FOUR									
COLLANT DE LA PATE				X				x 1 = 10	
TENUE DE LA PATE				X				x 2 = 20	
30 x 1,00 = 30,0 /30 TOTAL COEFFICIENT MISE AU FOUR									
CARACTERISTIQUES DU PAIN									
SECTION		X						x 1 = 4	
COULEUR					X			x 2 = 14	
EPAISSEUR				X				x 0,5 = 5,0	
CROUSTILLANT			X					x 0,5 = 3,5	
47,5 x 0,75 = 35,6 /70 TOTAL COEFFICIENT ASPECT DU PAIN									
COUPS DE LAME									
DEVELOPPEMENT			X					x 1 = 7	
REGULARITE				X				x 1 = 10	
DECHIREMENT						X		x 1 = 4	
49,7 /100 NOTE PAIN									
VOLUME									
	1er	2e	3e	4e					
VOLUME MOYEN	1675	1680			cm ³				
MASSE MOYENNE	528	530			g				
					Moyenne	1678 cm ³	317,2 cm ³	14,1 /30	
						529,0 g	VOLUME MOYEN POUR 100 g	VOLUME	

Annexe 2

L'analyse d'images : principe, opération et exploitation

- Acquisition des images

Pour chaque type de pain (6 pains étudiés : A, B, C, D, E, et F), 3 pains ont été tranchés et dans chacun de ces pains 7 tranches ont été prélevées dans la zone centrale. Les images des tranches ont été acquises avec un scanner SNAP SCAN 1212 de AGFA, avec une résolution de 600dpi. La tranche était recouverte d'une boîte à fond noir mat. Le scanner était piloté par le logiciel Scan Wise, les images ont été acquises en couleurs, au format TIFF non-compressé.

dpi = *dot per inch* = nombre de pixels par pouce

pixel = *picture element* = unité élémentaire de l'image numérique

- Nature des images

A chaque pixel est associée une teinte codée informatiquement, généralement comprise entre 0 et 255 pour les images en niveaux de gris.

Préalablement au traitement, les images couleurs sont converties en niveaux de gris. Un exemple de distribution des niveaux de gris est donné sur la figure 5.

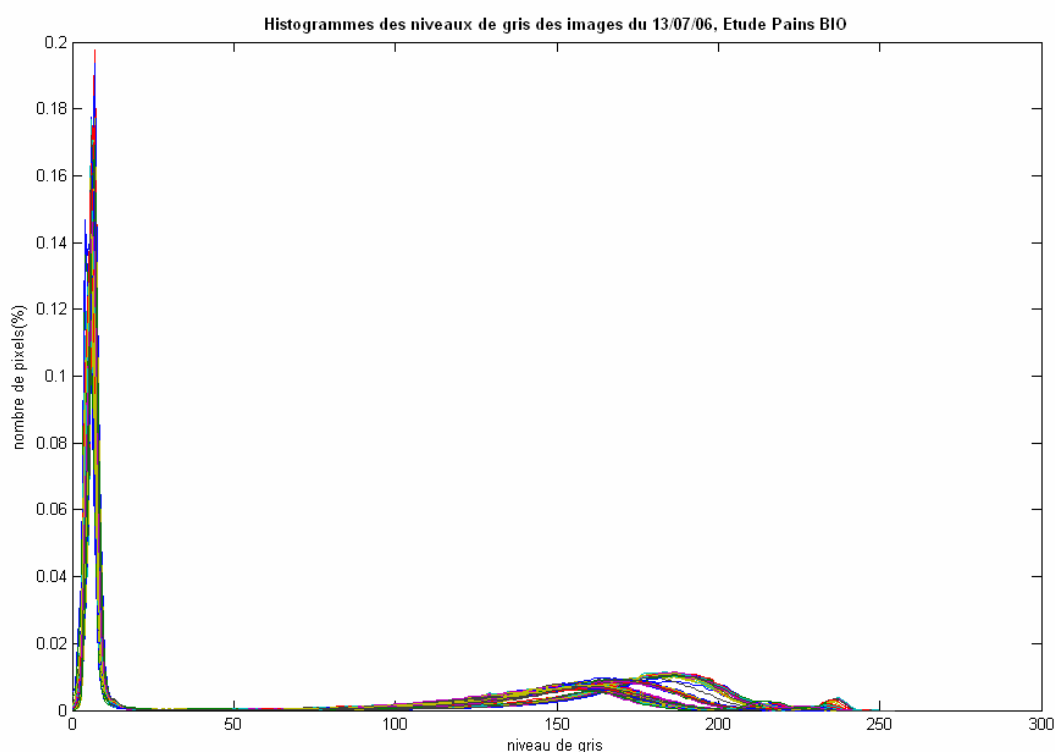


Figure 14 : *Histogramme des niveaux de gris*

Cet histogramme présente deux pics principaux. Le premier correspond aux pixels sombres du fond de l'image, le second correspond aux pixels de la tranche de mie.

- Méthodes

L'analyse granulométrique par morphologie mathématique a été développée à l'Ecole des Mines de Paris.

- Sélection de la zone de l'image à traiter, la région d'intérêt

La première étape du traitement consiste à identifier dans l'image la partie contenant les informations à traiter pour comparer les échantillons : la tranche sans la croûte. Comme le fond de l'image est nettement plus sombre que la mie, les pixels du fond de l'image ont tous un niveau de gris inférieur à une valeur limite. Un seuil en niveau de gris pour séparer la tranche du fond de l'image peut être choisi à partir de l'histogramme des niveaux de gris de l'image (cf. figure 5). Un seuil unique est déterminé pour la série d'images à traiter à partir de l'ensemble des histogrammes des niveaux de gris. La croûte est ensuite éliminée en réalisant une érosion du masque de la tranche. Le masque final est utilisé pour sélectionner la région d'intérêt sur laquelle l'analyse de texture est effectuée.

- Morphologie mathématique

Le principe de base en morphologie mathématique consiste à comparer chaque portion d'image à un masque de taille et de forme données, appelé « élément structurant » puis à modifier l'image selon le résultat de ces comparaisons. L'élément structurant est souvent choisi de forme carrée (cf. figure 6).

Sa taille est souvent définie par le nombre de pixels entourant le pixel central. Elle est de 1 pour un carré de 3x3 pixels, de 2 pour un carré de 5x5 pixels, etc. L'élément structurant est successivement déplacé sur toute l'image. Pour chaque position, le niveau de gris du pixel central est modifié en fonction des valeurs observées au travers de l'élément structurant.

Les deux opérations de base de la morphologie mathématique sont la « dilatation » et l'« érosion ». Dans le cas de la dilatation, le pixel central prend la valeur maximale des niveaux de gris observés pour les pixels recouverts par l'élément structurant (cf. figure 6). Le résultat est une disparition des niveaux de gris les plus faibles et une augmentation globale de l'intensité de l'image. L'érosion est l'opération duale. Dans ce cas, le pixel central prend la valeur minimale des niveaux de gris, les niveaux les plus élevés disparaissent (cf. figure 6)

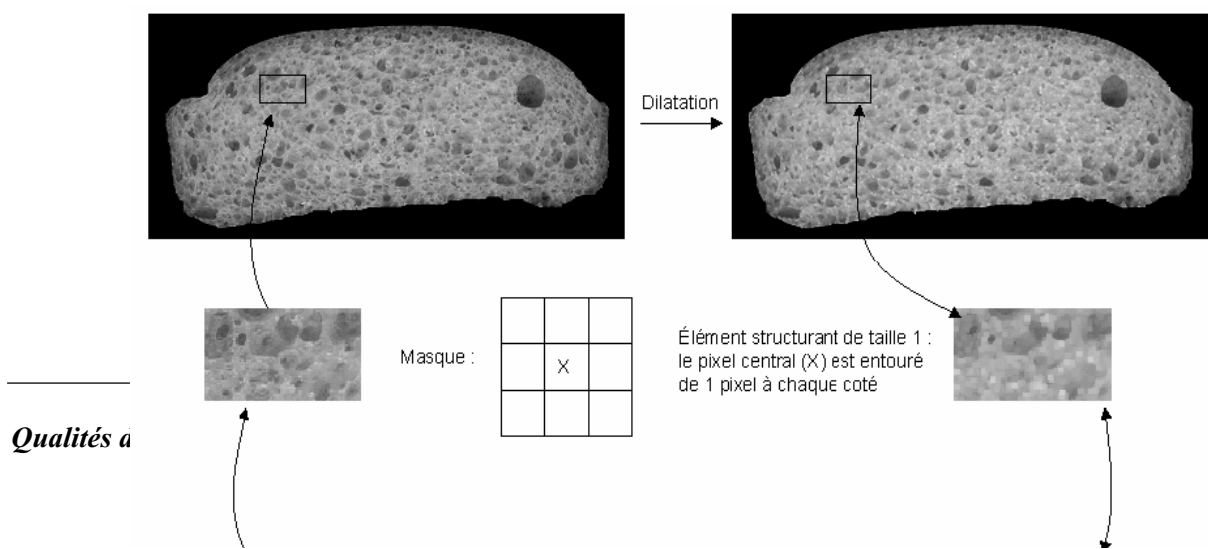


Figure 15 : Une opération de morphologie mathématique

Une opération de morphologie mathématique est dite de taille n pour un élément structurant de taille n . Les opérations de morphologie mathématique ont cette propriété : effectuer n transformations avec un élément structurant de taille 1 a le même effet qu'effectuer une opération avec un élément structurant de taille n .

Dilatations : la **figure 7** montre l'effet de dilatations de taille croissante sur une image.

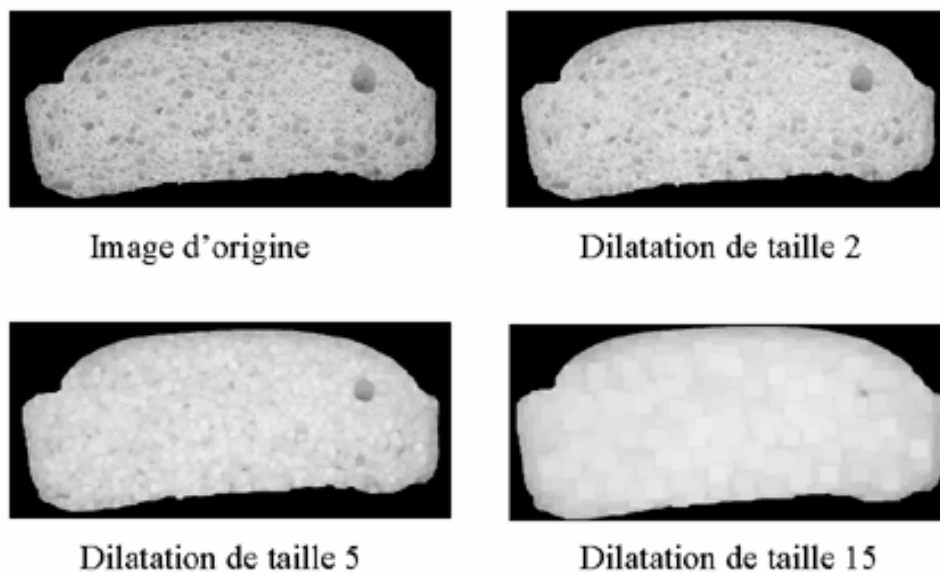


Figure 16 : Dilatations successives sur l'image du produit 15

Les alvéoles disparaissent au fur et à mesure de l'augmentation de la taille des dilatations. La taille de l'élément structurant pour laquelle les alvéoles disparaissent donne une idée de leurs dimensions. En effet, nous remarquons sur la figure 6 que, pour une dilatation de taille 15, presque toutes les alvéoles ont disparu. Il reste une trace de la plus grosse alvéole à droite. La plupart des alvéoles ont donc une dimension inférieure au côté de l'élément structurant carré de taille 15 soit plus petite que $2 \times 15 + 1$ pixels. Seule la plus grosse alvéole est de plus grande taille.

Erosions : l'effet d'érosions de taille croissante est montré sur la figure 8

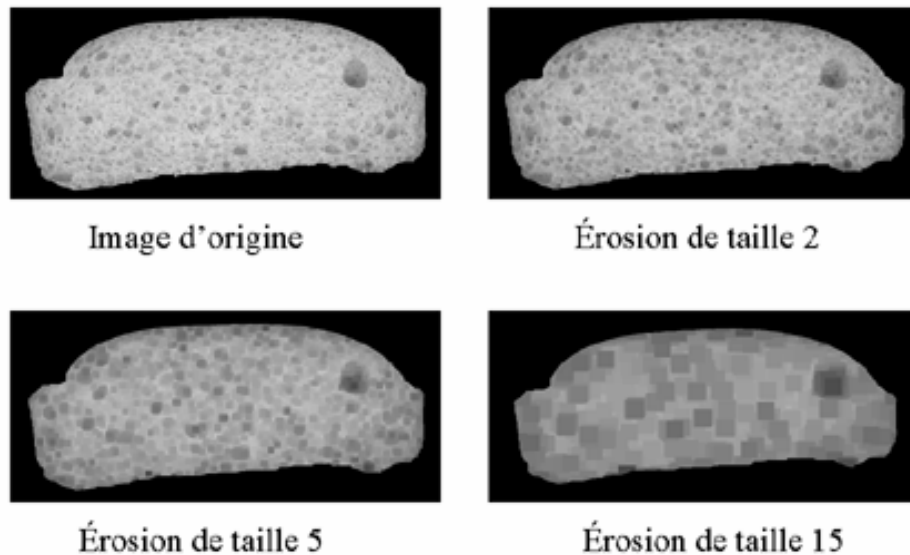


Figure 17 : Erosions successives

L'image devient progressivement plus sombre et les détails de la mie (les parois des alvéoles) disparaissent.

- Courbes d'érosion - dilatation

La somme des niveaux de gris de l'image, parfois appelée volume de l'image, est notée $V(i)$ pour une dilatation ou érosion de taille i . Après une étape d'érosion ou de dilatation, la valeur $V(i)$ est modifiée en fonction des caractéristiques des objets clairs ou sombres. La modification de $V(i)$ dépend du nombre d'objets, de leurs dimensions mais aussi de leurs niveaux de gris. L'évolution de $V(i)$ pour des dilatations ou des érosions de taille croissante est donc caractéristique des distributions de taille et niveaux de gris des objets.

La méthode utilisée consiste à effectuer autant d'étapes d'érosions que de dilatation. Après chaque transformation, la somme des niveaux de gris $V(i)$ est calculée. Elle est

maximale pour la plus grande étape de dilatation et minimale pour la plus grande taille d'érosion. La somme des niveaux de gris de l'image de départ se situe à un niveau intermédiaire. Nous pouvons ainsi tracer une courbe d'évolution de $V(i)$ depuis la plus grande étape de

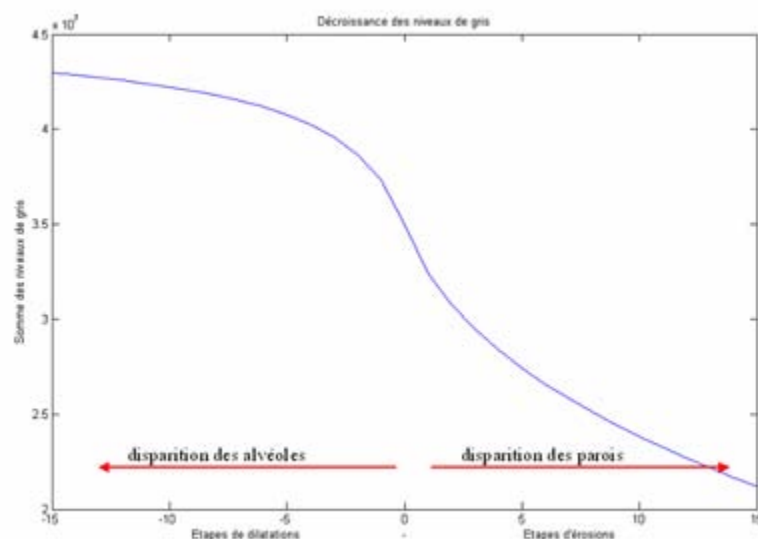


Figure 18 : Courbe de décroissance des niveaux de gris

Ce type de courbe ne donne pas d'information directe sur le nombre d'objets. En effet, l'importance de la variation des niveaux de gris après une dilatation ou une érosion dépend aussi du niveau de gris des objets. Par exemple, les petites alvéoles sont généralement moins sombres que les grosses, la disparition d'une petite alvéole contribue donc moins à l'augmentation des niveaux de gris que la disparition de la même portion d'une grosse alvéole. Ainsi, comme tous les objets n'ont pas le même niveau de gris, il n'y a pas de proportionnalité directe entre la variation des niveaux de gris et le nombre d'alvéoles concernées. Les courbes doivent être interprétées comme des courbes de texture d'images contenant une information de type granulométrique. Une courbe brute d'érosion-dilatation dépend aussi de la taille de la tranche et de son intensité moyenne en niveaux de gris.

Pour pouvoir comparer des textures d'image sur des échantillons divers, les courbes doivent être normalisées. Les parties de la courbe correspondant aux étapes d'érosion et de dilatation sont normalisées séparément. Si f étapes d'érosion ou de dilatation ont été réalisées, la valeur de la $i^{\text{ème}}$ étape est calculée selon la formule :

$$G(i) = \frac{V(i) - V(f)}{V(0) - V(f)} * 100$$

dans laquelle $V(0)$ est la somme des niveaux de gris de l'image initiale et $V(f)$ est celle de la dernière étape.

Les courbes sont donc exprimées en pourcentage relatif des variations d'intensité observées entre l'image initiale et la plus grande étape d'érosion ou de dilatation. Le nombre d'étapes à effectuer doit être choisi de manière à ce que les plus grands objets d'intérêt soient éliminés par la plus grande taille de transformation. La courbe finale est tracée en fonction des étapes d'érosion et de dilatation (figure 10).

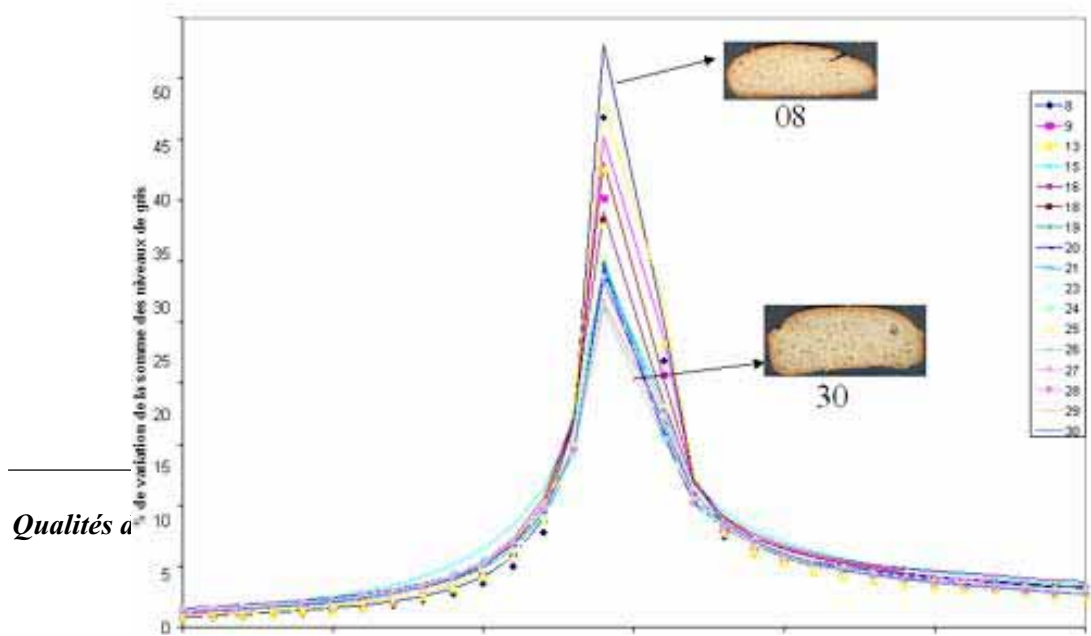


Figure 19 : Courbe de texture granulométrique

Il n'y a pas de valeur au point central correspondant à l'image d'origine. La courbe est appelée courbe de texture granulométrique en niveaux de gris. La partie gauche de cette courbe correspond à l'analyse des alvéoles et la partie droite à l'analyse de la mie.

Dans la figure 10, les variations sur les premières étapes de dilatation sont plus importantes pour le produit '8' que pour le '30'. La texture de la mie '8' est plus fine que celle de la mie '30'.

- Exploitation des courbes : analyse en composantes principales

La comparaison des courbes de texture granulométrique en niveaux de gris peut être réalisée par une technique, **l'analyse en composantes principales**, qui permet de décrire l'information contenue dans un tableau de données en tenant compte des corrélations existant entre elles.

Elle s'applique à un tableau **X** de *n* individus (dans cette étude, un individu est une courbe correspondant à une image) et *p* variables (dans cette étude, la taille d'une étape de morphologie mathématique). Le tableau est généralement centré en soustrayant l'individu moyen à tous les individus du tableau. L'information du tableau est résumée par un petit nombre de variables synthétiques non corrélées appelées « composantes principales ». Ces composantes correspondent à des combinaisons linéaires des variables d'origine :

$$C_{ij} = \sum_k X_{ik} U_{kj}$$

où :

- x_{ik} est la valeur de la $k^{\text{ième}}$ variable observée pour l'individu *i*,
- u_{kj} est la valeur du poids de la variable *k* dans la composante principale *j*
- et c_{ij} est la valeur de la composante principale *j* pour l'*i*ème individu.

Les composantes sont classées par ordre décroissant du pourcentage de variance initiale qu'elles décrivent. Ce pourcentage s'interprète comme la quantité d'information contenue dans la composante. Des cartes de ressemblances des courbes sont tracées à partir des valeurs des composantes prises deux à deux. Sur ces cartes, deux courbes qui se ressemblent sont proches.

Les vecteurs des poids $u_{.j}$ utilisés pour calculer la $j^{\text{ème}}$ composante principale sont les vecteurs propres de la matrice de variance-covariance du tableau **X**.

Lorsque le tableau de données est un tableau de courbes, les vecteurs propres peuvent être tracés en fonction des variables d'origine. Leur allure correspond à une courbe typique et permet de révéler les parties des courbes pour lesquelles des variations sont observées. Les vecteurs propres permettent d'interpréter les composantes principales en fonction de variations observées pour l'ensemble des courbes.

Le traitement des images a été développé sous APHELION. Les autres calculs : histogrammes en niveaux de gris, courbes de granulométrie et analyse en composantes principales avec tracé des cartes de ressemblance ont été développés sous MATLAB.

Annexe 3 : Synthèse des résultats des mesures de compression sur les six pains JO, J+1, J+3

Paramètres pour manip de compression–relaxation :

- Vitesse de compression = 50 mm/min
- Hauteur initiale de la mie = 30 mm
- Hauteur finale à l'arrêt de la compression = 10 mm
(compression à 1/3 de h_initiale)
- Temps relaxation : 5 x le temps de compression (env. 2 min)
- Diamètre mie = 50 mm
- $\sigma = F(t)/S$ & $\varepsilon = \ln(h(t)/h_0)$, déformation au sens de Hencky

J0														
ECHANTILLONS		Ro*_pain	Ro*_mie	1/Ro*	Ro_s	E*	IC_E*	Es	IC_Es	E*/Es	sigm_c	IC_sigmc	sigm_res	IC_sigm_res / sigm_c
Bonébel (Ro_mie=0,23g/cm^3)	1	0,27	0,23	4,35	0,69	7570	2007	23322	6469	0,32	1007	294	6468	1572
Boule Bio (Ro_mie=0,29)	2	0,36	0,29	3,45	0,87	14074	3849	27739	2186	0,51	2330	758	7075	637
Puisatier (Ro_mie=0,31)	3	0,33	0,31	3,23	0,93	22474	994	46251	6956	0,49	3500	173	9913	674
Boule rustique (Ro_mie=0,34)	4	0,35	0,34	2,94	1,02	23059	415	46798	4007	0,49	3783	362	11729	1518
Campagne levain (Ro_mie=0,33)	5	0,33	0,33	3,03	0,99	26503	1199	46509	1619	0,57	4245	1619	10896	438
Campagne levure (Ro_mie=0,33)	6	0,34	0,33	2,94	0,99	24454	1746	43354	3772	0,56	3750	377	10721	1492

J+1							
ECHANTILLONS		E*	IC_E*	sigm_c	IC_sigmc	sigm_res	IC_sigm_res / sigm_c
Bonébel (Ro_mie=0,23g/cm^3)	1	28728	5359	4337	621	9021	493
Boule Bio (Ro_mie=0,29)	2	32668	7137	5025	918	9664	1559
Puisatier (Ro_mie=0,31)	3	43479	3530	8850	1063	13314	780
Boule rustique (Ro_mie=0,34)	4	59285	6797	8687	622	14214	1931
Campagne levain (Ro_mie=0,33)	5	69104	5251	10300	713	17038	1127
Campagne levure (Ro_mie=0,33)	6	58250	4408	9437	672	13489	1391

J+3							
ECHANTILLONS		E*	IC_E*	sigm_c	IC_sigmc	sigm_res	IC_sigm_res / sigm_c
Bonébel (Ro_mie=0,23g/cm^3)	1	40729	613	6700	1513	9407	1880
Boule Bio (Ro_mie=0,29)	2	117958	1032	14967	2554	14646	1873
Puisatier (Ro_mie=0,31)	3	97470	7578	15000	1695	17468	1908
Boule rustique (Ro_mie=0,34)	4	119956	11324	17525	1438	18803	3916
Campagne levain (Ro_mie=0,33)	5	146817	13568	21125	1451	19130	3686
Campagne levure (Ro_mie=0,33)	6	94239	15550	15537	2343	16729	1090

		J+3/J0
ECHANTILLONS		ratio des E*
Bonébel (Ro_mie=0,23g/cm^3)	1	5,38032
Boule Bio (Ro_mie=0,29)	2	8,38127
Puisatier (Ro_mie=0,31)	3	4,33701
Boule rustique (Ro_mie=0,34)	4	5,20213
Campagne levain (Ro_mie=0,33)	5	5,53964
Campagne levure (Ro_mie=0,33)	6	3,85373

Annexe 3 :

Résultats BIPEA farine A

NOTATION "PAIN COURANT FRANCAIS"

Produit : FARINE	1 ou 2 : A	Essai de : juillet 2006	Mois : ANNEE	Humidité de la farine : %
Date de réception de l'échantillon :	jj/mm/aa	Code adhérent :	Quantité de farine :	Calcul auto
Date du test de panification : 10/07/06			Quantité d'eau :	
Nom du responsable de l'analyse :		Codes échantillons : 03	Remplir F7 en premier (farine 1 ou 2)	Hydratation : 67,0%
Températures en °C :	Fournil	Farine	Eau	Pâte
				Hygrométrie

	Insuffisant			Excès					
	1	4	7	10	7	4	1		
PETRISSAGE									
LISSAGE				X				x 0,5 =	5,0
COLLANT DE LA PATE				X				x 0,5 =	5,0
CONSISTANCE					X				
EXTENSIBILITE			X					x 0,5 =	3,5
ELASTICITE				X				x 0,5 =	5,0
RELACHEMENT				X				x 0,5 =	5,0
23,5 x 1,00 = 23,5 /25 TOTAL COEFFICIENT PETRISSAGE									
POINTAGE									
DETENTE : RELACHEMENT				X				x 1 =	10 /10
FACONNAGE									
ALLONGEMENT			X					x 0,5 =	3,5
DECHIREMENT				X				x 0,5 =	5,0
ELASTICITE					X			x 0,5 =	3,5
COLLANT DE LA PATE				X				x 1 =	10
22,0 x 0,75 = 16,5 /25 TOTAL COEFFICIENT FACONNAGE 90 /100									
APPRET									
ACTIVITE FERMENTAIRE				X				x 0,5 =	5,0
PATE : DECHIREMENT				X				x 0,5 =	5,0
10,0 /10 APPRET									
MISE AU FOUR									
COLLANT DE LA PATE				X				x 1 =	10
TENUE DE LA PATE				X				x 2 =	20
30 x 1,00 = 30,0 /30 TOTAL COEFFICIENT MISE AU FOUR									
CARACTERISTIQUES DU PAIN									
SECTION				X				x 1 =	10
COULEUR				X				x 2 =	20
EPAISSEUR				X				x 0,5 =	5,0
COUSTILLANT				X				x 0,5 =	5,0
67,0 x 1,00 = 67,0 /70 TOTAL COEFFICIENT ASPECT DU PAIN									
COUPS DE LAME									
DEVELOPPEMENT				X				x 1 =	10
REGULARITE				X				x 1 =	10
DECHIREMENT					X			x 1 =	7
81 /100 NOTE PAIN									
VOLUME									
	1er	2e	3e	4e					
VOLUME MOYEN	1645	1665	1675	1695	cm³				
MASSE MOYENNE	275	277	277	276	g				
1670 cm³ 604,5 cm³ 14,1 /30 276,3 g VOLUME MOYEN POUR 100 g VOLUME									
CARACTERISTIQUES DE LA MIE									
COULEUR				X				x 1 =	10
TEXTURE									
SOUPLESSE				X				x 1 =	10
ELASTICITE				X				x 1 =	10
COLLANT				X				x 1 =	10
97 /100 NOTE MIE									
ALVEOLAGE									
REGULARITE			X					x 1 =	7
EPAISSEUR				X				x 1 =	10
ODEUR				X				x 4 =	40
268 /300 NOTE TOTALE									

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'X'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

NOTATION "PAIN COURANT FRANCAIS"

Produit : FARINE B	Essai de : juillet 2006	Humidité de la farine : %	
Date de réception de l'échantillon : 	Code adhérent : 	Quantité de farine : 	Calcul auto
Date du test de panification : 10/07/06	Codes échantillons : 03	Quantité d'eau : 	Calcul auto
Nom du responsable de l'analyse : 	Remplir F7 en premier (farine 1 ou 2) 03 - - 	Hydratation : 68,0%	Calcul auto
Températures en °C : Fournil Farine Eau Pâte Hygrométrie			

Insuffisant
Excès

	1	4	7	10	7	4	1	
PETRISSAGE								
LISSAGE			x					x 0,5 = 3,5
COLLANT DE LA PATE				x				x 0,5 = 5,0
CONSISTANCE					x			
EXTENSIBILITE			x					x 0,5 = 3,5
ELASTICITE				x				x 0,5 = 5,0
RELACHEMENT				x				x 0,5 = 5,0
22,0 x 1,00 = 22,0 /25 TOTAL COEFFICIENT PETRISSAGE								
POINTAGE								
DETENTE : RELACHEMENT				x				x 1 = 10 /10
FACONNAGE								
ALLONGEMENT			x					x 0,5 = 3,5
DECHIREMENT					x			x 0,5 = 3,5
ELASTICITE					x			x 0,5 = 3,5
COLLANT DE LA PATE				x				x 1 = 10
20,5 x 0,75 = 15,4 /25 TOTAL COEFFICIENT FACONNAGE 86 /100 NOTE PATE								
APPRET								
ACTIVITE FERMENTAIRE					x			x 0,5 = 3,5
PATE : DECHIREMENT					x			x 0,5 = 5,0
8,5 /10 APPRET								
MISE AU FOUR								
COLLANT DE LA PATE				x				x 1 = 10
TENUE DE LA PATE				x				x 2 = 20
30 x 1,00 = 30,0 /30 TOTAL COEFFICIENT MISE AU FOUR								
CARACTERISTIQUES DU PAIN								
SECTION			x					x 1 = 7
COULEUR				x				x 2 = 20
EPAISSEUR					x			x 0,5 = 3,5
CROUSTILLANT			x					x 0,5 = 3,5
58,0 x 0,75 = 43,5 /70 TOTAL COEFFICIENT ASPECT DU PAIN								
COUPS DE LAME								
DEVELOPPEMENT			x					x 1 = 7
REGULARITE			x					x 1 = 7
DECHIREMENT				x				x 1 = 10
52 /100 NOTE PAIN								
VOLUME								
VOLUME MOYEN	1er	2e	3e	4e				
MASSE MOYENNE	1465	1505	1505	1470				
					cm³			
	280	278	275	275	g			
1486 cm³ 536,5 cm³ 8,4 /30 TOTAL COEFFICIENT VOLUME MOYEN POUR 100 g VOLUME								
CARACTERISTIQUES DE LA MIE								
COULEUR					x			x 1 = 7
TEXTURE								
SOUPLESSE			x					x 1 = 7
ELASTICITE				x				x 1 = 10
COLLANT				x				x 1 = 10
ALVEOLAGE								
REGULARITE			x					x 1 = 7
EPAISSEUR					x			x 1 = 7
ODEUR			x					x 4 = 28
214 /300 NOTE TOTALE								

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'x'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

NOTATION "PAIN COURANT FRANCAIS"

Produit :	FARINE	1 ou 2	C	Essai de :	juillet 2006	Mois	ANNEE	Humidité de la farine :		%	
Date de réception de l'échantillon :				Code adhérent :				Quantité de farine :			
Date du test de panification :	10/07/06							Quantité d'eau :			
				Remplir F7 en premier (farine 1 ou 2)							
				Codes échantillons :							
				03 - - -							
				03 - - -							
Nom du responsable de l'analyse :								Hydratation :			63,0%
Températures en °C :											
Fournil			Farine			Eau			Pâte		
									Hygrométrie		

Insuffisant
Excès

	1	4	7	10	7	4	1			
PETRISSAGE										
LISSAGE			x					x 0,5 =	3,5	
COLLANT DE LA PÂTE						x		x 0,5 =	3,5	
CONSISTANCE			x							
EXTENSIBILITE						x		x 0,5 =	3,5	
ELASTICITE			x					x 0,5 =	3,5	
RELACHEMENT						x		x 0,5 =	3,5	
POINTAGE										
DETENTE : RELACHEMENT				x				x 1 =	10	
= 10 /10										
FACONNAGE										
ALLONGEMENT			x					x 0,5 =	3,5	
DECHIREMENT					x			x 0,5 =	5,0	
ELASTICITE					x			x 0,5 =	5,0	
COLLANT DE LA PÂTE					x			x 1 =	10	
23,5 x 0,75 = 17,6 /25										
67 /100										
APPRET										
ACTIVITE FERMENTAIRE					x			x 0,5 =	3,5	
PÂTE : DECHIREMENT					x			x 0,5 =	5,0	
8,5 /10										
MISE AU FOUR										
COLLANT DE LA PÂTE					x			x 1 =	10	
TENUE DE LA PÂTE			x					x 2 =	14	
24 x 0,75 = 18,0 /30										
57 /100										
CARACTERISTIQUES DU PAIN										
SECTION				x				x 1 =	10	
COULEUR			x					x 2 =	14	
EPAISSEUR					x			x 0,5 =	5,0	
CROUSTILLANT			x					x 0,5 =	3,5	
56,5 x 0,75 = 42,4 /70										
COUPS DE LAME										
DEVELOPPEMENT			x					x 1 =	7	
REGULARITE			x					x 1 =	7	
DECHIREMENT					x			x 1 =	10	
57 /100										
VOLUME										
	1er	2e	3e	4e						
VOLUME MOYEN	1715	1705	1695	1700	cm³					
MASSE MOYENNE	278	277	275	275	g					
					Moyenne					
					1704	cm³	616,8	cm³	15,0	/30
					276,3	g	VOLUME MOYEN POUR 100 g	VOLUME		
CARACTERISTIQUES DE LA MIE										
COULEUR					x			x 1 =	7	
TEXTURE										
SOUPLESSE				x				x 1 =	10	
ELASTICITE				x				x 1 =	10	
COLLANT				x				x 1 =	10	
82 /100										
ALVEOLAGE										
REGULARITE			x					x 1 =	7	
EPAISSEUR					x			x 1 =	10	
ODEUR			x					x 4 =	28	
206 /300										

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'x'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

NOTE TOTALE

NOTATION "PAIN COURANT FRANCAIS"

Produit :	FARINE	1 ou 2	D	Essai de :	juillet 2006	Mois	ANNÉE	Humidité de la farine :		%	
Date de réception de l'échantillon :				Code adhérent :				Quantité de farine :			
Date du test de panification :	10/07/06							Quantité d'eau :			
Nom du responsable de l'analyse :				Codes échantillons :			Remplir F7 en premier (farine 1 ou 2)				
				03			-			-	
				03			-			-	
										Hydratation :	73,0%
Températures en °C :											

	<i>Insuffisant</i>	<i>Excès</i>					
	1	4	7	10	7	4	1

PETRISSAGE

LISSAGE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	3,5	17,5 x 0,75 = 13,1 /25
			X																	
COLLANT DE LA PÂTE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 0,5 =	3,5	
						X														
CONSISTANCE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 0,5 =	3,5	
						X														
EXTENSIBILITE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 0,5 =	3,5	
						X														
ELASTICITE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	3,5	
			X																	
RELACHEMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 0,5 =	3,5	
						X														

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 1 =		= 7 /10
						X														

FACONNAGE

ALLONGEMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	5,0	23,5 x 1,00 = 23,5 /25
			X																	
DECHIREMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	5,0	
			X																	
ELASTICITE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	3,5	
			X																	
COLLANT DE LA PÂTE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	10	
			X																	

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	3,5	8,5 /10
			X																	
PÂTE : DECHIREMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	5,0	
			X																	

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PÂTE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	10	24 x 0,75 = 18,0 /30
			X																	
TENUE DE LA PÂTE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 2 =	14	
			X																	

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		X															x 1 =	4	53,5 x 0,50 = 26,8 /70
	X																			
COULEUR	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 2 =	20	
			X																	
EPAISSEUR	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 0,5 =	3,5	
			X																	
CROUSTILLANT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		X															x 0,5 =	2,0	
	X																			

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		X															x 1 =	4	29 /100
	X																			
REGULARITE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	10	
			X																	
DECHIREMENT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	10	
			X																	

VOLUME

	1er	2e	3e	4e		
VOLUME MOYEN	1345	1265	1245	1285	cm³	Moyenne
MASSE MOYENNE	275	275	280	280	g	1285 cm³
						277,5 g

463,1

 cm³

2,4

 /30

CARACTERISTIQUES DE LA MIE

COULEUR	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 1 =	4	73 /100
						X														
TEXTURE																				
SOUPLESSE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	7	
			X																	
ELASTICITE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	10	
			X																	
COLLANT	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	10	
			X																	

ALVEOLAGE

REGULARITE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 1 =	7	172 /300
			X																	
EPAISSEUR	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							X										x 1 =	7	
						X														

ODEUR

	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				X													x 4 =	28
			X																

172

 /300

NOTE TOTALE

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'X'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

NOTATION "PAIN COURANT FRANCAIS"

Produit : FARINE F	Essai de : juillet 2006	Humidité de la farine : %	
Date de réception de l'échantillon : 	Code adhérent : 	Quantité de farine : 	Calcul auto
Date du test de panification : 10/07/06	Codes échantillons : 03 - - 	Quantité d'eau : 	Calcul auto
Nom du responsable de l'analyse : 	Remplir F7 en premier (farine 1 ou 2) 03 - - 	Hydratation : 70,0%	
Températures en °C : Fournil : Farine : Eau : Pâte : Hygrométrie : 			

Insuffisant
Excès

	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 12.5%;">1</td> <td style="width: 12.5%;">4</td> <td style="width: 12.5%;">7</td> <td style="width: 12.5%;">10</td> <td style="width: 12.5%;">7</td> <td style="width: 12.5%;">4</td> <td style="width: 12.5%;">1</td> </tr> </table>	1	4	7	10	7	4	1				
1	4	7	10	7	4	1						
PETRISSAGE												
LISSAGE		x 0,5 =	5,0									
COLLANT DE LA PÂTE		x 0,5 =	5,0									
CONSISTANCE		x 0,5 =	3,5									
EXTENSIBILITE		x 0,5 =	3,5									
ELASTICITE		x 0,5 =	5,0									
RELACHEMENT		x 0,5 =	5,0									
POINTAGE												
DETENTE : RELACHEMENT		x 1 =	10									
FACONNAGE												
ALLONGEMENT		x 0,5 =	3,5									
DECHIREMENT		x 0,5 =	5,0									
ELASTICITE		x 0,5 =	5,0									
COLLANT DE LA PÂTE		x 1 =	10									
APPRET												
ACTIVITE FERMENTAIRE		x 0,5 =	5,0									
PÂTE : DECHIREMENT		x 0,5 =	5,0									
MISE AU FOUR												
COLLANT DE LA PÂTE		x 1 =	10									
TENUE DE LA PÂTE		x 2 =	14									
CARACTERISTIQUES DU PAIN												
SECTION		x 1 =	7									
COULEUR		x 2 =	14									
EPAISSEUR		x 0,5 =	3,5									
CROUSTILLANT		x 0,5 =	2,0									
COUPS DE LAME												
DEVELOPPEMENT		x 1 =	7									
REGULARITE		x 1 =	10									
DECHIREMENT		x 1 =	10									
VOLUME												
VOLUME MOYEN		1er	2e	3e	4e	cm³						
MASSE MOYENNE		1295	1275	1315	1290	g						
CARACTERISTIQUES DE LA MIE												
COULEUR		x 1 =	4									
TEXTURE		x 1 =	7									
SOUPLESSE		x 1 =	10									
ELASTICITE		x 1 =	10									
COLLANT		x 1 =	10									
ALVEOLAGE												
REGULARITE		x 1 =	10									
EPAISSEUR		x 1 =	7									
ODEUR		x 4 =	28									

Calculs Intermédiaires :

PETRISSAGE : $22,0 \times 1,00 = 22,0 / 25$

FACONNAGE : $23,5 \times 0,75 = 17,6 / 25$

APPRET : $10,0 / 10$

MISE AU FOUR : $24 \times 0,75 = 18,0 / 30$

ASPECT DU PAIN : $53,5 \times 0,75 = 40,1 / 70$

NOTE PAIN : 78 / 100

Calculs Intermédiaires :

VOLUME MOYEN : 1294 cm^3

MASSE MOYENNE : $280,3 \text{ g}$

VOLUME MOYEN POUR 100 g : $461,7 \text{ cm}^3$

VOLUME : $2,7 / 30$

NOTE MIE : 43 / 100

Calculs Intermédiaires :

NOTE PAIN : 43 / 100

NOTE MIE : 76 / 100

NOTE TOTALE : 197 / 300

Calculs Intermédiaires :

NOTE PAIN : 43 / 100

NOTE MIE : 76 / 100

NOTE TOTALE : 197 / 300

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'X'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

NOTATION "PAIN COURANT FRANCAIS"

Produit : FARINE	1 ou 2	E	Essai de : juillet 2006	Mois	ANNEE	Humidité de la farine : %
Date de réception de l'échantillon : 			Code adhérent : 			Quantité de farine :
Date du test de panification : 10/07/06			Quantité d'eau : 			
Nom du responsable de l'analyse : 			Codes échantillons : 03 - - 			
Hydratation : 70,0%			Calcul auto			
Remplir F7 en premier (farine 1 ou 2)						
Températures en °C : Fournil Farine Eau Pâte Hygrométrie 						

PETRISSAGE

LISSAGE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">1</td><td style="width: 12.5%;">4</td><td style="width: 12.5%;">7</td><td style="width: 12.5%;">10</td><td style="width: 12.5%;">7</td><td style="width: 12.5%;">4</td><td style="width: 12.5%;">1</td></tr> </table>	1	4	7	10	7	4	1	x 0,5 =	3,5	
1	4	7	10	7	4	1					
COLLANT DE LA PATE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 0,5 =	5,0	
		x									
CONSISTANCE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 0,5 =	5,0	
			x								
EXTENSIBILITE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 0,5 =	3,5	
			x								
ELASTICITE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 0,5 =	5,0	
		x									
RELACHEMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 0,5 =	5,0	
			x								

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">22,0</td></tr> </table>	22,0	x	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">1,00</td></tr> </table>	1,00	=	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">22,0</td></tr> </table>	22,0	/25
22,0								
1,00								
22,0								
TOTAL		COEFFICIENT		PETRISSAGE				

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	10	/10
			x								

FACONNAGE

ALLONGEMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 0,5 =	3,5	
		x									
DECHIREMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 0,5 =	5,0	
			x								
ELASTICITE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 0,5 =	5,0	
			x								
COLLANT DE LA PATE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	10	
			x								

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">23,5</td></tr> </table>	23,5	x	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">0,75</td></tr> </table>	0,75	=	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">17,6</td></tr> </table>	17,6	/25
23,5								
0,75								
17,6								
TOTAL		COEFFICIENT		FACONNAGE				

75
/100

NOTE PATE

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>						x		x 0,5 =	2,0	
					x						
PATE : DECHIREMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 0,5 =	5,0	
			x								

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">7,0</td></tr> </table>	7,0	/10
7,0		
APPRET		

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PATE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	10	
			x								
TENUE DE LA PATE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 2 =	14	
		x									

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">24</td></tr> </table>	24	x	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">0,75</td></tr> </table>	0,75	=	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">18,0</td></tr> </table>	18,0	/30
24								
0,75								
18,0								
TOTAL		COEFFICIENT		MISE AU FOUR				

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 1 =	7	
		x									
COULEUR	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>					x			x 2 =	14	
				x							
EPAISSEUR	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 0,5 =	3,5	
		x									
COUSTILLANT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>		x						x 0,5 =	2,0	
	x										

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">50,5</td></tr> </table>	50,5	x	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">0,50</td></tr> </table>	0,50	=	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">25,3</td></tr> </table>	25,3	/70
50,5								
0,50								
25,3								
TOTAL		COEFFICIENT		ASPECT DU PAIN				

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>		x						x 1 =	4	
	x										
REGULARITE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 1 =	10	
		x									
DECHIREMENT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 1 =	10	
		x									

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">31</td></tr> </table>	31	/100
31		
NOTE PAIN		

VOLUME

VOLUME MOYEN	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">1395</td></tr> </table>	1395	x 1 =	1390	
1395					
MASSE MOYENNE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">282</td></tr> </table>	282	x 1 =	281,8	
282					

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">1390</td></tr> </table>	1390	cm³	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">493,3</td></tr> </table>	493,3	cm³	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">5,7</td></tr> </table>	5,7	/30
1390								
493,3								
5,7								
VOLUME MOYEN SOUS 100 g		VOLUME MOYEN SOUS 100 g		VOLUME				

CARACTERISTIQUES DE LA MIE

COULEUR	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	7	
			x								
TEXTURE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 1 =	7	
		x									
SOUPLESSE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 1 =	10	
		x									
ELASTICITE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	10	
			x								
COLLANT	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	10	
			x								

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">79</td></tr> </table>	79	/100
79		
NOTE MIE		

ALVEOLAGE

REGULARITE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>			x					x 1 =	10	
		x									
EPAISSEUR	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;">x</td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td><td style="width: 12.5%;"> </td></tr> </table>				x				x 1 =	7	
			x								

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">28</td></tr> </table>	28	/4
28		
ODEUR		

NOTE TOTALE

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 12.5%;">185</td></tr> </table>	185	/300
185		
NOTE TOTALE		

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'x'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 6 : COMPATIBILITES D'IMAGES DES PAINS ISSUS DE L'AB AVEC LA
PERCEPTION DES CONSOMMATEURS**

Auteures :

Agnès ALESSANDRIN, ADIV Association et Marie-Hélène DESMONT, AERIAL

Nom de l'organisme bénéficiaire : Association pour le Développement de l'Institut de la Viande

Nom du responsable scientifique : Agnès ALESSANDRIN

Nom du Laboratoire : ADIV Antenne de Nantes

Adresse : 7 avenue Alfred Kastler BP 70754 44307 NANTES CEDEX 3

Nom de l'organisme bénéficiaire : Aérial

Nom du responsable scientifique : Marie Hélène DESMONTS

Nom du Laboratoire : Aérial

Adresse : Parc d'Innovation - Rue Laurent Fries BP 40443 - 67412 ILLKIRCH Cédex

RESUME SIGNALETIQUE

Il s'agit d'apprécier la compatibilité entre la perception des consommateurs et les caractéristiques techniques et commerciales de l'offre de pains issus de l'Agriculture Biologique (AB). Ceci est réalisé au travers d'une approche qualitative originale combinant d'une part, le recueil des représentations de consommateurs sur le pain biologique et son mode de production via 3 réunions de groupe de consommateurs tant fidélisés que ponctuels, et d'autre part, la confrontation avec les mesures instrumentales sur la qualité des blés et pains biologiques fournies par les partenaires scientifiques du programme (T5 notamment). Il en résulte la mise au point de 6 prototypes de pains biologiques, lesquels ont fait l'objet d'un test hédonique auprès d'un échantillon de 120 consommateurs répartis sur deux sites (Angers et Strasbourg). Cette investigation a permis d'évaluer les préférences des consommateurs et définir les voies de positionnement potentiel des produits testés.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

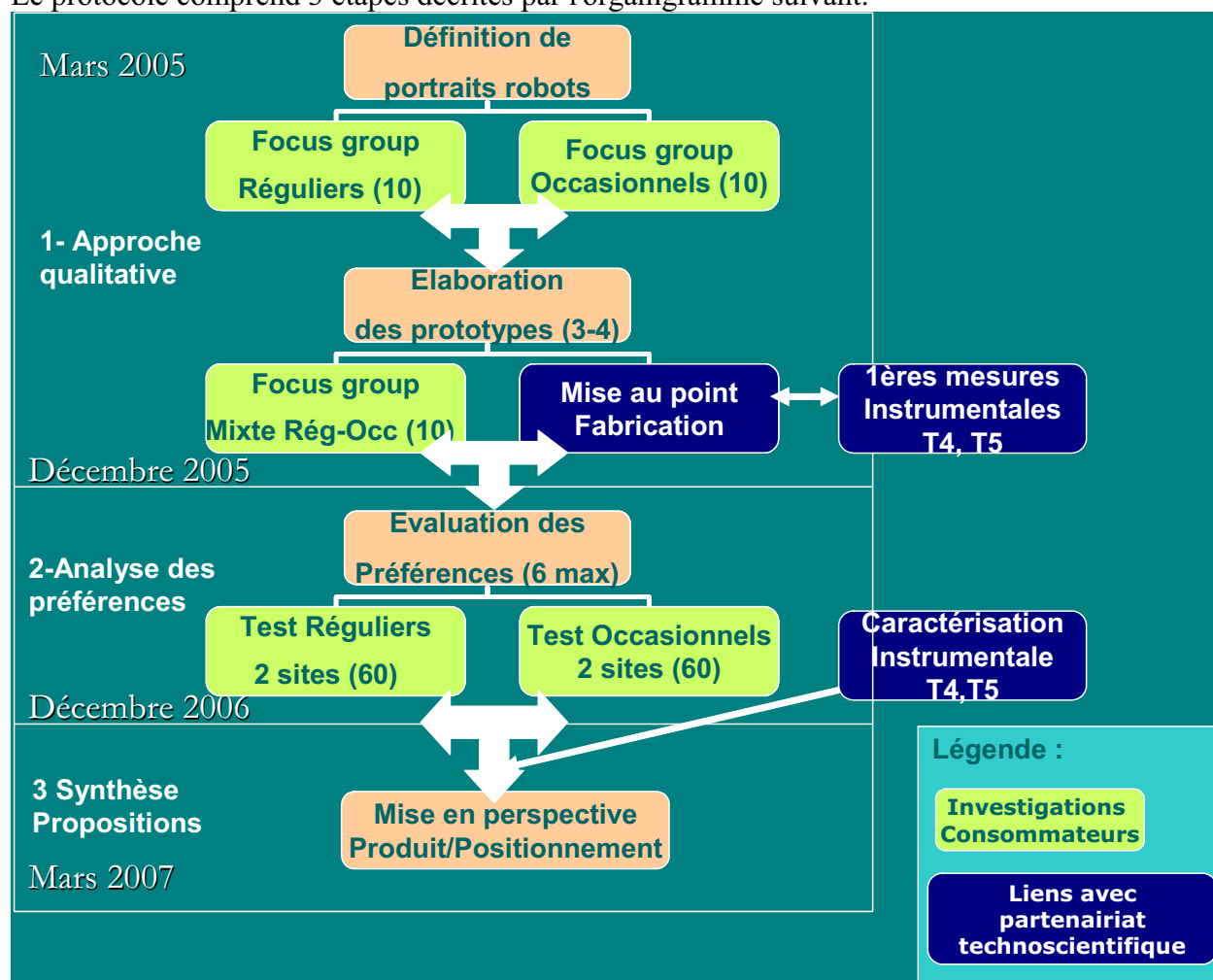
L'objectif de la tâche 6 est double, il est :

- d'évaluer la compatibilité entre la perception qu'ont les consommateurs des différents types pains issus de l'Agriculture Biologique (AB) et les caractéristiques techniques et commerciales de l'offre actuelle ;
- de définir des prototypes de pains issus de l'AB bien perçus des consommateurs et d'en déterminer les voies de positionnement potentiel.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

Le protocole comprend 3 étapes décrites par l'organigramme suivant.



Graphique n°1 : processus méthodologique de la tâche

1 Etape 1- Approche qualitative des représentations et attentes des consommateurs

L'objectif de cette première étape est double : d'une part la caractérisation des représentations des consommateurs sur la qualité des pains et sur le mode de production biologique ; d'autre part, l'établissement de prototypes pains bien perçus des consommateurs.

La 1^{ère} phase s'attache à la "Définition de portraits robots"

Elle comporte deux focus group organisés respectivement le 31 mai pour les consommateurs "réguliers" de produits issus de l'Agriculture Biologique (10 participants), et le 2 juin 2005 pour les "occasionnels" (12 participants). Outre la caractéristique principale relative à la consommation des produits issus de l'AB, les deux panels présentent un profil diversifié selon les critères socio-démographiques classiques : âge, situation professionnelle, situation familiale.

Les séances se déroulent en trois temps :

- 1^{er} temps : recueil des perceptions et opinions sur le pain et sur la filière AB selon les principes de semi-directivité et de projectivité ;
- 2^{ème} temps : détermination de portraits robots à partir de propositions sur les caractéristiques intrinsèques et extrinsèques des pains biologiques prédéfinies dans un questionnaire écrit ;
- 3^{ème} temps : test d'acceptabilité/attractivité sur 6 échantillons de pains ; 3 classements sont demandés, 1/ sur l'aspect visuel, 2/ après dégustation, 3/ après prise de connaissance des informations sur les produits (dénomination, mode de production, lieu de vente, prix).

La seconde phase est axée sur l'élaboration de prototypes grâce aux investigations suivantes :

- Un travail de mise en commun et de synthèse des données consommateurs -recueillis lors des deux réunions de groupe- et des mesures instrumentales opérées par les partenaires nantais (Axe 2 : T3 -procédé de panification- et T5 -propriétés texturales & sensorielles-). C'est le travail de la stagiaire Solène François qui a permis la coordination des quatre partenaires. Deux réunions de travail ont été organisées à Biofournil (20/06/05) et à l'INRA de Nantes (06/09/05) afin de transmettre les résultats intermédiaires de chaque partie, de définir les produits à tester et de répartir les tâches entre les partenaires pour la fabrication des échantillons et la réalisation des mesures instrumentales et sensorielles ;
- Un 3^{ème} focus group d'enrichissement-validation s'est tenu le 29 septembre 2005 et a réuni un groupe mixte de 10 consommateurs (ayant déjà participé à l'un des 2 premiers focus group) pour moitié des "réguliers" et moitié des "occasionnels". La séance a comporté une discussion collective sur les portraits robots ainsi qu'un test d'acceptabilité/attractivité sur les échantillons retenus : les 8 pains sont notés dans un premier temps selon leur aspect visuel, puis les 5 pains les plus attrayants sont classés en fonction de leurs caractéristiques gustatives et d'image (dénomination, mode de production, lieu de vente, prix).
- De nouveau, une synthèse de l'ensemble des résultats a permis après discussion avec les partenaires lors de la réunion des responsables de tâches du 27/09/06 de définir 6 recettes de pains prototypes.

2 Etape 2- Test des préférences auprès de 120 consommateurs :

Il s'agit à ce stade d'évaluer les préférences des consommateurs à partir des 6 prototypes mis au point au terme de l'étape 1. L'expérimentation se déroule sur 2 sites nationaux (Ouest à Angers / Est à Strasbourg) auprès d'un échantillon de consommateurs de pains biologiques. Le recrutement des participants est organisé par des étudiants du Master Santé pour le site d'Angers et par le centre technique AERIAL sur Strasbourg. Les consommateurs dits réguliers

sont recrutés sur les lieux de vente spécialisés en produits biologiques : magasins (Biocoop, Rayon vert), marché (Lafayette à Angers) et boulangerie (Strasbourg). Pour le recrutement des consommateurs occasionnels, nous avons également fait appel à des panels préconstitués (Strasbourg) ainsi qu'à des réseaux privés et professionnels (Angers). Un questionnaire est rempli par chaque prospect lors du recrutement.

Les séances ont réuni 68 personnes à Angers le 17 janvier 2007 et, 62 à Strasbourg, le 8 février 2007. Le test porte sur 6 pains : 3 baguettes et 3 boules. Chaque catégorie comprend 2 échantillons dits "prototypes" et un "témoin" comparable aux produits du commerce. Les pains sont fabriqués sur place dans la nuit précédant la dégustation selon des conditions fixées et maîtrisées.

Chaque séance s'organise selon un schéma identique décomposable en trois étapes chronologiques :

A1-Préférence visuelle d'ensemble :

- Présentation des 6 pains entiers : les participants choisissent selon l'aspect visuel les 2 pains préférés et les 2 pains les moins appréciés ;

A2-Appréciation de chaque type de pain (baguette puis boule)

Aspect visuel des 3 baguettes (puis des 3 boules) :

- Présentation des 3 pains tranchés : attribution d'une note de satisfaction pour l'aspect de chaque produit sur une échelle de type Likert à 5 niveaux allant de *Ne me plaît pas du tout* à *Me plaît beaucoup* ; un classement final sur l'aspect global est demandé.

Appréciation en bouche des 3 baguettes (puis des 3 boules) :

- Dégustation des 3 pains (une tranche par personne) : attribution d'une note de satisfaction pour chaque produit sur une échelle de type Likert à 5 niveaux allant de *Ne me plaît pas du tout* à *Me plaît beaucoup* ; un classement final des 3 produits est demandé.

A3- Préférence finale d'ensemble :

- Préférence finale sur l'ensemble des 6 pains : un classement final est demandé (les 2 pains préférés, les 2 moins appréciés) ;

3 Etape 3 - Synthèse et propositions

Il s'agit de faire la synthèse de l'ensemble des résultats issus des travaux sur la perception et les préférences des consommateurs, et de les confronter aux données issues des mesures instrumentales réalisées dans les autres tâches du programme (T3, T4, T5). A ce stade de la Recherche, seuls les résultats de la caractérisation sensorielle des prototypes par le jury de Biofournil sont connus et donc intégrés aux conclusions.

b) Matériels et Méthodes

Les références méthodologiques et statistiques pour la réalisation de chacune des opérations sont les suivantes :

- la méthode des focus groups (étape 1) est convoquée pour le recrutement des consommateurs aux caractéristiques socio-économiques diverses; pour l'immersion des consommateurs dans la problématique; pour la conduite des réunions; pour le dépouillement et la lecture des séances enregistrées ;
- la méthode des tests de préférence utilisés dans le champ du marketing et de la qualité (étape 2) est convoquée pour le recrutement des consommateurs (120) selon les critères de consommation ainsi que pour la définition, l'administration et le traitement des questionnaires remplis par les consommateurs.

Précisons que la catégorisation des consommateurs en "réguliers" vs. "occasionnels" opérante tout au long du processus d'investigation est définie sur les bases des études de consommation récente en matière de produits biologiques. Les "réguliers" consomment du pain biologique "plusieurs fois par semaine". Il s'agit de personnes qui ont une bonne connaissance des l'Agriculture biologique ; on peut les rapprocher des " fidèles " qui consomment plus de 50% du produit considéré en bio (François, Persillet 2003). Les consommateurs "occasionnels" sont plus volages et consomment du pain biologique de temps en temps ("une fois par mois" ou moins).

1 Etape 1

L'animation de groupe est la méthode choisie pour la révélation des opinions des consommateurs. S'agissant d'un problème à caractère marchand et sociétal, les interactions entre les différentes opinions des consommateurs apparaissent nécessaires. Dans ce contexte, la méthodologie choisie a privilégié la dynamique de groupe.

En fonction de notre questionnement initial qui visait à améliorer la qualité des pains biologiques, deux groupes comprenant 8-12 personnes ont été sélectionnés selon le niveau de consommation-fidélisation des pains issus de l'AB. Par ailleurs, la composition du panel a respecté la diversité des profils socio-démographiques sur les critères d'âge et de situation familiale (tableau n°1); la préoccupation principale dans ce type d'approche qualitative est de couvrir la palette des opinions par la non redondance des profils (et non pas d'être représentatif en terme quantitatif).

Date et lieu	Critère de sélection	Age			Genre		Travail à temps plein		Enfants <14 au foyer	
		- de 35	35-55	+ de 55	F	M	Oui	Non	Oui	Non
Nantes 31/05/05	10 Acheteurs réguliers de produits biologiques : fréquence hebdomadaire, multiproduit	1	6	3	8	2	8	2	4	6
Nantes 02/06/05	12 Acheteurs occasionnels de produits biologiques : fréquence mensuelle, monoproduit	4	5	3	11	1	5	7	5	7
Nantes 27/09/05	9 acheteurs réguliers et occasionnels de produits biologiques	3	4	4	7	2	6	3	3	6
TOTAL		8	15	10	26	5	19	12	12	19

Tableau n°1 : répartition des panels en fonction des critères sociodémographiques

Le guide d'entretien de chaque réunion de groupe est défini au regard de la problématique et de la progression de la démarche. Les techniques suivantes sont combinées (tableau n°2):

- le mode semi-directif vs. directif : le questionnement ouvert vise à laisser s'exprimer les participants de manière spontanée selon leurs propres repères tandis que l'administration d'un questionnaire fermé est utile pour obtenir des réponses selon des modalités précises définies à l'avance ;
- le type d'épreuve analogique vs. directe : est choisie selon la nécessité de stimuler la créativité et la spontanéité du groupe grâce au déplacement du référent.

	Mode d'interrogation	Type d'épreuve
Phase 1 : 2 Focus groups	Semi-directif	Brainstorming collectif (ensemble du groupe)
- 12 consommateurs occasionnels	Directif	Questionnaire écrit individuel
- 10 consommateurs réguliers	Semi-directif	Travail de groupes (3-4 personnes) : élaboration d'un scénario de film sur la filière pain AB
	Directif	Test individuel : méthode score/caractère ⁵
Phase 2 : 1 Focus Mixte :	Semi-directif	Réactions collectives à la diffusion d'informations
10 consommateurs occasionnels + réguliers	Directif	Test individuel : méthode score/caractère

Tableau n°2 : Modalités de recueil des données lors des focus group

La définition des prototypes est permise par la coordination entre T6 et les autres tâches du programme. Ainsi, les résultats obtenus lors des 2 focus group (test de dégustation) complétés par ceux issus des analyses sensorielles et instrumentales (Axe 2 Tâche 5) et des enquêtes auprès des boulangers (Axe 3 Tâche 3) ont conduit à la sélection de 8 pains dits "préprototypes" dont 7 certifiés AB : 4 fabriqués par Biofournil, 4 autres achetés dans le commerce. Les pains "préprototypes" sont ensuite soumis à l'appréciation des consommateurs lors du 3^{ème} focus group mixte occasionnels/réguliers (29 septembre 2005). A la suite de ces résultats, 6 pains dits prototypes sont définis lors de la réunion des responsables de tâches du 27/09/06.

2 Etape 2

La méthode des tests hédoniques est retenue pour le recueil des préférences sensorielles des consommateurs.

Les deux séances d'environ 1 heure comprennent une combinaison d'épreuves à la fois classique et originale dans l'optique de répondre aux différents objectifs de la tâche à savoir :

- l'évaluation des préférences : appréciations visuelle et gustative de chaque échantillon sur une échelle de type Likert à 5 niveaux selon les préconisations normatives en matière de test hédonique (norme AFNOR XP-V09-500⁶) ;
- l'établissement d'une cartographie de positionnement des pains selon leur potentiel de marché : classements visuel et gustatif de l'ensemble des échantillons avec calcul des indices d'acceptabilité et d'attractivité selon la méthode Score/Caractère.

⁵ La méthode est explicitée ci-après en p8.

⁶ « Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques effectuées avec des consommateurs dans un espace contrôlé » Août 2000.

L'échantillon comprend 122 consommateurs répartis sur deux sites géographiques (Est : Strasbourg / Ouest : Angers) ; il respecte la parité imposée en terme de consommation de pain biologique entre "réguliers" et "occasionnels".

Critère principal :		Ensemble	Angers	Strasbourg
Fréquence de consommation	Régulier (1 fois / semaine)	57%	48% (29)	66% (41)
	Occasionnel (1 fois / mois)	43%	52% (31)	34% (21)

Autres critères :

Sexe	Masculin	32%	32% (19)	32% (20)
	Féminin	68%	68% (41)	68% (42)
Age	18 à 29 ans	48%	68% (41)	29% (18)
	30 à 39 ans	35%	10% (6)	24% (15)
	40 à 49 ans		10% (6)	24% (15)
	50 à 59 ans	17%	3% (2)	11% (7)
	60 ans et +		8% (5)	11% (7)
Situation professionnelle	Actifs (dont chômeurs)	50%	33% (20)	66% (41)
	Autres (retraité, au foyer, étudiant)	50%	67% (40)	44% (21)

Tableau n°3 : caractéristiques du panel

A Angers, le panel est légèrement favorable aux consommateurs "occasionnels" ; notons au passage que la catégorie "occasionnel" intègre ici des consommateurs que l'on pourrait qualifier plus justement de "rare" (moins d'une fois par mois). Le groupe comprend également une majorité de jeunes et d'étudiants. Par contraste, le panel de Strasbourg comprend une majorité de consommateurs réguliers et d'actifs (66%).

Au final, l'échantillon global apparaît suffisamment diversifié en terme socio-démographique avec toutefois une dominance de femmes (68%) et une part importante de jeunes (<30 ans). Cette diversité est à raisonner au regard du faible taux de pénétration des produits biologiques⁷ et donc de la particularité sociologique de la populations concernée. Elle ne constitue en aucun cas une représentativité statistique : en effet, il s'agit simplement d'un test, et non d'une enquête, qui ne peut que révéler des tendances, et non des mesures précises. L'important ici est d'obtenir un effectif suffisant dans chaque catégorie statistique pertinente (consommation, lieu...) afin d'avoir la possibilité de détecter des relations entre les variables.

Les produits : les prototypes testés sont définis à partir des résultats de l'étape 1 par décision consensuelle entre les responsables de tâches lors de la réunion du 27 septembre 2006 puis des partenaires du pôle Ouest (ADIV, INRA BIA, ITAB, Biofournil) lors de la réunion du 28 novembre 2006. Leur conception découle d'un compromis entre les objectifs scientifiques et opérationnels du programme. Il s'agit d'une part de donner des orientations aux professionnels en prenant en compte les attentes des consommateurs ; d'où le choix de deux formats distincts : la baguette dans une optique de développement du marché pour toucher un nouveau public et, la boule dans une optique de consolidation des spécificités du produit AB. Il fallait également respecter les principes de l'expérimentation scientifique en évitant de multiplier les facteurs de variation afin de pouvoir tirer le meilleur parti des résultats.

Deux séances de caractérisation sensorielle, l'une sur les 3 baguettes, l'autre sur les 3 boules, ont permis d'établir le profil de chaque échantillon. Elles font suite aux deux séances d'entraînement du jury d'experts (décembre 2006 et janvier 2007). Les séances se sont

⁷ En 2004, 44% des personnes interrogées déclarent consommer au moins une fois par mois des produits issus de l'Agriculture Biologique, soit une augmentation significative de 7% par rapport à 2003 (www.agencebio.org, 2004). Le pain (et autres céréales) arrive en troisième position des produits biologiques les plus consommés en France (58% en 2004), après les fruits et légumes (71%) et les œufs (61%) (www.agencebio.org, 2004).

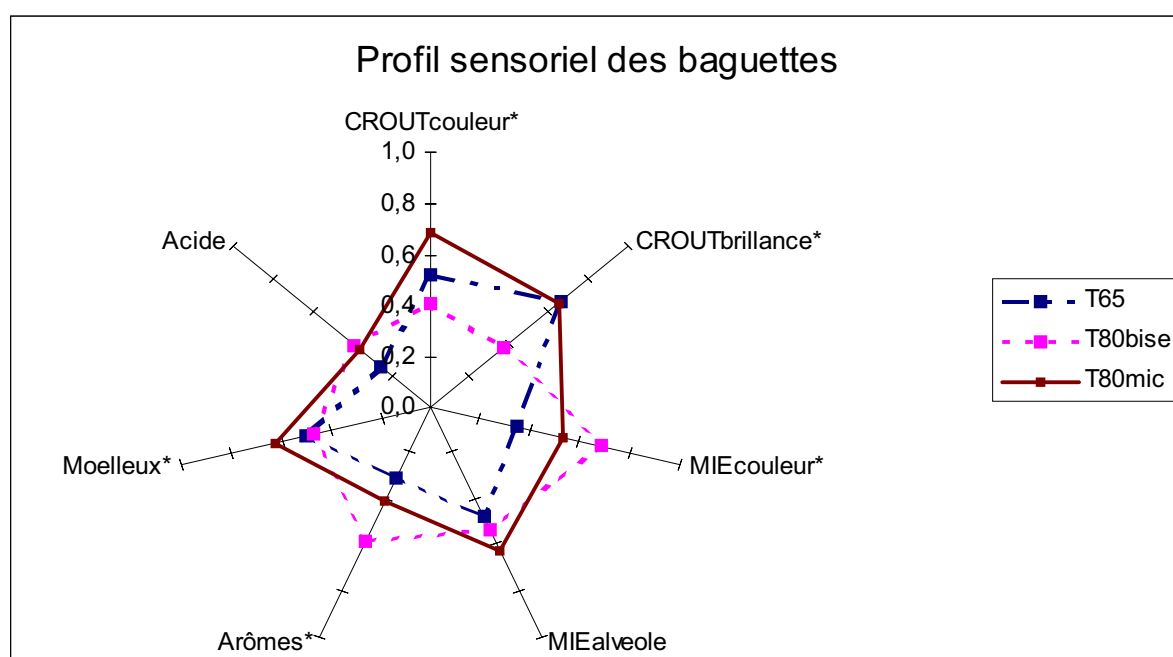
déroulées sur le lieu de fabrication à Biofournil le même jour que le test sur Angers, le 17 janvier 2007.

Les pains sont présentés de façon anonyme (sans aucune information commerciale) ; ils sont identifiés par un code à trois chiffres (tableau n°4)

Baguettes (cylindre)	Boules (meule)
270- Témoin : T65	543- Témoin T80
568- Prototype T80, semoules bises	179- Prototype T80, décortilage
941- Prototype T80, sons micronisés	862- Prototype T110, préfermentation

Tableau n°4 : codification des pains lors du test de préférence.

La notation s'effectue sur une échelle continue où 4 niveaux d'intensité sont repérés : *Moins prononcé*, *Moyennement moins prononcé*, *Moyennement plus prononcé*, *Plus prononcé*. Les profils sensoriels des pains biologiques (graphiques n°2 et 3) laissent apparaître des différences significatives entre les échantillons.

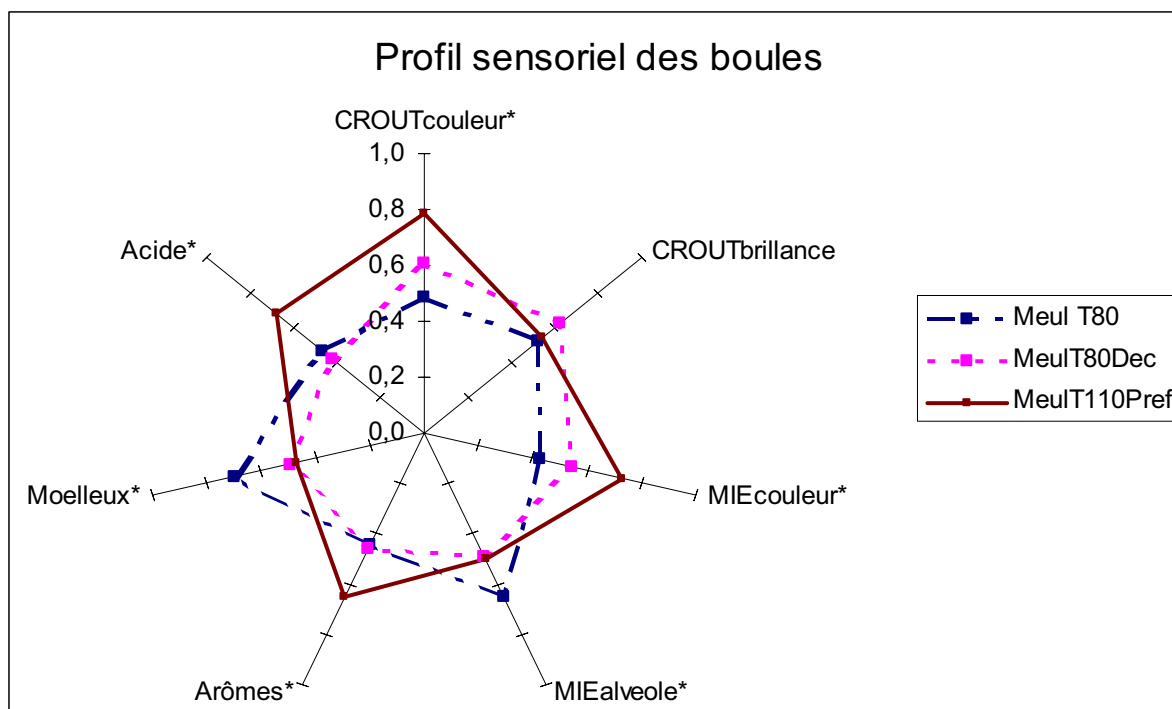


NB : Les descripteurs introduisant des différences significatives au risque de 5% sont repérés par des *.

Graphique n°2

Les deux baguettes micronisée et témoin possèdent des profils similaires avec des caractéristiques plus prononcées pour la micronisée notamment sur l'aspect visuel (couleur de la croûte et de la mie). La baguette bise se distingue au niveau visuel par sa croûte de couleur et de brillance peu prononcées et, en bouche par des arômes et une acidité plus soutenues que les 2 autres. Au final, la baguette T80 micronisée possède le profil le plus homogène (*moyennement plus prononcé*) sur un ensemble de critères sauf pour l'arôme grenier à blé et pour l'acidité (niveau *moins prononcé*).

Les 2 boules T80 ont un profil équilibré : *moyennement plus prononcé* en visuel, et *moyennement moins prononcé* en bouche ; cependant la boule type 80 témoin est plus alvéolée et plus moelleuse que la T80 décortiquée. La boule T110 est différente des deux autres : elle apparaît plus déséquilibrée avec des niveaux *plus prononcés* pour la couleur (croûte et mie) et pour l'acidité en bouche, *moyennement plus prononcés* pour les arômes, et *moyennement moins prononcés* pour l'alvéolage et le moelleux.



NB : Les descripteurs introduisant des différences significatives au risque de 5% sont repérés par des *.

Graphique n°3

Les traitements statistiques : outre l'usage des traitements descriptifs tris à plats (fréquence, moyenne) et tableaux de contingence, nous avons eu recours aux techniques spécifiques suivantes (logiciel professionnel d'analyse de données FIZZ – BIOSYSTEM version 2.20b) :

- Les tests statistiques paramétriques (métrique du Xhi2) et non paramétriques (test de Friedman) sont utilisés afin d'identifier les différences significatives entre les échantillons (au risque de 5%);
- L'analyse factorielle (AFC) permet de comprendre les interrelations dans un univers complexe des variables internes (organoleptiques) entre-elles, et entre variables internes et externes (socio-démographiques).
- La méthode du score/caractère (présentée ci-dessous) est choisie pour exploiter les classements initial et final des 6 produits testés ;

◆ La méthode du score-caractère

Afin de mieux formaliser les appréciations sur un graphique synthétique, nous utilisons une méthode d'analyse des classements mise au point par l'INRA⁸ et fondée sur le calcul de deux indices :

Le score : reflète l'acceptabilité globale du produit se calcule en effectuant la somme des positions supérieures à la médiane, diminuée de la somme des positions inférieures à la médiane.

Le caractère reflète l'attractivité ou l'intérêt suscité par le produit. Cet indice est calculé en effectuant la somme des positions extrêmes diminuée des positions intermédiaires affectées d'un coefficient tel que la somme des coefficients soit nulle. Le calcul est fondé sur le principe qu'un produit au caractère fort attire spontanément l'attention, soit de manière positive (plébiscite), soit négative (rejet). Celui-ci sera donc classé sur les valeurs extrêmes : 1^{ère} place pour l'attraction ; dernière position pour le rejet. *A contrario*, un produit au caractère peu marqué sera classé en position moyenne.

⁸ M. LEUSIE, D.PIALOT, *Les tests de choix et de dégustation de pomme*, INRA, ENITIAA, 1986.

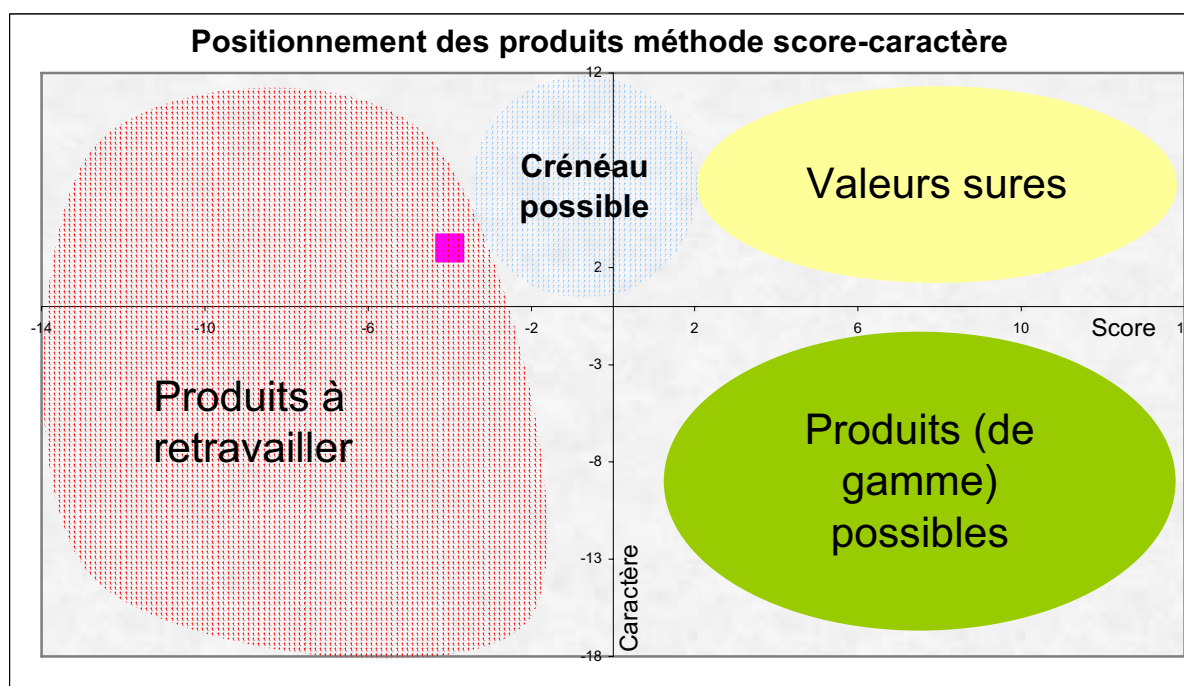
Position Indice	1 ^{ère}	2 ^{ème}	Places non citées	5 ^{ème}	6 ^{ème}
Score	+1	+1	0	-1	-1
Caractère	+1	0	-1	0	+1

Tableau n°5 : principe d'attribution des coefficients dans le cas de 6 échantillons

La méthode score/caractère définit les territoires de chaque produit en relation avec les attributs testés, autrement dit leurs forces et faiblesses. De plus, elle permet de tester la cohérence entre les caractéristiques sensorielles des pains d'une part, et les indicateurs commerciaux d'autre part. Nous procédons au final à une mise en relation de ces résultats avec les hypothèses stratégiques de départ.

Les produits sont positionnés sur une carte graphique comprenant les 4 cadrans suivants :

- **les valeurs sûres** possédant de bons indicateurs à la fois quantitatifs et qualitatifs : degré de satisfaction élevé et équilibré sur un ensemble de critères ;
- **les produits de gamme** appréciés mais manquant de caractère : degré de satisfaction moyen et équilibré sur un ensemble de critères sensoriels et/ou commerciaux ;
- **les créneaux possibles** au caractère marqué mais peu consensuel : degré de satisfaction hétérogène avec des forces et faiblesses bien identifiées ;
- **les produits à retravailler** : degré de satisfaction faible, caractéristiques déséquilibrées sur un ensemble d'indices.



Graphique n°4 : cartographie des préférences par le score/caractère

c) Résultats

1 Etape 1 : Approche qualitative des représentations et attentes des consommateurs

♦ L'univers du pain issu de l'Agriculture Biologique

Le pain est perçu comme un aliment emblématique de la culture gastronomique française :

c'est notre aliment de base, le pain c'est presque sacré.

Lorsqu'il est issu de l'Agriculture Biologique, le pain est envisagé comme un produit *naturel, non trafiqué, nourrissant et sain*. Il est *fabriqué à l'ancienne* à l'opposé du pain *industriel* représenté par la *baguette blanche vendue à bas prix en grande surface*. Son mode de fabrication prend en considération l'environnement et l'éthique : *moins de déchets, respect des rythmes de production, juste prix*.

Les critiques et améliorations souhaitées portent sur les dimensions de la qualité suivantes :

- le goût : *qui dit bio ne dit pas forcément bon, trop lourd, trop acide*
- la conservation, la diététique
- le prix trop élevé : *c'est un produit de luxe*
- la faible diffusion en boulangerie artisanale.

A propos de la filière, l'artisan boulanger représente l'acteur principal de la construction de la qualité du produit : c'est le détenteur du savoir-faire, il incarne le respect et l'amour du produit ainsi que le relationnel client (via la boulangère). Loin de cette vision idyllique du boulanger, la filière biologique manque de crédibilité : des défauts de savoir-faire dans le travail des farines biologiques (jugées plus fragiles que leurs homologues en conventionnel) sont mentionnées. Le meunier traditionnel apparaît en voie de disparition cédant sa place à des organisations industrielles.

Les différences entre les deux groupes "réguliers" vs. "occasionnels" s'observent tant sur la forme du discours que sur son contenu : style affirmatif des "réguliers" vs. interrogatif des "occasionnels" ; focalisation sur les modes de production (réguliers) vs. priorité aux usages de consommation (occasionnels).

Modalité du discours	du	Groupe "Réguliers"	Groupe "Occasionnels"
		Affirmatif : définition produit, sécurité-santé	Interrogatif : demande d'informations sur la nutrition et la certification AB
Univers de référence	de	Univers agricole et artisanal de fabrication	Univers domestique : usages de consommation, diffusion large
Valeurs dominantes		Tradition, santé	Praticité, Ethique

Tableau n°6 : points de divergence entre les groupes de consommateurs

♦ Les préférences et attentes des consommateurs : définition de portraits robots

La plupart des préférences sont communes aux deux panels. Elles portent sur les caractéristiques intrinsèques du produit : les formes bâtarde/boule sont appréciées (le pain long rejeté), un aspect visuel brut, le plus "naturel" possible, est recherché (aspect irrégulier - mie crème ou grise, bien alvéolée). Elles portent également sur son mode de fabrication et de commercialisation qui doit symboliser l'authenticité.

Les divergences d'opinions entre "réguliers" et "occasionnels" apparaissent sur les qualités nutritionnelles : les consommateurs occasionnels ont des attentes nutritionnelles plus fortes

sur les pains biologiques que les réguliers (demande d'informations sur la richesse en fibres, vitamines, minéraux.)

Le pain biologique doit décliner les signes du naturel et de l'authentique sous la forme :

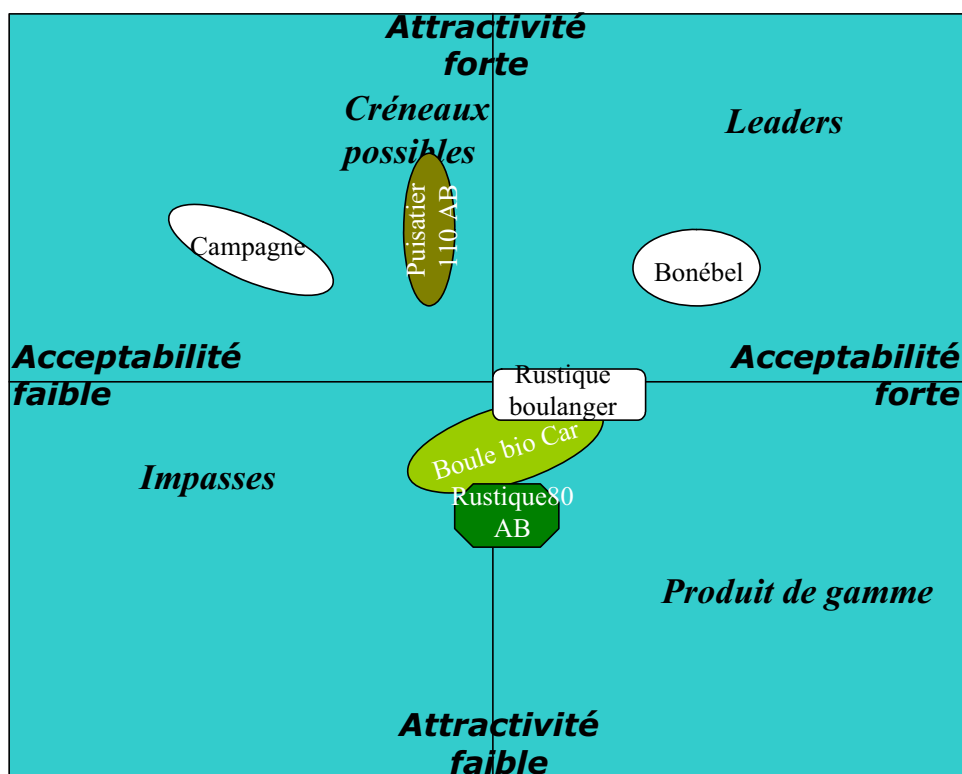
- une croûte croustillante et épaisse, une mie plutôt foncée et bien alvéolée
- une fabrication sur meule de pierre par fermentation au levain et pétrissage lent
- une maîtrise de la qualité et de la commercialisation par l'artisan boulanger

♦ *Test d'adéquation avec l'offre actuelle en pain biologique*

Pains testés	Lieu de vente	Mode production	Type de farine	Forme
<i>Boule bio Carrefour</i>	GMS	AB	T80	Boule
<i>Campagne Carrefour</i>	GMS	Conventionnel	T65	Pain long
<i>Bonébel</i>	Boulangerie	Conventionnel	T 65 + T150	Bâtard
<i>Puisatier Biofournil</i>	Magasin Bio	AB	T 110	Bâtard
<i>Rustique Biofournil</i>	Magasin Bio	AB	T80	Boule
<i>Pavé rustique</i>	Boulangerie	Conventionnel	T65	Pavé

Tableau n°7 : description des 6 échantillons testés lors des 2 premiers focus groups

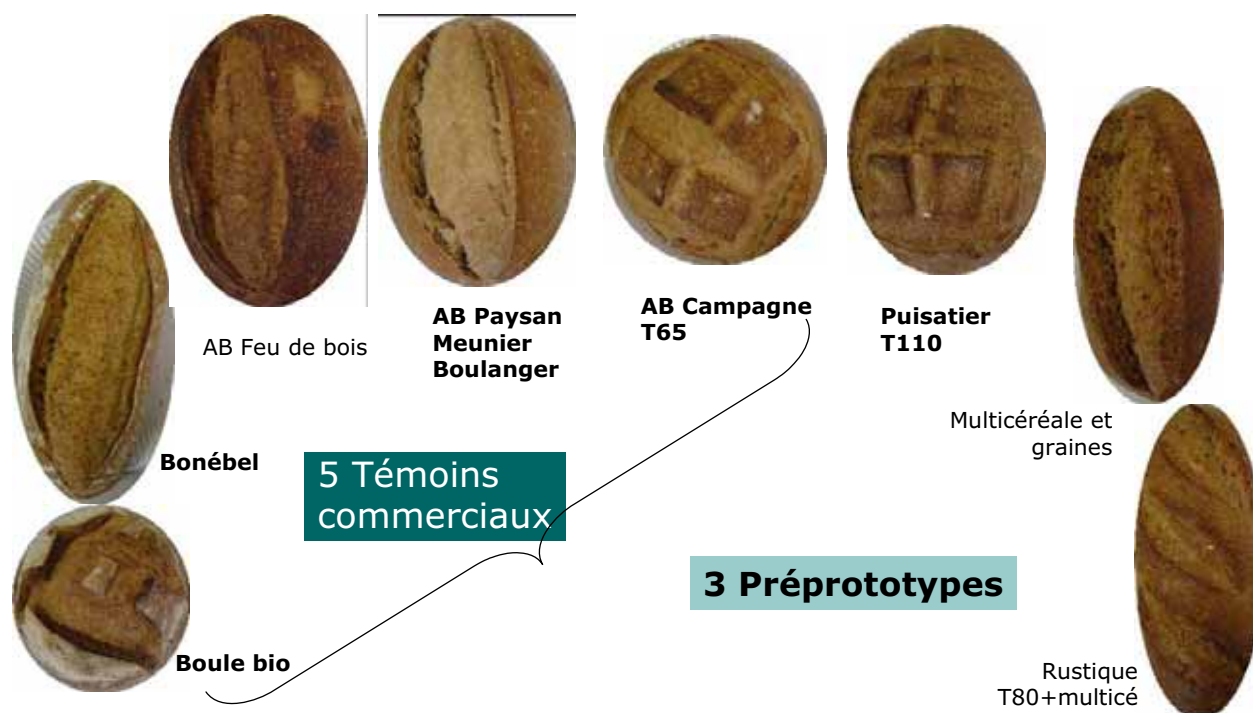
Les résultats des 2 groupes sont très proches. Le classement après dégustation est plus discriminant que celui effectué sur le seul aspect visuel. D'après la méthode acceptabilité/attractivité, un seul produit, le *Bonébel* en conventionnel, possède les qualités d'un produit leader (bonnes caractéristiques qualitatives et quantitatives). Dans les deux cas, le pain de campagne long est rejeté.



Graphique n°5 : cartographie des préférences (2 premiers focus groups)

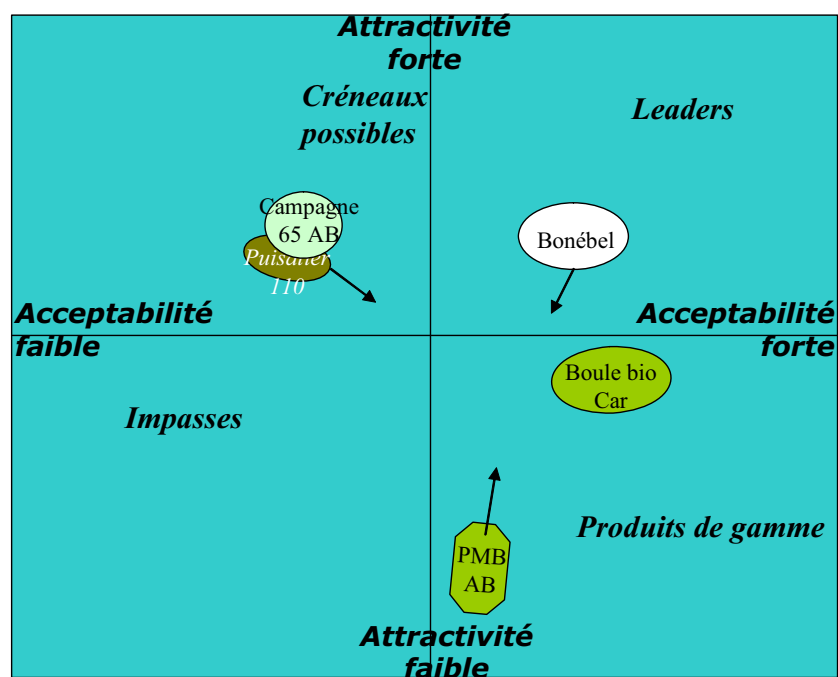
Des variations entre les deux groupes réguliers / occasionnels s'observent dans le classement des produits intermédiaires ainsi que dans l'influence des informations sur l'appréciation finale des pains : les "réguliers" revalorisent les pains issus de l'AB tandis que les "occasionnels" disqualifient les pains vendus en grande surface.

Test d'appréciation des "préprototypes" lors du 3^{ème} focus group mixte



Graphique n°6 : présentation des 8 échantillons testés lors du 3^{ème} focus group

Les tendances enregistrées lors des 2 premières réunions sont confirmées à savoir : la position leader du *Bonébel* qui possède les caractéristiques gustatives les plus prometteuses dans l'univers produit testé ; La position intermédiaire de la boule AB *Carrefour*. Par ailleurs, le pain *Paysan-Meunier-Boulangier* est apprécié en terme d'image mais des améliorations sont à produire sur les plans visuel et gustatif : il a été jugé *trop cuit* et *trop acide*.



Graphique n°7 : cartographie des préférences (3ème focus group)

La cartographie de positionnement des pains biologiques actuels s'établit comme suit :

- **Leader** : le *Bonébel* aux qualités organoleptiques prononcées et équilibrées : croûte claire, mie grise, moelleux-alvéolage prononcés, acidité moyenne ; ses caractéristiques sont en adéquation avec l'image régionale et nutritionnelle du produit.
- **Possible pour large diffusion** : la *Boule bio Carrefour* aux caractéristiques moyennes ; néanmoins, dans sa formulation actuelle, elle est trop irrégulière (différence d'un pain à l'autre) sur son aspect (alvéolage) et son profil organoleptique déséquilibré et hétérogène (moelleux, acidité, arôme).
- **Créneau** : le *Puisatier* (boulot au levain sur meule T110) pour une clientèle spécifique (fidèles du pain bio) et/ou des occasions spécifiques. En effet son profil sensoriel très typé (mie foncée, moelleux moyen, acidité et arômes prononcés) peut susciter l'intérêt d'une clientèle précise.

Le rejet du pain de campagne (acheté en GMS) à la mie blanche et fine, au goût salé sans acidité est confirmé.

2 Etape 2- Test des préférences auprès de 120 consommateurs

Six recettes de pains sont donc définies :

- 2 "témoins" conformes aux standards du marché : une baguette classique et une boule bio (type *Carrefour*) ;
- 4 "prototypes" biologiques en adéquation avec les attentes déclarées par les consommateurs (2 formats : baguette, boule).

Les profils sensoriels sont présentés en p9-10.

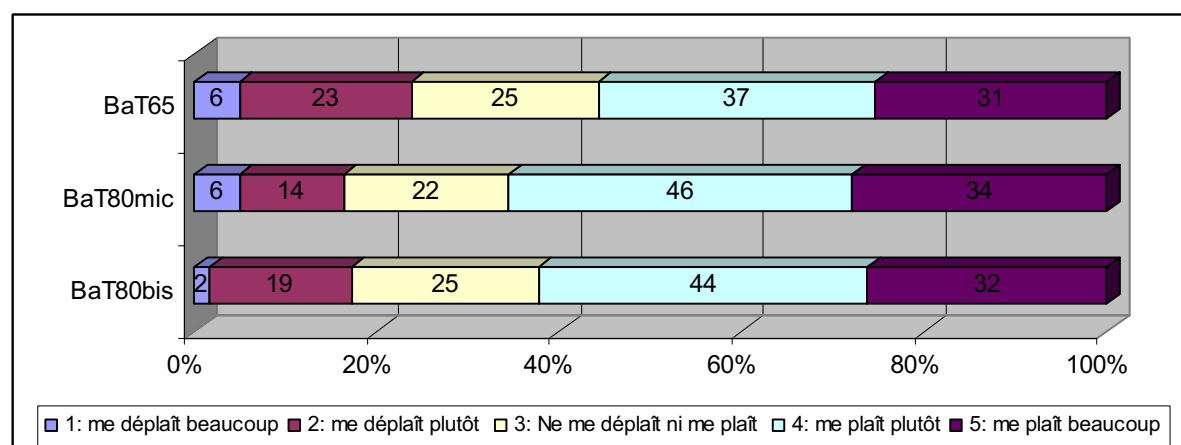
♦ Appréciation des baguettes :

En visuel : les 3 trois baguettes sont fortement appréciées tant à Angers qu'à Strasbourg. Les moyennes sont comprises entre 3,58-3,65 (Strasbourg) et 3,42-3,87 (Angers) ; la valeur

médiane correspond à *me plaît plutôt*. Aucune différence significative n'apparaît entre les deux séances.

	Ensemble (n=122)		Angers (n1=60)		Strasbourg (n2=62)	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
BaT80mic	3,72	1,14	3,87	1,11	3,58	1,15
BaT80bis	3,70	1,08	3,75	1,05	3,65	1,10
BaT65	3,53	1,20	3,42	1,17	3,63	1,23

Tableau n°8 : notes de satisfaction visuelle sur les baguettes



Graphique n°8: appréciation visuelle des baguettes (2 séances, n=122)

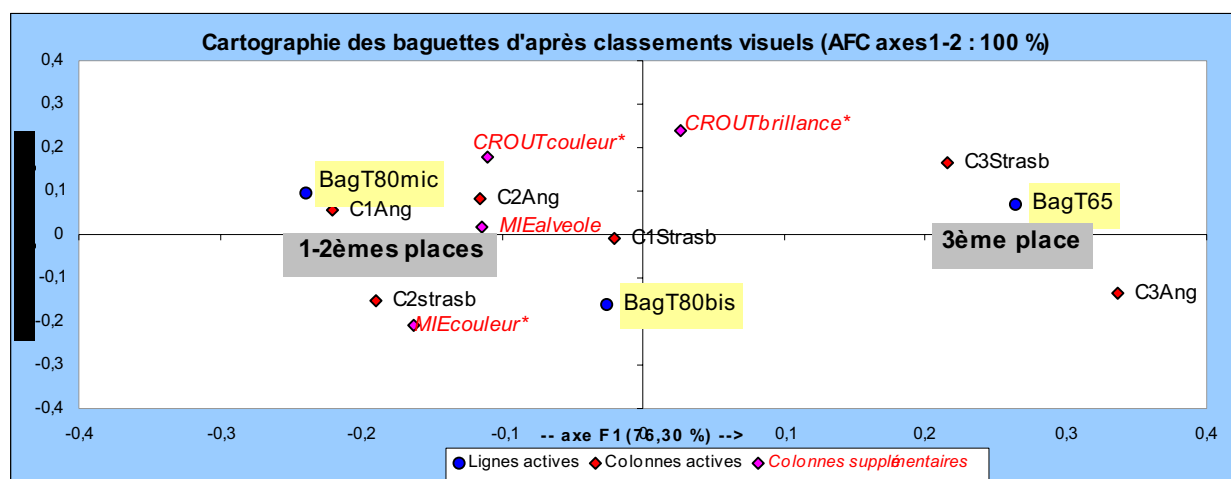
La baguette micronisée reçoit les meilleures appréciations sans que cela soit statistiquement significatif (risque de 5%). Les écarts en faveur de cet échantillon sont plus marqués à Angers qu'à Strasbourg.

Le classement visuel des baguettes confirme les notes de satisfaction. A Angers, il apparaît une différence significative selon le test de Friedman au risque de 5 % entre la baguette micronisée (la mieux classée) et la baguette témoin (la moins bien classée). A Strasbourg, aucune différence significative n'est observée.

Angers					Strasbourg				
		Σrangs	5%	Différence		Σrangs	5%	Différence	
1	BaT80mic	104		A	1	BaT80bis	118,5		NS
2	BaT80bis	123,5		A-B	2	BaT80mic	121,5		NS
3	BaT65	132,5		B	3	BaT65	132		NS

Tableau n°9 : classement visuel des baguettes

En synthèse, la cartographie par AFC (graphique n°9) permet de relier les classements obtenus à Angers et Strasbourg (variables principales) et les caractéristiques visuelles de chaque pain (variable supplémentaires). La Baguette T80 micronisée se situe dans la zone de préférence (1^{ère} place) : elle est associée à des caractéristiques de couleurs, croûte et mie, et d'alvéologie prononcées.



(Légende : C1 représente la 1^{ère} place, C2 la 2^{ème} place ; C3 la 3^{ème} place du classement ; l'abréviation "Ang" vaut pour la séance d'Angers et "Strasb" pour Strasbourg. Les descripteurs sensoriels en variables supplémentaires apparaissent en rouge et en italique)

Graphique n°9: Mise en relation des caractéristiques visuelles et des classements des baguettes par AFC

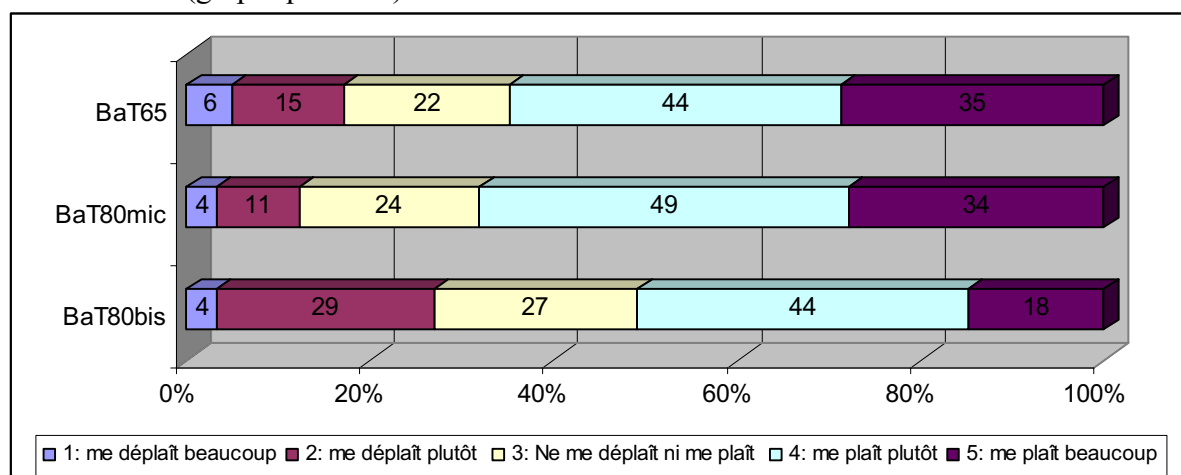
En bouche :

La dégustation permet de différencier plus nettement les baguettes. Tous les produits sont bien appréciés : les moyennes sur l'ensemble des 2 jurys sont comprises entre 3,35 et 3,80 ; la valeur médiane correspond à *me plaît plutôt* (exception faite de la baguette T80bise sur Angers dont la valeur correspond à *me me plaît ni me déplaît*).

	Ensemble (n=122)			Angers (n1=60)			Strasbourg (n2=62)		
	Moyenne	Ecart-type		Moyenne	Ecart-type		Moyenne	Ecart-type	
BaT80mic	3,80	1,05		4,02	0,83		3,60	1,19	
BaT65	3,71	1,15		3,9	1,07		3,53	1,21	
BaT80bis	3,35	1,10		3,17	1,01		3,53	1,16	

Tableau n°10 : notes de satisfaction gustative sur les baguettes

La baguette bise, aux caractéristiques gustatives plus prononcées, reçoit les appréciations les moins bonnes (graphique n°10).



Graphique n°10: appréciation gustative des baguettes (2 séances, n=122)

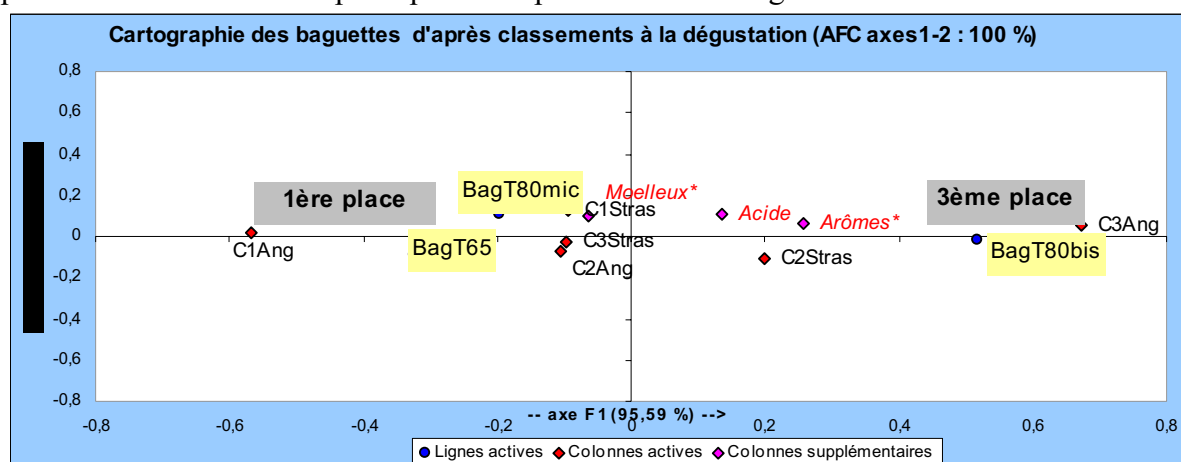
Des différences apparaissent entre les deux sites : à Angers, la baguette bise est significativement moins appréciée que les deux autres (Xhi2 au risque de 1%) ; à Strasbourg en revanche, les différences d'appréciation ne sont pas significatives.

Les classements en bouche confortent les notes de satisfaction. La tendance de rejet de la baguette bise est confirmée à Angers. Cette dernière est significativement moins bien classée que les 2 autres (au risque de 1%) et c'est la baguette témoin qui est la mieux classée. Aucune différence n'est à signaler à Strasbourg pour l'épreuve de classement en bouche.

Angers					Strasbourg				
		Σ rangs	5%	Différence		Σ rangs	5%	Différence	
1-	BaT65	96		A 1	BaT80mic	119,5		NS	
2	BaT80mic	105		A 2	BaT80bis	124,5		NS	
3	BaT80bis	153		B 3	BaT65	128		NS	

Tableau n°11 : classement en bouche des baguettes

La cartographie de mise en relation du profil organoleptique avec les classements permet de caractériser la zone de rejet (3^{ème} place) dans laquelle se situe la baguette T80 bise : elle est reliée à des intensités d'arômes et d'acidité plus élevées. On remarque que l'axe des préférences est déterminé principalement par la séance d'Angers.



(Légende : C1 représente la 1^{ère} place, C2 la 2^{ème} place ; C3 la 3^{ème} place du classement ; l'abréviation "Ang" vaut pour la séance d'Angers et "Stras" pour Strasbourg.)

Graphique n°11 : mise en relation des caractéristiques en bouche et des classements des baguettes

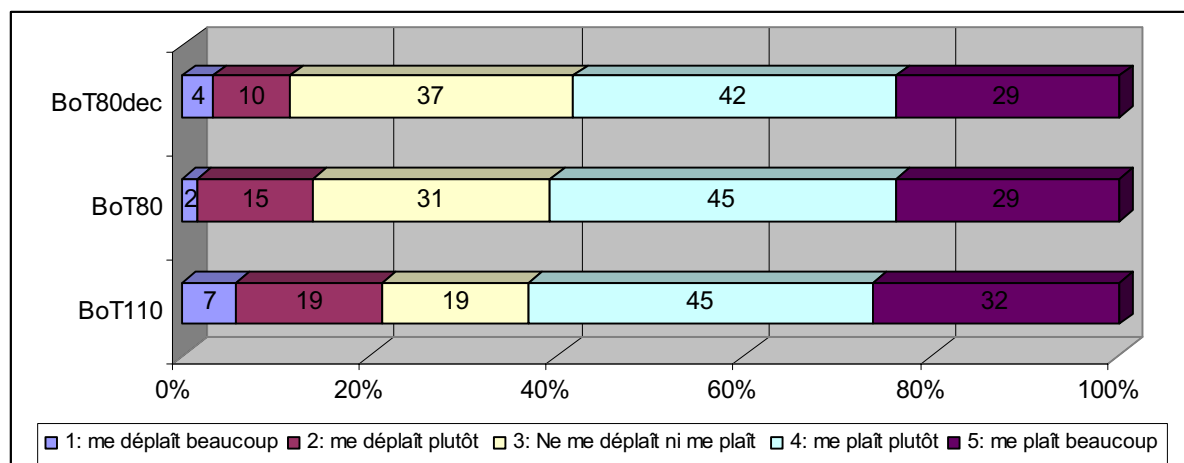
En conclusion, toutes les baguettes sont bien appréciées dans les deux sites tant en visuel qu'en gustatif. Les différences les plus marquées sont observées à Angers : la baguette témoin en visuel et la baguette bise en bouche sont les moins appréciées.

◆ Appréciation des boules

En visuel : la note moyenne de satisfaction décernée aux boules est moins élevée que celle des baguettes. Cette légère dépréciation est due à la séance d'Angers où les notes sont significativement plus faibles. Les boules restent toutefois bien appréciées (*me plaît plutôt* comme valeur médiane).

	Ensemble		Angers		Strasbourg	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
BoulT80	3,69	1,02	3,62	1,04	3,76	1
BoulT80déc	3,67	1,03	3,6	0,99	3,74	1,07
BoulT110préf	3,62	1,19	3,57	1,06	3,68	1,32

Tableau °12 : notes de satisfaction visuelle sur les boules



Graphique n°12: appréciation en bouche des boules (2 séances, n=122)

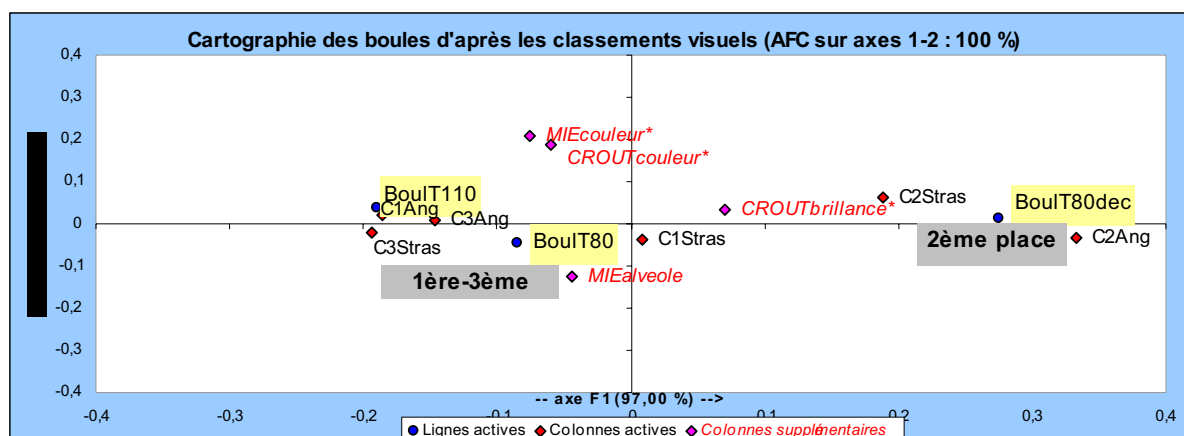
A Angers, les notations moyennes de chaque boule sont très proches. La boule T110 est moins appréciée que les 2 autres à Strasbourg mais les différences ne sont pas significatives.

Le classement visuel des boules confirme les tendances sans faire apparaître de différence significative entre les échantillons.

Angers				Strasbourg			
		Σ rangs	Différence			Σ rangs	Différence
			5%				5%
1	BoulT110préf	119	NS	1	BoulT80dec	118,5	NS
2	BoulT80déc	120,5	NS	2	BoulT80	125,5	NS
2	BoulT80	120,5	NS	3	BoulT110préf	128	NS

Tableau n°13 : classement visuel des boules

On observe ici que l'AFC indique un brouillage entre la 1^{ère} et la 3^{ème} place du classement attribuées tantôt à la boule T80 tantôt à la boule T110. La boule T80 décortiquée est associée à la place intermédiaire.



(Légende : C1 représente la 1^{ère} place, C2 la 2^{ème} place ; C3 la 3^{ème} place du classement ; l'abréviation "Ang" vaut pour la séance d'Angers et "Stras" pour Strasbourg. Les descripteurs sensoriels en variables supplémentaires apparaissent en rouge et en italique)

Graphique n°13 : mise en relation des caractéristiques visuelles et des classements des boules

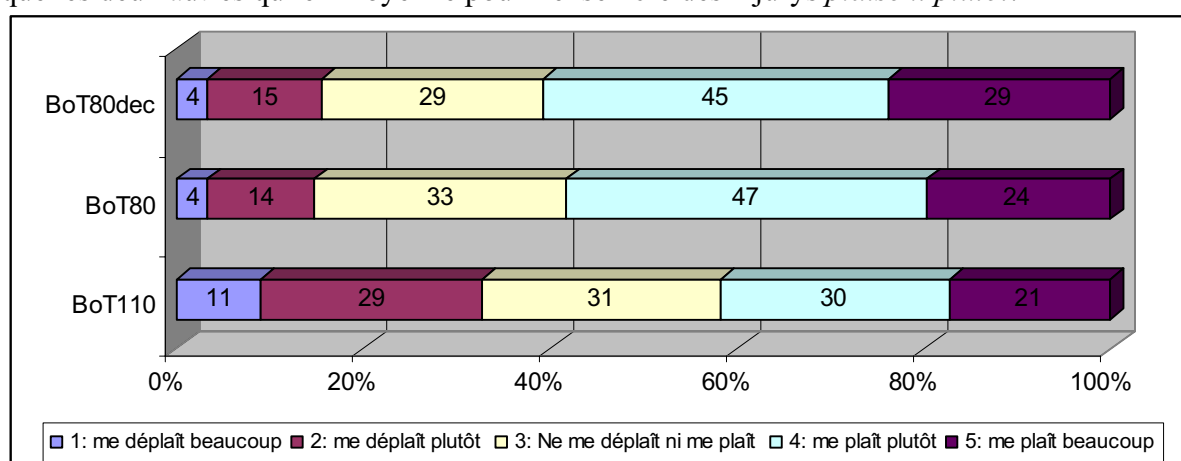
En bouche :

On note une chute de la satisfaction entre le visuel et le gustatif. Les appréciations en bouche sont légèrement moins bonnes pour les boules que pour les baguettes (tableaux n°10 et 14).

	Ensemble		Angers		Strasbourg	
	Moyenn	Ecart	Moyenn	Ecart	Moyenn	Ecart
BoulT80	3,60	1,03	3,65	0,78	3,55	1,24
BoulT80déc	3,66	1,07	3,77	0,96	3,55	1,17
BoulT110préf	3,17	1,23	2,97	1,04	3,37	1,37

Tableau n°14 : notes de satisfaction gustative sur les boules

Il existe des différences significatives dans l'appréciation en bouche des 3 produits. La boule T110 qui en moyenne pour l'ensemble des 2 jurys *ne plaît ni ne déplaît* est moins bien notée que les deux autres qui en moyenne pour l'ensemble des 2 jurys *plaisent plutôt*.



Graphique n°14: appréciation en bouche des boules (2 séances, n=122)

On note également une différence significative entre les 2 sites :

- à Angers, les boules sont moins appréciées (2 fois moins de *me plaît beaucoup*). Les différences entre les boules sont importantes (significatives au risque de 1%) : la boule T110 est la moins bien classée notée ;
- A Strasbourg, les résultats suivent la même tendance mais sont beaucoup plus resserrés. Aucune différence significative n'est observée.

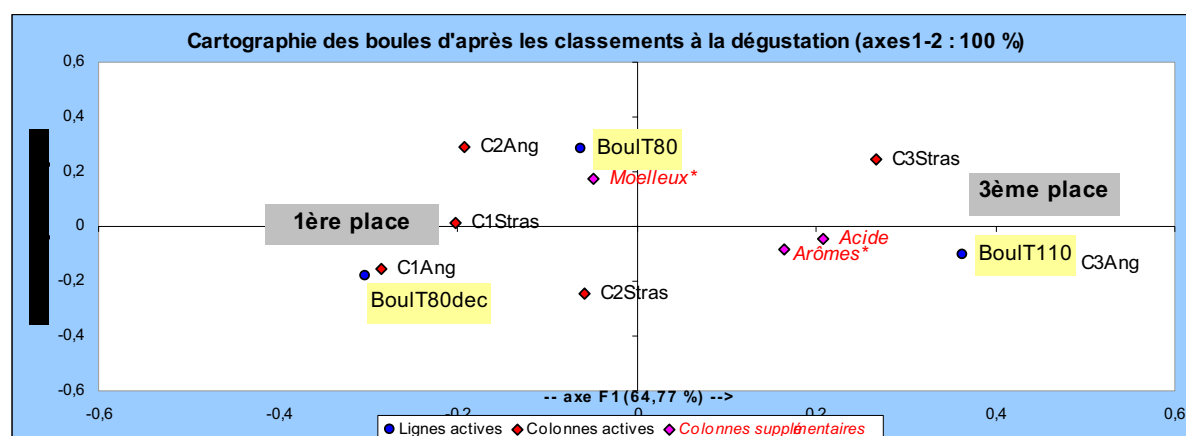
Le classement en bouche confirme les notes de satisfaction. A Angers, il apparaît des différences significatives au risque de 5% entre T110 (3^{ème} place) et les deux autres boules.

A Strasbourg : il apparaît une légère différence selon le test de Friedman (tendance : au risque de 10%) entre la boule T80dec préférée, et la boule T110, la moins bien classée. Elle est observable de manière plus nette (risque de 5%) pour le groupe des "occasionnels".

		Angers			Strasbourg		
		Σ rangs	Différence		Σ rangs	Différence	
			5%			5%	
1	BoulT80dec	103	A	1	BoulT80dec	109,5	NS
2	BoulT80	117	A	2	BoulT80	128	NS
3	BoulT110préf	140	B	3	BoulT110préf	134,5	NS

Tableau n°15 : classement en bouche des boules

Comme pour les baguettes, les caractéristiques d'odeur et d'acidité sont reliées négativement aux préférences (graphique n°15). La boule T110 à l'odeur et à l'acidité plus prononcées est classée en 3^{ème} place. Le moelleux contribue à l'axe 2 ; il est associé à la boule témoin T80.



(Légende : C1 représente la 1^{ère} place, C2 la 2^{ème} place ; C3 la 3^{ème} place du classement ; l'abréviation "Ang" vaut pour la séance d'Angers et "Stras" pour Strasbourg. Les descripteurs sensoriels en variables supplémentaires apparaissent en rouge et en italique)

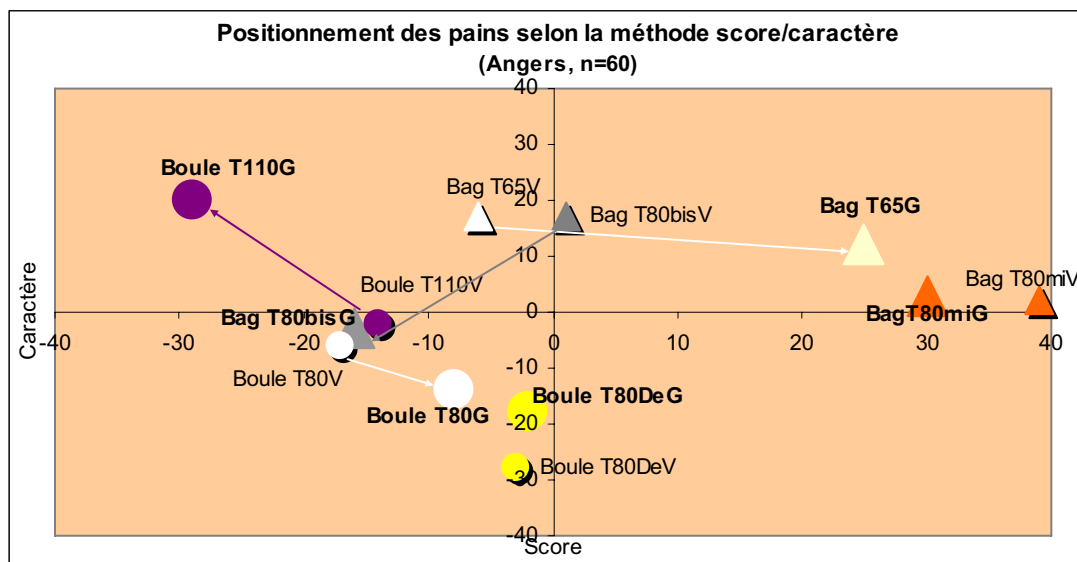
Graphique n°15 : mise en relation des caractéristiques organoleptiques et des classements des boules

En conclusion, les boules sont bien appréciées mais plus en visuel qu'en bouche. Des différences apparaissent selon les sites et les types de consommateurs. Les participants sur Angers ont tendance à mieux noter les baguettes que les boules. La boule T110 est la moins appréciée des trois en particulier pour le groupe des consommateurs "occasionnels".

◆ Positionnement final des pains

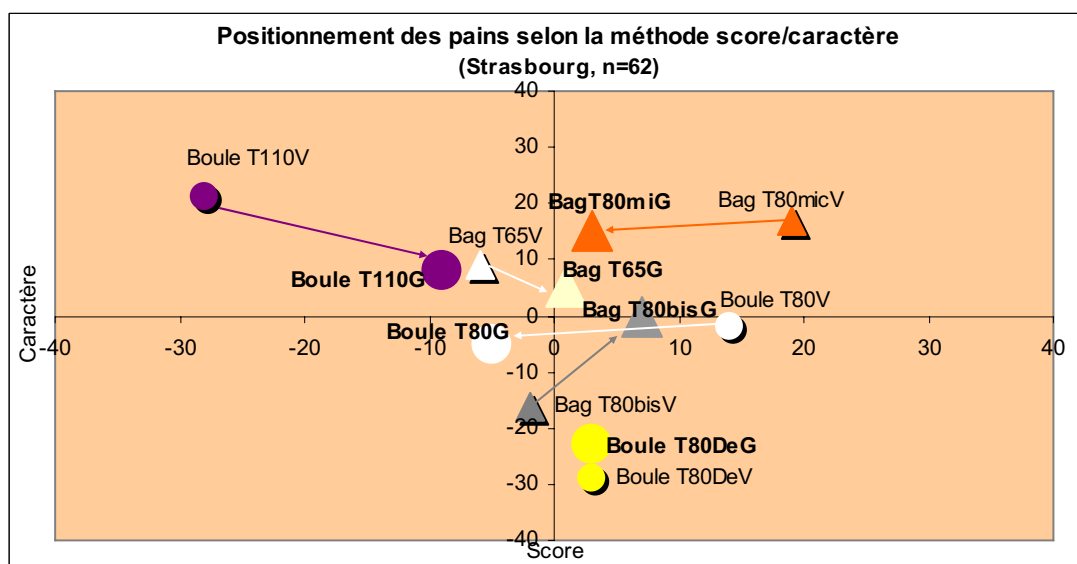
Les choix des participants sur l'aspect visuel puis après mise en bouche traités selon la méthode score/caractère (graphique n°16) confirment les notes de satisfaction tout en précisant le positionnement envisageable et les améliorations à produire pour chaque type de pains.

Ils confirment tout d'abord les variations observées selon les sites. A Angers, les produits sont bien discriminés tant en visuel qu'en gustatif tandis qu'à Strasbourg les pains restent très proches. La dégustation à Strasbourg entraîne un fort resserrement des positions vers le centre, autrement dit : tous les produits se valent.



(Légende : V pour Visuel, G pour Goût ; par exemple le point *BagT65G* représente la position du score/caractère de la baguette T 65 témoin d'après son classement gustatif)

Graphique n°16: cartographie des préférences à Angers



(Légende : V pour Visuel, G pour Goût ; par exemple le point *BagT65G* représente la position du score/caractère de la baguette T 65 témoin d'après son classement gustatif)

Graphique n°17: cartographie des préférences à Strasbourg

Les baguettes sont fortement appréciées à Angers sauf la baguette T80 bise la plus typée en bouche. A Strasbourg, les 3 baguettes, assez bien discriminées au niveau visuel, se retrouvent en positions favorables mais centrales après dégustation ; au contraire d'Angers, les caractéristiques gustatives prononcées de T80 bise lui permettent d'améliorer sa position visuelle.

Les boules sont peu appréciées sur Angers : on les retrouve dans la partie gauche de la cartographie, en particulier la boule complète préfermentée T110. Cette tendance est moins nette sur Strasbourg, notamment sur l'aspect visuel, T110 présente un attrait gustatif pour de nombreux participants.

Ce mode de traitement permet de faire un tri parmi les prototypes testés. Il s'agit là de conclusions partielles et relatives à l'univers-produit testé. Trois groupes se profilent :

- **Les valeurs sûres** : La baguette T80 micronisée est la plus équilibrée sur un ensemble de critères visuels et organoleptiques. Elle est mieux appréciée tant à Angers qu'à Strasbourg. Sur le plan gustatif, remarquons sa proximité avec la baguette témoin. A Angers, elle enregistre une légère dépréciation entre visuel et dégustation : ses caractéristiques organoleptiques ne semblent pas tout à fait à la hauteur de la promesse visuelle ; elle pourrait être améliorée de ce point de vue là.
- **Les pains possibles en l'état dans une optique de diffusion large** : ils possèdent des caractéristiques sensorielles homogènes d'un *produit de gamme*. Aucun pain testé ne se situe franchement dans ce cadran. C'est la boule T80 décortiquée qui s'en rapproche le plus en particulier à Strasbourg. Ses caractéristiques visuelles sont en cohérence avec ses qualités gustatives. Toutefois, même si c'est la plus attrayante des boules, elle manque d'intérêt par rapport aux baguettes. Elle est mieux appréciée par le groupe des consommateurs "réguliers".
- **Les pains à retravailler** : tous les autres produits pour lesquels il est enregistré soit:
 - un rejet massif : cas de la boule T110, même si on voit qu'à Strasbourg ses caractéristiques gustatives trouvent des amateurs parmi les consommateurs "réguliers" principalement ;
 - un positionnement incertain et fluctuant : manque de cohésion entre le visuel et le goût, classements opposés entre Strasbourg et Angers : baguette T80bise, boule T80 (faiblesse gustative à Strasbourg, faiblesse visuelle à Angers).

d) Discussion

Les retombées des investigations menées dans la tâche 6 peuvent être commentées selon les deux angles opérationnel et méthodologique.

Du point de vue opérationnel : des avancées sont enregistrées dans la connaissance des attitudes, perceptions et préférences des consommateurs vis-à-vis des pains issus de l'Agriculture Biologique.

a- L'image des pains biologiques apparaît en cohérence avec les acquis précédents sur les déterminants de la qualité des produits biologiques que sont la naturalité et l'authenticité en relation avec un mode de production éthique et écologique d'une part et la dimension santé-nutrition (qualités nutritionnelles mieux conservées) d'autre part. Nous retrouvons également à propos du pain, les motivations d'achat déjà connues sur l'ensemble des produits biologiques : la santé, et les préoccupations d'environnement et d'éthique (programme européen OMIaRD, 2004). La motivation liée au plaisir de manger des pains biologiques de bonne qualité gustative est absente du discours des consommateurs.

S'agissant des freins, outre le facteur prix supérieur à celui du pain conventionnel (déjà lui-même élevé et peu transparent), le manque de disponibilité du produit notamment dans le circuit de la boulangerie artisanale est relevé ainsi que la mauvaise qualité gustative ressentie par de nombreux consommateurs (programme QLIF2006).

→ La médiocre qualité gustative des pains biologiques au regard de leur prix élevé semble être une des principales faiblesses des pains biologiques proposés sur le marché.

b- Les attentes des consommateurs sur les caractéristiques intrinsèques des pains biologiques, "réguliers" comme "occasionnels", convergent vers la "naturalité" et la "rusticité" : aspect sauvage, croûte épaisse, mie foncée... La figure du pain de "tradition de française" issue d'une filière artisanale apparaît emblématique d'un pain de qualité, biologique ou conventionnel. Il n'y a pas de ce point de vue de différences marquées de conception entre un pain biologique et son homologue conventionnel. Le rejet du pain blanc industriel est confirmé tant dans le déclaratif que dans les tests de dégustation.

c- L'importance des caractéristiques intangibles liées à l'image des produits biologiques est à souligner. Elle s'exprime de manière différente entre "Réguliers" et "Occasionnels".

Pour les "Réguliers", il s'agit tout d'abord de la promesse santé-nutrition attachée au mode de production biologique ainsi que de la promesse écologique ; ceci explique l'importance donnée à la certification en Agriculture Biologique plus qu'aux qualités sensorielles. Ceci explique également l'acceptation du pain biologique vendu en supermarché (*boule bio Carrefour* par exemple).

Les "Occasionnels" insistent sur la fabrication et la commercialisation artisanale et souhaitent la popularisation de l'offre de pain biologique selon les canons de l'excellence gastronomique française : introduction de la dimension plaisir et d'une plus grande diffusion des produits biologiques. Des informations nutritionnelles et de crédibilisation de la certification biologique sont également attendues. Leurs préférences vont vers le pain frais de type baguette, le pain industriel associé au canal de la grande distribution est rejeté.

Une cohérence entre la communication et les modalités de la production biologique est à trouver. La recherche de l'équilibre entre les caractéristiques organoleptiques, nutritionnelles et environnementales constitue le principal axe de progrès de la filière pain biologique.

→ L'offre de pain biologique actuelle ne répond pas aux attentes des consommateurs occasionnels en matière de goût, de convivialité, de diffusion dans les circuits commerciaux existants et d'informations nutritionnelles.

d-Tous les prototypes de pains biologiques testés sont bien perçus des consommateurs.

Les baguettes sont légèrement mieux appréciées à Angers qu'à Strasbourg surtout au niveau organoleptique. De même les baguettes sont préférées aux boules ; ce phénomène est surtout marqué à Angers et pour le groupe des "occasionnels".

Les différences sont donc plus nettes à Angers qu'à Strasbourg en lien avec les caractéristiques de chaque panel mais aussi avec les caractéristiques des produits fabriqués dans chaque site. On peut en effet émettre l'hypothèse d'une différence dans la fabrication des prototypes baguettes entre les deux sites : le profil sensoriel réalisé uniquement pour la fabrication d'Angers décèle des différences significatives d'ordre visuel entre T65 et les deux autres et d'ordre organoleptique entre la baguette bise et les deux autres. Ces caractéristiques sensorielles distinctes se retrouvent dans les appréciations des consommateurs sur Angers mais pas aussi nettement dans la séance de Strasbourg. D'après les photos et les remarques orales des opérateurs sur le site de Strasbourg, les produits étaient visuellement très proches.

Le facteur "type de consommateurs" intervient principalement dans l'appréciation en bouche et le classement des boules : à Angers, les "occasionnels" apprécient moins les boules que les "réguliers" (différences significatives au risque de 10%) et en particulier la boule T110 ; à Strasbourg, les différences entre les boules sont plus marquées pour les "occasionnels" (significatives au risque de 5%) en défaveur de T110. Un tel phénomène peut être relié avec les habitudes de consommation de chaque public : la baguette de "tradition française" pour les "occasionnels" et la boule au levain de farine complète pour les "réguliers".

→ Au-delà des variations, la proposition d'une baguette biologique (levure, cylindre, Type 80) rencontre l'assentiment général du public, consommateurs occasionnels comme réguliers.

Au final, l'offre actuelle propose deux profils de pain AB (pain complet et boule bio) bien positionnés pour un public fidélisé. A ces deux concepts, viennent s'ajouter deux nouvelles pistes (*bonébel*, baguette).

L'amélioration de l'offre de pain biologique peut être formalisée selon les quatre optiques de développement suivantes :

1- L'optique authenticité : respect du produit

- Caractéristiques recherchées : pain nourrissant (farine complète), de bonne conservation, au levain, variétés anciennes ;
- Positionnement : consommateurs AB réguliers, circuits courts ou spécialisés ;
- Référence commerciale : Biofournil Puisatier, Paysan Meunier Boulanger.

2- L'optique technologique: maîtrise technologique

- Caractéristiques recherchées : qualités gustatives équilibrées mais pas trop typées (couleur mie, alvéolage, acidité) ;
- Positionnement : cible large, diffusion nationale en grandes et moyennes surfaces et en magasins bio.
- Référence commerciale : boule bio Carrefour (à améliorer en terme d'homogénéité).

La piste de la boule au levain sur meule T80 décortiquée est à approfondir et à valider dans cette optique.

3- L'optique marché : optimisation des qualités nutritionnelles

- Caractéristiques recherchées : teneur en vitamines et oligoéléments, sensoriel : mie gris clair, alvéolage fort et moelleux
- Positionnement : consommateurs bio occasionnels, circuit boulangerie artisanale ou GMS locale
- Référence commerciale : Bonébel version AB

4- L'optique marché : excellence gastronomique, diversification

- Caractéristiques recherchées : présentation conviviale, mie crème, alvéolée, moelleux, acidité faible ;
- Positionnement : consommateurs bio occasionnels, circuit boulangerie artisanale ;
- Références commerciales : baguette de marque, pain multicéréales.

La piste de la baguette sur cylindre T80 son micronisé est à approfondir et à valider dans cette optique.

D'un point de vue méthodologique : différents indicateurs témoignent de la fiabilité des conclusions.

En premier lieu, il est à noter la cohérence entre le déclaratif des consommateurs et les résultats des tests d'acceptabilité/attractivité lors de l'approche exploratoire (étape 1) : sur la couleur de la mie, le rejet du pain blanc et la préférence pour les mies moyennement colorées.

En second lieu, la cohésion des résultats est également observable tant entre les trois réunions de groupe (cartographies des préférences par le score/caractère) qu'entre les deux localisations du test hédonique et ce, malgré les variations relevées dans la fabrication des échantillons.

En revanche, la proximité des caractéristiques intrinsèques des prototypes entre eux (les deux boules T80 par exemple) n'a pas permis d'enregistrer de différences significatives dans les appréciations des consommateurs en particulier à Strasbourg où les échantillons fabriqués étaient très proches sur leur aspect externe.

Lors du test de préférence, l'utilisation de deux techniques différentes, note de satisfaction versus choix forcé, permet d'évaluer la pertinence des mesures. Nous relevons une homogénéité des tendances tout au long du processus d'expérimentation. Si les résultats apparaissent cohérents, la technique de classement introduit des différences significatives entre les pains et les types de consommateurs et permet ainsi une meilleure discrimination des produits.

3) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

Au regard des résultats obtenus, on peut considérer que les deux objectifs de la tâche 6 ont globalement été tenus :

Dans le premier volet, il s'agissait d'évaluer la compatibilité entre la perception des consommateurs et les caractéristiques techniques et commerciales de l'offre actuelle de pains issus de l'AB : l'approche qualitative exploratoire en amont de la recherche a permis de dresser un bilan de l'existant et de mettre en évidence les principales faiblesses des pains biologiques sur les aspects gustatifs. Les points d'amélioration souhaitables en terme d'image, de conservation, au niveau nutritionnel ainsi que sur la diffusion et le prix des produits ont également été relevés.

Pour le second objectif qui était de définir des prototypes de pains biologiques bien perçus des consommateurs : les échanges avec les équipes technoscientifiques (réunions de pilotage et comités techniques) et plus particulièrement la collaboration étroite entre les partenaires du pôle nantais a débouché sur la conception de prototypes, baguettes et boules, qui ont obtenu l'adhésion des consommateurs lors du test hédonique. Le travail de détermination des voies du positionnement des prototypes est partiellement abouti et mériterait de nouveaux essais plus pointus sur l'adéquation entre l'image, les caractéristiques produit, et le prix. Néanmoins, il convient de nuancer ce bilan globalement positif en signalant quelques difficultés rencontrées tout au long du cheminement expérimental.

En effet, il nous semble que la portée des résultats est limitée par le positionnement de la tâche 6 au sein de la Recherche. Cette tâche se situe au sein de l'axe 2 intitulé "recherche en vue de l'amélioration de la qualité des pains". Elle est sous un pilotage d'ordre biotechnique (cf. descriptif du projet, figure 1, p11). Les investigations consommateurs sont donc envisagées comme une validation des recherches amont menées en T1, T2, T3, T4 et T5. Initialement, on peut même dire que ces travaux n'ont pas rencontré l'assentiment de tous les partenaires de la recherche.

En dépit des réticences, nous avons tenu à positionner T6 clairement du côté "consommateurs" en l'intitulant "Perception des consommateurs". Mais force est de constater que la situation de subordination de T6 au sein de l'axe 2 a maintenu la confusion dans l'esprit des partenaires sur la démarche mise en œuvre et sur les différences qu'il existe entre d'un côté, la caractérisation sensorielle des pains (Tâche 5), et de l'autre, les focus groups consommateurs et les tests hédoniques (Tâche 6) qui selon nous relèvent d'une démarche d'ordre socio-économique.

L'approche de T6 s'inscrit dans le champ disciplinaire des sciences sociales et humaines dites de l'imprécis dont le cadre théorique et méthodologique est marqué par l'interpénétration du sujet et de l'objet alors que dans les sciences du vivant, le sujet est extérieur à l'objet étudié. Il en a résulté des difficultés de compréhension et de dialogue qui se sont exprimées notamment lors des réunions de responsables de tâches et de mise en phase des données d'expérimentation entre T6 et les autres tâches. Paradoxalement, un tel positionnement au sein de l'axe 2 aussi "inconfortable" qu'il ait été pour nous, a permis une prise en compte mutuelle des postures issues des deux champs disciplinaires. De ce point de vue, le travail de conception des pains prototypes pour lequel l'ensemble des partenaires de l'axe 2 a collaboré de façon étroite est un exemple de réussite. Des avancées dans la compréhension mutuelle sont enregistrées entre les séances consommateurs de l'étape 1, où le format baguette avait été exclu, et les épreuves hédoniques de l'étape 2 qui ont permis de tester le format baguette. Les points d'améliorations concernent la mise en relation des résultats des tests de préférences avec ceux issus des autres tâches de l'axe 2.

La tâche 6 aurait vraisemblablement gagné en performance si elle avait pu constituer un axe "consommateurs" à part entière, tout en maintenant des passerelles avec l'axe 2 pour la confrontation des résultats mais aussi avec l'enquête filière de l'axe 3 qui relève également d'une approche socio-économique.

4) VALORISATION

Deux communications sont prévues au forum pain bio du 6 novembre 2007. La première restituera les résultats de l'étape 1 sur la perception et les attentes des consommateurs en matière de pains biologiques. La seconde présentera les résultats du test de préférences sur les prototypes de pains biologiques.

A ce stade, nous réfléchissons sur une proposition d'article collectif dans une revue sectorielle et/ou spécialisée en Agriculture Biologique.

ANNEXES

Annexe 1 : guide d'entretien des focus groups

Annexe 2 : questionnaire du test de préférences

Annexe 3 : photos des pains prototypes

Annexe 4 : caractérisation sensorielle des pains biologique par le jury *Biofournil*

Guide d'entretien focus groups
n°1 (consommateurs réguliers) et n°2 (consommateurs occasionnels)

1. Présentation (5 min)
 2. PRODUITS : Brainstorming collectif (30 min)
Consigne : "*si je vous dis pain, vous me dites ...*"
Idem "Pain biologique"
Motivations et freins à l'achat
 3. FILIERE : scénario en groupe (30 min)
consigne : "*on vous demande conseil pour la réalisation d'un scénario de film sur la filière pain biologique*"
Les acteurs : producteur – meunier – boulanger
Rôle dans la construction de la qualité du pain
Conditions de travail et de vie...
Environnement
 4. PORTRAITS ROBOTS : questionnaire individuel (15 min)
 - * distribution et explication des questionnaires : "*concevoir le pain biologique qui répond le mieux à leurs attentes*".
 - * administration du questionnaire
 - * Mise en commun des portraits robots – recueil de leurs impressions
 5. CLASSEMENT DES PAINS : test individuel (25 min)
Classement des pains : visuel, goût, image
 - * *Classement selon attributs visuels* : présentation des 6 pains entiers. Classement selon l'ordre de préférence (de 1 à 6).
 - * *Classement selon attributs gustatifs* : laisser chaque participant goûter les 6 tranches préparées. Classement selon l'ordre de préférence (de 1 à 6).
 - * *Classement selon attributs d'image* : présenter les emballages des produits, leurs donner les informations disponibles (prix, lieux de vente, poids, ...). Classement selon l'ordre de préférence (de 1 à 6).
Mise en commun, recueil de leurs impressions
- CONCLUSION (5 min)

Portraits robots : questionnaire individuel

1. FORME DU PAIN

Classez les formes de pain par ordre de préférence, en vous référant aux photos correspondantes.

Pavé ☐

Boule ☐

Pain long ☐

Pain bâtard ☐

2. CARACTERISTIQUES DE LA CROUTE

Pour les 5 caractéristiques présentées, cochez l'un des deux choix proposés.
Numérotez de 1 à 3 les trois critères qui vous semblent les plus importants.

Niveau de priorité

Croustillante ☐

Souple ☐

Epaisse ☐

Fine ☐

Dorée ☐

Grise ☐

Farinée ☐

Non farinée ☐

Lisse ☐

Craquelée ☐

3. COULEUR DE LA MIE

Classez les couleurs de mie par ordre de préférence, en vous référant aux photos correspondantes.

Couleur 1 ☐

Couleur 2 ☐

Couleur 3 ☐

4. ALVEOLAGE DE LA MIE

Classez les types d'alvéolage de mie par ordre de préférence, en vous référant aux photos correspondantes.

351 ☐

597 ☐

164 ☐

728 ☐

5. MATIERES PREMIERES – PROCESSUS DE FABRICATION

Pour les 3 critères suivants, cochez l'un des deux choix qui vous sont proposés (ne cochez que si le critère est important pour vous).

Farine moulue : ☐

Sur meule de pierre

ou ☐

Sur cylindres

Fermentation : ☐

Au levain

ou ☐

A la levure

Variétés de blé : ☐

Rustiques / Anciennes

ou ☐

Sélectionnées

ANNEXE 1

*Pour vous, quels sont les éléments importants à intégrer lors de la fabrication de votre pain ?
(cochez les cases correspondantes)*

Sel marin non raffiné	☐	Pétrissage lent	☐
Façonnage manuel	☐	Cuisson sur four à sole	☐

6. LIEU D'ACHAT DES PAINS BIOLOGIQUES

Cochez une seule case.

Pain biologique vendu en magasins biologiques spécialisés	☐
Pain obtenu à partir de blé issu de l'agriculture biologique. Cuit et vendu en grandes surfaces	☐
Pain élaboré avec une farine certifiée biologique Pétri, façonné et cuit par votre artisan boulanger	☐

7. ALLEGATIONS PRODUIT

Cochez la ou les mentions que vous aimeriez voir sur l'étiquette.

Conservation prolongée	☐
Teneur réduite en sel	☐
Riche en fibres, minéraux et vitamines	☐
Sans gluten	☐
Lente augmentation du glucose dans le sang	☐
Autre (préciser) :	☐

Pour terminer, indiquez dans les cases (par un numéro de 1 à 3) les trois classes de questions qui vous ont semblé les plus pertinentes et les plus importantes à prendre en compte lors de l'élaboration de votre pain biologique.

- ☐ Forme du pain
- ☐ Caractéristiques de la croûte
- ☐ Couleur de la mie
- ☐ Alvéolage de la mie
- ☐ Matières premières - Processus de fabrication
- ☐ Lieux d'achat
- ☐ Allégations produit

ANNEXE 1

Classement des pains : test individuel (focus group n°3)

1. Classement des pains selon les critères visuels

Après avoir observé les 8 pains qui vous sont proposés, classez les par ordre de préférence.

Classement	1	2	3	4	5	6	7	8
pain								

2. Classement des pains selon les critères gustatifs

Après avoir goûté une tranche de chacun des 5 pains présentés, classez les par ordre de préférence.

Classement	1	2	3	4	5
pain					

3. Classement des pains selon les critères d'image

Après avoir pris connaissance des différentes informations disponibles sur chacun des 5 produits, classez les par ordre de préférence.

Classement	1	2	3	4	5
pain					

Exemples de panneau d'informatif :

Pain A • Pain cuit et vendu en grande surface • Poids : 500g • Prix : 1,60 € la pièce 	Pain B • Pain cuit et vendu par un artisan boulanger • Pain produit et élaboré en Loire-Atlantique • Poids : 400g • Prix : 1,15 € la pièce

ANNEXE 2

Test de préférences pains biologiques

PARTIE 1- appréciation visuelle

ATELIER n°1 : présentation des 6 pains entiers (3 baguettes + 3 boules)

1- Parmi les 6 pains proposés, quels sont les 2 les plus appétissants ?

	Code	Donnez les raisons de votre choix si possible (ex: forme, tenue, cuisson, croûte...)
1 ^{er} choix :		
2 ^{ème} choix :		

2- Parmi les 6 pains proposés, quels sont les 2 les moins appétissants ?

	Code	Donnez les raisons de votre choix si possible (ex: forme, tenue, cuisson, croûte)
Dernier :		
Avant-dernier :		

ANNEXE 2

ATELIER n°2 : présentation des 3 baguettes coupées

3- Que pensez-vous de l'aspect de chaque baguette ?

Code produit	Me déplaît beaucoup	Me déplaît plutôt	Ne me déplaît ni me plaît	Me plaît plutôt	Me plaît beaucoup	Explicitez votre appréciation (ex: forme, croûte, mie...)
568	☐	☐	☐	☐	☐	
941	☐	☐	☐	☐	☐	
270	☐	☐	☐	☐	☐	

4- Classez les baguettes dans l'ordre de votre préférence visuelle :

4.a	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}
Code			

ATELIER n°3 : présentation des 3 boules coupées

5- Que pensez-vous de l'aspect de chaque boule ?

Code produit	Me déplaît beaucoup	Me déplaît plutôt	Ne me déplaît ni me plaît	Me plaît plutôt	Me plaît beaucoup	Explicitez votre appréciation (ex: forme, croûte, mie...)
862	☐	☐	☐	☐	☐	
179	☐	☐	☐	☐	☐	
543	☐	☐	☐	☐	☐	

6- Classez les boules dans l'ordre de votre préférence visuelle :

4.a	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}
Code			

ANNEXE 2

PARTIE 2- appreciation gustative (tranche)

ATELIER Baguettes : présentation d'1 morceau par personne de chaque baguette

1- Que pensez-vous de la qualité en bouche de chaque pain ?

	Me déplaît beaucoup	Me déplaît plutôt	Ne me déplaît ni me plaît	Me plaît plutôt	Me plaît beaucoup	Explicitiez votre appréciation (croustillant, moelleux,...)
Code produit						
568	☐	☐	☐	☐	☐	
941	☐	☐	☐	☐	☐	
270	☐	☐	☐	☐	☐	

2- Classez les pains dans l'ordre de votre préférence après dégustation :

	4.a.1	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}
Code				

ATELIER Boules : présentation d'1 tranche par personne de chaque boule

3- Que pensez-vous de la qualité en bouche de chaque pain ?

	Me déplaît beaucoup	Me déplaît plutôt	Ne me déplaît ni me plaît	Me plaît plutôt	Me plaît beaucoup	Explicitiez votre appréciation (croustillant, moelleux,...)
Code produit						
862	☐	☐	☐	☐	☐	
179	☐	☐	☐	☐	☐	
543	☐	☐	☐	☐	☐	

4- Classez les pains dans l'ordre de votre préférence après dégustation :

	4.a.1	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}
Code				

ANNEXE 2

AU FINAL de la dégustation, parmi les 6 pains proposés

5-1 Quels sont vos 2 pains préférés ?

	Code
1 ^{er} choix :	
2 ^{ème} choix :	

5-2 Quels sont les 2 que vous aimez le moins?

	Code
Dernier :	
Avant-dernier :	

6-Pour vos 2 pains biologiques préférés, quel lieu de vente vous semble le mieux adapté ?

	Grande distribution	Boulangerie artisanale	Magasins bio spécialisés	Marché, A la ferme
1 ^{er} pain préféré	☐	☐	☐	☐
2 ^{ème} pain préféré	☐	☐	☐	☐

BAGUETTES

941- Baguette T80, sons micronisés



270- Baguette T65 témoin



568- Baguette T80 semoules bises



BOULES

179- BoulT80décortiquée 862- BoulT110préfermenté 543- BoulT80 témoin



Evaluation sensorielle Jury biofournil, Angers le 17 janvier 2007

Caractérisation sensorielle des baguettes**Croûte Couleur**

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,327	0,500	0,740
Thierry	0,712	0,394	0,740
Jean yves	0,673	0,346	0,779
Romane	0,702	0,250	0,798
Christophe	0,356	0,404	0,587
Agnès	0,471	0,385	0,644
Anne-Claire	0,404	0,587	0,519
moy	0,521	0,409	0,687
ecart type	0,170	0,108	0,105

Croûte brillance

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,788	0,260	0,663
Thierry	0,769	0,471	0,808
Jean yves	0,663	0,317	0,827
Romane	0,548	0,298	0,413
Christophe	0,596	0,365	0,538
Agnès	0,654	0,452	0,615
Anne-Claire	0,548	0,394	0,644
moy	0,652	0,365	0,644
ecart type	0,098	0,079	0,145

Couleur Mie

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,327	0,731	0,500
Thierry	0,394	0,760	0,587
Jean yves	0,317	0,808	0,644
Romane	0,250	0,692	0,529
Christophe	0,365	0,577	0,519
Agnès	0,375	0,644	0,490
Anne-Claire	0,404	0,567	0,452
moy	0,348	0,683	0,532
ecart type	0,054	0,091	0,064

Alvéolage

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,500	0,385	0,740
Thierry	0,548	0,587	0,731
Jean yves	0,433	0,702	0,635
Romane	0,337	0,519	0,692
Christophe	0,385	0,481	0,558
Agnès	0,462	0,625	0,490
Anne-Claire	0,635	0,462	0,529
moy	0,471	0,537	0,625
ecart type	0,101	0,108	0,101

Arôme grenier à blé

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,260	0,731	0,500
Thierry	0,471	0,740	0,606
Jean yves	0,260	0,471	0,346
Romane	0,221	0,519	0,346
Christophe	0,231	0,538	0,394
Agnès	0,240	0,471	0,298
Anne-Claire	0,452	0,625	0,394
moy	0,305	0,585	0,412
ecart type	0,108	0,115	0,106

Moelleux

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,731	0,462	0,625
Thierry	0,615	0,510	0,712
Jean yves	0,462	0,683	0,731
Romane	0,135	0,346	0,538
Christophe	0,625	0,452	0,654
Agnès	0,346	0,462	0,548
Anne-Claire	0,625	0,423	0,567
moy	0,505	0,477	0,625
ecart type	0,207	0,104	0,078

Acidité

	T65	T80bise	T80mic
Jean-Loui	0,385	0,327	0,538
Thierry	0,231	0,356	0,462
Jean yves	0,288	0,644	0,462
Romane	0,058	0,192	0,058
Christophe	0,269	0,394	0,212
Agnès	0,202	0,269	0,365
Anne-Claire	0,337	0,519	0,375
moy	0,253	0,386	0,353
ecart type	0,106	0,153	0,166

ANNEXE 4

Caractérisation sensorielle des boules

Croûte Couleur

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pref
Jean-Louis	0,635	0,702	0,788
Thierry	0,635	0,702	0,904
Jean yves	0,490	0,577	0,779
Romane	0,375	0,404	0,779
Christophe	0,365	0,615	0,760
Agnès	0,529	0,721	0,837
Anne-Claude	0,356	0,538	0,635
moy	0,484	0,609	0,783
ecart type	0,122	0,114	0,082

Couleur Mie

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pref
Jean-Louis	0,404	0,490	0,760
Thierry	0,558	0,615	0,798
Jean yves	0,346	0,587	0,702
Romane	0,519	0,712	0,827
Christophe	0,375	0,587	0,750
Agnès	0,385	0,356	0,702
Anne-Claude	0,394	0,452	0,577
moy	0,426	0,543	0,731
ecart type	0,080	0,118	0,082

Arôme grenier à blé

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pref
Jean-Louis	0,404	0,327	0,644
Thierry	0,625	0,712	0,471
Jean yves	0,462	0,346	0,683
Romane	0,202	0,365	0,721
Christophe	0,490	0,644	0,760
Agnès	0,519	0,442	0,644
Anne-Claude	0,375	0,394	0,635
moy	0,440	0,462	0,651
ecart type	0,133	0,154	0,092

Acidité

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pref
Jean-Louis	0,558	0,327	0,635
Thierry	0,558	0,462	0,808
Jean yves	0,298	0,471	0,644
Romane	0,452	0,577	0,712
Christophe	0,452	0,269	0,596
Agnès	0,529	0,404	0,712
Anne-Claude	0,423	0,462	0,654
moy	0,467	0,424	0,680
ecart type	0,092	0,102	0,070

Croûte brillance

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pr
Jean-Louis	0,327	0,702	0,558
Thierry	0,760	0,798	0,385
Jean yves	0,519	0,635	0,663
Romane	0,615	0,519	0,702
Christophe	0,615	0,423	0,413
Agnès	0,462	0,644	0,548
Anne-Claud	0,356	0,644	0,538
moy	0,522	0,624	0,544
ecart type	0,155	0,122	0,117

Alvéolage

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pr
Jean-Louis	0,760	0,500	0,394
Thierry	0,635	0,596	0,702
Jean yves	0,731	0,538	0,615
Romane	0,625	0,346	0,250
Christophe	0,567	0,394	0,471
Agnès	0,635	0,519	0,587
Anne-Claud	0,615	0,567	0,471
moy	0,652	0,495	0,499
ecart type	0,068	0,092	0,151

Moelleux

	Meul T80	MeulT80Dec	MeulT110Pr
Jean-Louis	0,683	0,462	0,327
Thierry	0,904	0,721	0,683
Jean yves	0,798	0,606	0,471
Romane	0,692	0,471	0,365
Christophe	0,587	0,365	0,260
Agnès	0,538	0,471	0,635
Anne-Claud	0,635	0,375	0,538
moy	0,691	0,496	0,468
ecart type	0,125	0,127	0,160

BIBLIOGRAPHIE

- Leusie M., Pialot D., Les tests de choix et de dégustation de pomme, INRA, ENITIAA, 1986.
- AFNOR, norme XP-V09-500 : Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques effectuées avec des consommateurs dans un espace contrôlé, août 2000.
- ALESSANDRIN A., BAUDET A., Analyse des itinéraires de consommation de produits issus de l'Agriculture biologique : entretiens individuels en région Pays de la Loire, Programme Aliment-Qualité-Sécurité du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, INRA, 2003/02, 51 p.
- François M., Persillet V., Silvander B., Consommation des produits biologiques : Fidélisation des consommateurs et caractéristiques des marchés, Programme Aliment-Qualité-Sécurité du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche "Prospective des marchés des produits biologiques : fidélisation et apprentissage", 2003.
- ZANOLI R.: Consumers Attitudes and Strategic Approaches in the European Organic Food Market, QLK5-2000-01124 Organic Marketing Initiatives and Rural Development OMIaRD, Prospective investigation of consumer demand trends for and attitudes towards organic products farming, Deliverable 7, University of Wales, Aberystwyth, 2004.
- SIRIEIX L., ALESSANDRIN A., PERSILLET V., A means-end chain study of consumer preferences for organic food in France, Sociological perspectives of organic agriculture, CABI, pp 70-87, 2006.
- François M., Silvander B., Consumer perceptions and behaviour regarding organic low-input foods : European focus group discussion results synthesis of national reports, Ed QLIF, 2006.

AXE 3 : ETUDE DE LA VALEUR D'UTILISATION DES BLES PRODUITS EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

Qualités des blés biologiques et Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques



TACHE 1 : CONNAISSANCE DES PRATIQUES AGRONOMIQUES ET DES PRATIQUES DE COLLECTE BIOLOGIQUE DANS DEUX BASSINS DE PRODUCTION

Maîtrise de la qualité des blés biologiques à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement
Incidence des conditions de production sur les performances des blés biologiques

Nom de l'organisme bénéficiaire : ISARA Lyon

Nom du responsable scientifique : Christophe David , Stéphane Joud , Luc Bauer

Nom du Laboratoire :

Adresse : Agrapole - 23 Rue baldassini - F- 69364 Lyon cedex 07

RESUME

Un des enjeux principaux de la filière pain biologique est d'adapter les conditions de production de la culture de blé aux caractéristiques pédo-climatiques des bassins d'approvisionnement. Pour ce faire, il convient de mieux définir l'incidence des conditions de production sur les performances du blé tendre biologique en termes de productivité mais aussi de teneurs en protéines. L'objectif de cette action de recherche-développement est d'identifier les conditions agronomiques assurant l'optimisation du couple rendement/teneur en protéines à l'échelle de l'exploitation mais aussi du bassin de collecte.

Cette action a pour objectif de (i) juger de l'incidence du système de production sur les performances du blé tendre biologique, et (ii) d'identifier les techniques ou combinaison de techniques qui permettent d'améliorer les performances du blé tendre biologique au sein de chaque système de production.

Une remise en cause de certaines pratiques culturales

Les pratiques de fertilisation de printemps des céréaliers biologiques sont régulièrement caractérisées par des apports réduits de l'ordre de 60 à 80 Unités N.ha⁻¹, expliquées par le prix encore élevé de l'engrais organique. Toutefois, notre travail montre que certaines stratégies d'apport dont la dose est comprise entre 90 et 150 Unités N.ha⁻¹ peuvent s'avérer rentables dans les conditions où les facteurs limitants majeurs sont contrôlés (dont principalement la maîtrise des adventices et le contrôle des conditions hydriques pendant et après l'apport).

Cette action qualité met en évidence le risque causé par la spécialisation des systèmes céréaliers biologiques (dominance de la culture de blé, réduction de la diversité et de la durée de la rotation, disparition des cultures fourragères). En effet, la disparition des légumes fourragères au sein de la rotation conduit à une dégradation de la nutrition azotée et, dans certains cas, à une augmentation de la flore adventice vivace et/ou dominante (David, 1999) limitant les performances. De plus, la présence d'un élevage sur l'exploitation ou à proximité conduit à assurer un approvisionnement régulier en amendements organiques et à diversifier la rotation notamment par le développement de cultures fourragères.

La recherche d'un optimum technique à adapter en fonction du système de culture

Des combinaisons gagnantes

Cette action qualité a permis de mettre en évidence qu'aucune combinaison de techniques culturales n'est gagnante quelles que soient les conditions d'application (type de sol et de climat). Toutefois, certaines combinaisons conduisent en moyenne à de meilleurs résultats :

- La combinaison de précédents riches et/ou d'apports d'amendements à l'automne avec la mise en place de variétés améliorantes conduit à de bonnes performances agronomiques et économiques.
- La combinaison des modes d'apport à l'automne et au printemps associé ou non à des précédents riches conduit en moyenne à de meilleurs résultats que les apports uniques à l'automne ou au printemps,
- La pratique d'irrigation est valorisée uniquement si les autres conditions agronomiques sont parfaitement contrôlées (notamment la maîtrise des adventices et de la nutrition azotée),

Des pratiques à risque

L'absence de techniques curatives telles que les apports d'azote en complément et/ou le désherbage des cultures sont parfois l'illustration de bonnes conditions de développement.

Les performances agronomiques reposent alors sur l'équilibre de la rotation et sur la gestion à long terme des adventices et de la fertilité du sol. Toutefois, certains systèmes extensifs, peu suivis dans la durée (exploitations diversifiées dont le temps affecté à la sole céréalière est très limitée) , obtiennent en moyenne de moins bons résultats.

Les semis précoces, traditionnellement préconisé pour garantir une bonne implantation des cultures, obtiennent de moins bons résultats que les semis réalisés plus tardivement.

La valorisation du potentiel génétique des variétés meunières est principalement garantie dans les systèmes intensifs où les pratiques de fertilisation, d'irrigation et de contrôle des adventices sont gérées dans le temps. A l'inverse, les variétés améliorantes valorisées dans de bonnes conditions pédologiques et agronomiques (précédent riche, sol fertile) obtiennent de bons résultats économiques grâce à (i) la garantie d'une teneur en protéines satisfaisant les exigences de la filière, (ii) la survalorisation de la variété lona et de la teneur en protéines et (iii) la rusticité des variétés semées.

1) CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA TACHE

a) Contexte de la filière blé tendre biologique en France

En France, la filière blé tendre biologique a fait l'objet de profondes évolutions. Alors que l'offre nationale ne représentait que 40 % des besoins de la filière en 1998, le taux de couverture était de 56 % en 2000 pour atteindre 100 % en 2003 (ONIC, 2000, 2003 ; Bineau et Chitrit, 2003). Cette évolution, induite notamment par la revalorisation des aides à la conversion des productions céréalières (passées de 363 €/ha en 1998 dans le cadre des mesures agri-environnementales à 1219 €/ha en 2000 suite à la mise en place des Contrats Territoriaux d'Exploitation ou CTE), a conduit à une situation d'excédents entraînant une baisse importante des prix du blé tendre biologique depuis 2002; de 30 à 60 % selon les filières de commercialisation (David et al, 2005).

Parallèlement, la filière a vu naître un accroissement des exigences des transformateurs et des distributeurs en termes :

- de teneurs en protéines : Les minotiers et autres transformateurs exigent une meilleure qualité technologique des lots de blé d'origine biologique (Projet Pain Bio). Ceci se traduit par l'exigence d'une teneur minimale en protéines pour l'accès au marché de l'alimentation humaine (alors qu'en période de déficit la majeure partie des lots de blé biologique était valorisée dans cette filière), par une augmentation des seuils des teneurs en protéines induisant le déclassement des blés dans la filière alimentation animale (seuil variant de 10 à 11,5 % en fonction des opérateurs et des marchés), et, dans certains cas, par une modulation (au maximum de 12 %) des prix d'achat des blés biologiques en fonction de la teneur en protéines,
- de garantie de la propreté des lots et de la sécurité sanitaire (absence de mycotoxines, de résidus phytosanitaires et de traces d'OGM),
- de traçabilité (origine des blés voire identification des pratiques agricoles réalisées) afin de répondre, dans certains cas, à des exigences de 'contrôle qualité.

La rentabilité de la culture du blé tendre biologique, au travers le maintien du niveau de prix et l'amélioration de la productivité, oblige à un respect des exigences de l'aval associé à une amélioration des techniques de production.

Un des enjeux principaux est d'adapter les conditions de production aux caractéristiques pédo-climatiques des bassins d'approvisionnement (Le Bail, 2003). Pour ce faire, il convient de mieux définir l'incidence des conditions de production sur les performances du blé tendre biologique en termes de productivité mais aussi de teneurs en protéines.

La culture de blé tendre biologique est confrontée à divers facteurs limitants intervenant sur le rendement et la teneur en protéine des grains dont les principaux sont (Taylor et al, 2001 ; David et al, 2005) :

- La présence de carence azotée,
- La concurrence des adventices,
- La présence de maladies et/ou de ravageurs,
- La dégradation de l'état structural du sol et, par conséquent, de la fertilité physique et biologique des sols,

auxquels s'ajoutent les conditions climatiques (stress hydrique et thermique) qui interviennent sur la croissance et la nutrition minérale et hydrique de la plante.

De façon générale, on constate un manque de connaissances pour évaluer le lien entre les modes de production, qui déterminent en partie la présence et/ou le contrôle des facteurs

limitants, et les performances (rendement et teneur en protéines des grains) de la culture de blé tendre biologique.

b) Les objectifs de la tâche

L'enjeu de cette tâche est d'aider à l'amélioration de la qualité des blés biologiques grâce à une meilleure articulation entre les modes de production et le territoire. Ce travail repose sur l'analyse des modes de production au sein de deux grands bassins d'approvisionnement de blés biologiques. La première étape consiste à caractériser les pratiques agronomiques ainsi que les contraintes et atouts de la filière blé biologique à partir d'interviews auprès d'acteurs locaux et de revue de littérature.

La seconde étape consiste à analyser les contrats de production collectés par les organismes stockeurs (soit 200 au minimum sur les trois dernières années) afin d'évaluer si la teneur en protéines du cultivar (associé au rendement) peut être expliqué à partir de critères pédo-climatiques (situation de la parcelle), culturaux (mode de production) et agronomiques (atteinte ou non du rendement visé, facteur limitant identifié). Une analyse multicritère permettra d'identifier les facteurs et conditions expliquant le résultat (David et al., 2004).

En fin de programme, une réflexion méthodologique sera conduite afin d'extrapoler le travail réalisé à d'autres zones de collecte.

L'objectif de cette action de recherche-développement est d'identifier les conditions agronomiques assurant l'optimisation du couple rendement/teneur en protéines à l'échelle de l'exploitation mais aussi du bassin de collecte.

Cette action a pour objectif de répondre à deux questions principales :

- juger de l'incidence du système de production sur les performances du blé tendre biologique,
- identifier les techniques ou combinaison de techniques qui permettent d'améliorer les performances du blé tendre biologique au sein de chaque système de production.

2) METHODOLOGIE

a) La base de données

Cette action a pour originalité de valoriser les expériences de terrain issues conjointement des agriculteurs et des collecteurs. Ce travail s'appuie sur l'analyse des contrats de production des producteurs de blé tendre biologique collectés par le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) Unibio au cours de 4 campagnes culturales de 2001 à 2005 :

La base de données se compose de 537 contrats (correspondant à 97 exploitations) qui font état des pratiques agricoles appliquées sur la parcelle et des performances associées (rendement et teneur en protéines obtenus à partir des bons de livraison).

Le bassin de collecte du GIE Unibio est situé dans les départements de la Drôme (26) et partiellement de l'Ardèche (07). Les coopératives agricoles de collecte membres du GIE Unibio sont :

- La Coopérative Drômoise de Céréales (CDC) dont les adhérents sont situés dans la plaine de Valence et le Nord du département de la Drôme ;
- La Coopérative Agricole de la Drôme provençale (CADP) dont les adhérents sont situés dans la zone de Montélimar (Sud Drôme) mais aussi en Ardèche (collaboration avec la coopérative Ardéchoise) ;
- La Coopérative Terres Dioises dont les adhérents sont situés dans le Diois (Est Drôme).

Les données enregistrées dans les contrats de production sont détaillées dans le tableau 1.

Caractéristiques générales	Commune du siège d'exploitation
	Coopérative de rattachement
	Année de culture
Caractéristiques de la parcelle	Surface
	Précédent
	Dernière année de blé
Techniques de travail du sol	Type d'outils
	Dates d'interventions
Semis	Cultivar
	Dose
	Date
Fertilisation	Type de produits
	Dose
	Date d'apport
Désherbage	Type d'outil
	Date d'intervention
Irrigation	Quantité d'eau apportée
	Date d'intervention
Rendement	Issu des bons de livraison
Teneur en protéines	Issu des bons de livraison

Tableau 1 : Critères d'identification des contrats de production.

b) Démarche générale

La démarche d'analyse est scindée en 3 étapes :

1 Etape 1. Incidence des conditions climatiques sur les performances du blé tendre conduit en agriculture biologique

Il s'agit d'étudier :

- les conditions climatiques de la campagne culturale au travers des précipitations, des sommes de température et du nombre de jours à risque d'échaudage (défini si la température moyenne journalière est supérieure à 25°C),
- les différences observées entre les années et les régions climatiques,
- le lien entre les conditions climatiques et les performances moyennes du blé

2 Etape 2. Caractérisation et incidence des systèmes de production sur les performances du blé tendre conduit en agriculture biologique

Il s'agit (i) de caractériser les systèmes de production présents au sein du bassin de collecte et (ii) d'évaluer leurs performances. Ce travail est effectué à partir d'une analyse des contrats de production des exploitants complétée par une enquête auprès d'agriculteurs (17 enquêtes) et de conseillers de terrain (4 enquêtes).

3 Etape 3. Incidence des techniques culturales sur les performances du blé tendre conduit en agriculture biologique

Il s'agit d'évaluer l'incidence (i) des techniques culturales prises indépendamment puis, (ii) de la combinaison de plusieurs techniques sur les performances du blé biologique. Les techniques culturales étudiées sont :

- le type de précédent,
- le choix du cultivar,
- la date de semis,
- le mode de fertilisation (type, quantité et date d'apport),
- le type de travail du sol,
- le désherbage,
- l'irrigation.

L'incidence des modalités (cf partie 3.4) des techniques culturales sur le rendement, la teneur en protéines (TP) et la quantité d'azote totale absorbée dans les grains (QNG) a été évaluée au travers le test de comparaison de moyennes (SPHINX PLUS² 2000 - Version 3.0).

La combinaison de techniques culturales s'est faite en partie grâce à l'approche multivariée (SPAD Version 5.5). Ainsi, l'utilisation de l'Analyse Factorielle à Composantes Multiples (AFCM), suivie de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a permis d'identifier plusieurs classes au sein de chaque système de production. Chacune de ces classes est caractérisée par la ou les modalité(s) dominante(s) de chaque technique culturale. Dans un second temps, nous avons séparé de façon stricte les groupes afin que chacun représente une combinaison de techniques culturales unique. Pour chacune de ces classes la marge brute a été calculée afin d'apprécier la rentabilité économique en plus des résultats agronomiques (rendement et teneur en protéines). L'incidence de ces diverses combinaisons de techniques sur les performances agronomiques et économiques du blé est étudiée à travers la comparaison de moyennes.

c) Calcul de la marge brute

Le calcul de la marge brute a été défini à partir des références actuellement utilisées par les organisations professionnelles agricoles régionales.

Marge brute = produit brut - charges opérationnelles

Le produit brut est la somme de :

- la rémunération du blé payée par la coopérative de collecte (**cf. Tab 2**),
- l'aide couplée mise en place dans le cadre de la politique agricole commune soit 73,75 € pour le blé (25 % de 295 €/ha).

Type de blé	Prix de base	Prime protéines
Blé meunier	170 €/t	5 €/t par ½ point à partir de 10,5 %
Blé améliorant (hors Lona et Florence)	209 €/t	5 €/t par ½ point à partir de 11 %
Blé Lona	244 €/t	5 €/t par ½ point à partir de 11 %
Blé Florence	229 €/t	5 €/t par ½ point à partir de 11 %

Tableau 2 : Rémunération du blé tendre biologique proposé par le GIE Unibio (Données Récolte 2005).

Les charges opérationnelles ont été fixées à partir des références régionales disponibles auprès de la Chambre agriculture de la Drôme :

- semences : 38 €/q (prix basé sur 1/3 de semences achetées et de 2/3 de semences produites sur la ferme),
- désherbage : 9 €/ha/passage de herse étrille,
- irrigation : 0,1 €/m³ d'eau apportée,
- épandage de l'engrais organique : 10 €/ha/passage,
- épandage du fumier/compost et lisier : 50 €/ha/passage,
- engrais organique : 2,6 €/kg N apporté,
- fumier : 10 €/t (seul 1/3 du coût a été affecté à la culture de blé – les coûts d'épandage des amendements organiques sont réparties sur trois ans),
- compost : 15 €/t car il faut en moyenne 1,5 t de fumier pour réaliser 1 t de compost,
- lisier : 1 €/t épandu,
- coût du compostage : 3 €/t épandu.

3) LES PRINCIPAUX RESULTATS

a) Une qualité technologique pénalisante

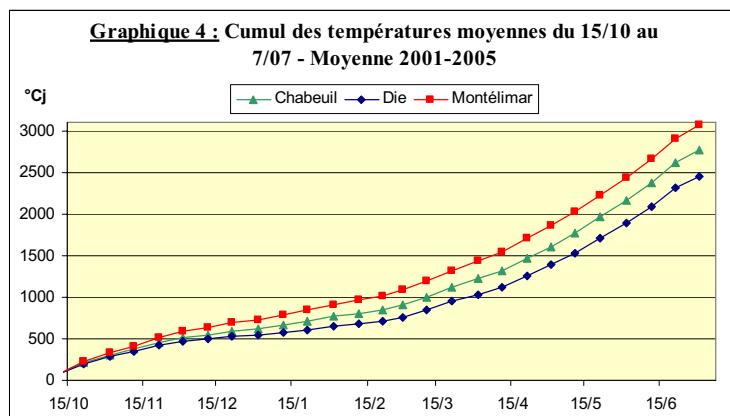
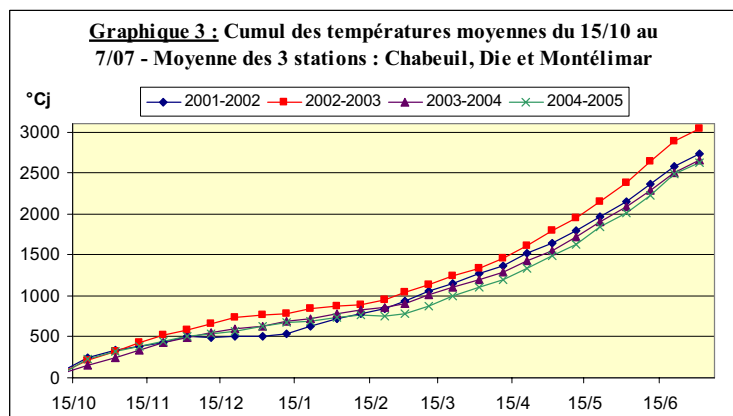
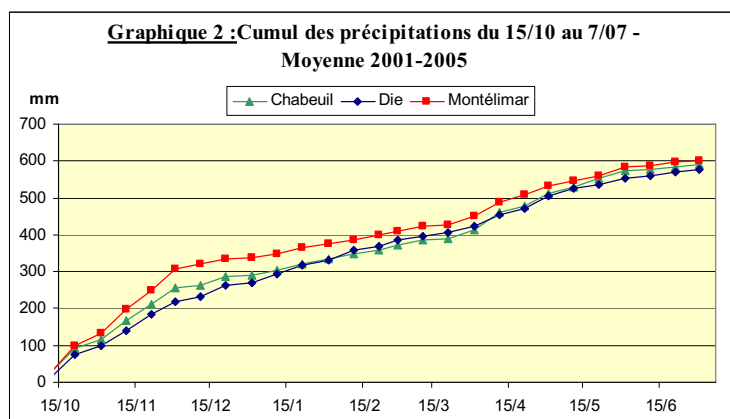
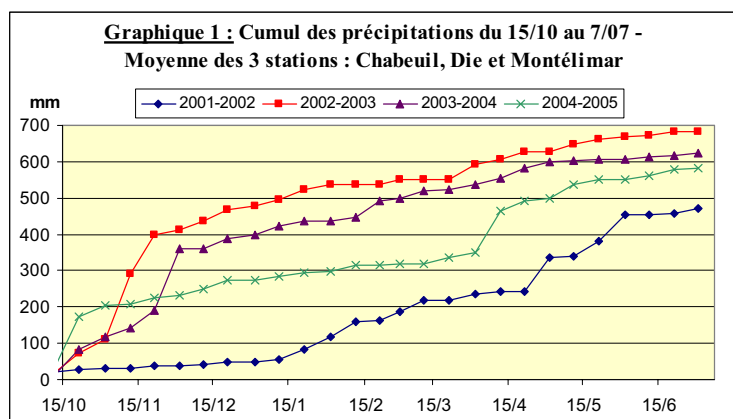
Les résultats obtenus sur le bassin de collecte se caractérisent par la faiblesse mais surtout la forte variabilité des performances des rendements ($3,3 \pm 1,5 \text{ t.ha}^{-1}$) mais aussi des teneurs en protéines des grains ($11,1 \pm 1,6 \text{ g/100 g}$). La variabilité des résultats est principalement expliquée par (i) la variabilité des conditions pédo-climatiques, (ii) la diversité des systèmes de production (présence ou non d'élevage, diversité de la rotation et place du blé, gestion de la nutrition azotée, le choix du cultivar, ...) et enfin (iii) la présence de contraintes multiples (principalement la concurrence des adventices, les déficits azotés, le stress hydrique et les conditions échaudantes) mal maîtrisées. Au sein d'une même zone de collecte et d'une même campagne culturale, la variabilité des lots a fortement fragilisée la vente auprès des minotiers confrontés à des exigences en qualité qui se renforcent (Sylvander et al, 2005).

b) Des résultats expliqués pour partie par les conditions climatiques

Le bassin de collecte est soumis à un régime méditerranéen caractérisé par de faibles précipitations en hiver et en été combinées à de fortes pluies à l'automne (septembre à novembre). Sur la période 2001-2005, le niveau de précipitations durant le cycle végétatif est plus important dans la région de Die où la présence du massif du Vercors à proximité conduit à des pluviométries plus régulières (**Graph 2 et Tab. 3**). De même, on note de plus fortes températures sur la zone de Montélimar renforçant le risque d'échaudage durant la période de remplissage des grains (**Graph 4 et Tab. 3**). Les quatre campagnes culturales étudiées ont été caractérisées par des conditions de pluviométrie et de température variées (**Graph 1 et 3, Tab. 3**).

Centre de collecte <i>Station météo</i>	Campagnes	Précipitations (mm/an)	Précipitations du 15/10 au 7/07(mm)	Précipitations du 1/01 au 15/05(mm)	Somme T°C du 15/10 au 7/07 (°Cj)	Nombre de jours où T°>25°C entre le 15/05 et le 7/07
CADP <i>Montélimar</i>	1987-2002	921	617	287	3032	2,1
	2001-2002	824	444	264	3059	3
	2002-2003	1158	718	149	3314	19
	2003-2004	815	660	206	2960	4
	2004-2005	714	591	200	2934	13
CDC <i>Chabeuil</i>	1987-2002	901	611	276	2769	0,7
	2001-2002	995	530	315	2899	2
	2002-2003	1059	639	146	3079	14
	2003-2004	922	592	185	2643	2
	2004-2005	743	598	285	2611	11
Terres Dioises <i>Die</i>	1987-2002	977	695	336	2441	0,3
	2001-2002	837	478	298	2399	0
	2002-2003	938	695	222	2725	4
	2003-2004	841	616	242	2365	0
	2004-2005	671	557	246	2316	1

Tableau 3 : Données climatiques sur les trois secteurs du bassin de collecte.



Les résultats obtenus sur les 4 campagnes de collecte permettent de mettre en évidence (**Tab. 4**) :

- l'incidence de la sécheresse survenue au cours du printemps et de l'été 2003 induisant une limitation du rendement associée à une concentration de la teneur en protéines,
- les bonnes conditions climatiques de la campagne 2001-02 limitant, en moyenne, les phénomènes de stress hydrique et d'échaudage.

Les faibles teneurs en protéines obtenus au cours de la campagne 2001-02 sont principalement le fait de la faible présence de variétés améliorantes (soit 7% des lots analysés en 2002 *vs* 45 % en moyenne sur les quatre années). En effet, ce n'est qu'à partir de la campagne 2002-03 que le GIE UNIBIO a incité financièrement les agriculteurs à utiliser des variétés améliorantes afin d'augmenter les teneurs en protéines des lots.

Campagne		01-02	02-03	03-04	04-05	Moyenne
Nb de Contrats*		58 (7 %*)	83 (59 %)	231 (47 %)	165 (46 %)	537 (45 %)
Précipitations du 15/10 au 7/07 (mm)		484	684	623	582	593
Précipitations du 1/01 au 15/05 (mm)		292	172	211	244	230
Somme T° moyenne du 15/10 au 7/07 (°Cj)		2786	3039	2656	2620	2775
Nb de jours où T°>25°C entre le 15/05 et le 7/07		1,7	12,3	2	8,3	6
Rendement (q.ha⁻¹)	μ	45	25	33	35	33
	ET	13	12	14	15	15
	Gpe**	d	a	b	c	
TP (%)	μ	9,5	11,7	11,2	11,4	11,1
	ET	0,8	1,5	1,5	1,8	1,6
	Gpe	a	c	b	b	
QNG (kg N.ha⁻¹)	μ	74	51	64	68	64
	ET	23	23	28	28	27
	Gpe	d	a	b	c	

* 7 % Part des variétés améliorantes dans la collecte annuelle

** significativité des groupes de moyennes

Tableau 4 : Incidence des années climatiques sur les performances du blé biologique.

c) Caractérisation et performance des systèmes de production

Au sein du bassin de collecte, trois systèmes de production ont été identifiés à partir de critères techniques dont les principaux sont la gestion de la rotation, l'utilisation ou non d'amendements organiques et le niveau d'intensification des techniques culturales appliquées sur le blé (fertilisation, désherbage et irrigation).

1 SC I - Système de production mixtes (soit 20 exploitations et 79 contrats)

Il s'agit de systèmes mixtes (présentant un élevage sur l'exploitation ou à proximité avec lequel il y a d'importants échanges de fourrages et d'amendements) associant des productions fourragères (majoritairement la luzerne et le trèfle) à la production de blé dominante sur la sole céréalière. Les rotations sont longues, marquées par la forte présence des légumineuses fourragères (soit 57 % des précédents blé) mais aussi du blé (soit 29 % des précédents blé). Le niveau d'intervention sur les parcelles est faible à moyen (nombre moyen de passages de herse étrille = 0,64 ; irrigation des blés dans 9 % des cas).

Les blés sont semés précocement (en majorité durant la seconde quinzaine d'octobre et dans 90 % des cas avant le 15 novembre).

Les pratiques de fertilisation azotée sont variées :

- un tiers des contrats est caractérisé par des apports d'amendements organiques à l'automne, exclusif (soit 15 % des contrats) ou associé à des apports d'engrais organique au printemps (soit 24 % des contrats) ;
- un nombre important de contrats (soit 47 % des contrats) est caractérisé par un ou deux apports d'engrais organiques au printemps ;
- certains n'apportent pas d'azote en couverture (soit 14 % des contrats) malgré la présence de précédents pauvres (dans 71 % des cas),

Le **rendement** moyen est de **29 q.ha⁻¹** mais les performances sont très variables (soit un écart type de +/-11). Le **taux de protéines** moyen s'élève à **11,4 %**, la variabilité des résultats reste forte (soit un écart type +/-1,9). La **quantité moyenne d'azote dans les grains** est de **57 kg N.ha⁻¹** (+/-21).

2 SC II - Système céréaliers intensifs (soit 58 exploitations et 388 contrats)

Il s'agit de systèmes de production présentant un niveau d'intensification supérieur au précédent. Les rotations sont diversifiées ; elles comprennent des légumineuses à graines (soja, féverole, pois chiche et pois soit 35 % des précédents blé), des cultures sarclées (maïs, tournesol soit 31 % des précédents blé), des céréales d'automne (blé, orge, avoine soit 23 % des précédents blé) et dans une plus faible proportion des légumineuses fourragères (luzerne, trèfle soit 10 % des précédents blé). On note de fréquents passages de herse étrille (soit 1,75 passages par an en moyenne), un recours quasi systématique à la fertilisation (dans 97 % des cas) associé parfois à l'usage de l'irrigation (dans 27 % des cas). Les blés sont semés précocement (en majorité durant la seconde quinzaine d'octobre et dans 85 % des cas avant le 15 novembre).

Les pratiques de fertilisation azotée sont caractérisés par:

- une majorité d'apport d'amendements organiques (compost et/ou fumier frais de volailles, de bovins, d'ovins) à l'automne ; soit 43 % des cas en apport unique et 13 % des cas en apport combiné à des engrais organiques au printemps,
- 41 % des contrats sont caractérisés par des apports uniques d'engrais organiques (fientes de poule, vinasse de betterave) appliqués en couverture au printemps,
- uniquement 3 % des cas n'effectue aucun apport sur les blés.

Le rendement moyen est de 36 q.ha-1 mais les performances sont encore très variables au sein de ce système de production (soit un écart type de +/- 15). Le taux de protéines moyen s'élève à 11,1%, la variabilité des résultats reste forte (+/-1,5). La quantité moyenne d'azote dans les grains est de 68 kg N.ha-1 (+/-28).

3 *SC III – Systèmes céréaliers extensifs (soit 19 exploitations et 70 contrats)*

Il s'agit de systèmes de production limitant au maximum les charges de production et les moyens humains affectés à la sole céréalière. Les rotations à dominante céréalière intègrent des précédents variés : le blé représente 39 % des précédents, les cultures sarclées 26 %, les légumineuses à graines 20 % et enfin les légumineuses fourragères 10 %. Ce système se caractérise par le nombre réduit d'interventions post-semis. La fertilisation est nulle (dans 31 % des cas) ou limitée (apport d'engrais organique <60 u N/ha dans 59 % des cas, >60 u N/ha dans 10 % des cas). On note l'absence d'apports d'amendements à l'automne, de désherbage et d'irrigation. Les blés sont semés tardivement (dans 61 % des cas après le 15 novembre).

Ce système se caractérise par un **rendement** moyen faible soit **27 q.ha⁻¹** (+/-12). Le **taux de protéines** moyen s'élève à **11 %**, la variabilité des résultats reste forte (+/-1,3). La **quantité moyenne d'azote dans les grains** est faible soit **51 kg N.ha⁻¹** (+/-22).

En conclusion, on note de forts écarts de performances entre les trois systèmes de production identifiés sur le secteur (**Tab. 5**). Malgré la variabilité des résultats, les performances du système II sont significativement plus élevées en rendement et en quantité d'azote contenue dans les grains. Les teneurs en protéines des grains ne sont pas significativement différents.

Systèmes de production (effectif)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe*	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Système mixte (79)	29	11	a	11,4	1,9	a	57	21	b
Système céréalier intensif (388)	36	15	b	11,1	1,6	a	68	28	c
Système céréalier extensif (70)	27	13	a	11,2	1,8	a	51	23	a
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

* significativité des groupes de moyennes

Tableau 5 : Comparaison des performances des 3 systèmes de production.

d) **Incidence des techniques culturales sur les performances du blé tendre biologique**

Préambule : Les performances du blé conduit en agriculture biologique sont la résultante des techniques culturales et des conditions agronomiques et pédo-climatiques dans lesquelles elles s'appliquent. De même, l'agriculture biologique induit la présence de nombreux facteurs limitants qu'il convient de maîtriser grâce aux techniques culturales mises en place sur la culture mais aussi à l'échelle de la rotation. Bien que l'effet d'une technique ne puisse être appréhendé indépendamment des conditions dans lesquelles elles s'appliquent, nous avons tenté d'évaluer l'effet moyen des principales techniques culturales sur les performances du blé (rendement, teneur en protéines et quantité d'azote absorbée dans les grains).

1 *Influence du type de précédent*

Les précédents culturaux du blé peuvent se diviser en 5 groupes :

- céréales à paille : blé tendre d'hiver (20 % des contrats), orge d'hiver (<1%), triticale (<1 %),
- cultures de printemps : tournesol (12 %), maïs (10 %), légumes de plein champ (<1%), sorgho (<1 %),
- légumineuses à graines : soja (23 %), féverole (11 %), pois (2 %),

- légumineuses fourragères : luzerne (11 %), trèfle (3 %), sainfoin (<1 %),
- autres : jachère (5 %), légumes (<1 %), Plantes Aromatiques et Médicinales ou PAM (<1 %)...

Précédents (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Céréales à paille (122)	28	14	a	11,4	1,5	b	55	27	a
Cultures de printemps (121)	36	17	c	10,8	1,5	a	67	29	c
Légumineuses à graines (168)	38	13	c	11,0	1,5	a	72	25	d
Légumineuses fourragères (76)	30	13	ab	11,9	1,7	c	61	24	b
Autres (50)	32	15	b	10,7	1,6	a	60	25	ab
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 6 : Comparaison des résultats des différents types de précédent (ensemble de la zone de collecte).

Les précédents légumineuses fourragères sont les seuls à garantir de façon quasi systématique une teneur en protéines élevée (**Tableau 6**), surtout dans le secteur du Diois où les conditions de production de la luzerne sont très favorables (**Cf. Annexe 1 : Tableau 20**). Les légumineuses à graines permettent d'assurer en moyenne les meilleures performances en termes de rendement et de quantité d'azote absorbée dans les grains. A l'inverse, la succession de deux céréales à paille conduit à une limitation du rendement (**Tableau 6**).

2 Influence du type de cultivar

Depuis 2002, le GIE UNIBIO a imposé à ses adhérents de semer une part minimale de la sole en blé améliorant quel que soit la situation de l'exploitation. Par ailleurs, il garanti une surprime pour les agriculteurs utilisant les variétés Lona (+ 35 à 55 €/t selon la teneur en protéines) ou Florence Aurore (+ 20 à 35 €/t selon la teneur en protéines) afin d'augmenter la teneur en protéines moyenne de la collecte. Par conséquent, on note une assez faible diversité des cultivars semés sur le bassin de collecte. En effet, seuls 6 cultivars représentent plus de 85 % de la collecte soit les variétés améliorantes, Lona (31 % des contrats) et Florence Aurore (6 %) et les variétés meunières ou de base, Orpic (19 %), Soissons (17 %), Apache (8 %), et Caphorn (5 %).

Types de cultivar (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Blés améliorants (234)	29	11	a	12,2	1,2	b	61	23	a
Blés meuniers (303)	37	16	b	10,4	1,5	a	67	30	b
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 7 : Comparaison des résultats des 2 types de cultivar (Base totale).

Les variétés améliorantes (Lona, Florence Aurore, Greina, Galibier) présentent une teneur en protéines significativement plus élevée que la moyenne des contrats (**Tableau 7**). A l'inverse, les variétés meunières et/ou de base (Orpic, Soissons, Apache, Caphorn, Cézanne, Renan) obtiennent des niveaux de rendement mais aussi une quantité totale d'azote absorbée dans les grains significativement plus élevés (**Tableau 7**). Toutefois, ce différentiel n'est pas observé dans le secteur du diois où les blés meuniers obtiennent des rendements moyens similaires aux variétés améliorantes (**Cf. Annexe 2 : Tableau 22**).

3 Influence de la date de semis

Les dates de semis ont été classées en 3 groupes dont les dates de références ont été fixées, à dire d'expert, en fonction des conditions climatiques des secteurs des coopératives.

Période de semis/Secteur	Terres Dioises	CDC	CADP
Précoce	< 5/10	< 27/10	< 5/11
Optimale	Du 5/10 au 15/10	Du 27/10 au 6/11	Du 5/11 au 15/11
Tardive	> 15/10	> 6/11	> 15/11

Tableau 8 : Les périodes de semis selon les secteurs des 3 coopératives.

Période de semis (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Précoce (87)	34	15	ab	10,8	1,4	a	63	28	ab
Optimale (181)	36	15	b	10,8	1,5	a	68	28	b
Tardive (269)	32	14	a	11,5	1,6	b	62	27	a
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 9 : Comparaison des résultats selon les périodes de semis (tous les cultivars).

Les campagnes 2002-03 et 2003-04 se caractérisent par de fortes pluies au-delà du premier novembre. Pour ces deux campagnes, les semis tardifs ont conduit à une limitation du rendement. A l'inverse, les semis tardifs conduisent à une amélioration significative de la teneur en protéines pour les blés meuniers (**Cf. Annexe 3 : Tableau 26**) ou à un maintien de la teneur en protéines à un niveau élevé pour les blés améliorants (**Cf. Annexe 3 : Tableau 25**).

Sur l'ensemble des 4 campagnes, les semis à la date optimale permettent d'assurer le meilleur compromis rendement/teneur en protéines quelque soit le type de cultivar.

4 Influence du type de fertilisation azotée

Les pratiques de fertilisation azotée (type de produits, date et dose d'apport) sont très variées sur le bassin de collecte compte tenu des modes d'approvisionnement (présence ou non d'un élevage sur l'exploitation), de la diversité des produits utilisés (amendements compostés ou non, engrais organiques) et de la diversité des pratiques d'apport.

Le **tableau 10** ci-dessous récapitule la valeur fertilisante moyenne en azote des différents types de produits (issues de la base de données gérées par la chambre d'agriculture de la Drôme) retenue pour le calcul de la dose.

Ce tableau présente également les Coefficients Apparents d'Utilisation (CAU) retenus pour estimer la dose d'azote disponible par le blé à partir de la dose totale d'azote épandue.

Type de fertilisants	Azote totale (kg/t) ¹	CAU à l'automne/hiver (jusqu'à fin janvier) ²	CAU au printemps (à partir du début février) ²
Fumiers hors volaille	7	0,2	0,2
Composts hors volaille	7	0,2	0,2
Fumiers ou composts de volaille	25	0,5	0,5
Fientes	27	0,7	0,7
Lisiers	5	0,7	0,7
Engrais organiques	10	0,7	0,7

¹ Base de données de la Chambre d'Agriculture de la Drôme

² Issus de Zeigler et Hedit (1991)

Tableau 10 : Critères pris en compte pour le calcul de la dose d'azote disponible pour le blé.

Trois catégories de produits ont été définies :

- **Engrais organique** : farine de plumes, vinasse de betteraves, mélange commercial,
- **Fumier ou compost de volaille**,
- **Fumier ou compost de ruminants** (bovins, ovins, caprins). Les lisiers sont aussi compris dans cette catégorie.

Le **tableau 11** synthétise les résultats des différentes stratégies adoptées :

- utilisation d'un seul type de produit appliqué à l'automne ou au printemps,
- combinaison de 2 types de produits appliqués à deux périodes,
- absence de fertilisation (« aucun » produit utilisé),
- manque de données sur la stratégie de fertilisation (« ? »).

Types de produit utilisés (effectif)	Azote totale (u.ha ⁻¹)		Azote disponible* (u.ha ⁻¹)		Rendement (q.ha ⁻¹)			Teneur en protéines (%)			QNG (kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	μ	ET	μ	ET	Gpe	M	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Engrais organique (253)	74	34	52	24	31	13	a	11,1	1,7	a	58	23	ab
Fumier/compost de volaille (102)	190	72	100	36	41	19	c	11,5	1,5	b	82	35	d
Fumier/compost de ruminant (69)	132	94	54	73	35	13	b	10,9	1,3	a	66	22	c
Fumier/compost de volaille + engrais organique (8)	191	28	116	29	35	15	b	11,8	1,4	b	71	30	cd
Fumier/compost de ruminant + engrais organique (68)	123	50	55	22	31	9	a	11,0	1,4	a	61	20	bc
Aucun (19)	0	0	0	0	28	13	a	10,8	1,3	a	52	23	a
? (18)	?	?	?	?	35	15	b	11,4	2,0	ab	68	27	c
Base totale (537)	110	75	61	43	33	15		11,1	1,6		64	27	

* Azote disponible = Azote total * CAU

Tableau 11 : Comparaison des résultats en fonction de la stratégie de fertilisation liée au type de produit utilisé.

Les apports de fumier ou compost de volaille, associés ou non à des apports d'engrais organiques, permettent d'assurer les meilleurs résultats combinés rendement/teneur en protéines. Toutefois, ces résultats sont pour partie expliqués par une dose moyenne d'azote disponible deux fois supérieures aux autres types de fertilisants, et parfois au-delà de la réglementation imposant une quantité maximale de 140 u.ha⁻¹. Certaines pratiques telles que les apports d'engrais organiques, combinés ou non à un apport de fumier ou de compost de ruminants, ne permettent pas d'améliorer en moyenne les performances comparativement à des situations où la fourniture azotée se raisonne à l'échelle de la rotation.

Concernant la dose d'azote azotée disponible, 3 classes ont été définies à l'aide de la moyenne (60 u) et de $\pm \frac{1}{2}$ écart-type (soit 40/2) des pratiques observées sur le bassin de collecte d'où les valeurs seuils de 40 et 80 u. ha⁻¹.

Dose d'azote disponible (u.ha ⁻¹) (effectif)	Azote disponible (u.ha ⁻¹)		Rendement (q.ha ⁻¹)			Teneur en protéines (%)			QNG (kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
< 40 u (140)	25	9	32	13	ab	11,1	1,3	a	61	25	bc
Entre 40 et 80 u (221)	55	12	31	13	ab	11,1	1,7	a	58	23	ab
> 80 u (139)	116	40	40	17	c	11,3	1,6	a	78	31	d
0 u (19)	0	0	28	13	a	10,8	1,3	a	52	23	a
? (18)	?	?	35	15	b	11,4	2,0	a	68	27	cd
Base totale (537)	61	43	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 12 : Comparaison des résultats en fonction de la dose d'azote disponible.

Les résultats montrent que seul une dose d'azote utilisable supérieur à 80 u/ha⁻¹, quel que soit le type de fertilisant, permet d'obtenir un rendement et une quantité d'azote dans les grains significativement supérieur à la moyenne (Tableau 12).

Période de fertilisation	Dose d'azote disponible (u.ha ⁻¹)	Effectif	Azote disponible (u.ha ⁻¹)		Rendement (q.ha ⁻¹)			Teneur en protéines (%)			QNG (kg N.ha ⁻¹)			
			μ	ET	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	
Automne	< 40 u	56	22	10	36	15	cd	11,0	1,3	b	69	26	b	
	Entre 40 et 80 u	32	63	37	32	16	abc	10,1	1,2	a	56	30	a	
	> 80 u	37	104	13	38	18	cde	11,0	1,5	b	71	32	b	
Printemps	< 40 u	82	27	8	28	10	a	11,0	1,3	b	54	20	a	
	Entre 40 et 80 u	145	53	11	31	13	ab	11,3	1,8	bc	59	23	a	
	> 80 u	67	121	37	42	17	e	11,6	1,7	c	83	32	c	
Automne + printemps	< 40 u	2**	A*	13	2	42	24	e	14,1	0,9	d	105	66	c
			P	18	9									
			T	31	7									
	Entre 40 et 80 u	44	A	19	11	30	11	ab	11,3	1,2	bc	59	19	a
			P	36	11									
			T	55	11									
	> 80 u	35	A	70	38	39	15	de	11,0	1,6	b	75	28	bc
			P	49	29									
			T	119	48									
Aucune	0 u	19	0	0	28	13	a	10,8	1,3	b	52	23	a	
?	?	18	?	?	35	15	bcd	11,3	2,0	bc	68	27	b	
Base totale		537	61	43	33	15		11,1	1,6		64	27		

* A = Automne, P = Printemps et T = Total

** effectif trop faible, résultats à prendre avec prudence !

Tableau 13 : Comparaison des résultats en fonction de la dose d'azote disponible et de la période d'apport.

La combinaison des doses d'apport et des dates d'apport (Tableau 13) permettent de conclure que :

- les apports à l'automne permettent d'assurer un rendement supérieur à la moyenne quelque soit la dose d'azote ; A l'inverse, les teneurs en protéines sont fluctuantes,
- les apports de printemps garantissent en moyenne une teneur en protéines supérieure à 11 % associée à des rendements fluctuants.

5 Le travail du sol

Les travaux de préparation du semis peuvent se classer en 3 catégories :

- **Travail profond + 1 ou 2 passages** : labour ou sous-solage suivi de un à deux passages d'un outil superficiel (78 % des cas),
- **Travail profond + plus de 2 passages** : labour ou sous-solage suivi de plus de deux passages d'un outil superficiel (5 % des cas),
- **Travail superficiel** : pas de labour ni de sous-solage, uniquement un à deux passages d'un outil superficiel (17 % des cas).

Travail du sol (effectif)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Profond + 1 ou 2 passages (421)	35	16	c	11,1	1,6	a	66	28,4	b
Profond + plus de 2 passages (29)	27	11	a	11,4	1,8	a	54,5	23,2	a
Superficiel (87)	31	11	b	11,2	1,9	a	59,4	22,4	a
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 14 : Comparaison des résultats en fonction du travail du sol.

La pratique du labour reste majoritaire sur le secteur. Il est donc difficile d'évaluer l'influence des autres techniques du travail du sol sur les résultats (effectif trop petit).

Globalement, le travail du sol n'est pas une technique qui influence beaucoup le rendement et la teneur en protéines. En effet, la compaction du sol ne dépend pas uniquement du nombre de passages mais surtout de la portance du sol lors de la réalisation des travaux donc de la pluviométrie et du type de sol.

6 Influence du désherbage

Le désherbage mécanique des adventices est généralement réalisé avec la herse étrille.

Désherbage (effectif)	Rendement (q.ha⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	M	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Non (142)	28	13	a	11,3	1,7	a	55	23	a
1 passage (135)	32	14	b	11,2	1,7	a	62	26	b
2 passages et + (260)	37	16	c	11,1	1,6	a	71	29	c
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 15 : Comparaison des résultats en fonction du désherbage.

Les pratiques de désherbage semblent intervenir de façon significative sur le rendement même si la fréquence des passages ne garantit pas la propreté de la parcelle (David, 1998). Toutefois, la régularité des pratiques de désherbage semble, en moyenne, être le signe d'agriculteur qui observe et/ou investisse du temps sur leurs parcelles de blé.

Les pratiques de désherbage n'ont aucun impact sur la teneur en protéines.

7 Influence de l'irrigation

Le nombre de passages d'irrigation est variable avec en moyenne 2 passages soit une dose totale apportée de 75 mm (± 40 mm).

Irrigation (effectif)	Rendement (q.ha⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Non (424)	31	14	ab	11,2	1,6	c	61	26	a
Blés améliorants (191)	28	11	a	12,2	1,2	d	59	24	a
Blés meuniers (233)	34	15	c	10,4	1,4	b	62	28	a
Oui (113)	41	15	cd	10,8	1,4	b	78	28	c
Blés améliorants (43)	32	8	b	12,0	1,0	d	67	18	b
Blés meuniers (70)	47	14	d	10,1	1,1	a	84	31	c
Base totale (537)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 16 : Comparaison des résultats en fonction de l'irrigation.

L'irrigation a un impact hautement significatif sur le rendement notamment dans le cas des variétés meunières. A l'inverse, cette augmentation du rendement conduit à une baisse de la teneur en protéines.

e) Variabilité des techniques culturales au sein des exploitations

Le **tableau 17** synthétise la variabilité des différentes techniques culturales pratiquées par chaque exploitation au sein des 3 systèmes de production.

Au sein d'une même exploitation, le changement des techniques culturales au sein du groupe de parcelles de blé est plus important d'une année sur l'autre qu'au sein d'une même année. En effet, les conditions climatiques de l'année obligent l'agriculteur à adapter les techniques culturales au-delà des conditions propres à la parcelle (type de sol, état de salissement...). Les techniques qui varient le plus (dans 75 % des cas) sont le type de précédent, le désherbage et la dose de fertilisation azotée (qui peut être liée au précédent). Les autres techniques varient dans 30 à 50 % des cas. Au sein d'une même année, les techniques culturales sont peu changeantes (variation dans 15 à 25 % des cas) d'une parcelle à l'autre en dehors du type de précédent et du choix du cultivar (variant dans 50 à 60 % des cas).

Ce sont les céréaliers intensifs qui font le plus évoluer leurs techniques culturales en fonction des conditions de la parcelle et/ou de l'année. Les systèmes mixtes et céréaliers extensifs font peu varier les techniques de préparation, les dates de semis, les pratiques de désherbage et d'irrigation.

Tableau 17 : Pourcentage des exploitations agricoles pour lesquelles il y a une variabilité annuelle et/ou pluriannuelle des techniques culturales

Système de production	Type de variabilité	Nb d'exploitations concernées	Précédent	Cultivar	Date de semis	Fertilisation		Période d'apport	Irrigation	Désherbage	Travail du sol
						Dose	Type de produit				
Mixte	Annuelle	20	40%	35%	0%	15%	15%	10%	0%	10%	15%
	Pluriannuelle	4	50%	50%	25%	50%	25%	25%	0%	0%	25%
Céréaliier extensif	Annuelle	19	42%	37%	0%	16%	16%	11%	0%	11%	16%
	Pluriannuelle	3	67%	67%	33%	67%	33%	33%	0%	0%	33%
Céréaliier intensif	Annuelle	58	72%	55%	36%	34%	16%	24%	26%	22%	12%
	Pluriannuelle	34	76%	41%	59%	82%	32%	53%	38%	79%	35%
Base totale	Annuelle	97	60%	47%	22%	27%	16%	19%	16%	17%	13%
	Pluriannuelle	41	73%	44%	54%	78%	31%	49%	32%	66%	34%

f) Incidence des combinaisons de techniques sur les performances du blé tendre biologique

Le **tableau 18** récapitule les différentes **classes** issues de l'analyse multivariée de chaque système de production associées aux performances de chaque classe.

Le **tableau 19** présente les **regroupements** effectués à partir des différentes classes du **tableau 18**.

1 Le système mixte

Une majorité de ces exploitations mixtes se situe dans la zone du Diois ; Dans de telles conditions, les rendements sont peu différents et ce quel que soit le type de cultivar (cf Tableau 10). Au sein de ce système où la fourniture d'azote du sol est assurée avant tout par la rotation et les apports d'amendements, le semis de blés améliorants associé à des apports de printemps conduit, d'une part, à des teneurs en protéines supérieures à 12% et, d'autre part, à des quantités d'azote contenues dans les grains significativement supérieures.

Les meilleures marges brutes sont assurées sur des parcelles où les variétés améliorantes ont été conduites avec des niveaux de fertilisation moyens à importants (classes 3,4,8, Tableau 24). Une seule exception à cette règle concerne les parcelles où le précédent est une culture de printemps (classe 9)

Pour les variétés meunières, le niveau de performance, faible à moyen, est assez équivalent quel que soient les techniques culturales mises en place. Ainsi la grille de rémunération actuelle ne permet pas suffisamment d'inciter les producteurs de variétés meunières à augmenter les teneurs en protéines.

2 Le système céréalier extensif

Dans ce système de production où le niveau d'intervention est minimum, le choix d'un précédent riche (type légumineuse) permet d'obtenir de bon niveau de marge brute.

Les blés meuniers ont systématiquement un rendement plus élevé (jusqu'au double) que les blés améliorants pour une fertilisation et un précédent identique (classes 1 vs 2 ; 3 vs 5 ; 6 vs 7, tableau 23). La majoration des prix permise par les variétés améliorantes (en premier lieu, choix du cultivar Lona et/ou augmentation du prix en fonction du TP) permet de compenser cette limitation des rendements. Toutefois, on note que les forts déficits azotés, fréquents dans ce type de système, limitent aussi les teneurs en protéines des variétés améliorantes en deçà de 12%.

Les marges brutes les plus élevées sont obtenues avec un précédent légumineuse et un blé améliorant (classes 3 et 4) ou avec un blé meunier (précédent légumineuse ou culture de printemps) et un rendement moyen d'au moins 40 q/ha, très rare dans un tel système de production (classes 5 et 6).

3 Le système céréalier intensif

On note un écart de rendement et de marge brute important entre les blés meuniers et améliorants conduit de façon identique. L'écart est important dans le cas des précédents légumineuses (groupes 1 vs 2) et cultures de printemps (groupes 5 vs 6) alors qu'il est moindre dans la cas des précédents cultures d'automne (groupes 3 vs 4).

Les blés améliorants ont systématiquement un TP moyen au-delà de 12 % alors que seuls les précédents légumineux et/ou des apports azotés d'automne et de printemps permettent de garantir des TP > 10,5% dans le cas des variétés meunières.

Pour les blés meuniers, les marges brutes sont élevées lorsque le rendement, supérieur à 40 q/ha, est associé avec un bon niveau de TP garanti par une bonne fourniture du sol assurée par des apports d'amendements associés à des précédents favorables : précédent légumineuse ou maïs sur lequel des apports d'amendements ont été effectués.

Pour les blés améliorants, les marges brutes les plus élevées sont obtenues quand les rendements sont supérieurs à 30 q/ha, dans les cas de précédents riches et/ou de bonnes conditions de fertilisation.

Pour l'ensemble des trois systèmes de production, un blé meunier n'est rentable que si le rendement moyen est de 40 q/ha minimum et ce quelque soit le TP. Un rendement inférieur à ce seuil, même avec une bonne teneur en protéines au-delà de 11% ne suffit pas à dégager une marge brute supérieure à 500 €/ha. A l'inverse, un blé améliorant dégage une bonne marge brute avec seulement un rendement de 30 q/ha, grâce à un bon maintien de la teneur en protéines au-delà de 12% mais aussi, pour partie, grâce à la survalorisation de la variété Lona. De même, ces conditions de production doivent être associées obligatoirement à un bon contrôle des facteurs limitants (notamment contrôle des adventices et l'absence de forts déficits azoté ou hydrique).

Tableau 18 : Décomposition des systèmes de production en classes avec leurs principales caractéristiques.

Système de production	N° classe	NB de contrats	Précédent	Type de cultivar	Date de semis	Période de fertilisation	Travail du sol	Désherbage	Irrigation	Rendement (q/ha)			TP (%)			QNG (kg/ha)			Dose N disponible		Dose N totale		Marge Brute		
Mixte	1	9	Légumineuses	Meunier	Optimale à tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0,8	35%	30	17	c	12,2	2,5	d	59	25	ab	46	17	66	25	336	207	b
	2	12	Légumineuses	Meunier	Précoce à optimale	Automne ou automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	0,25	0%	29	8	c	10,1	0,7	b	51	13	a	80	59	167	130	234	132	a
	3	13	Légumineuses	Améliorant	Tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	0,7	15%	31	15	c	12,9	1,4	d	68	32	bc	53	36	78	51	609	403	c
	4	7	Légumineuses	Améliorant	Optimale à tardive	Automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	0,3	0%	30	6	c	12,9	0,3	d	67	12	bc	56	32	132	58	562	151	c
	5	12	Cultures d'automne	Meunier	Optimale	Automne ou automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	0,4	0%	24	8	b	10,7	0,7	c	46	15	a	48	66	125	123	245	158	a
	6	10	Cultures d'automne	Meunier	Optimale à tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,2	20%	33	13	c	10,7	1,9	c	59	19	ab	44	17	74	23	360	222	b
	7	5	Cultures d'automne	Meunier	Optimale	-	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	30	8	c	9,2	0,4	a	50	14	a	0	0	0	0	522	137	c
	8	4	Cultures d'automne	Améliorant	Optimale	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	0,5	0%	33	4	c	12,4	0,6	d	71	6	c	78	50	135	66	623	145	c
	9	3	Cultures de pps	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0,7	0%	20	3	a	13,5	1,5	d	46	3	a	51	8	72	10	320	30	b
	10	4	Légumineuses	Meunier	Précoce	?	Profond avec 1 ou 2 passages	2	0%	23	7	ab	10,3	2,7	bc	43	27	a	?	?	?	?	459	276	bc
Total:							Moyenne :		9%	29	11		11,4	1,9		57	21		53	45	100	88	407	264	

Les cases grisées caractérisent à 100 % la classe alors que les autres cases ne donnent que la principale caractéristique de la classe.
En italique : Données manquantes ➔ Impossibilité d'interprétation.

Système de production	N° classe	NB de contrats	Précédent	Type de cultivar	Date de semis	Période de fertilisation	Travail du sol	Désherbag e	Irrigation	Rdt (q/ha)			TP (%)			QNG (kg/ha)			Dose N disponible			Dose N totale			Marge Brute		
										31	3	c	9,3	0,9	a	50	3	cd	47	6	9	354	65	b			
Céréalier extensif	1	10	Cultures d'automne	Meunier	Précoce à optimale	Printemps (100 % EO)	Superficiel	0	0%	16	3	a	12	0,7	d	34	7	b	47	28	67	40	200	139	a		
	2	16	Cultures d'automne	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	27	7	bc	11,5	0,4	c	55	17	de	34	9	49	13	504	201	c		
	3	10	Légumineuses	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0,1	0%	27	13	bc	11,6	1,4	cd	53	20	cde	0	0	0	0	618	231	cd		
	4	5	Légumineuses	Améliorant	Tardive	-	Superficiel	0	0%	40	16	cd	10,4	1,1	b	72	25	f	35	23	50	32	563	280	cd		
	5	5	Légumineuses	Meunier	Optimale à tardive	Automne ou printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0,3	0%	42	16	d	9,5	0,5	a	70	27	ef	44	9	63	13	539	287	cd		
	6	6	Cultures de ptps	Meunier	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	22	13	ab	10,7	0,8	b	40	20	bc	44	10	63	14	337	279	b		
	7	6	Cultures de ptps	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	14	3	a	10,9	0,1	b	28	5	a	0	0	0	0	325	43	b		
	8	4	Cultures de ptps	Améliorant	Tardive	-	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	32	13	c	12,3	1,1	d	69	29	ef	?	?	?	?	687	181	d		
	9	8	Cultures d'automne	Meunier/ améliorant	Précoce	?	Superficiel	0	0%	27	13		11,1	1,3		51	22		37	23	52	32	425	246			
Total:			Moyenne :					0	0%	27	13		11,1	1,3		51	22		37	23	52	32	425	246			

Les cases grisées caractérisent à 100 % la classe alors que les autres cases ne donnent que la principale caractéristique de la classe.
En italique : Données manquantes ➡ Impossibilité d'interprétation.

Système de production	N° classe	NB de contrats	Précédent	Type de cultivar	Date de semis	Période de fertilisation	Travail du sol	Désherb.	Irrig.	Rdt (q/ha)			TP (%)			QNG (kg/ha)			Dose N disponible	Dose N totale	Marge Brute					
Céréaliér intensif	1	48	Légumineuses	Améliorant	Optimale à tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,6	30%	31	9	c	12,2	1,3	f	66	19	cd	64	46	99	564	240	f		
	2	17	Légumineuses	Améliorant	Optimale à tardive	Automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,6	25%	36	11	de	11,8	0,8	e	75	24	ef	33	37	89	754	328	g		
	3	15	Légumineuses	Améliorant	Optimale à tardive	Automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	50%	30	7	bc	12,4	1,7	f	64	19	bc	83	29	149	54	436	220	cd	
	4	51	Légumineuses	Meunier	Optimale à tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	40%	40	16	ef	10,4	1,2	bc	73	32	def	72	46	119	77	430	271	cd	
	5	31	Légumineuses	Meunier	Optimale	Automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	45%	43	14	fg	9,9	1,1	a	74	25	ef	57	34	136	49	537	242	ef	
	6	16	Légumineuses	Meunier	Précoce à tardive	Automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	50%	45	11	g	10,8	1,5	cd	85	27	f	111	78	200	99	517	226	def	
	7	24	Cultures d'automne	Améliorant	Optimale à tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,6	5%	31	9	c	12,3	1,5	f	66	21	cd	58	44	104	90	600	219	f	
	8	11	Cultures d'automne	Améliorant	Optimale à tardive	Automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	10%	26	15	abc	12,3	0,9	f	56	32	abc	69	31	142	51	509	380	cdef	
	9	10	Cultures d'automne	Améliorant	Tardive	Automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages/superficiel	1,6	10%	22	8	a	12,2	0,2	f	46	17	a	84	35	157	78	267	257	ab	
	10	32	Cultures d'automne	Meunier	Optimale à tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,6	10%	36	21	de	10,9	1,4	d	67	40	cd	54	36	99	79	444	309	cde	
	11	15	Cultures d'automne	Meunier	Optimale	Automne	Profond avec 1 ou 2 passages	2,1	15%	25	15	ab	10,2	0,9	abc	45	27	a	63	28	135	52	235	267	a	
	12	8	Cultures d'automne	Meunier	Optimale	Automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages/superficiel	1,9	12%	31	7	c	10,5	0,8	bcd	56	11	ab	60	26	137	44	233	110	a	
	13	22	Cultures de ptps	Améliorant	Tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages/superficiel	1,9	40%	31	10	c	11,8	1	e	64	21	bc	72	56	110	79	516	272	def	
	14	13	Cultures de ptps	Améliorant	Optimale à tardive	Automne ou automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	2,2	25%	32	13	cd	12,3	1,1	f	71	30	cdef	79	35	153	80	640	356	f	
	15	37	Cultures de ptps	Meunier	Optimale à tardive	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages/superficiel	1,8	27%	36	16	de	10,3	1,7	abc	63	26	bc	67	35	100	49	370	239	bc	
	16	23	Cultures de ptps	Meunier	Précoce à optimale	Automne	Profond avec 1 ou 2 passages	2,1	8%	43	18	fg	10	1,1	ab	76	32	ef	54	24	108	46	546	327	ef	
	17	9	Cultures de ptps	Meunier	Optimale à tardive	Automne + printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	45%	51	21	g	10,4	0,6	bc	92	39	f	97	36	198	59	612	360	f	
	18	6	Cultures de ptps	Meunier	Optimale	?	Profond avec 1 ou 2 passages	2	0%	46	14	g	10,9	2	d	84	12	f	?	?	?	?	836	184	g	
Total: 388			Moyenne :		Rapport Final				11,1		1,6		68		28		67		43		121		73		292	
blés biologiques et qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques																										

Rapport Final
Moyenne : **Rapport Final**
Moyenne : **Rapport Final**

blés biologiques et qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques
Les cases grisées caractérisent à 100 % la classe alors que les autres cases ne donnent que la principale caractéristique de la classe.
En italique : Données manquantes ➔ Impossibilité d'interprétation.

Tableau 19 : Regroupement des classes avec leurs principales caractéristiques.

Système de production	N° Gpe	N° classe	NB de contrats	Précédent	Type de cultivar	Date de semis	Période de fertilisation	Travail du sol	Dés herb.	Irrig.	Rdt (q/ha)			TP (%)		QNG (kg/ha)		Dose N disponibles		Dose N totale	Marge Brute					
											30	12	b	11,0	2,0	a	55	19	a		66	48	124	110	278	172
Mixte	1	1+2	21	Légumineuses	Meunier	Précoce à optimale	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	0,5	15%	30	12	b	11,0	2,0	a	55	19	a	66	48	124	110	278	172	a
	2	3+4	20	Légumineuses	Améliorant	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	0,6	10%	31	13	b	12,9	1,1	c	68	26	b	54	34	97	59	592	332	b
	3	5+6+7	27	Cultures d'automne	Meunier	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	0,6	8%	29	11	b	10,4	1,4	a	51	17	a	38	48	83	94	339	203	a
	4	4	4	Cultures d'automne	Améliorant	Optimale	Printemps	Profond avec 1 ou 2 passages	0,5	0%	33	4	b	12,4	0,6	b	71	6	b	78	50	135	66	623	145	b
	5	5	3	Cultures de pps	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0,7	0%	20	3	a	13,5	1,5	c	46	3	a	51	8	72	10	320	30	a
	6	6	4	Légumineuses	Meunier	Précoce	?	Profond avec 1 ou 2 passages	2	0%	23	7	a	10,3	2,7	a	43	27	a	?	?	?	?	459	276	ab
Total :						79	Moyenne :						11,4	1,9	57	21	53	45	100	88	407	264				
Céréaliér extensif	1	1	10	Cultures d'automne	Meunier	Précoce à optimale	Printemps (100 % EO)	Superficiel	0	0%	31	3	bc	9,3	0,9	a	50	3	b	47	6	67	9	354	65	b
	2	2	16	Cultures d'automne	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	16	3	a	12	0,7	d	34	7	a	47	28	67	40	200	139	a
	3	3+4	15	Légumineuses	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO) ou rien	Profond avec 1 ou 2 passages	0,1	0%	27	9	b	11,5	0,8	c	54	17	bc	23	18	32	26	542	211	c
	4	5	5	Légumineuses	Meunier	Optimale à tardive	Automne ou printemps (100 % EO)	Superficiel	0	0%	40	16	cd	10,4	1,1	b	72	25	d	35	23	50	32	563	280	cd
	5	6	6	Cultures de pps	Meunier	Tardive	Automne ou printemps (100 % EO)	Profond avec 1 ou 2 passages	0,3	0%	42	16	d	9,5	0,5	a	70	27	cd	44	9	63	13	539	287	cd
	6	7+8	10	Cultures de pps	Améliorant	Tardive	Printemps (100 % EO) ou rien	Profond avec 1 ou 2 passages	0	0%	19	13	a	10,8	0,6	b	35	17	a	27	24	38	34	333	210	b
	7	9	8	Cultures d'automne	Meunier/ améliorant	Précoce	?	Superficiel	0	0%	32	13	bcd	12,3	1,1	d	69	29	cd	?	?	?	?	687	181	d
Total :						70	Moyenne :						11,1	1,3	51	22	37	23	52	32	425	246				

Système de production	N° Gpe	N° classe	NB de contrats	Précédent	Type de cultivar	Date de semis	Période de fertilisation	Travail du sol	Dés herb.	Irrig.	Rdt (q/ha)		TP (%)		QNG (kg/ha)		Dose N disponibles	Dose N totale	Marge Brute														
											32	9	12,2	1,3	68	20			61	44	106	67	580	274	d								
Céréaliér intensif	1	1+2+3	80	Légumineuses	Améliorant	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages/superficiel	1,7	33%	32	9	12,2	1,3	c	68	20	b	61	44	106	67	580	274	d								
	2	4+5+6	98	Légumineuses	Meunier	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	44%	42	15	10,3	1,2	a	75	29	c	74	52	137	78	478	258	b								
	3	7+8+9	45	Cultures d'automne	Améliorant	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,7	7%	28	11	12,3	1,2	c	60	24	a	66	40	125	81	504	299	bc								
	4	10+11+12	55	Cultures d'automne	Meunier	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,8	11%	32	18	10,6	1,3	b	59	35	a	57	33	115	70	356	293	a								
	5	13+14	35	Cultures de pps	Améliorant	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages/superficiel	2	34%	32	11	12	1,1	c	66	25	ab	75	49	126	81	562	307	cd								
	6	15+16+17	69	Cultures de pps	Meunier	Optimale à tardive	Printemps et/ou automne	Profond avec 1 ou 2 passages	1,9	23%	40	18	10,2	1,4	a	71	31	bc	67	34	116	58	460	300	b								
	7	18	6	Cultures de pps	Meunier	Optimale	?	Profond avec 1 ou 2 passages	2	0%	46	14	10,9	2	b	84	12	d	?	?	?	?	836	184	e								
Total :									388	Moyenne :									1,8	27%	36	15	11,1	1,6	68	28	67	43	121	73	495	292	

4) DISCUSSION

a) Une remise en cause de certaines pratiques culturales

Nos précédents travaux sur la fertilisation azotée (David, 2004) ont permis de mettre en évidence l'intérêt d'effectuer, sous certaines conditions, des apports azotés en couverture en vue d'augmenter la productivité et la teneur en protéines du blé biologique sans préjudice pour l'environnement. En confrontant la dynamique des besoins et la disponibilité de l'azote minéral pour les plantes, nous avons montré qu'il convenait de positionner l'apport au plus près des périodes de besoins. En effet, l'anticipation des apports organiques conduit à une mauvaise valorisation de l'engrais par la culture.

Les pratiques de fertilisation de printemps des céréaliers biologiques sont régulièrement caractérisées par des apports réduits de l'ordre de 60 à 80 Unités N.ha⁻¹, expliquées par le prix encore élevé de l'engrais organique. Toutefois, notre travail montre que certaines stratégies d'apport dont la dose est comprise entre 90 et 150 Unités N.ha⁻¹ peuvent s'avérer rentables dans les conditions où les facteurs limitants majeurs sont contrôlés (dont principalement la maîtrise des adventices et le contrôle des conditions hydriques pendant et après l'apport).

Cette action qualité met en évidence le risque causé par la spécialisation des systèmes céréaliers biologiques (dominance de la culture de blé, réduction de la diversité et de la durée de la rotation, disparition des cultures fourragères). En effet, la disparition des légumes fourragères au sein de la rotation conduit à une dégradation de la nutrition azotée et, dans certains cas, à une augmentation de la flore adventice vivace et/ou dominante (David, 1999) limitant les performances. De plus, la présence d'un élevage sur l'exploitation ou à proximité conduit à assurer un approvisionnement régulier en amendements organiques et à diversifier la rotation notamment par le développement de cultures fourragères.

b) La recherche d'un optimum technique à adapter en fonction du système de culture

1 Des combinaisons gagnantes

Cette action qualité a permis de mettre en évidence qu'aucune combinaison de techniques culturales n'est gagnante quelles que soient les conditions d'application (type de sol et de climat). Toutefois, certaines combinaisons conduisent en moyenne à de meilleurs résultats :

- La combinaison de précédents riches et/ou d'apports d'amendements à l'automne avec la mise en place de variétés améliorantes conduit à de bonnes performances agronomiques et économiques.
- La combinaison des modes d'apport à l'automne et au printemps associé ou non à des précédents riches conduit en moyenne à de meilleurs résultats que les apports uniques à l'automne ou au printemps,
- La pratique d'irrigation est valorisée uniquement si les autres conditions agronomiques sont parfaitement contrôlées (notamment la maîtrise des adventices et de la nutrition azotée),

2 Des pratiques à risque

L'absence de techniques curatives telles que les apports d'azote en complément et/ou le désherbage des cultures sont parfois l'illustration de bonnes conditions de développement. Les performances agronomiques reposent alors sur l'équilibre de la rotation et sur la gestion à long terme des adventices et de la fertilité du sol. Toutefois, certains systèmes extensifs, peu

suivis dans la durée (exploitations diversifiées dont le temps affecté à la sole céréalière est très limitée) , obtiennent en moyenne de moins bons résultats.

Les semis précoces, traditionnellement préconisé pour garantir une bonne implantation des cultures, obtiennent de moins bons résultats que les semis réalisés plus tardivement.

La valorisation du potentiel génétique des variétés meunières est principalement garantie dans les systèmes intensifs où les pratiques de fertilisation, d'irrigation et de contrôle des adventices sont gérées dans le temps. A l'inverse, les variétés améliorantes valorisées dans de bonnes conditions pédologiques et agronomiques (précédent riche, sol fertile) obtiennent de bons résultats économiques grâce à (i) la garantie d'une teneur en protéines satisfaisant les exigences de la filière, (ii) la survalorisation de la variété Iona et de la teneur en protéines et (iii) la rusticité des variétés semées.

3 Un besoin de différenciation du bassin d'approvisionnement

Ce travail a permis d'identifier des systèmes de production et/ou conditions pédo-climatiques à risque où l'obtention de blés de qualité est rendue difficile. Une politique de différenciation géographique et agronomique du bassin de collecte (en fonction des conditions pédo-climatiques et des systèmes de production) devrait permettre de mieux répondre aux attentes des divers transformateurs par la multiplication des contrats de type blé biscuitier, blé améliorant, blé fourrager.

CONCLUSION

Cette action de recherche-développement a pu profiter des connaissances accumulées dans les domaines de la sélection variétale (Lammers van Bueren et al, 2003, Rolland et al, 2001), de la maîtrise de la nutrition azotée (David, 2004), du contrôle des adventices (Rasmussen et al, 2006) mais aussi de l'adaptation des process de fabrication (Taupier-Letage et al., 2004, Abecassis et al, 2006).

Cette action a été menée en parallèle avec un programme de recherche sur la gestion de la fertilisation azotée du blé biologique associé à la mise en place d'indicateurs d'appréciation des facteurs limitants (David, 2004, Casagrande et al, 2005). La combinaison des méthodologies utilisées (expérimentations en conditions contrôlées, suivi de parcelles et modélisation pour le programme sur la fertilisation azotée du blé, analyse des contrats de production et enquêtes auprès d'agriculteurs dans cette action) a permis :

- de comprendre les pratiques des agriculteurs et leurs déterminants,
- d'analyser les facteurs de variation du rendement (David et al, 2005) et de la teneur en protéines,
- et enfin de mieux relier les questions de recherche à des interrogations émanant des acteurs de terrain.

REMERCIEMENTS

Marc Trouilloud (GIE Unibio), Patrice Morand et Bertrand Chareyron (Chambre agriculture Drome), Rémi Laliche (Association CAP BIO), Prune Farque (CDC) et Jean-Luc Odon (Terres Dioises) et Nicolas Lecat et Salvatore Ferret (Agribio Union)

ANNEXES

ANNEXE 1 : Résultats en fonction du précédent et du secteur géographique

Précédents (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Céréales à paille (60)	25	11	a	11,6	1,2	b	50	22	a
Cultures de printemps (11)	26	8	ab	11,2	1,1	ab	50	14	a
Légumineuses à graines (19)	35	8	d	11,0	1,0	a	67	16	c
Légumineuses fourragères 38)	28	12	bc	12,5	1,5	c	60	24	bc
Autres (17)	30	7	c	10,9	1,6	a	56	13	ab
Total (145)	28	11		11,6	1,4		56	21	

Tableau 20 : Comparaison des résultats des différents types de précédent (secteur du Diois).

Précédents (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Céréales à paille (62)	31	16	a	11,3	1,7	b	60	31	a
Cultures de printemps (110)	37	17	bc	10,8	1,5	a	68	30	bc
Légumineuses à graines (149)	38	14	c	11,0	1,6	ab	73	26	c
Légumineuses fourragères 38)	32	14	a	11,2	1,7	ab	62	25	ab
Autres (33)	33	15	ab	10,7	1,7	a	61	29	ab
Total (392)	36	15		11,0	1,6		67	29	

Tableau 21 : Comparaison des résultats des différents types de précédent (secteur de la CDC et de la CADP).

ANNEXE 2 : Résultats en fonction du type de cultivar et du secteur géographique

Types de cultivar (effectif)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Blés améliorants (61)	28	12	a	12,4	1,0	b	61	23	b
Blés meuniers (84)	27	10	a	11,1	1,4	a	52	19	a
Total (145)	28	11		11,6	1,4		56	21	

Tableau 22 : Comparaison des résultats des 2 types de cultivar (Secteur de Terres Dioises).

Types de cultivar (effectif)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Blés améliorants (135)	29	11	a	12,0	1,2	b	62	25	a
Blés meuniers (203)	42	16	b	10,1	1,3	a	73	31	b
Total (338)	37	16		10,9	1,6		69	29	

Tableau 23 : Comparaison des résultats des 2 types de cultivar (Secteur de la CDC).

Types de cultivar (effectif)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Blés améliorants (38)	27	8	a	11,7	1,2	b	55	17	a
Blés meuniers (16)	35	17	b	10,5	0,9	a	64	33	a
Total (54)	29	12		11,3	1,3		57	23	

Tableau 24 : Comparaison des résultats des 2 types de cultivar (Secteur de la CADP).

ANNEXE 3 : Résultats en fonction de la période de semis et du type de cultivar

Période de semis (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Précoce (30)	25	9	a	11,8	1,0	a	51	17	a
Optimale (53)	31	11	b	12,3	1,3	b	66	24	c
Tardive (151)	29	11	b	12,2	1,2	b	61	24	b
Base totale (234)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 25 : Comparaison des résultats selon les périodes de semis (blés améliorants).

Période de semis (<i>effectif</i>)	Rendement (q.ha ⁻¹)			TP (%)			QNG (Kg N.ha ⁻¹)		
	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe	μ	ET	Gpe
Précoce (57)	39	15	a	10,2	1,3	a	70	30	a
Optimale (128)	38	16	a	10,1	1,0	a	68	30	a
Tardive (118)	35	17	a	10,7	1,7	b	64	30	a
Base totale (234)	33	15		11,1	1,6		64	27	

Tableau 26 : Comparaison des résultats selon les périodes de semis (blés meuniers).

ANNEXE 4 : Variabilité annuelle et pluriannuelle des pratiques au sein de chaque exploitation agricole (1 = variabilité)

Système de production	N° agri	Année	Effectif	Précédent		Cultivar		Date de semis		Fertilisation						Irrigation		Désherbage		Travail du sol	
				A*	P**	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P		
		Type de variabilité :																			
Mixte	761	2004	4	1																	
	887	2004	4																		
	1745	2004	1																		
		2005	4	1	1												1			1	
	1885	2004	6																		
	1887	2004	5	1		1		1									1				
	2085	2005	1																		
	2300	2004	4	1		1		1													
	2480	2004	4	1				1												1	
		2005	1		1															1	
	2702	2004	7	1		1												1			
	2786	2005	1																		
	2789	2004	2	1		1		1													
	3041	2004	2	1			1		1												
	3050	2004	1							1											
		2005	1														1				
	3065	2005	2	1														1			
	3387	2004	7	1			1												1		
	3553	2004	8	1			1											1			
	4290	2004	2																	1	
	4296	2003	4	1		1															1
		2004	4																		
	4576	2005	3	1																	
	1004975	2005	1																		
Total :			79	13	3	8	2	5	2	2	3	1	2	1	2	5	2	4	2	3	3

4 des 20 exploitations agricoles ont des contrats sur plusieurs années.

*A = Annuelle

**P = Pluriannuelle

ANNEXE 5 : Variabilité annuelle et pluriannuelle des pratiques au sein de chaque exploitation agricole (1 = variabilité)

Système de production	N° agri	Année	Effectif	Précédent		Cultivar		Date de semis		Fertilisation						Irrigation		Désherbage		Travail du sol		
				A*	P**	A	P	A	P	Dose		Type de produit		Période d'apport		A	P	A	P	A	P	
		Type de variabilité :																				
Céréaliier extensif	646	2004	5	1		1				1										1		
	1215	2004	7	1		1																
	1335	2004	4	1		1														1		
		2005	3																			
	1836	2005	4	1		1																
	1878	2004	1																			
	2244	2004	1																			
	2540	2004	2																			
	2751	2004	4																			
	3186	2004	6	1						1												
	3323	2004	3	1																		
	3810	2002	1																			
		2003	4				1															
		2004	3																			
	3949	2004	1																			
	4072	2005	1																			
	4364	2005	2				1													1		
	1003341	2003	3	1			1				1								1		1	
	1003625	2003	1																			
		2005	2			1																
	1004050	2003	3																			
	1006929	2003	4																			
	1009689	2005	5	1			1												1			
Total :		19	70	8	2	7	2	0	1	3	2	3	1	2	1	0	0	2	0	3	1	

3 des 19 exploitations agricoles ont des contrats sur plusieurs années.

*A = Annuelle

**P = Pluriannuelle

ANNEXE 6 : Variabilité annuelle et pluriannuelle des pratiques au sein de chaque exploitation agricole (1 = variabilité)

Système de production	N° agri	Année	Effectif	Précédent	Cultivar		Date de semis		Fertilisation						Irrigation		Désherbage		Travail du sol			
					A	P	A	P	Type de produit		Période d'apport		A	P	A	P	A	P	A	P		
		Type de variabilité :	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P		
Céréaliier intensif	185	2005	2		1										1				1			
	395	2004	4	1		1												1		1		
		2005	2	1		1					1											
	498	2002	6	1			1		1											1		
		2003	7	1		1													1			
	550	2003	7	1		1			1													
		2005	11	1	1		1				1						1					
	560	2004	4	1		1														1		
		2005	2		1		1															
	597	2004	7	1		1					1											
		2005	5	1																		
	656	2004	8	1		1														1		
		2005	3	1	1																	
	687	2002	4																			
		2004	13	1	1		1		1				1						1			
		2005	10	1														1				
	876	2002	4				1															
		2003	3			1																
		2004	3	1		1																
		2005	3																			
	894	2004	4	1		1					1											
	935	2003	4	1		1																
	947	2003	3			1													1			
		2004	3			1																
	1252	2004	2	1		1																
	1307	2004	3																			
	1341	2005	6	1		1																
	1488	2004	2																			

Système de production	N° agri	Année	Effectif	Précédent		Cultivar		Date de semis		Fertilisation						Irrigation		Désherbage		Travail du sol	
				A	P	A	P	A	P	A	P	Type de produit		Période d'apport		A	P	A	P	A	P
		Type de variabilité :	2002	2	1	1															
Céréaliier intensif	1548	2005	3																		
		2004	7	1	1	1															
	1573	2005	6																		
		2004	7	1	1	1															
	1629	2005	2																		
		2004	8	1	1	1															
	1655	2003	1																		
		2004	1																		
	1711	2005	1																		
		2004	2																		
	1794	2005	2	1	1	1															
		2002	8	1	1	1															
	1839	2004	4																		
		2002	3																		
	1871	2004	4																		
		2005	3																		
	1983	2003	2																		
		2004	1																		
	2072	2005	2																		
		2003	3																		
	2098	2004	4	1	1	1															
		2002	1																		

Système de production	N° agri	Année		Effectif	Précédent		Cultivar		Date de semis		Fertilisation						Irrigation		Désherbage		Travail du sol	
		Type de variabilité :	A		P	A	P	A	P	A	P	Type de produit		Période d'apport		A	P	A	P	A	P	
				A								P	A	P	A							P
Céréaliier intensif	2099	2002	7	1		1									1							
		2003	4	1	1		1								1							
		2005	11	1		1										1						
	2185	2004	3	1		1																
	2267	2004	6	1		1		1		1					1							
		2005	1																			
	2425	2004	1																			
	2688	2004	4			1																
	2692	2004	1																			
	2914	2002	9	1					1						1							
	2998	2004	2																			
	3031	2004	1																			
	3528	2002	9	1											1							
	3557	2005	5	1																		
	3595	2004	4	1	1		1		1						1						1	
		2005	2																			
	3597	2004	9	1			1															
		2005	4	1		1																
	3613	2004	2																			
		2005	2		1					1											1	
3706	2002	2																				
	2005	4																				
3809	2003	4	1																			

Système de production	N° agri	Année	Effectif	Précédent		Cultivar		Date de semis		Fertilisation				Irrigation		Désherbage		Travail du sol	
				Type de variabilité :		A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
Céréaliier intensif	3996	2004	1																
		2005	2	1															
	4081	2004	4																
		2005	3	1															1
	4098	2003	5	1					1	1								1	1
		2004	3																
	4107	2004	3						1	1									
		2005	4	1															
	4132	2002	2	1															
		2003	2							1	1								
		2005	3																
	4251	2005	4	1															
	4257	2004	4	1															
		2005	3																
	4685	2005	2	1															
	4724	2005	3	1															
	4816	2004	1																
	1001186	2003	2							1	1							1	1
		2005	2	1															
	1003860	2003	7	1														1	1
		2005	8															1	1
	1003968	2003	4	1															
	1005165	2003	3	1														1	
		2005	4																
1009203	2005	5	1																
Total :	58		388	51	26	49	14	30	20	24	28	10	11	16	18	23	13	15	27
																			12

34 des 58 exploitations agricoles ont des contrats sur plusieurs années.

*A = Annuelle

**P = Pluriannuelle

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 2 : ETAT DES LIEUX DES TECHNIQUES UTILISEES PAR LES
MEUNIERs TRAVAILLANT LES BLES BIOLOGIQUES**

Auteure : Christine Bar-L'Helgouac'h

Nom de l'organisme bénéficiaire) : ARVALIS – Institut du végétal

Nom du responsable scientifique : Christine Bar-L'Helgouac'h

Nom du Laboratoire : Laboratoire Qualité des Céréales

Adresse : 16, rue Nicolas Fortin – 75013 Paris

RESUME

Afin de mieux connaître les techniques utilisées par les meuniers et les boulangers bios, un travail d'enquêtes a été réalisé auprès de ces professionnels en 2004-2005 dans le cadre d'un projet de recherche INRA-ACTA-ACTIA pour soutenir le développement d'une filière de production de blé, de farine et de pain biologique.

Etablir un état des lieux des pratiques meunières françaises en bio permet tout d'abord d'identifier les principaux acteurs, puis de définir leurs modes d'approvisionnement ainsi que leurs diagrammes de mouture, les principaux types de farine fabriquée et leurs débouchés.

Les fiches « Etat 8 sur l'activité de la meunerie biologique » transmises par l'ANMF (Association Nationale de la Meunerie Française) ont permis de recenser 161 moulins biologiques en 2004. Parmi ces moulins, seulement 67 écrasent effectivement du blé bio.

Le dépouillement du questionnaire de l'enquête fait apparaître que parmi les 32 moulins recensés, 15 font moins de 20 % de leur production en farine bio, 11 font plus de 80 % et 6 moulins font entre 30 et 60 % de farine bio.

En comptabilisant plus finement toutes les quantités de blés bios traités par procédé de mouture, on en déduit qu'une courte majorité (54 %) est écrasée sur meules de pierre et que les 46 % restants sont écrasés sur cylindres.

La mouture sur meules de pierre dissimule de très grandes différences au niveau des procédés appliqués dans chaque moulin. La diversité des techniques repose en particulier sur la disposition et le travail des meules.

Il ressort clairement de l'enquête réalisée que les 2 farines les plus couramment fabriquées concernent les types 65 et 80.

La deuxième farine produite est également majoritairement de type inférieur ou égal à de la farine T 80, et concerne les $\frac{3}{4}$ des moulins enquêtés (23 minoteries sur 32).

Par ailleurs, la tendance est à l'éclaircissement des farines pour plus de la moitié des moulins bios, sachant que les types de farine les plus utilisés correspondent effectivement à des farines bises et blanches (T 80 et T 65).

En 2004, la boulangerie artisanale était le premier client (36 %) suivie de près pour les industriels (24 %) et les fournils intégrés des Grandes et Moyennes Surfaces (22 %).

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est d'établir un état des lieux des pratiques des meuniers français travaillant avec du blé biologique (60 environ) en terme de :

- techniques utilisées, travail sur meule ou sur cylindres
- type de farine fabriquée : taux d'extraction, granulométrie, ...
- variétés utilisées et pratiques en terme de mélange
- cahiers des charges vis-à-vis de leur amont (critères de qualité demandés) et cahiers des charges imposés par l'aval
- Ce travail s'appuiera sur la commission « agriculture biologique » de l'ANMF (Association Nationale de la Meunerie Française), comprenant une douzaine de meunier biologique, animée par Nicolas Perardel et comportera plusieurs étapes :
- Recensement de tous les meuniers « agriculture biologique » en France
- Etablissement d'un questionnaire d'enquête et validation de celui-ci par les meuniers de la commission biologique de l'Anmf
- Réalisation de l'enquête auprès de tous les meuniers biologiques français
- Dépouillement du questionnaire et discussion autour des résultats dans le cadre de la commission
- Présentation des résultats dans le cadre du forum de fin de projet (Sous tâche 3, axe 3) à l'ensemble des membres de la filière

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Recensement et utilisation de la farine produite

Les fiches « Etat 8 sur l'activité de la meunerie biologique » transmises par l'ANMF (Association Nationale de la Meunerie Française) ont permis de recenser 161 moulins biologiques en 2004. Parmi ces moulins, seulement 67 écrasent effectivement du blé bio, les autres revendent de la farine issue de l'agriculture biologique, mais n'en produisent pas. Ils sont situés en grande majorité dans le quart Nord-Ouest de la France et sur un axe Toulouse-Lyon, correspondant aux grandes zones de collecte de blé biologique. Selon l'ONIGC (Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures) en 2006 la région des pays de la Loire compte le plus grand nombre de moulins bio (15 %), suivie par les régions Rhône-Alpes et Midi-Pyrénées (12 % chacune).

La région parisienne, faiblement représentée en moulins bio (4 %), est cependant une des régions qui utilise le plus de blé bio pour l'alimentation humaine (22 % du total des mises en œuvre).

La farine bio est principalement destinée au secteur de la panification qui représente depuis ces 3 dernières années de 41 à 47 % des débouchés (figure 1). On observe un très léger recul (1 %) pour la boulangerie artisanale en 2007 par rapport à 2006 à mi-campagne (au 1^{er} février). Ce secteur reste cependant de loin le premier utilisateur de farine bio. Par contre, les marchés de la boulangerie industrielle et surtout des fournils intégrés dans les Grandes et Moyennes Surfaces (GMS) progressent de façon notable et régulière depuis 3 ans au moins.

Le poste « cession à moulins » est en très nette progression cette année (+ 39 % par rapport à 2006). Cette situation est liée au fait que de grands moulins certifiés bios revendent de la farine

produite par d'autres moulins bios à destination principalement du secteur de la panification. Un autre débouché a également le vent en poupe et concerne celui de la vente de sachets de farine bio. Selon l'ONIGC (Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures), il représente 3360 t aujourd'hui contre 2399 t en 2006 et réalise un bond de 29 % en une année à mi-campagne.

Des industries alimentaires diverses consomment aussi une bonne partie de farine bio et continuent de progresser. L'exportation représente encore un faible débouché, ainsi que les farines entrant dans la préparation de mix ou pré-mix bio prêt à l'emploi.

b) Méthodologie et représentativité de l'échantillon

L'enquête sur les pratiques des meuniers biologiques a été réalisée auprès de 67 moulins écrasant du blé en 2004 ; 16 par entretien direct et 51 par voie postale. 16 meuniers ont répondu à l'enquête postale, soit un taux de retour de 31 %. Au total, 32 minoteries (environ 50 % des acteurs) ont été enquêtées et représentent les $\frac{3}{4}$ du volume total de blé bio écrasé en 2004 (environ 35000 t). Les meuniers revendeurs de farine biologique n'ont pas été enquêtés.

Le dépouillement du questionnaire de l'enquête fait apparaître que parmi les 32 moulins recensés, 15 font moins de 20 % de leur production en farine bio, 11 font plus de 80 % et 6 moulins font entre 30 et 60 % de farine bio (figure 2).

c) Approvisionnement des moulins

Les coopératives et les négoce constituent un maillon essentiel de la filière biologique : seuls 25 % des moulins bios représentant des petites structures (moins de 400 t) s'approvisionnent en direct auprès des agriculteurs.

Les plus gros moulins travaillent préférentiellement avec des organismes stockeurs, avec cependant, pour la moitié d'entre eux, un approvisionnement mixte : les organismes stockeurs pour une qualité plus régulière complétée par une offre plus variable venant des producteurs bios de la région.

Concernant le bassin d'approvisionnement en blé, il ressort que les plus petites structures, représentant un peu plus de la moitié (56 %) des 32 moulins enquêtés, ont une collecte très localisée et proche de leurs unités de transformation. A l'inverse, seulement 16 % des moulins, parmi les plus grosses structures, s'approvisionnent au niveau national. Des situations intermédiaires existent avec 28 % des moulins collectant des blés bios provenant de leurs régions d'origine et avoisinantes.

d) Les variétés utilisées pour les meuniers bios

Parmi les blés les plus cités, on retrouve principalement RENAN bien connu des agriculteurs (1^{ère} variété cultivée en France) et recherchée par les meuniers qui la considère comme une très bonne base meunière et boulangère. Viennent ensuite les variétés SOISSONS et CAMP-REMY, des blés dont la qualité est aussi reconnue et appréciée en conventionnel.

Les variétés APACHE et CAPO plus faiblement représentées sont cependant plus fréquemment citées que des variétés très anciennes comme HARDI ou plus récentes comme CEZANNE et ORPIC. Plus de la moitié des moulins consulte régulièrement la liste des Variétés Recommandées par la Meunerie (VRM) établie chaque année par l'ANMF pour choisir les Blés Panifiables Biologiques et tous les moulins travaillent en mélange pour assurer une qualité

optimale et régulière. Certains moulins indiquent l'utilisation de nouvelles variétés comme SATURNUS et TRISO, pour ne citer qu'elles.

e) Les procédés de mouture

Sans entrer dans le détail des techniques de mouture utilisées par chaque moulin, l'enquête révèle que 35015 tonnes de blé ont été écrasées par les 32 moulins, soit les $\frac{3}{4}$ du total des blés bios écrasés en France en 2004. Elle précise en outre que 8 moulins étaient équipés exclusivement de meules de pierre et écrasaient 3268 t de blé, que 10 moulins utilisaient uniquement la technique sur cylindres pour écraser 9137 t et que 13 moulins produisaient de la farine bio avec les 2 procédés (voir répartition ci-dessous).

Procédés de mouture mixtes (meules et cylindres)			
13 MOULINS			
Techniques de mouture utilisées	DOMINANTE MEULES (à plus de 80 %)	DOMINANTE CYLINDRES (à plus de 80 %)	MEULES ET CYLINDRES (plus ou moins également réparties)
Nombre de moulins	5	2	6
Quantité de blé bio écrasé (t)	13430	2330	6491

En comptabilisant plus finement toutes les quantités de blés bios traités par procédé de mouture, on en déduit qu'une courte majorité (54 %) est écrasée sur meules de pierre et que les 46 % restants sont écrasés sur cylindres.

Il ressort que les 2 procédés de mouture sont représentés de manière quasi équivalente dans la filière bio pour l'ensemble des moulins enquêtés, même si dans certains cas des dominantes existent, soit sur meules, soit sur cylindres.

f) Spécificité du travail sur meules

La mouture sur meules de pierre dissimule de très grandes différences au niveau des procédés appliqués dans chaque moulin. La diversité des techniques repose en particulier sur la disposition et le travail des meules.

La mouture sur 2 meules horizontales : une meule mobile tournante au-dessus d'une meule fixe. Le nombre de paires de meules peut varier de 1 à 8 et donc représenter dans le cas le plus performant, jusqu'à 8 passages de produits de mouture pour passer du grain à la farine.

Dans certains cas, lorsque le moulin dispose de 1 à 3, voire 4 paires de meules horizontales, des machines comme le SODER, sont utilisées pour la mouture des semoules et des finots. La particularité du SODER réside dans le fait que chacun des passages, pouvant varier selon le choix du meunier de 1 à 6, est équipé d'un cylindre de mouture et d'une coquille (sabot) en pierre disposés verticalement à l'arbre d'entraînement des cylindres. Le sabot sert de contre surface au cylindre et permet de régler l'écartement de mouture grâce à un levier mobile.

D'autres dispositifs peuvent aussi être présents notamment dans les plus petits moulins : des meules de pierre plus petites que les meules horizontales sont disposées verticalement pour le passage des semoules et des finots en fin de convertissage. La partie frontale de ces meules verticales est composée d'une porte sur laquelle est montée la pierre fixe se refermant sur la meule mobile.

g) La mouture sur cylindres plus classique

Mis à part le procédé Borsa-Kovsky qui allie abrasion et mouture sur cylindres, les techniques de mouture en bio sur cylindres sont à l'image des procédés utilisés en conventionnel. Le nombre de passage des produits de mouture est nettement plus élevé comparativement à la meule : à chaque passage, on obtient de la farine et c'est leur mélange qui donnera les types de farines référencés.

h) Types de farines produites

Il ressort clairement de l'enquête réalisée que les 2 farines les plus couramment fabriquées concernent les types 65 et 80. En effet, 15 moulins sur 32 commercialisent majoritairement de la farine T 65 et 13 moulins de la farine T 80. Seulement 3 moulins 100 % cylindres font principalement de la farine T 55 bio et un moulin de la T 110 exclusivement, ce qui représente pour ces derniers des tonnages de blés écrasés faibles (environ 4000 t) (figure 3).

La deuxième farine produite est également majoritairement de type inférieur ou égal à de la farine T 80, et concerne les $\frac{3}{4}$ des moulins enquêtés (23 minoteries sur 32) (figure 4).

Par ailleurs, la tendance est à l'éclaircissement des farines pour plus de la moitié des moulins bios, sachant que les types de farine les plus utilisés correspondent effectivement à des farines bises et blanches (T 80 et T 65).

i) Principaux débouchés pour la farine bio issus de l'enquête

Comme nous l'avons vu précédemment au niveau national pour ces 3 dernières années, l'enquête auprès des 32 moulins en 2004 confirme que le secteur de la panification constitue le principal débouché de la farine bio.

En 2004, la boulangerie artisanale était le premier client (36 %) suivie de près pour les industriels (24 %) et les fournils intégrés des Grandes et Moyennes Surfaces (22 %).

La revente de farines bios aux moulins qui n'en produisent pas, représentait 16 % des débouchés. La vente de sachets ou de farines directement au particulier se limitait en 2004 à 2 % seulement. Ce dernier chiffre ne concerne que le cadre strict de notre enquête : il est certainement plus élevé aujourd'hui compte tenu d'une forte progression des achats de machines à pain par les ménages français et de la forte progression des ventes de sachets au niveau national (voir figure 1).

La part de chaque débouché diffère très nettement selon les moulins (figure 5). Certaines minoteries de capacité d'écrasement très variable livrent de 70 à 90 % de leurs farines aux GMS (Grandes et Moyennes Surfaces). D'autres moulins, toutes tailles confondues, livrent exclusivement la boulangerie artisanale. Enfin, quelques uns commercialisent toutes leurs farines aux 3 principaux utilisateurs du secteur panification, avec parfois plus de 80 % à la boulangerie industrielle. Un ou deux moulins de plus petite taille sont spécialisés pour la vente de farine bio directement aux particuliers.

j) Qualité des blés pour chaque utilisation

La boulangerie artisanale recherche plutôt des farines présentant de bonnes capacités d'absorption d'eau et une bonne stabilité pendant la pousse de la pâte avant cuisson. Des teneurs en protéines plus faibles pour des blés autour de 10 % peuvent convenir dans certains cas.

En panification industrielle, les exigences de qualité sont plus élevées en raison de la plus forte mécanisation des chaînes de production et des types de produits fabriqués (pains précuits, biscottes, brioches, viennoiseries, ...).

La teneur en protéines des blés dépasse 10,5 % - 11 % avec des forces boulangères comprises entre 180 et 220 (W de l'alvéographe Chopin).

Ces critères sont également recherchés par les fournils de panification des Grandes et Moyennes Surfaces (avec en particulier pour une des grandes enseignes une teneur en protéines des blés autour de 12 %).

*Fig 1 UTILISATION DE LA FARINE BIOLOGIQUE
POUR LES PRINCIPAUX SECTEURS D'UTILISATION
DU 1/02/2004 AU 1/02/2007
(Source:ONIGC)*

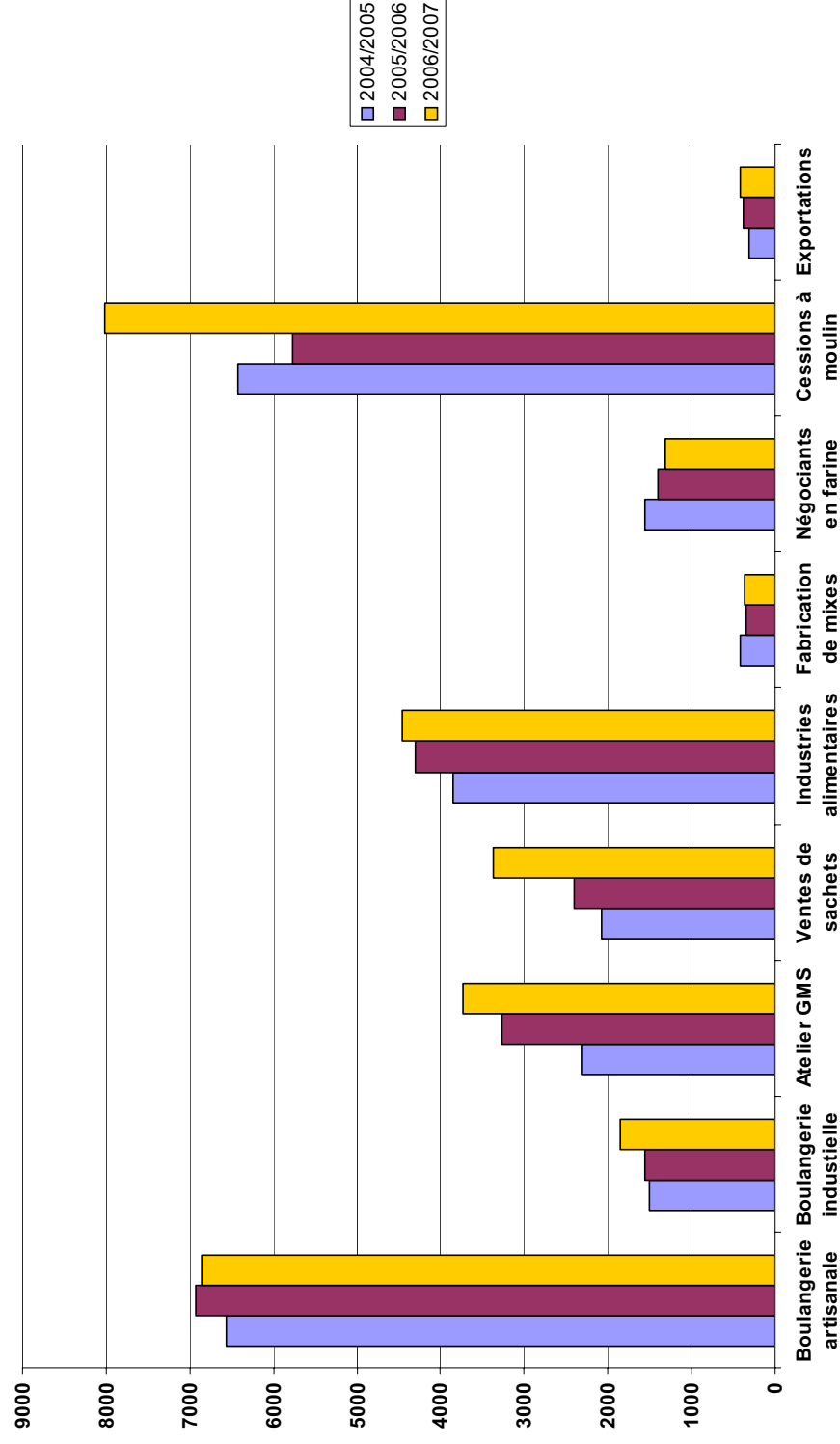
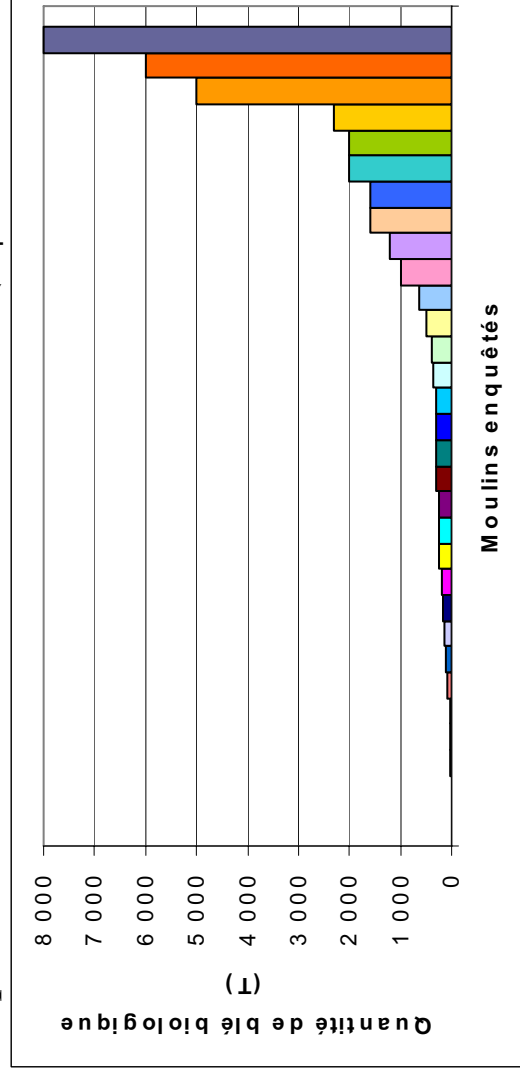


Fig 2 Représentativité de l'échantillon

- 32 moulins enquêtés : 35.015 T de blé bio écrasées ($\frac{3}{4}$ du volume totale de blé bio écrasé)



- 15 moulins (soit 46,9% des moulins enquêtés) ont **moins de 20%** de leur production en bio.
- 11 moulins (soit 34,4% des moulins enquêtés) ont **plus de 80%** de leur production en bio.
- 6 moulins (soit 18,7% des moulins enquêtés) ont **entre 30 et 60%** de leur production en bio.

Fig 3 Types de farine

56 % des moulins produit majoritairement des farines de type =65
 41 % des moulins produit majoritairement des farines de type 80

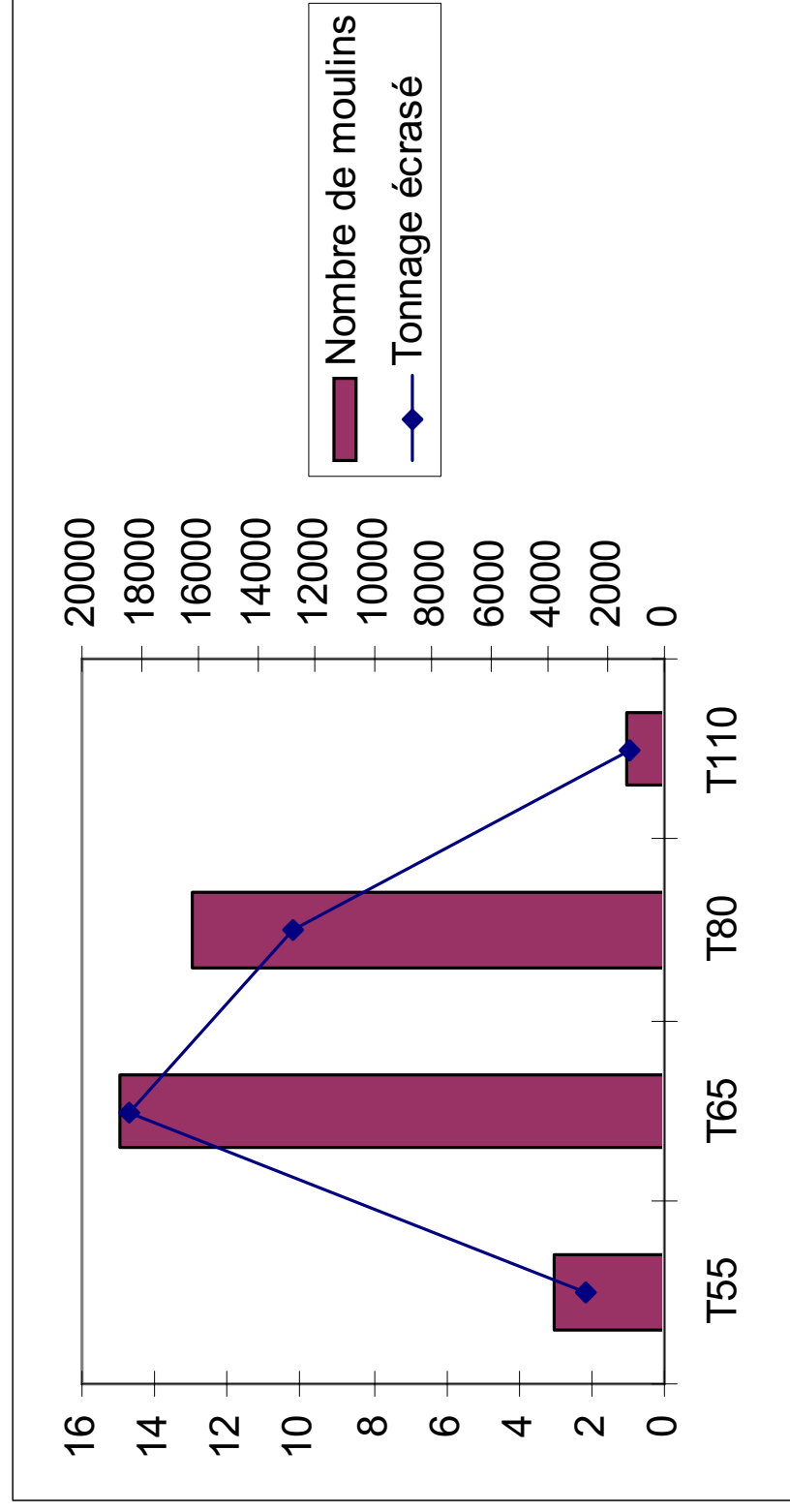
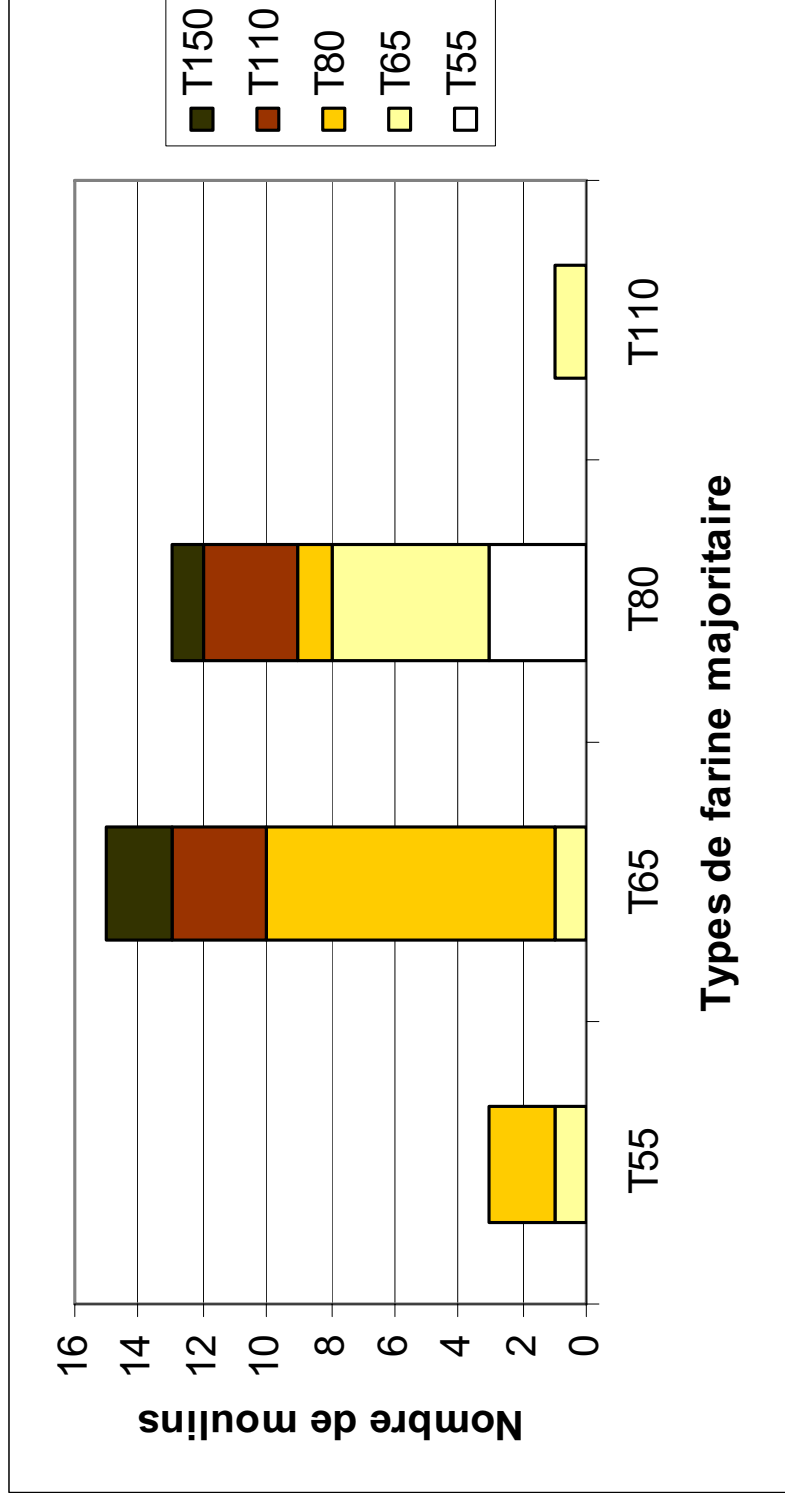


Fig 4 Types de farine

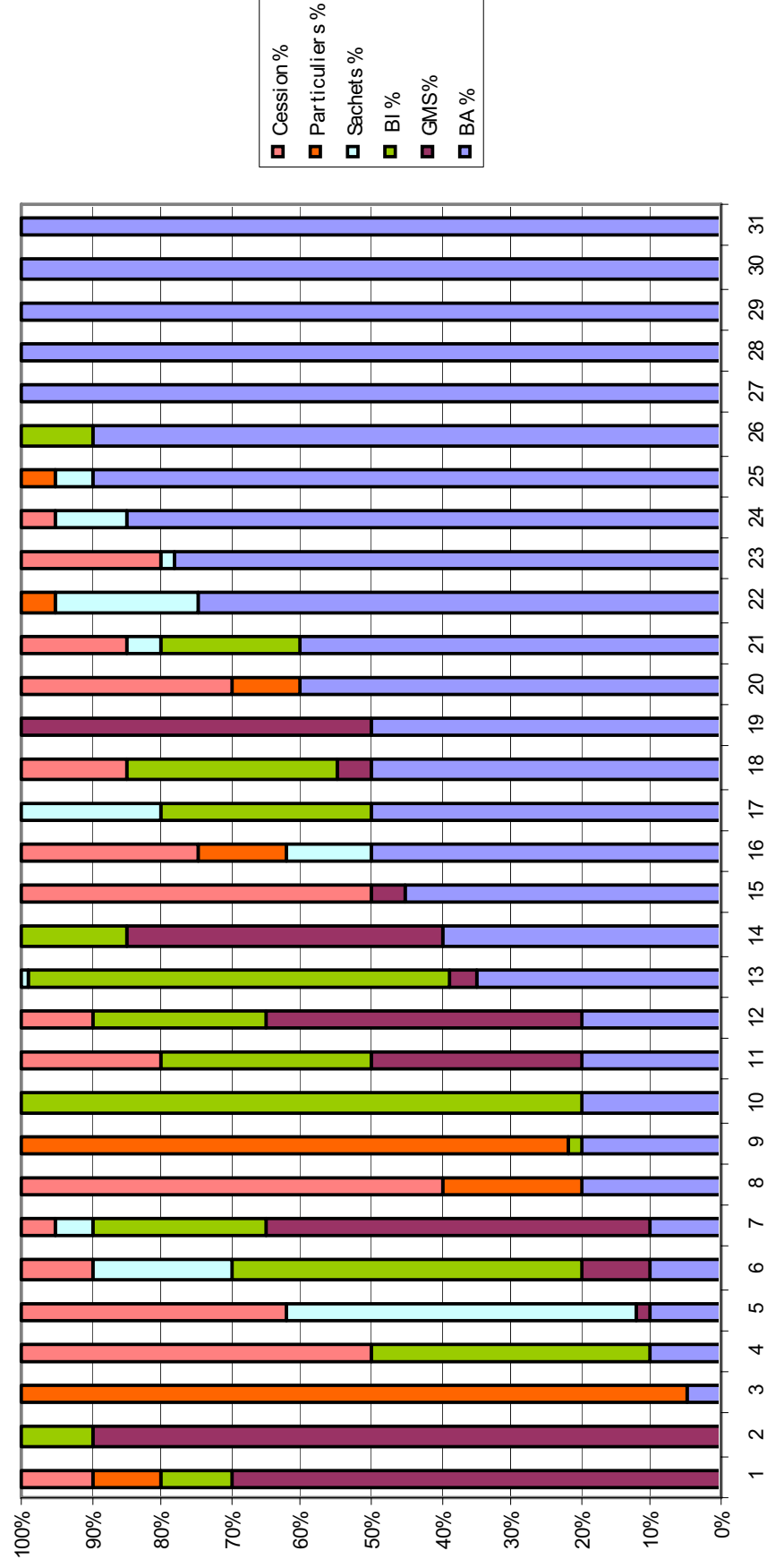
La deuxième farine produite est majoritairement de type ≤ 80 (72%)



La tendance est à l'éclaircissement des farines (57% des moulins)

Fig 5 Débouchés

La part de chaque débouché est variable selon les moulins sans relation avec la quantité de blé biologique écrasée



3) ECART PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

La synthèse de ce travail doit permettre d'engager une réflexion sur la réalisation d'une mouture de laboratoire de type 80 et sur la mise en place d'un test de panification adapté à la farine produite.

4) VALORISATION

Article sur l'état des lieux des pratiques meunières et boulangères biologiques à paraître dans la revue Industries des Céréales n° 153 Août/Septembre/Octobre 2007.

5) ANNEXES : RESULTATS

Présentation powerpoint du 29 septembre 2005. Présentation powerpoint des 15 et 16 mars 2006.

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

**Qualités des blés biologiques et
Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques**



**TACHE 3 : ETAT DES LIEUX DES TECHNIQUES UTILISEES PAR LES BOULANGERS
TRAVAILLANT LES FARINES BIOLOGIQUES**

Auteur : H. Chiron

Nom de l'organisme bénéficiaire : Institut National de la Recherche agronomique

Nom du responsable scientifique : H. Chiron

Nom du Laboratoire : BIA MC2

Adresse : rue de la Géraudière - BP 71627 - 44316 Nantes Cedex 03

RESUME SIGNALÉTIQUE

La première étape de la collecte d'informations a consisté à identifier les principaux boulangers biologiques référents. Soit par leur ancienneté dans ce type de fabrication, soit par leur notoriété, soit par la taille de leur entreprise, soit par l'originalité de la structure de production. Un panel d'adresses de boulangers a ainsi été réuni sur l'essentiel du territoire. Concernant les entretiens : 13 meuniers produisant de la farine biologiques ont été appelés, 8 spécialistes du domaine (organismes certificateurs, constructeurs de fours à bois, producteurs d'ingrédients bios, spécialistes de l'agriculture biologique) ont été rencontrés. 23 boulangers identifiés mais très éloignés, ont été interviewés. Enfin, 14 meuniers et 40 boulangers ont été rencontrés sur leur site de fabrication.

Au point de vue des techniques de fabrication, les fondamentaux c'est à dire les recommandations historiques des débuts des pains bio (à partir de 1962) consistent à utiliser des farines moins raffinées essentiellement le type 110 voire le type 150. La conduite de fermentation de référence était le levain pur, les pains étaient majoritairement cuits en moule. L'aspect extérieur était considéré comme secondaire car l'argument numéro un était le bénéfice santé, ce type de pain se démarquait nettement car l'offre de pain de la boulangerie conventionnelle était assez peu variée.

Aujourd'hui dans un contexte de forte créativité du secteur boulangerie, de retour du pain au levain sur les étals de nombreux boulangers et des contraintes réglementaires imposées par les organismes certificateurs l'offre, en pain bio certifié des 33000 artisans boulangers est plus que marginale. En outre, aucune formation spécifique n'est proposée par les différentes écoles ou instituts.

Malgré tout l'analyse des pratiques technologiques et de la gamme de pains bio offerte révèle de nombreux éléments de différenciation :

- Grande autonomie dans le choix des procédés de mouture et prédilection pour la mouture par meule de pierre, l'abrasion ou des procédés mixtes Soder + cylindres
- Refus pour certains de toute correction de la farine en additifs et même en enzymes
- Prise de risques technologiques à travers l'emploi de farines moulues à partir d'anciennes population de blés de pays, voire d'ancêtre du blé actuel (grand épeautre et surtout petit épeautre ou engrain).
- Défense active de certains pains régionaux tel que le pain de seigle (66%, voire le pain pur seigle).
- Existence de signes de qualité qui s'ajoutent au logo AB par exemple mention Nature et progrès et Demeter.
- Réelle expertise dans la conduite de fermentation au levain pur et typicité aromatique
- Diagrammes de fabrication incluant des pétrissage à faible voire très faible énergie et pour la majorité des enquêtés diagrammes très faiblement mécanisés.
- Compte tenu de l'absence très fréquente de formation initiale en boulangerie nombreuses pratiques boulangères « instinctives » (pas de pesées systématique des ingrédients introduits dans le pétrin par exemple) et absence de focalisation par exemple sur la réussite de scarifications. Prise de liberté par rapport à des règles de l'art.
- La majorité des pains bio vendus se situent à des niveaux de masse volumique supérieurs à 0.35 et même 0.50. Ces faibles niveaux d'expansion sont rarissimes en boulangerie conventionnelle.

- Existence de plusieurs filières régionales de commercialisation de pains biologiques.
- D'une façon générale, existence d'un discours structuré autour des produits, aptitude à répondre à un fort questionnement des consommateurs.

La fréquence de pratiques boulangère « décalées » n'exclue pas de nombreuses mutations récentes de la boulangerie produisant des pains biologiques, voire une certaine modernité :

- 38 % des fabricants visités utilisent des enceintes réfrigérées pour une meilleure organisation du travail avec moins d'heures de travail de nuit
- 13% proposent des pains préculs frais parfois emballés sous atmosphère protectrice. L'offre assez systématique de pains bios en supérettes est assurée grâce à ce type de technologie de fabrication.
- Plusieurs entreprises françaises produisant exclusivement des pains biologiques disposent d'ateliers de fabrications à gros volumes, très rationalisés, répondant aux normes les plus sévères HACCP, IFS. Leurs exigences en termes de cahier des charges farines sont plus élevées que les micro-boulangeries bios. Ces structures pourraient répondre à une demande émergente de fourniture de pains biologiques dans les cantines scolaires ; elles commencent à exporter.
- Une entreprise produit du pain bio précul surgelé disponible sur différents catalogues grand public de produits surgelés.
- Net recul de la vente des pains complets et des pains intégraux malgré qu'ils soient toujours « à la gamme »
- Domination des pains bis fabriqués à partir de farine de type 80.
- Offre plus systématique de pains bio à mie blanc crème réalisés à partir de type 65 cylindres.
- Enrichissement de la gamme avec des pains volontairement moins acides et de plus faible masse volumique que le pain au levain naturel. Apparition de baguettes bio fermentées sur poolish dans les coopératives biologiques.
- Plus grande diversité des formats de pains bio proposé et recul significatif des pains moulés.
- Demande extrêmement forte de pains d'épeautre et d'engrain qui bénéficient d'une aura de faible allergénicité
- Demande émergente de pains sans gluten et apparition de spécialités pur sarrasin ou au teff
- Elargissement de la gamme avec des pains bio non plus exclusivement à connotation santé mais désormais à connotation plaisir. Par exemple pains aux figues, aux olives, brioches bios, viennoiseries bio. Recherche d'aspect extérieur plus sophistiqué voire plus proches des produits de la boulangerie conventionnelle.

Le secteur de la boulangerie biologique confronté à une concurrence très forte (par exemple des pseudos pains bios mais aussi des pains fermiers non certifiés) s'est donc fortement rénové. Animé par des professionnels disposant de fortes motivations, il dispose désormais d'une large gamme de pains répondant non plus seulement aux arguments santé, mais aussi aux arguments plaisir, goût, conservation et soutien à une agriculture respectueuse de l'environnement.

1) PRESENTATION GENERALE DU SECTEUR

a) Historique du secteur

1 Pains naturels

Les fondements des pains bios semblent prendre forme dans les différents courants d'opposition au blutage exagéré de la nouvelle technologie de la mouture par cylindres métalliques (Schweitzer, Galippe et Barré, 1895). Les courants d'alimentation naturelle préconisés par différents protagonistes tels que les docteurs Montenuus, Letulle, Carton, Carrel, entre les années 1910 et 1940 militent également pour des pains bis. Différents spécialistes dont Raoul Lemaire à partir de 1931 commercialisent « un pain bis naturel » (photographie N°1) mais aussi des pains « médicaux ». La confédération de la boulangerie ne croit pas en ce mouvement pro « pain gris » voire complet et se cantonne dans la fabrication d'un pain blanc croustillant. Henri Charles Geffroy, publie en 1941 le livre « Nourris ton corps » dans lequel il vulgarise les thèses du docteur Lenglet sur l'intérêt de consommer un pain quasi complet, il commercialisera plus tard sous la marque « l'aliment sain », ce type de pain. Dans les années 1940, de nombreuses études (civiles et militaires) sont entreprises sur la valeur nutritionnelle du pain, elles confirment l'intérêt de préserver l'assise protéique (ou couche à aleurone) dans les farines. Le brevet de mouture par abrasion Borsakowski sera mis en œuvre et commercialisé par la minoterie Couturier en 1949 sous la marque Borsa. La Vie Claire annonce en 1952 la création d'une société spécialisée dans la fabrication de différents aliments dont les pains complets pour lesquels elle propose un abonnement. Le courant de pensée naturiste, relayé par différentes associations dont l'AFRAN se renforce dans les années 1950 et de nombreuses attaques sur le pain blanc voient le jour. L'offre en pains de campagne s'élargit dans la même période. En 1959 Raoul Lemaire (obteneur de blés) crée le GABO groupement des agriculteurs biologistes de l'Ouest qui sera à l'origine du mouvement français d'agriculture biologique. Raoul Lemaire rachètera les moulins à meules de la Jarrie en 1962 et il débuter la commercialisation de farines issue de l'agriculture biologique bientôt suivi par une poignée de moulins français.



Photo 1 : Extrait d'une facture Lemaire des années 1930

Il recommande aux boulangers fabriquant son « pain biologique » un diagramme de fabrication au levain pur, l'utilisation de sel marin puis il interdira l'utilisation de fours chauffés directement par un brûleur mazout. Un contrat d'exclusivité sera mis en place. L'appellation « pain biologique » se diffuse lentement dans les années 1960 (près de 500 boulangeries en 1969 selon D. Pecot). De façon concomitante avec le courant de pensée écologique, la vulgarisation du pain bio progresse dans les années 1970, les premiers marchés spécifiquement bio voient le jour vers 1973, le premier salon Marjolaine a lieu en 1976, il

compte plusieurs vendeurs de farines bio et de pains bio. Le concept de paysan meunier boulanger apparaît à la fin des années 1970. En 1978 l'association nature et progrès constitue un groupe de travail sur le cahier des charges pain biologique au levain. A cette époque il y a semble-t-il un consensus chez les organisations prescriptrices de pain bio d'exclure la conduite de fermentation à la levure de boulangerie, en effet l'acidité du levain et la longue conservation est reconnues pour éviter l'action décalcifiante des pains complets.



Photo 2 : Stand Minoterie Couturier en 1980

Les témoignages des fabricants et consommateurs des pains bio des années 1960 et 1970 font état de pains presque toujours moulés, relativement peu appétant, à croûte terne, épaisse et acides mais aussi d'une gamme très limitée de pain. La farine de type 110 était la plus utilisée mais les partisans d'une alimentation macrobiotique, les naturopathes défendaient avec vigueur la consommation de pain intégral. *« Pour certains l'achat d'un tel pain était un acte militant car ces pains bios avaient triste mine »*. Toutefois au vu de la faible créativité de la boulangerie conventionnelle de l'époque qui offrait surtout du pain basique ces pains issus de l'agriculture biologique se distinguaient nettement

Durant les années 1980 l'offre en pain bio s'étoffe, elle accompagne la progression des points de vente de coopératives de produits biologiques, de marchés bio, et de sociétés privées spécialisées dans les produits issus de l'agriculture biologique. Différents ouvrages consacrés à une alimentation saine tel que celui de C. Aubert une autre assiette parut en 1979 font une large place au mérite du pain au levain. L'appellation « pain bio » se diffuse largement à partir de 1985. La société Carrefour sort en 1992 sa « boule bio » qui connaîtra un vif succès bientôt imitée par d'autres hypermarchés.

Parmi les principales marques fondatrices dans le courant des pains biologiques, outre Lemaire et Borsa déjà cités il faut mentionner Lima société belges qui démarre en 1962 avec un pain intégral fermenté à la levure et qui bascule l'année suivante en fermentation au levain. Différentes scissions sont intervenues elles ont conduit aux marques « le paysan biologiste », « terre et vie », « pain Alvie » issue de mouture fraîche suivant les recommandation du Dr Kousmine

2 Les boulangers pionniers

Parmi les boulangers pionniers du pain au levain outre les boulangers démonstrateurs Lemaire aujourd'hui décédés citons Marcel Montagne formateur depuis 1975 au moulin Decollogne Lecoq. Les meuniers bios des années 1970 ont joué un rôle déterminant dans la diffusion des méthodes de fabrication. Cette enquête nous a permis d'interviewer des personnalités

marquantes de la boulangerie biologique françaises. André Astrié, concepteur de moulins à meule de granite et fabricant de pain bio depuis les années 1960, Patrick Leport qui fonde la boulangerie savoyarde en 1976, Jan Demaître la même année, Pierre Delton pain à la ferme en 1976, puis boulangerie le pain de Pierre en 1982, Daniel Collin, James Forest, Louis Réthoré boulanger conventionnel qui propose du pain bio dès 1978 et qui fonde Biofournil en 1988. Les années 1980 voient également apparaître des boulangeries 100% bio telles que : la Panetière en 1982 (M. Prothon), l'Angélus (J. M. Talbot) en 1983, Du grain au pain (Y. Legal) en 1984, Soleil Levain en 1984 (A. Houguet). La liste des coordonnées des boulangeries visitées est en annexe 1.

3 Les signes de qualité associatifs

Avant même que ne soit applicable la réglementation sur les produits issus de l'agriculture biologique, différentes structures commerciales et administratives avaient mis en place des signes de qualité garantissant soit la conformité d'un pain bio à un standard commercial fabriqué sur tout le territoire soit la conformité à une mention.

Comme indiqué précédemment un groupe de travail de l'association Nature & Progrès mis en place en 1978 publia un cahier des charges en 1980. Nos observations sur le terrain indiquent que de nombreux boulangers bio « pionniers », proches de ce mouvement, sont restés partisans d'une conduite de fermentation pur levain sans adjonction de levure.

Un texte de 27/11/1981 de l'association Nature et Progrès indique pour la mention N° 1 article 4 « panification sur levain pur à l'exclusion de toute levure de boulangerie à quelque stade que ce soit ». La mention N°2 : panification sur base levain avec addition de levure de boulangerie (maximum : 2 g levure par kg de farine). D'autres détails techniques constituent également des éléments de différenciation avec un travail conventionnel citons par exemple l'interdiction de pétrins à cuves en aluminium ou l'interdiction de Teflon.

Signalons enfin la mention Demeter du courant agriculture bio-dynamique proposée par environ 10 boulangers français en plus du logo AB.

4 Les valeurs défendues

Historiquement les valeurs défendues par les boulangers bios étaient exclusivement nutritionnelles et ceci sans concessions vis à vis d'une optimisation de l'aspect extérieur comparativement à la boulangerie conventionnelle. Les boulangers bios mettent un point d'honneur à produire avant tout un excellent aliment. La réflexion est globale elle prend en compte l'amont depuis le lieu de production (préférence de filière courte ou volonté d'approvisionnement local), le choix de la variété (voire des populations de blés anciens), les conditions de mouture (moindre oxydation, âge de la farine). De nombreux producteurs de pains bios mettent un point d'honneur à respecter des grands principes de la panification traditionnelle, avant l'arrivée des différents correcteurs de panification. Ils sont nombreux à refuser et les additifs autorisés dans l'annexe 6 et toute correction enzymatique. « *Je travaille sans filet* » est une phrase souvent relevée dans nos entretiens. La très grande majorité des enquêtés mettent en œuvre des méthodes traditionnelles de fabrications (pétrissage lent, longues fermentations, cuisson sur sole, etc.). De même malgré des volumes de production non négligeables, certains préfèrent par exemple façonner à la main pour « *moins abîmer la pâte* ». La certification AB est considérée comme un moyen indispensable mais pas forcément suffisant pour atteindre une qualité optimale. Les bio-dynamistes font état d'exigences complémentaires telles que « *une cohérence globale avec le vivant, le résultat est important mais le chemin pour y parvenir est aussi important* ». Les boulangers bios approchés ont

des convictions fortes certains sont par exemple de farouches défenseurs de la biodiversité en matières de céréales qui de l'épeautre, qui de l'engrain.

Mentionnons le choix d'une boulangerie exclusivement biologique pour la structure juridique de SCOP (société coopérative ouvrière) pour concilier l'épanouissement des associés et les contingences proprement comptables.

Enfin au point de vue technologique la majorité de notre panel revendique la production d'un pain bio particulièrement sapide grâce à la conduite de fermentation au levain.

5 Structure des entreprises

◆ Points de vente 100% bios

Nous assistons à une logique de spécialisation et à une montée en puissance d'entreprises exclusivement transformatrices en bio employant de multiples technologies. Les boulangeries produisant exclusivement des pains biologiques sont majoritairement des entreprises approchant ou dépassant le million d'euros de chiffre d'affaire. Ces structures progressent, elles se modernisent. Confrontées à des clients très exigeants (comme par exemple la GMS) elles ont mis en place des systèmes d'assurance qualité, d'HACCP, et pour certaines elles mettent en œuvre les normes IFS exigées par les grands distributeurs. Leurs exigences en termes de cahier des charges farines sont élevées. Elles exigent des teneurs élevées en protéines mais aussi une grande régularité des farines. Les gammes de pains sont larges (parfois plus de vingt variétés de pains hors variantes de formats), l'offre en brioches et en viennoiseries progresse.

◆ Points de vente mixtes

Les boulangeries artisanales proposant des pains bios certifiés sont en net recul depuis environ cinq années selon plusieurs minotiers interrogés. Les principaux freins des boulangers artisans conventionnels :

- Peu concernés par la démarche agriculture biologique et les produits dérivés
- Peur d'une erreur de l'ouvrier
- Coût & tracasseries administrative
- Marge inférieure à un autre pain spécial de la gamme
- Contraintes de stockages des matières premières
- Contraintes de comptabilité
- Difficulté de maîtrise du levain pur
- Peur des contrôles
- Réticences vis à vis d'une soit disant clientèle bio exigeante et « *qui pose beaucoup de questions* »
- Arguments des promoteurs de l'agriculture raisonnée certifiée jugés suffisants voire identiques
- Conviction que le pourcentage de leur clientèle intéressée par le bio est extrêmement marginal
- Conviction que la farine bio est irrégulière en valeur boulangère et qu'il n'est pas facile de faire du pain bio sans produits d'addition

Les freins des boulangers industriels vis à vis de la production de pains bios sont :

- Matière premières jugée trop irrégulière
- Machinabilité insuffisante des pâtes Type 80 & Type 110 en configuration ligne de fabrication très mécanisée

- Nécessité d'améliorants bio
- Pose d'étiquettes azymes jugées coûteuse

6 Organisation de la production

Plusieurs boulangeries bio ont un rayon d'action pratiquement national, elles sont en mesure de livrer le lendemain une large gamme de pains de viennoiseries et de pâtisseries bio. De plus, l'organisation d'un grand nombre de boulangeries bio fournissant exclusivement des marchés d'alimentation consiste à fabriquer trois à quatre jours par semaine les veilles de marchés. Ceci est également vrai pour les magasins spécialisés ou les coopératives de produits biologiques bien que la demande en produits frais prenne de plus en plus d'importance.

7 Les gammes de pains bios

Blé, froment	Autres céréales	Formats	Pains spéciaux	Viennoiseries et petite restauration
Pains	Pain au seigle	Tourte, miche	Pains noix noisette	Brioche nature avec DLUO de 15 jours
	Pain pur seigle, pain de seigle intégral Seigle noir	Pain moulé ou club Pain sandwiches	Pains sésame	Brioche abricots etc.
	Pain à l'épeautre	Petits pains	Pain pavot	Croissants
Biscottes & Pains grillés & pains grillés suédois bio (Krisprolls)	Pain pur épeautre	Pain pavé	Pain aux graines de lin	Chocolatine bio
	Pain à l'engrain	Boule	Pains aux graines de courges	Pains au lait
	Pain pur engrain ou petit épeautre	Baguettes	Pain aux graines de tournesol	Pains aux raisins
	Pain au Kamut®	Ficelles	Pain multi-graines	Tourton
	Pain pur Kamut®,	Pain long, ficelle, flûte, batard	Pains aux noix	Bressane (brioche régionale)
	Pain de méteil (50% blé T110 : 50% seigle intégral)	Pain de un, deux et trois kilogrammes voire plus	Pains aux noisettes	Pogne de Romans (brioche régionale)
	Pain sans gluten de blé (pain pur sarrasin, pain au Teff)	Couronnes	Pains aux olives et romarin	Saint Genis (brioche régionale)
		Pain tordu Bordeaux	Pain abricot figues tournesol	Pain de Noël
		Lodève	Pain basilic-olive	Pain doux (au lait et sucre) au levain naturel
		Pain de ferme	Pain de mie	Pizzas
		Pain russe		Quiches, sandwiches

			Pains aux lardons bio , Pain au lin, Fougassettes, Pain brié, Pain de gaude, Ciabatta, Lardons comté, Pain aux amandes et sésame, Pain au blé germé, Pain au quinoa, Pain de châtaigne, Pain multi-céréales aux figues, Pain aux noix, aux noisettes, Pain de mie, Pain muesli bio (30% fruits secs), Pain aux fruits confits, Baguette italienne	♦ <u>Pâtisseries</u> Pâtisseries boulangères « <i>tout ce qui est entouré de pâte</i> » Feuilletage Cookies, sablés, pains d'épices

Tableau 1 : Différentes appellations de pains biologiques

Il est frappant de constater le renouvellement de la gamme des pains bi offerts sur les différents points de vente depuis quelques années. Faut-il y voir un mimétisme avec l'offre extrêmement variée des boulangers conventionnels ? Outre la diversité des recettes à base de froment que ce soit en termes de degré de raffinage ou de recettes il est intéressant de remarquer l'engouement pour des céréales telles que l'épeautre petit ou grand. Certains boulangers bios n'hésitent pas, afin de répondre à une demande de pains sans gluten, à panifier de la farine de sarrasin pur ou un mélange à base de teff.

8 Les prix de vente au kilogramme

Les pains biologiques ont la réputation d'être coûteux. Concernant les références d'entrée de gamme essentiellement constituées de pains bis de type 80 mais parfois aussi de type 65 sur les marchés, les prix de vente au kilogramme se situent entre 3.50 et 5.00 Euros le kilogramme. En artisanat les mêmes références oscillent entre 4.60 et 6.00 Euros le kilogramme.

Il convient d'observer que les farines biologiques coûtent le double voire un peu plus que les farines conventionnelles et que la mouture par meules de pierre compte tenu de son débit plus faible que les cylindres, accentue encore la différence de prix.

L'argumentation commerciale des boulangers bio insiste sur les qualités nutritionnelles de leurs produits, sur le fait qu'on consomme tout sans en jeter et que sa conservation est supérieure au pain conventionnel. Un argument souvent entendu est « *ramené au prix du kilogramme mon pain bio coûte moins cher qu'une baguette à marque* ».

9 Organismes certificateurs agréés et attachement au logo officiel AB

- ♦ Présence discrète voire absence du logo AB

L'utilisation de la mention « pain biologique (produit issu de l'agriculture biologique) » est réglementée (règlement CEE n° 2092/91 du conseil du 24 juin 1991 : les conditions obligatoires sont les suivantes : Déclarer son activité auprès de la direction départementale de l'agriculture afin d'obtenir une fiche de notification des transformateurs de l'agriculture biologique. Différencier clairement le stock bio du stock conventionnel. Tenue d'une comptabilité scripturale des matières biologiques, tenir à jour tous les achats de matières premières biologiques et les ventes de pains (cahier entrées et sorties matières).

Se soumettre à un contrôle sur rendez vous et un contrôle inopiné effectué par un organisme certificateur agréé par l'état. L'utilisation de l'appellation biologique n'est possible qu'après réception de certificat de transformateur agréé de la filière biologique.

Il convient aussi de respecter les règles d'étiquetage.

L'auditeur meunerie-boulangerie d'un organisme certificateur très connu, indique que les artisans boulangers conventionnels estiment que cela représente des contraintes excessives au vu des volumes de pains bios vendus. Les coûts moyens annuels se situent entre 500 et 700 euros. Le coût est fonction du nombre de références certifiées ainsi il arrive qu'un boulanger vende un pain qui répond aux exigences du cahier des charges sans être identifié AB. Par ailleurs l'un des minotiers consultés, estime que le coût de la certification est amortissable à partir de 6 quintaux de farine bio panifiée par mois. Malgré l'obtention de coûts négociés par certains meuniers auprès d'organismes certificateurs peu d'artisans boulangers offrent des pains biologiques. Un témoignage fait état du fait que l'auditeur de l'organisme certificateur est perçu par le boulanger comme un « inquisiteur » qui n'apporte pas forcément de conseils ou d'aide face à une situation de dysfonctionnement. Un autre minotier nous signale un durcissement des contrôles et le fait qu'en artisanat le contrôle inopiné est plutôt mal perçu.

A la question « Est ce que le logo AB est un élément déterminant dans l'acte d'achat ? » la majorité des enquêtés répondent « Notre pain est bio mais c'est avant tout parce qu'il est bon que les gens l'achètent ». De plus le logo AB est parfois perçu défavorablement (réputation de produit cher, alimentation de type sectaire, logo non fiable).

◆ *Forte demande du secteur de la grande et moyenne distribution*

Le nombre de points de vente de pain bio en moyennes surfaces a beaucoup progressé ces dernières années à la fois sur volonté stratégique de ces différentes sociétés d'offrir du pain bio dans leur gamme mais aussi grâce aux nouvelles technologies. En effet la possibilité de se faire livrer en pain bio précuit simplifie la remise en œuvre. De plus la traçabilité du flux de pain bio est parfaitement identifiable et par conséquent le coût de la certification est allégé.

10 Clientèle

Aux questions relatives à la typologie de la clientèle, les boulangers indiquent une très forte proportion de femmes qui sont des lectrices de revues comprenant des articles sur la diététique ou sur des nouveautés telles que le pain d'engrain ou de Kamut®. Les entreprises spécialisées dans la vente sur les marchés font état d'un attachement important des clients à leur fournisseur, en d'autres termes d'un haut niveau de confiance. Toutefois l'offre grandissante en pains bio génère une plus grande volatilité de la clientèle qui est contrée par une volonté de renouvellement de la gamme du boulanger bio.

Les enseignants sont identifiés comme une catégorie fortement représentée, tout comme les professions de santé, les femmes enceintes et les retraités. Les végétariens, les végétaliens et les adeptes d'une alimentation macrobiotique sont aussi des consommateurs réguliers. Plusieurs boulangers bios font état de livraisons journalières dans des restaurants étoilés parfois même dans des palaces, en indiquant que la qualité supérieure du pain en terme de goût prime sur la mention AB (qui ne sera pas forcément mise en avant).

Les principales motivations d'achats sont la qualité, le goût, la santé (moins allergisant, moins de résidus de pesticides), l'adhésion au concept d'agriculture protectrice de l'environnement.

La clientèle des boulangeries bio est très informée très curieuse, elle ne trouve pas toujours les réponses précises à ses questions auprès du personnel de vente de la boulangerie artisanale. De plus les producteurs qui fabriquent exclusivement du pain bio ont un discours plus étoffé, même si sur certains points les assertions ne sont pas toujours étayées scientifiquement. Le pouvoir de conviction est nettement plus fort chez les boulangers 100% en bio.

11 Tendances

Les caractéristiques initiales du pain bio : pain dense, mie sombre, consistance ferme, goût acidulé, longue conservation) ne suffisent plus aux nouveaux consommateurs. Les formats boule et pains moulés semblent en recul. Les boulangers bios les plus dynamiques ont apporté la preuve qu'il était possible de fabriquer intégralement en bio l'essentiel de la gamme de la boulangerie française. Nous observons également une nette amélioration de l'aspect extérieur des pains. Les nouveaux consommateurs urbains ne comprennent pas forcément les réticences de certains boulangers bio à produire des baguettes. Les réticences tiennent pour l'essentiel au fait qu'en farine T80 et fermentation au levain pur le format baguette donne une croûte à la croustillance éphémère et une mie dense. Nous notons l'émergence d'une nouvelle génération de boulangers bio qui produisent des pains bio avec des farines de type 65ensemencées avec de faibles doses de levure et avec une préfermentation type « poolish ». Ceci permet de produire un pain bio plus aéré (masse volumique inférieure à 0.30 g/cm³) et plus doux consommable chaud. Le consommateur trouve désormais des brioches bio qui rivalisent en aspect extérieur avec des brioches conventionnelles. La notion de plaisir gustatif dans le pain bio grignote les arguments historiques santé. Le nombre de points de vente de pains bio augmente sensiblement. Dans de grands centres urbains quelques artisans boulangers « haut de gamme » procèdent à des créations de boulangeries 100% bio.

12 Fabrication ménagère de pains bio à partir de farine bio sachet achetée et machines à pain

La production de pains biologiques à domicile connaît depuis quelques années une très forte progression. En témoignent les ventes de farines biologiques en sachets de 1, 5, 10 kilogrammes soit directement au moulin, soit dans les magasins spécialisés. L'essor de la vente des machines à pain très bon marché et la volonté de produire son pain à moindre coût soi-même sont les principales raisons avancées par les meuniers. L'offre en farines bio pour fabrication ménagère de pain s'est élargie (spontanément les particuliers demandent souvent de la farine complète, certains meuniers ré-orientent ces consommateurs vers un type 80). Ces consommateurs trouvent également sur les linéaires des levains déshydratés bio et toute la gamme de graines boulangères bio.

13 Concurrence très forte

Les producteurs de pains bio sont confrontés à une forte créativité des boulangers conventionnels mais aussi à leur ré-appropriation de la méthode de panification au levain (succès des méthodes de fabrication sur levain liquide, arrivée des fermenteurs). De plus la vogue récente des farines de type 80 en boulangerie conventionnelle citons par exemple la campagne récente d'un moulin parisien « La 80 c'est que du bien ». De plus certains

boulangers industriels proposent désormais pains bio (pas forcément au levain), des pains de mie bio (type 65) et des brioches bio. L'offre en produits de boulangerie bio s'est donc considérablement étoffée tant au niveau des références (large gamme) que des types de points de vente (supérettes).

De plus on assiste à l'éclosion de très nombreuses formules de vente directe de pains produits à la ferme telles que par exemple les AMAP (association pour le maintien d'une agriculture de proximité). Ces pains fermiers ou paysans (non automatiquement certifiés AB) amplifient le sentiment de concurrence exacerbée perçu par plusieurs boulangers bio rencontrés. La gamme offerte par de telles structures est généralement nettement plus limitée. La production journalière d'une structure de ce type est estimée à 300 kg de pain sachant que la plupart du temps elle fabrique seulement deux jours par semaine.

14 Profil des boulangers bio et peu de formations spécifiques

La majorité des boulangers produisant 100% de leur fabrication en pain bio ne sont pas des boulangers diplômés ayant suivi les filières classiques de formation. La plupart d'entre eux proviennent d'horizon divers (militant écologiste, ex ingénieur de chez PSA, cuisinier, membre de communauté macrobiotique, informaticien etc.), il s'agit souvent de choix de reconversion mûrement réfléchi.

Ces personnes souvent passionnées par la fermentation spontanée du levain pur travaillent à l'intuition, au ressenti sans aucun des carcans de la boulangerie conventionnelle. Ceci conduit parfois à des pratiques déroutantes mais éprouvées.

Compte tenu du fait qu'il n'existe pas dans les structures actuelles de formation en boulangerie (CFA, INBP, écoles privées) de stages spécifiques à la production de pain bio ou à la conduite de fermentation au levain pur ces boulangers autodidactes pratiquent une « boulangerie instinctive ».

Certaines structures GAB, associations d'agriculteurs, association de défense des semences paysannes organisent des stages de formation à la boulangerie biologique. Le tutorat est une formule très répandue dans différents réseaux. La transmission gratuite de souche de levain est une pratique traditionnelle.

Toutefois certains boulangers bio (P. Delton, J. Mahou, etc.) ont obtenu des agréments pour pouvoir proposer différentes formules de formation à la boulangerie bio, ils proposent des contrats de qualification sur six à neuf mois. Par ailleurs des personnalités du secteur telles que Jan Demaître ont vu de nombreux de leurs anciens ouvriers s'installer. Certains boulangers bio reconnus proposent également des consultances soit auprès d'artisans soit auprès d'industriels en France et à l'étranger.

Les principaux moulins spécialistes dans les farines biologiques proposent à la fois des stages à la boulangerie du moulin et des démonstrations chez le client.

Citons enfin le travail de fond sur la panification de pain bio au levain effectué depuis 1991 par l'association belge A.S.B.L . Bio Panem de Marc Dewalque qui publie régulièrement des dossiers techniques sur différents sites internet dont www.boulangerie.net.

2) ELEMENTS DE DIFFERENCIATIONS EN TERMES DE MATIERES PREMIERES ET DE DIAGRAMMES DE FABRICATION

a) Matières premières

1 Farines

	Technologies de mouture	Volumes	Utilisation	Appellation correspondante
Type 45	Cylindres	Existe en sachet en bio cylindres, (fabrication marginale)	Utilisation pâtisserie	
Type 55	Cylindres, Abrasion et cylindres	Bio cylindres, demande émergente	Panification Utilisée en viennoiserie	
Type 65	Cylindres, Soder + cylindres	Dite économiquement irréaliste en meules, forte progression en cylindres	Utilisation croissante en viennoiseries, en pain bio à mie claire	Pain dit blanc, baguettes bio, pain de campagne
Type 80	Meules, cylindres	Farine la plus demandée en bio, en progression	Sert de base à de nombreuses fabrications (pains aux graines, pains dits spéciaux)	Pain de campagne, pain bis
Type110	Meules, Cylindres	Farine historiquement la plus recommandée en bio désormais en recul		Pain semi complet, Pain complet
Type 150	Meules, Cylindres avec étape de réduction des gros sons	Farine en net recul, considérée comme difficile à panifier		Pain complet, pain intégral

Tableau 2 : types de farines biologiques utilisées

L'attachement historique des producteurs de pains bio aux types officiels de farine est surprenant car il s'agit d'une classification purement technique et à priori peu familière au consommateur. Notons également une certaine confusion liée à des appellations commerciales faisant références à des type 70 et type130 en farine de blés qui sont pure invention.

Les principales appellations telles que pain bis ou campagne, mi complet, complet, intégral ne se réfèrent pas toujours à un code des usages bien précis. On voit bien ici l'ambiguïté de certaines appellations, un pain complet devrait être en toute logique intégral. Les types de farines ne conduisent forcément à des teintes de mie bien précis compte tenu des variétés de blés écrasées. De plus le procédé de mouture retenu (meules ou cylindres) impacte la rhéologie de la pâte et le coloris de la mie tout comme le procédé de fermentation « il faut de la protéine longue car le travail au levain raccourcit les pâtes ».

Le phénomène majeur tient dans un renouvellement complet de la gamme de pains bio avec (chose impensable pour les puristes des années 1970) du pain blanc bio. On assiste donc à une

progression des farines bio T65 cylindres pour répondre à une demande forte de pains bio plus clairs, moins denses, (la type T65 est jugée irréalisable pour des raisons économiques en procédé mouture par meules). Les productions industrielles de pains de mie, de biscottes, de pains grillés et de brioches bio sont majoritairement effectuées sur farines T65 cylindres. Les volumes de T80 commercialisés semblent céder du terrain au profit de la T65.

Concernant les teneurs en protéines des farines biologiques il apparaît que les boulangers bio peu mécanisés sont en mesure de panifier sans difficulté des farines à 10,5 % de protéines voire moins et ceci d'autant plus que les exigences de masse volumique et de tolérance sont faibles. Il en va tout autrement des boulangers bio utilisant un niveau de mécanisation supérieur (pétrissage plus intense, façonnage mécanique, cuisson retardée par le froid). Dans ce cas les exigences qualitatives sont renforcées. Un déficit de protéines favoriserait les croûtes dures.

Certaines pratiques se distinguent radicalement de la boulangerie conventionnelle ainsi certains boulangers bio panifient des farines moulues depuis moins de 48 heures afin, disent ils, de bénéficier du maximum de vitalité (courant Kousmine).

Signalons en mouture cylindres des savoir faire spécifiques concernant les farines intégrales (en terme de granulométrie fine de la fraction sons). Utilisation de blé concassé résultant du premier broyeur en mouture cylindre pour certains pains complet et ou intégraux. La méthode avec trempage préalable préconisée par C. Rémézy a été appliquée dans la fabrication du le pain « Bonébel ® » pour la première fois à grande échelle en Loire Atlantique fin 2005.

Enfin il est clair que l'intérêt prononcé des consommateurs de pains bio pour des pains fabriqués à partir de farines provenant d'ancêtres du blé dur Kamut® et Khorazan et du blé tendre, obligent les boulangers bio à repousser les limites du terme « impanifiable ».

2 Eau

La qualité de l'eau est un sujet récurrent en boulangerie bio particulièrement dans les régions où les nappes phréatiques sont particulièrement polluées et où l'eau des réseaux est critiquée par l'opinion publique.

♦ Purification

Les boulangers bio sont très sensibles à la qualité des eaux qu'ils utilisent certains en font même un élément de différenciation (eau de montagne par exemple). Comparativement aux usages en boulangerie conventionnelle ils sont nombreux à purifier leur eau. Différents systèmes sont mis en œuvre : filtres à charbon, traitement par osmose inverse. Le type de traitement de l'eau est fréquemment mentionné sur les emballages.

♦ Caractéristiques qualitatives

Eau de source, eau de puits, eau de montagne, eau filtrée vitalisée par des vasques spiralées les variantes sur cette matière première jugée cruciale en bio, ne manquent pas. Les protagonistes de la fermentation au levain pur assurent qu'il est impératif de purifier l'eau afin d'optimiser la fermentescibilité de la pâte. Bien que très vraisemblable aucune étude comparative ne permet de recommander tel traitement plutôt que tel autre. Le fait que le degré hydrotimétrique de l'eau, son niveau de minéralisation, son PH impactent la panification est indéniable.

3 Sel

Le sel utilisé en boulangerie est à 95% un sel marin. Il est très majoritairement non raffiné (gris) et se présente soit sous forme de gros sel préalablement dissout dans l'eau soit sous forme de sel fin. Sa provenance est essentiellement française (sel de Guérande, de Noirmoutier etc.) la mention sel gris de l'Atlantique signifie parfois une origine portugaise ou espagnole. Les doses utilisées sont plus faibles qu'en boulangerie conventionnelles (1.5 à 1.8%) par rapport à la farine. Dans le cas de fermentation au levain pur selon la méthode dite « travail sur pâte », le sel est introduit dans le pétrin après le prélèvement du chef pour la fournée suivante.

4 Levure de panification

Historiquement bannie des fournils fabriquant du pain au levain pur par crainte de (mélange involontaire) la levure de boulangerie effectue une modeste percée dans les fournils bio. La définition du pain au levain dans le décret pain du 13 septembre 1993 tolère un apport de 0.2% de levure au stade pétrissage final. Elle est également utilisée avec parcimonie dans les fabrications de pains bio sur « poolish », afin d'obtenir des pains type baguette ou pain de mie mieux alvéolés à parois plus fines. Enfin sur les quarante fournils visités seuls trois fournils produisent brioches et viennoiseries sans avoir recours à la levure de boulangerie. Tous les autres indiquent que la viennoiserie au levain pur donne des produits très denses et trop acidulés. Nous avons observé un intérêt marqué de certains boulangers bio pour une levure d'origine suisse, plus rustique, spécifiquement élaborée pour entrer dans la fabrication de pains et viennoiseries biologiques. Tout comme la levure de panification classique elle est commercialisée sous forme fraîche ou sèche.

5 Produits d'addition

L'annexe 6 de la directive européenne sur les additifs pour denrées alimentaires autorise dans certaines conditions l'emploi d'additifs. Les fabricants de pains issus de l'agriculture biologique peuvent ou non y recourir selon leur sensibilité mais aussi selon les contraintes inhérentes aux circuits de distribution. Ces produits qu'ils s'agissent d'auxiliaires technologiques tels que la poudre de gluten de blés bio, d'enzymes sont souvent considérés comme indispensables en configuration industrielle. Le malt d'orge ou de blé sont des auxiliaires potentiels. La farine de fève ou de soja n'ont jamais été citées lors de nos visites de fournils. Notons que l'acide ascorbique E300 est parfois remplacé par l'acérolat. Certains acidifiants sont utilisés comme substituts de l'acidification naturelle induite par la conduite de fermentation au levain. La très grande majorité des producteurs de pains bio visités n'utilisent aucun produit d'addition. L'utilisation de farine pure froment sans aucune correction en enzymes fongique ni en additif peut être considéré comme un élément de différenciation majeur de la boulangerie bio.

6 Autres matières premières

L'évolution vers les fabrications de pains bios à connotation « gourmande » oblige les fabricants à se procurer d'autres ingrédients tels que lait, œufs, beurre, raisins, olives noix noisettes etc. Les professionnels rencontrés ne mentionnent pas de difficultés particulières d'approvisionnement, ils évoquent par contre un surcoût de l'ordre de 25 à 50%.

3) ELEMENTS DE DIFFERENCIATIONS EN TERMES DE SAVOIR FAIRE ET DE DIAGRAMMES DE FABRICATION

Comme indiqué précédemment utilisation très parcimonieuse de balances et non recours à des indicateurs objectifs tels que minuteur et thermomètre « je ne mesure rien et pourtant mon pain a du goût ». Nous notons le refus de se laisser dominer ou enfermer par la technique et volonté de mieux comprendre les réactions de la pâte. Les masses volumiques sont élevées comparativement aux produits de la boulangerie conventionnelle et parfois même supérieures à 0.40 g/cm³.

a) Formulation

Concernant les formulations nous observons la volonté de manipuler des pâtes de consistance molle. L'un des boulangers visité qui pétri à la main annonce des taux d'hydratation de 91%. Les ordres d'incorporation des ingrédients sont variables. De nombreux boulangers bio procèdent à des frasages avec incorporation tardive voire très tardive du solde de farine.

b) Procédés de fabrication pains bio et niveau de mécanisation

Beaucoup d'opérations unitaires du processus sont en manuel donc elles offrent la possibilité de s'adapter à des farines de valeur boulangères jugées faible ou moyenne en boulangerie conventionnelle. Majoritairement les boulangers bios sont partisans d'un très faible niveau de mécanisation l'argument principal étant de dire « cela m'éloigne de la nature » ou « cela abîme la pâte ».

A noter que les entreprises spécialisées, dont le niveau de mécanisation est conséquent fonctionnent sous assurance qualité, appliquent une gestion de production sous HACCP et IFS. Elles apportent la preuve qu'il est possible de changer d'échelle dans la production des pains bio.

1 Levain naturel pur

Souvent qualifiée de fermentation au levain naturel (dénomination attestée dans les manuels de boulangerie et qui irrite la DGCCRF) la conduite de fermentation au levain pur est sans conteste une méthode ancestrale de fabrication, très exigeante, essentiellement sauvée de la disparition par les boulangers bio. Seuls deux descriptions méthodiques existent au vingtième siècle, celle de R. Calvel dans l'ouvrage « Les succédanées en panification » et celle de J. Buré dans le livre du CNERNA de 1962 « La qualité du pain ». Les souches sont démarrées de différentes manières : hydratation d'une farine peu raffinée avec de l'eau de trempage de raisins secs ou de différents fruits (pommes, oranges) non traités, voire du cidre. Des pratiques spécifiques ont été relevées telle celle de D. Saibron qui élève une souche de levain sur une culture à base de miel et de quelques épices (miel, cannelle, anis, réglisse). Certaines souches sont maintenues depuis 10 voire 30 ans, d'autres dépérissent et sont remplacées par de nouvelles ou empruntées à un collègue.

Le chef (nom donné à la souche mère) nécessite des repiquages ou rafraîchis à intervalles réguliers afin de maintenir le subtil équilibre entre les bactéries lactiques et les levures sauvages. Ce mode de fermentation malgré la grande diffusion de froid artificiel dans les fournils nécessite une grande rigueur d'exécution afin de ne pas générer des pains excessivement acides (défaut principal de cette méthode lorsqu'elle est mal maîtrisée). D'autre part cette méthode dans laquelle le boulanger est son propre fabricant d'agent levant nécessite des durées de pointage et d'apprêt relativement longues par rapport à un travail avec une dose de levure de l'ordre de 2.5%.

◆ Consistance pâteuse

Les levains de consistance pâteuse sont les plus utilisés en France, ils sont faciles à manipuler et à stocker. Le choix de la consistance de la pâte permet en outre d'accélérer ou de retarder l'action des ferments. Enfin ils sont réputés plus faciles à observer en cas de dérive qualitative. Les concentrations de levain pâteux varient énormément en fonction des préférences des boulangers bio elles se situent entre 5% et 30% de la masse totale de pâte. Les valeurs les plus courantes sont comprises entre 15 et 20 % l'été et entre 20 et 30% l'hiver (chiffre exprimé par rapport à la masse totale de pâte pétrie).

◆ Consistance liquide

Depuis 1995 et la commercialisation des appareils dits fermenteurs l'utilisation de levain liquide connaît un certain succès en particulier chez les artisans boulangers issus des filières classiques de formation. Cette méthode moins contraignante en terme de suivi de la souche à l'avantage de permettre une réchauffe ou au contraire un refroidissement facile et rapide du milieu. Cette méthode qui a la réputation de donner des pains moins acides, est employée par 7.5% des boulangers visités.

2 Levain naturel avec 0.2% de levure

L'utilisation d'un faible pourcentage de levure de boulangerie dans la méthode citée ci-dessus permet de sécuriser la levée et de ne pas devoir supporter des durées de fermentation excessives et par conséquent préjudiciable en termes de goût. Cette tolérance semble plus utilisée en boulangerie mixte (conventionnel et bio).

3 Starter de levain, « pain à base de levain »

L'existence de starters de levain revivifiable disponibles sur le marché depuis une quinzaine d'années permet de disposer en une trentaine d'heures d'un levain prêt à l'emploi grâce à une inoculation d'une microflore parfaitement connue et maîtrisée. Les avantages consistent en un gain de temps (réalisation d'un seul levain). Cette formule très contrôlée et fiable intéresse tout particulièrement l'industrie.

4 Levain liquide commercial

Notons enfin l'existence de levain liquide ou crème de levain certifiés AB et directement utilisable dans la cuve du pétrin.

5 Préfermentation avec de faibles doses de levure (poolish de 50%)

Certains producteurs de pain bios soucieux d'offrir un pain « doux » utilisent une préfermentation ensemencée avec une dose minime de levure (de l'ordre de 2 grammes de levure au litre d'eau). Ceci permet de produire des pains bio plus neutres et de masses volumiques plus faibles (pain plus aéré) que le travail au levain. Ce type de fermentation est utilisé par plusieurs fabricants de pains bio produisant des baguettes bio de type 65.

6 Pain bio sur direct

Méthode la plus simple et pourtant la moins fréquente, la fabrication d'un pain bio sur direct (c'est à dire sans aucune préfermentation préalable) génère un pain assez fade qui sèche assez

rapidement. Les valeurs de PH de ce type de pain se situent autour de 5.80, elles sont très minoritaires dans notre panel (plus fréquent en GMS).

c) **Procédés en continu**

Les pains bio sont toujours fabriqués majoritairement avec des schémas de fabrication en continu c'est à dire sans ralentissement de la fermentation par du froid positif ou négatif et sans précuisson. Les principales caractéristiques des étapes unitaires sont les suivantes :

1 Pétrissage

♦ *Pétrissage manuel*

Il est surtout employé par des micro-boulangeries mais aussi (cas unique en France) par une entreprise panifiant 15 tonnes de farine mois ! Technique traditionnelle s'il en est, ses partisans argumentent sur l'oxydation minimale de la pâte. Différentes astuces technologiques sont employées : pâte très hydratée pour réduire l'effort du pétrisseur, recours au repos autolyse et multiples rabats. Les quantités pétries vont tout de même jusqu'à 70 kg de pâte.

♦ *Pétrissage mécanique*

Majoritairement sur pétrins à axe oblique mais soulignons une forte présence de pétrins à deux bras plongeants voir un seul bras plongeant. Quelque soit le type de pétrins les intensités de pétrissage retenus sont faibles. Quelques boulangers effectuent la première étape du pétrissage le « frasage » avant d'introduire le levain. Avec un pétrin axe oblique par exemple, la majorité des boulangers bio pétrissent quinze minutes en vitesse lente (40 rotations par minutes). Certains boulangers ajoutent environ deux minutes voire plus rarement cinq minutes de pétrissage à 80 rotations par minute (frein de cuve desserré) pour disent-ils « *lisser la pâte* ».

L'un des boulangers visité utilise un nouveau type de pétrin dut pétrin fermenteur conçu par M. Loiselet.

Plusieurs boulangers bio qui utilisent des variétés de blé anciennes, pratiquent un pétrissage alternant deux à trois courtes séquences de repos entre des phases de pétrissage ils perpétuent ainsi une pratique attestée au tout début de l'utilisation des pétrins mécaniques.

Une autre façon de favoriser une hydratation en profondeur des parties protéiques de la farine consiste à recourir au repos autolyse (arrêt du pétrissage d'une durée variable 20 minutes et plus entre la fin du frasage et la poursuite du pétrissage). Objectif optimiser l'hydratation de tous les constituants de la farine sans travail mécanique par capillarité, il y a ainsi une moindre oxydation de la pâte.

2 Pointage

Le pointage ou repos en masse de la totalité de la pétrissée est systématique en boulangerie bio. Sa justification est double amélioration de la rhéologie de la pâte au vu de la faible intensité de pétrissage et générations d'arômes. D'une durée de une heure trente à trois heures il est entrecoupé de un à trois rabats (espacés) qui servent à retendre le réseau protéique et ainsi à améliorer la tenue.

3 Pesées ou absence de pesées

80% des boulangers visités pèsent à la main (avec ou sans balance), 10% utilisent des diviseuses hydrauliques et 10% utilisent des diviseuses industrielles à gros débit capables de

traiter des pâtes correctement hydratées et conçues pour limiter l'agression sur la pâte. Certaines disposent d'une option de boulage mécanique

4 Détente

Seulement 20% des fournils visités disposent de balancelles permettant un repos des pâtons sur des goulottes en feutre. Il est vrai qu'en situation de pesée manuelle la durée de détente peut être notablement réduite.

5 Façonnage

Le façonnage manuel de gros formats de pain est toujours majoritaire. Nous avons été frappés par le soin apporté à cette étape en particulier en cas de fermentation au levain pur. L'objectif consiste à dégazer au minimum tout en resserrant la pâte (les ouvriers boulangers formés en conventionnel ont la réputation de trop brutaliser, de trop dégazer la pâte au façonnage)

Une certaine opposition à la façonneuse mécanique jugée trop agressive sur le réseau protéique de la pâte. Toutefois les gros ateliers de fabrications de pains bio utilisent différents types de façonneuse.

Par ailleurs l'émergence d'une forte demande de petits pains individuels et en baguette bio change la donne puisqu'elle allonge la durée de façonnage d'une pétrissée. Le nombre de façonneuses est très faible (nous avons compté 5 façonneuses sur 40 fournils).

6 Apprêt

La durée de l'apprêt est bien évidemment fonction de la concentration de levain et ou de levure et de la température. Nous notons un consensus sur le fait de ne pas brusquer l'apprêt en ayant recours à des températures de fermentations toujours inférieures à 25°C. Les étuves sont de tous types depuis l'étuve bricolée avec un convecteur électrique jusqu'au tunnel de fermentation dernier cri.

Tous types de supports de fermentation sont utilisés :

- Des toiles de lin pour les petits formats
- Des bannetons en osier pour les pains ronds et longs de plus gros formats. Avantage maintient latéral de la pâte et objet traditionnel.
- En moules métalliques, pratique initiale des pains dits naturels. Les avantages résident dans le maintien latéral qui garantit une tenue correcte à l'enfournement, une moindre perte en eau à la cuisson et un format de parallélépipède pratique pour trancher et toaster. Avantages des moules moindre perte d'eau pendant la cuisson donc mie plus humide séchant plus lentement, moins de croûte, tartines sans gros trous, facile à trancher et à toaster.
- En barquettes bois
- Sur système permettant un enfournement rapide (type Panimatic®)

7 Enfournement

L'enfournement et la scarification sont effectués majoritairement à la pelle mais aussi au tapis enfourneur voir à l'aide d'un automate gérant une trentaine de soles de cuisson. Le point critique consiste à disposer d'une tenue suffisante gage d'un bon développement du pâton dans les premières minutes de cuisson. Les variétés de blé faibles en protéines présentent parfois des faiblesses qui sont dans certains cas compensées par l'effet de sole

particulièrement efficace des fours maçonnés. Nous avons par ailleurs observé de faibles niveaux de levée lors de la mise au four des pâtons fermentés au levain pur. L'essentiel de la levée (expansion inférieure à un facteur 2 durant l'apprêt) s'effectuant au four. L'en grain présente en fin d'apprêt une surface de pâton extrêmement poreuse.

8 Cuisson

Par le passé le lieu d'installation d'un boulanger bio était souvent conditionné par l'existence d'un four à bois dans un fournil abandonné. (Houguet, Brillon). De nombreux boulangers bio construisent eux même leur four à bois, il faut signaler un énorme attachement à la cuisson au feu de bois.

100% des fournils visités utilisent des fours à sole fixes disposant d'une épaisse sole réfractaire. Les fours maçonnés sont très populaires. Pour les gros formats la cinétique de cuisson est dite tombante : enfournement à four chaud 250°C à 270°C puis lente descente vers 180°C permettant une cuisson en profondeur. Les fours modernes permettant d'avoir plus de buée permettent des croûtes plus fines ce qui est apprécié en ville.

Les micro-boulangeries bio s'équipent en fours métalliques ronds à sole tournante de type Soupart. En cas d'augmentation de la production un second voire un troisième sont installés. Nous avons observé que les fours métalliques à étages à chauffe par tubes annulaire sont également très appréciés.

9 Tranchage

Le tranchage des pains bios presque toujours optionnel est assez peu répandu excepté dans les hyper marchés. La demande en pains tranché sur les marchés est négligeable sans doute parce qu'elle amplifie le rassissement de pains qui, pour un grand nombre, sont consommés sur plusieurs jours.

10 Emballage papier ou plastiques

Les emballages des pains bios sont essentiellement en papier avec parfois une fenêtre transparente. Traditionnellement la clientèle de pain bio fait preuve d'une certaine réticence vis à vis des emballages plastiques. Ceci est moins vrai depuis l'essor des pains bios pré-cuits. On note l'intérêt écologique d'Ecolobag® en amidon de maïs 100% biodégradable et 100% compostable utilisé par Lemaire).

d) Procédés avec cuisson différée

En progression à la fois pour des raisons d'organisation du travail et de diminution des heures de nuit mais aussi afin de répondre à une demande de plus de fraîcheur des produits (niveau de rassissement minimal lors de l'achat). 38% des fournils sont équipés.

1 Pousse lente

La pousse lente qui consiste à stocker des pâtons façonnés à une température positive de l'ordre de 8 à 12°C a pris un essor certain. Elle a la réputation de ne pas pénaliser le goût du pain voire même d'être profitable. Cette technique qui nécessite l'acquisition d'un meuble de fermentation réfrigéré disposant d'un système d'humidification est très appréciée, elle se traduit par une plus grande précision dans les températures de conduite de fermentation.

2 Pousse contrôlée

La pousse contrôlée ou bloquée permet un séjour plus long des pâtons façonnés car la première phase consiste à stocker la pâte à une température de l'ordre de 5°C puis après 12 voire 24 heures à provoquer une lente remontée en température qui réactive la fermentation. Les croûtes de ces pains bio sont plus foncés, parfois reconnaissables à de minuscules cloques. La mie est légèrement plus foncée qu'en travail direct. Les niveaux d'acidité sont comparables au travail en direct. Pousse lente et plus encore pousse contrôlée nécessitent des farines tolérantes.

3 Précuison

La précuison permet de scinder l'étape de cuisson en deux de manière à rigidifier le pain sur le lieu de fabrication puis à le transporter sur le lieu de vente où sera effectuée le complément de cuisson souvent devant le client. Différentes variantes existent :

Le précuit frais qui ne nécessite aucun équipement particulier, il permet de stabiliser des pains quelques jours si on les stocke au froid. Cette méthode intéresse les artisans qui ne vendent que quelques pains bios par jour.

Le précuit congelé est mis en œuvre à la fois en artisanat et en industrie. L'avantage consiste à disposer de pains stabilisés commercialisables par exemple en moyennes surfaces ou encore à l'export. Les sociétés de vente de produits surgelés en service de livraison à domicile commercialisent de tels pains bios.

Le précuit sous gaz neutre sans conservateur est commercialisé depuis 1995 est un pain « longue conservation ». Les clients qui ne font que la finition de cuisson doivent être certifiés mais il s'agit d'une certification au coût allégé. Cette formule intéresse les points chauds de GMS. « *Le précuit fait sortir le pain bio du gettho* » dit un spécialiste de la technique.

e) Procédés de fabrication de viennoiseries bio

La demande en viennoiserie bioprogresse. Un boulanger bio installé depuis dix ans en centre ville, et farouchement opposé à la présence de levure de panification dans son fournil, estime néanmoins que l'absence de viennoiseries dans son magasin devient un handicap et dans une moindre mesure dans la vente sur les marchés.

- La viennoiserie et les brioches sur levain (seulement 2 producteurs sur les 40 visités) nécessite de disposer d'une souche non pénalisée par la teneur en sucres de ces produits. Les facteurs de durée de fermentation et de niveau d'acidité dans le produit sont critiques.

- La viennoiserie et les brioches élaborées à la levure en méthode artisanale, ou en méthode industrielle, ne pose pas de problème particulier si ce n'est de disposer d'une farine suffisamment forte. Ce point est encore plus crucial si les viennoiseries sont congelées crues pour des raisons d'organisation de production.

f) Procédés de fabrication de pains de mie, de biscottes et de pains grillés biologiques

Ce secteur quoique peu connu est conséquent. Les farines utilisées sont essentiellement des farines cylindres de type 65 (parfois avec abrasion préalable). Nous ne notons aucune différence de procédé de fabrication significative par rapport aux produits conventionnels. Le recours à l'acide ascorbique E300 et à la lécithine E322 semble assez fréquent. Concernant les produits de panification sèche, il peut toutefois y avoir de nécessaires adaptations de la

conduite de grillage compte tenu de la structure de mie légèrement plus dense donc plus difficile à déshydrater.

4) SPECIFICITE DES PAINS BIOLOGIQUES

Les pains biologiques présentaient de notables différences avec les pains conventionnels lorsqu'ils étaient systématiquement issus de farines au minimum de type 110 tout particulièrement en mode mouture meules de pierre. Aujourd'hui dans un contexte où 70 à 80% des farines bios commercialisées appartiennent aux types 65 et types 80 la différenciation avec les pains conventionnels est moins nette. En 1999 Raymond Calvel rédigeait un éditorial intitulé : Les pains bio seraient-ils plombés ? Cette assertion est toujours d'actualité auprès de nombreux artisans boulangers qui considèrent que de nombreux pains bio sont des « *étouffés chrétiens* ».

a) Aspect extérieur

Pour l'essentiel les pains issus de l'agriculture biologique et tout particulièrement ceux qui sont moins raffinés que les pains conventionnels présentent des aspects extérieurs plus ternes, des sections transversales légèrement plus plates (pains non moulés). Les scarifications sont généralement moins ouvertes qu'avec les produits conventionnels, les coups de lame plus déchirés. L'épaisseur de la croûte est généralement plus épaisse qu'en conventionnel compte tenu du mode de cuisson dominant. Nous notons chez la majorité des boulangers bio un moindre attachement à un aspect extérieur précis et optimisé. A l'inverse on observe une recherche d'un aspect plus rustique souvent procuré par l'absence ou le recours à un façonnage volontairement approximatif. Le recours au farinage de la croûte est assez systématique. Les producteurs de baguettes bio se calent sur l'aspect extérieur des baguettes conventionnelles dites de tradition française. Même si le pourcentage de pains moulés en boulangerie biologique recule, il reste très élevé par rapport à la boulangerie conventionnelle, il peut atteindre 40% de la production chez certains fabricants.

b) Masse volumique ou densité.

	Nombre d'échantillons	Min	Max	Moyenne
Type 65 et 80	126	0,26	0,51	0,355
Baguette levain	9	0,322	0,419	0,37
Type 110 et complet	37	0,3	0,51	0,387
Engrain ou petit épeautre	18	0,4	0,66	0,508
Grand épeautre	3	0,34	0,45	0,39
Pain dit intégral	13	0,365	0,53	0,443
Pain au et de Kamut	16	0,36	0,69	0,507
Pain de Seigle	24	0,428	0,76	0,532

Tableau 3 : Masses volumiques des principales catégories de pains biologiques (en g/cm³)

Le tableau 3 met en évidence la très grande hétérogénéité des valeurs de masses volumiques exprimées en g/cm³. Il montre qu'à l'évidence les consommateurs de pains biologiques acceptent des pains particulièrement denses. Il est clair qu'au-delà de 0.40 la compacité de l'alvéolage impacte très fortement les propriétés de mâche, les propriétés d'imbibition. Il convient donc de trancher ces pains très finement. Les producteurs de baguettes au levain qui commercialisent simultanément des baguettes sur poolish obtiennent des masses volumiques

comprises entre 0.26 et 0.31, c'est à dire proches des baguettes dites de tradition française en boulangerie conventionnelle;

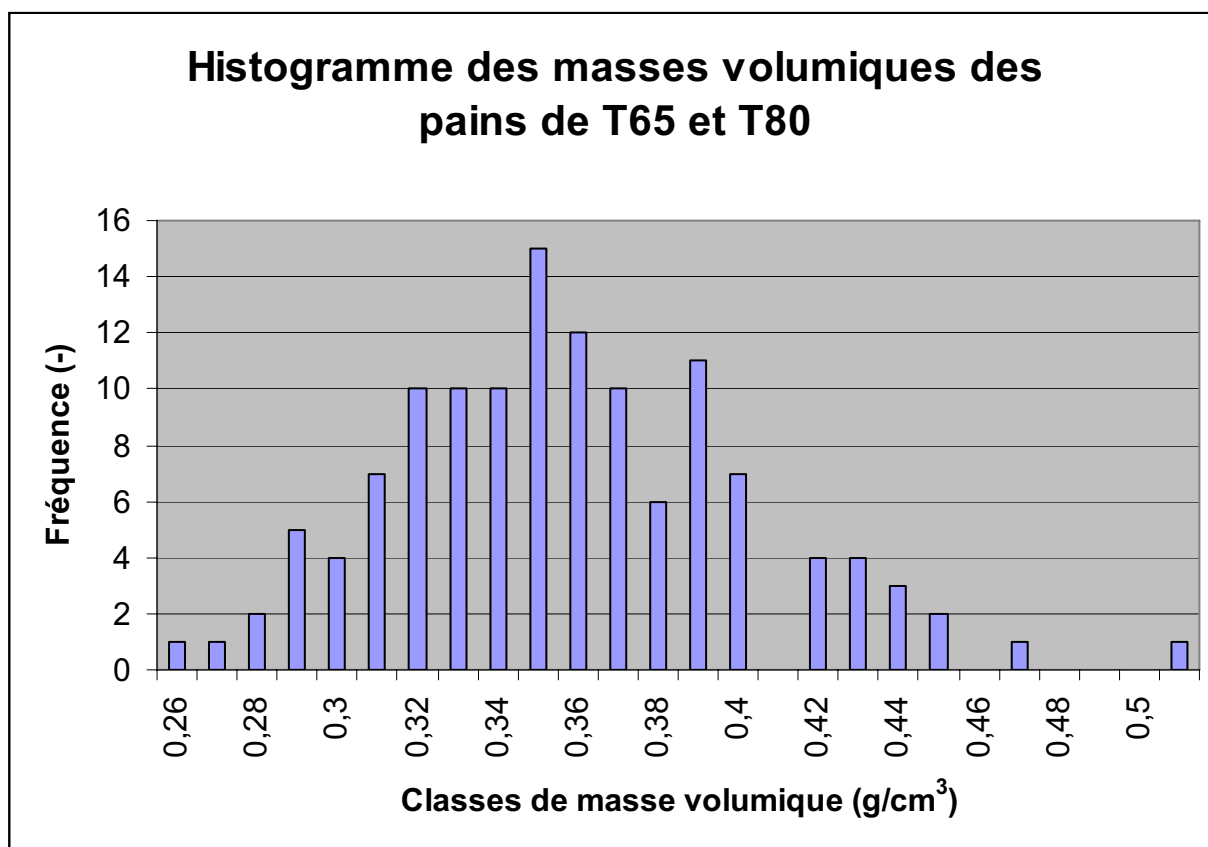


Figure 1 : Histogramme des masses volumiques des pains au levain de type 65 et type 80

Les pains de la figure 1 sont à 80% des pains issus de farines de type 80 meules et cylindres toutefois dans un certain nombre de cas les pains achetés ne comportaient pas de mention explicite du type de farine. Il est intéressant de mentionner que six des sept pains bio au levain dont la masse volumique est inférieure à 0.30 proviennent de chez des artisans boulangers de formation boulangère classique. Il est vraisemblable qu'ils appliquent une intensité de pétrissage supérieure au reste du groupe. Toutefois il apparaît que certains boulangers travaillant 100% en bio et pour certains d'entre eux avec la garantie qu'il n'est jamais entré un gramme de levure dans leur fournil obtiennent des masses volumiques de 0.30. Les boulangers les plus réguliers se situent toujours pour leur pain bio au levain à une valeur inférieure ou égale à 0.33. Sans préciser le type de farine utilisée (vraisemblablement une mouture cylindres) R. Calvel indiquait en 1975 une masse volumique de 0.25 pour un pain au levain naturel. On le voit les pains bio présentent, dans une catégorie donnée, une très grande hétérogénéité.

c) Fraîcheur

La majorité des pains bio vendus sur les marchés ou dans les magasins spécialisés sont fabriqués la veille, ils sont par conséquent majoritairement moins frais que les pains de boulangers conventionnels. En GMS, le précuit apporte une réponse et permet de proposer des produits d'une grande fraîcheur.

d) Texture de la mie

L'alvéolage de la mie des pains bio est fréquemment plus serré que celui des pains conventionnels néanmoins les fabricants qui maîtrisent bien les pâtes de viscosité plus faibles et la conduite de fermentation réussissent à produire des mies irrégulièrement alvéolées. Le grain de la mie est souvent plus rêche en relation avec des parois alvéolaires plus épaisses. La mâche du produit est donc plus ferme. L'utilisation de farines d'épeautre ou d'en grain génère par ailleurs des mies nettement plus friables.

e) Pouvoir d'imbibition dans un liquide

Comparativement à un pain à la levure la mie d'un pain bio possède une plus faible aptitude à l'imbibition dans un liquide. En d'autres termes cette mie « *sauce moins bien* »

f) Acidité

Bien que ce ne soit en aucun cas une obligation technologique, les pains au levain présentent généralement une acidité nettement plus marquée que les pains à la levure. Les valeurs de PH relevées sur 67 pains confirment ce positionnement, la moyenne étant de 3.93, la valeur minimale à 3.93 et la valeur maximale à 5.24. Les travaux en cours indiquent que les pains au levain ont des niveaux d'acidité totale titrable 4 à 7 fois supérieurs aux pains fermentés exclusivement à la levure. Au sein de la catégorie des pains au levain le niveau de TTA varie d'un facteur de 3.

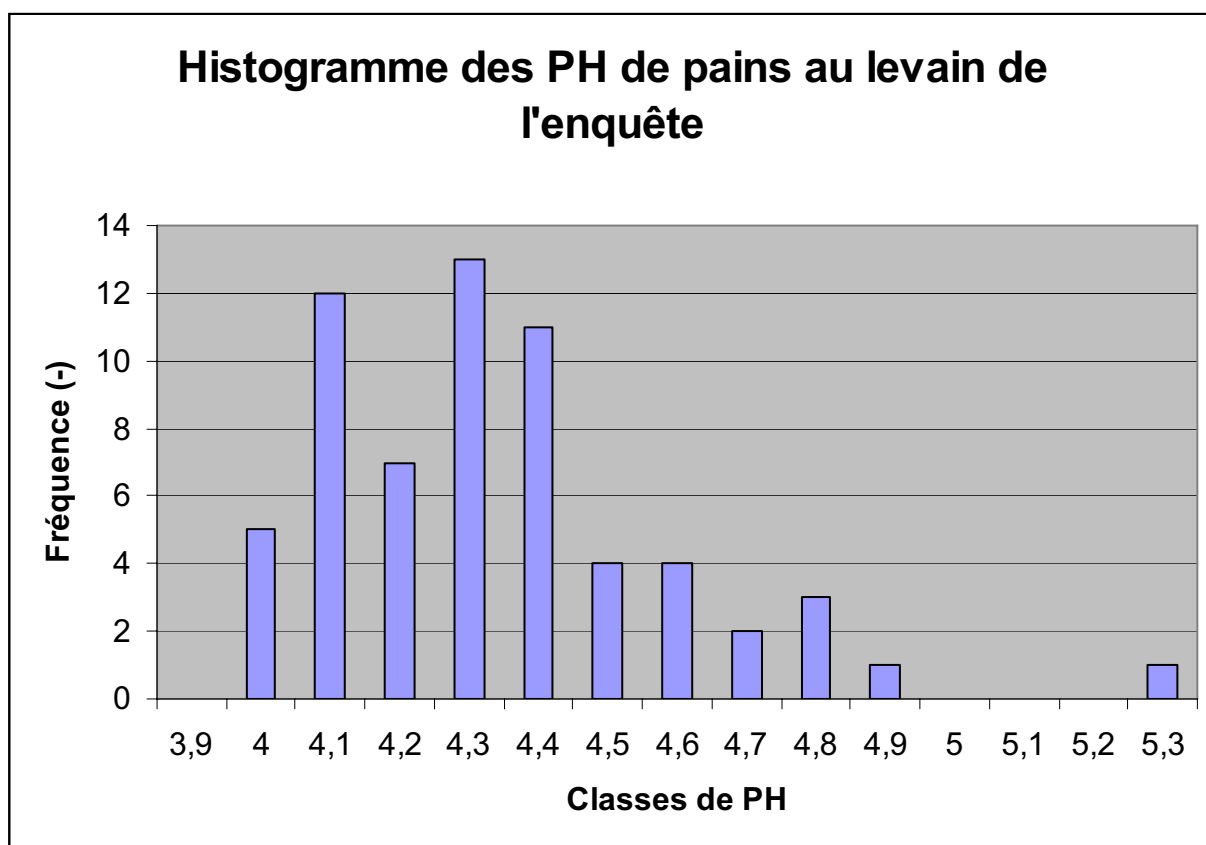


Figure 2 : Histogramme des PH de quelques pains au levain de l'enquête

g) Conservation

Les pains au levain ont la réputation de bien se conserver, toutefois à J+1 le niveau de fermeté des mies est loin d'être négligeable par contre on assiste à une stabilisation dans les jours

suivants. Les professionnels attribuent une supériorité aux farines de type 80 et au dessus, évoquant « une mie plus grasse » que dans le travail à la levure.

4.8 Principaux argumentaires figurant sur les emballages des pains biologiques

	ARGUMENTAIRES
Blé	Variétés de blés anciennes
	Silos et moulin entièrement dédiés aux produits de l'agriculture biologique
	Stockage et conservation des blés sans pesticides
Farine	Farines et graines issues de l'agriculture biologique contrôlée, Farine fraîche, farine 100% pur blé
Mouture	Mouture libérant tous les composants vivants de la graines dont le germe, mouture de pierre naturelle, mouture non échauffante, moulu doucement par des meules de granite, grain écrasé sans échauffement, farine de meule fraîches, Pain à la farine de meules bio
	Stockage au froid directement à la ferme
	Blé écrasé exclusivement à la meule de pierre, mouture exclusivement à la meule de pierre germe conservé entier
	Mouture à un taux de blutage préservant tous les éléments vitalisant du blé
Panification	Panification sur levain pur, panifié au levain pur, 100% levain Meilleure conservation du pain
Eau	Eau filtrée, Eau de source ou minérale, eau purifiée par osmose inverse, eau de source naturellement pure
Sel	Sel marin non raffiné « sel de Guérande », sel gris de l'Atlantique non raffiné, Teneur réduite en sel
Produits d'addition	Sans additifs, sans conservateur chimique, les pains issus de l'agriculture biologique résultent d'un travail excluant l'emploi de produits chimiques de synthèse et de pesticides
	Fabriqué exclusivement au levain, au levain pur, levain à l'ancienne, lève naturellement, levain bio à l'ancienne, fermentation naturelle acidifiante, levain spontané, panification au levain comme autrefois.
Pétrissage	Pétri lentement, pétrin imitant le geste manuel
Pesée	Pesé à la main
Façonnage	Façonné à la main
Fermentation	Fermentation lente, levée en atmosphère naturelle pendant plusieurs heures, pain longue fermentation, une fermentation longue de type lactique édifiant des arômes complexes, une saveur légèrement acidulée, une excellente conservation, la fermentation garde au pain son bon goût de froment, le rend plus digeste, plus sain et de bonne conservation
	Longue fermentation rendant fibres et minéraux facilement assimilables par l'hydratation des sons et la baisse de teneur en acide phytique
Cuisson	Pain enfourné à la pelle dans un four en briques à chauffe directe au bois, sole en pierre réfractaire, cuit au four à sole, four à bois chauffage indirect
	Pain biologique au levain pur cuit au feu de bois, cuit dans un four à sole en terre cuite pour lui donner une croûte épaisse et croustillante
Procédé de fabrication	Méthodes de fabrication à l'ancienne
	Pain signé (pastille azyme AB, incrustation d'un relief dans la croûte)
	Forme allongée rendant le tranchage facile et régulier

Justification du levain	Le levain donne un petit goût acide au pain et permet de mieux assimiler les vitamines et les minéraux, pain intégral naturellement riche en minéraux, fabriqué au levain naturel avec une longue fermentation qui permet une bonne assimilation des minéraux (destruction de l'acide phytique par la fermentation lactique)
Nutrition	Pain aliment sain, sain nutritif, savoureux, pain authentique, aliment « sans produits chimiques de synthèse », un pain qui nourrit
	Pain qui œuvre pour une agriculture Bio-dynamique
Conservation	Pain de longue conservation, excellente conservation durant 8 jours, évite le gaspillage, une longue fermentation donne au pain sa mie aérée et son acidité, allongeant ainsi son temps de conservation
Goût	Pain au goût acidulé, plénitude de saveurs en bouche
Mâche	Pain de consistance ferme
Ethique	Démarche de proximité, pain en cohérence avec une écologie globale authentique et solidaire, recherche dans le respect des lois naturelles une qualité de panification qui nourrisse bien l'homme
Durée de fabrication	Six à sept heures entre le pétrissage et le défournement
	Un pain pour votre bien être et celui de la planète
	Le pain bio, par respect de la nature et des hommes – des saveurs et des savoir-faire
	Pain biologique au levain naturel, pain bio au levain pur, pain au levain à l'ancienne, pain bio 100% levain, pain 100% bio et 100% régional (Bio d'Ile de France)
Spécialisation	Nous fabriquons exclusivement des produits bio

Tableau 3 : Classement des argumentaires relevés sur les emballages des pains biologiques

BIBLIOGRAPHIE

- Astrié A. 2006 Faire notre pain, pourquoi ? Comment ? ISBN : 2-908600-29-3
- Aubert C. 1979 Une autre assiette, conseils pratiques pour une alimentation saine. Edition Debard
- Boucher J. 1968 Précis scientifique et pratique de culture biologique Méthode Lemaire Boucher. Editions « Agriculture et vie »
- BRIO 2005 Programme « du pain bio à l'école », tiré à part remis lors du séminaire Agence Bio sur le pain bio , salon national de la boulangerie 23 janvier 2006.
- Calvel R. 1948 Du pain d'hier au pain d'exception d'aujourd'hui, in Nuret H. Calvel R. 1948 Les succédanés en panification techniques françaises de panification, éditions AEMIC, 13-33.
- Calvel R. 1999 Les pains bios seraient ils plombés ?, Industries des Céréales 114, 36.
- Calvel R. La fermentation au levain naturel, Industries des Céréales 5, 31 – 36.
- Calvel R. La fermentation au levain naturel, Industries des Céréales 7, 27 – 35.
- CNERNA 1962 La qualité du pain, novembre 1954 – Avril 1960, tome 2, séance du 4 décembre 1958, 661 – 683. Editions CNRS.
- Chorand A.L., Saibron D. 2006 Réalisez soi-même son levain pour donner du goût au pain, La toque N° 160, 51-53.
- Cornu S. 2004 le pain de qualité un long processus de transformation ; revue Biodynamis En chemin vers la qualité (hors série N° 7), 24-28.
- De Ceglie R. 2006 Moulin Marion, fidèle à la bio – attitude, revue valeur Boulangère N°1,
- Dewalque M. 1996 Le pain fait à partir de céréales issues de culture biologique, tiré à part de 8 pages
- Dewalque Marc La boulangerie biologique. <http://boulangerie.net/BoulBN/infobio.html>
- Dewalque M. 2007 La « lecture » du levain au XVIIIème siècle. Dossier technique sur CD ROM et sur www.boulangerie.net
- Ecocert 2004 Guide pratique à l'usage du boulanger, référence ID-SE-033, 7 pages.
- Fischer J., Bar-L'Helguac'h, Bonnefoy M., Viaux P., Abecassis J. Taupier Letage B. 2005 Blés biologiques, quelles exigences pour leur panification? Perspectives Agricoles N° 313, 18-24.

- Granier H. 2003 Apprendre à faire son pain au levain naturel, éditions Ouest France
- Jollet C. 1997 Je redécouvre le pain d'autrefois (boule bio Carrefour) Le journal de Carrefour juin, N° 31.
- Question boulange 2007 ils fabriquent à l'ancienne sans équipement électrique, ils cuisent au bois, ils pétrissent, divisent, façonnent... à la main, revue Question Boulange mars 2007, 28 – 33.Fagots & Froment.
- Gadenne A. 2005 Filière bio : les plus convaincus résistent Revue Du sol à la table N° 72, 31 – 41. Filière pain bio
- Roussel P. 1975 Le blé, la farine, le pain dans le circuit des produits « biologiques » Techniques des Industries céréalières N° 150, juin-juillet, 18-22.
- Nature et Progrès Cahier des Charges 2004, A : stockage et Minoterie, B : boulangerie
- Loiselet M. & Associés 2006 Les pétrins-fermenteurs, Industries des Céréales N° 148, 24-25.
- Leenhardt F., Brochoire G. Rémézy C. 2006 La préfermentation des fractions riches en fibres (farines intégrales ou son) session posters, industries des céréales, N° 149, 35.
- INBP 1995 Supplément technique N° 47 « Spécial bio »
- Guerven E. 2007 Farines bio, variez les plaisirs, Anagramme Editions 71p.
- Florin J. M.1990 La transformation des aliments l exemple du pain dossier IV, supplément au N° 55 Novembre – décembre 1990 des lettres aux amis des champs et des jardins
- Remezy C.2000 L'avenir des farines in Filière Gourmande ,juillet
- Rivry C. Les qualités cachées des blés anciens, Nicolas Supiot, paysan-boulangier, revue valeurs boulangères mars 2006, 28-31.
- Pécot D. Lemaire 1969 Le blé, la farine, le pain et la santé de l'homme. Edition « Agriculture et Vie », SVB Lemaire
- Testard D.2006 Ou vas-tu d'un si bon pain ? Edition Co Pain Gallo Pain
- Vion M. 2006 Au four, au moulin et au champs, revue valeur boulangère N°1, 46-48.

DOCUMENTATION

Plaquettes commerciales:

- Phil XN terres d'arôme, saveur épeautre certifiée AB, Le Jouvancy 01290 Pont de Veyle
- Lesaffre Levain liquide certifié AB
- Lima-Nouvelles SD L'histoire d'un pain : le pain Lima au levain naturel, Lima-Nouvelles N° 15.
- Sarl Fours Voisin Père et fils, 3 rue Lahargue, 33610 Cestas
- Kamut Association of Europe 1997 Plaquette Kamut « Ame de la terre » La céréale oubliée de l'Egypte ancienne, Bob Quinn, découvreur du blé Kamut et agriculteur biologique

CD ROM

- A.S.B.L Bio Panem Marc Dewalque Approfondissez vos bases techniques de boulangers « bios » & boulangers des bois

DVD

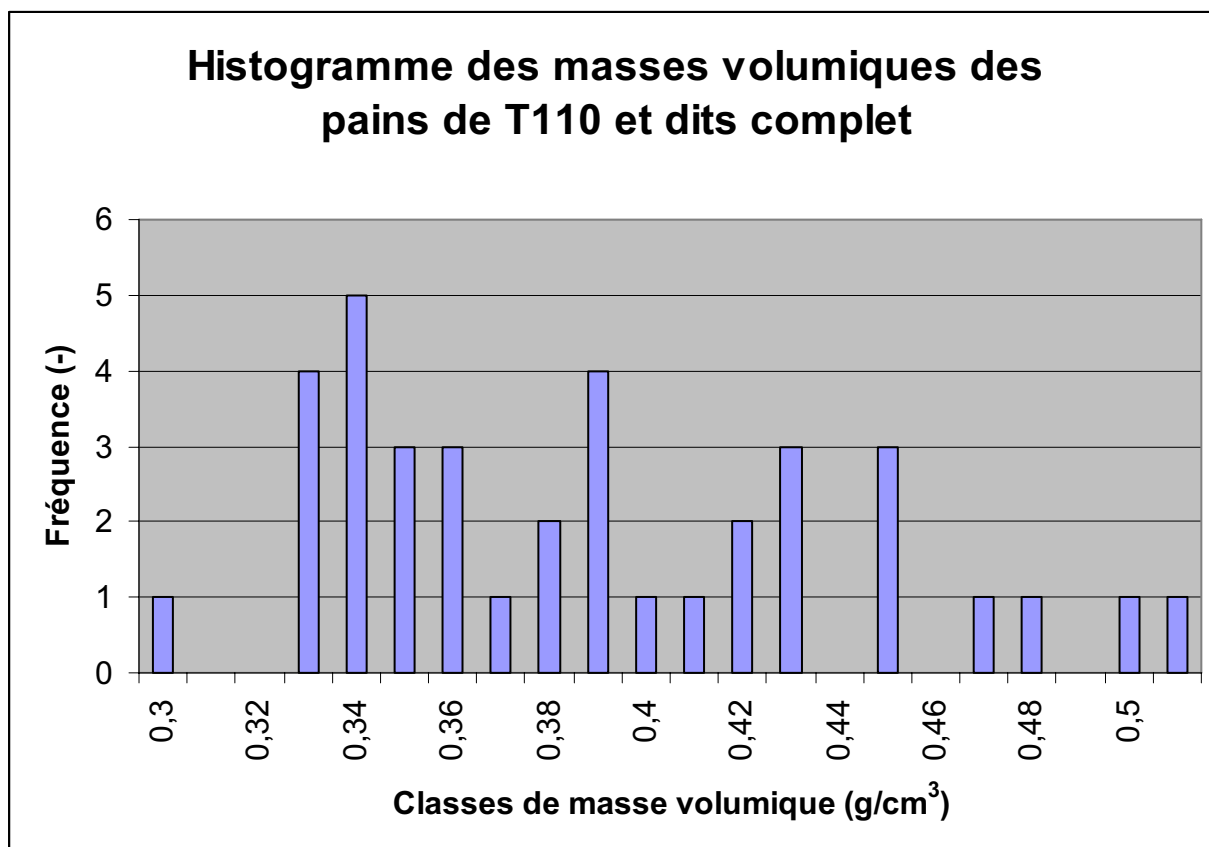
- Association pour la Diffusion de Documentaires Scientifiques (ADDOCS) 2005 Les blés d'or, un film sur les rencontres des paysans-boulangers
- Bonnamour B. 2005 Rencontre avec un paysan boulanger

ANNEXES

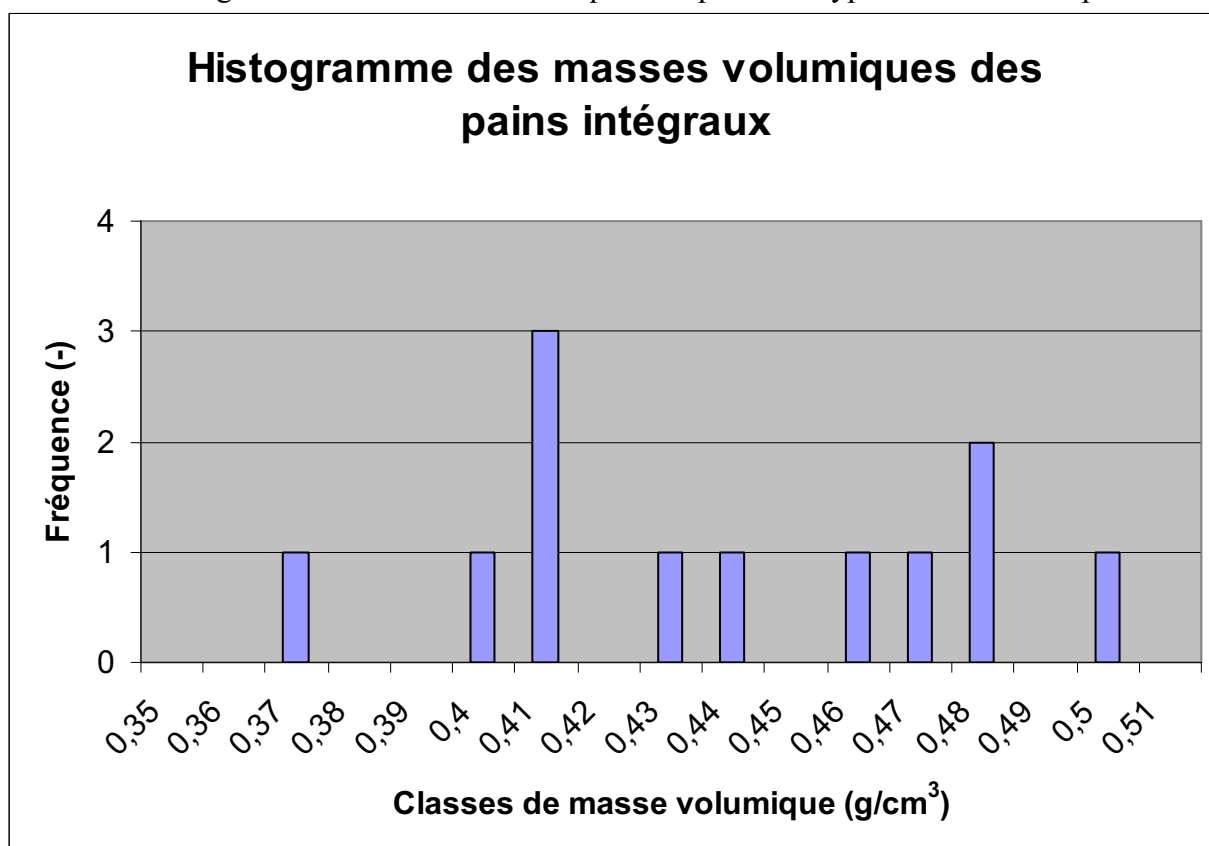
Annexe 1 : liste des boulangeries biologiques visitées

	Raison sociale	Nom	Adresse postale	Téléphone
1	Paysan meunier boulanger	Yvette et Alain Pommart	54, Chemin du Murier, 38410 Villeneuve d'Uriage	0476892192
2	Pain Maître	Jan Maitre	25 rue Camille Sauvageau 33800 Bordeaux	0456922860
3	Paysan meunier boulanger	François Chevalier	Route de l'Hôtel Saffré, 44170 Vay	0240794666
4	Fournil APY la Vie Saine	Yves Rémy	BP 22209 - 21022 Dijon cedex	0380510990
5	Boulangier	M. Brion	Biganos	0556267128
6	Au Pain de Ménage	M. et Mme Bouet	11, Rue des petites Écuries, Nantes	0240478513
7	Barabio SARL	Jan Putzeys	Kervéguen, 29500 Ergué Gabéric	0298596056
8	Biofournil	Jean Yves Foucher	La Camusière, 49600 Le Puiset Doré	0241567074
9	Bionatis SA	Marc Ambroisy	ZA des Prébendes, 69610 Haute-Rivoire	0474706709
10	Boulangerie	Dominique Brun	2 place de l'église 26320 Saint Marcel les Valence	0475587123
11	Boulangerie Cozic	Bernard Cozic	20, Avenue André Bonin, 35135 Chantepie	0299417964
12	Boulangerie Cozic	Bernard Cozic	10 rue Saint Hélier 35000 Rennes	0299310815
13	Carrefour	Pierre Blanchard	Evry	0169874448
14	Ferme de Kerohou	Patrick Fabienne Hersant	Ferme de Kerohou 29690 Huelgoat	0298999345
15	Boulangerie	Jo Le Lannic	41, Rue du Fil, 56300 Pontivy	0297252893
16	L'Angelus	M. Talbot	Halles de l'Hôtel de Ville, 2 Rue Claude Huez, 10000 Troyes	0325737801
17	La Boulangerie	Olivier Gestin	35, Place Saint Ferdinand, 75017 Paris	0145740565
18	Boulangerie artisanale	Jérôme Choquet	7 Rue de Nantes 44130 Blain	0240790177
19	La Panetière	Michel Prothon	Place de la Croix, 03210 Saint-Menoux	0470439663
20	La Petite Boulangerie	Franck Desperiers	1 Place Saint Félix 44000 Nantes	0240743638
21	La Ruche à Pain	Marie-Christine et Gérard Ouisse	19, La Feuillée, 44260 La Chapelle-Launay	0240587441
22	Paysan meunier boulanger	André et Pierre Astrié	Cambesse 81090 Burlats	0563506471
23	Le Boulanger de Monge	Dominique Saibron	123, Rue Monge, 75005 Paris	0143375420
24	Le Moulin de Bretty	Catherine Guillet	122, Rue du Général Buat, 44000 Nantes	0240794519
25	Le P'tit Fournil	Yves et Roseline Briand	La Retenue, 35630 Bazouges sous Hédé	0299454307
26	Le Pain de Pierre	Hélène et Pierre Delton	Place de l'Eglise, 91510 Lardy	0160827722
27	Le Pain de Saint Didier	Yves et Roseline	5, Rue du Stade, 35220 Saint Didier	0299007266
28	Sofrapain	Jérôme Clément	14 rue Denis Papin 78190 Trappes	01 34 82 11 22
29	Le Troubadour	Jean Leclair	2, Rue de l'écrevisse, 72000 Le Mans	0243209660
30	Paysan meunier boulanger	Nicolas Supiot	Le Rocher 35330 Maure de Bretagne	0299345085
31	Les Co-pains	Eric Klaasen	La Fondation 14340 St Aubin sur Algot	0231322224
32	Le pain au naturel	Michel Moisan	4, Avenue du Général Leclerc, Paris	0143223413

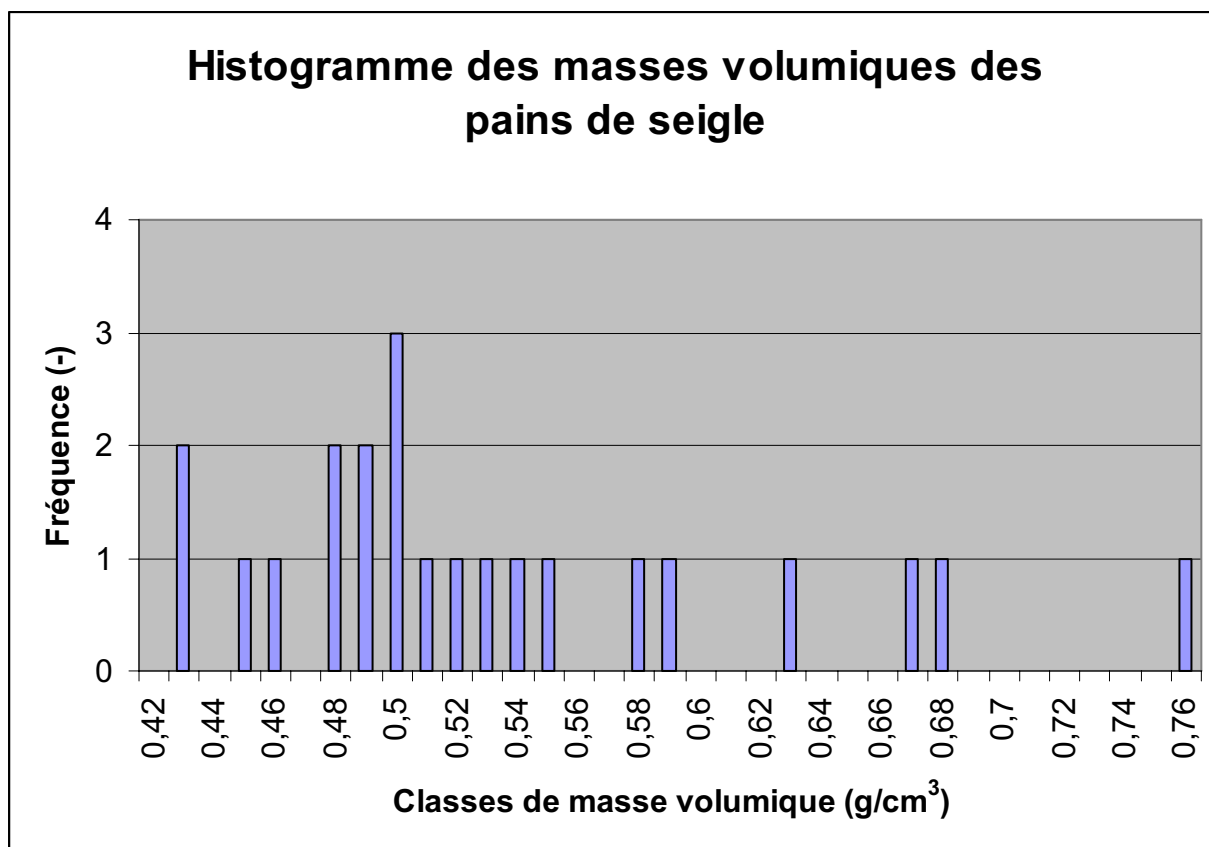
			14 ^{ème}	
33	Pain de Belledonne	Bruno Anquetil	ZA Les Bons Prés, 73110 La Croix de la Rochette	0479257992
34	Scop Pain Virgule	Philippe Guillaud	ZA les landes de la Bossardière 44430 Le Landreau	02 40 06 46 80
35	Patibio	M. Schaar et M. Boursier	1, Rue des Frênes, 95610 Eragny-sur-Oise	0134421515
36	<u>La Boulangerie Savoyarde</u>	Patrick Leport (2006)	Le bourg Ecole en Bauge 73630	0479548274
37	La boulangerie des Iles	Patrick Leport (2007)	Zone artisanale Kerollaire, Boul des Iles Sarzeau 56370	0297414970
38	Soleil Levain	André et Lucienne Terrien	"L'Aubrière", 49500 Saint Martin du Bois	0241613776
39	Vers l'épi d'or	J.F. et Cécile Berthelot	Le Roc, 47130 Port Sainte Marie	0553881184
40	Le fournil d'Ellina	S. Jahan, L. De Rueda	36 bis route de Ligué 86280 Saint Benoit	0549466357
41	Paysan meunier boulanger	Jean Marie Coulbeault	La Font de Soule 24140 Saint George de Montclar	05 53 81 29 82
42	Boulangerie Papin	M et Mme Didier Papin	Rue de Bretagne 44450 Saint Julien de Concelles	0240541251



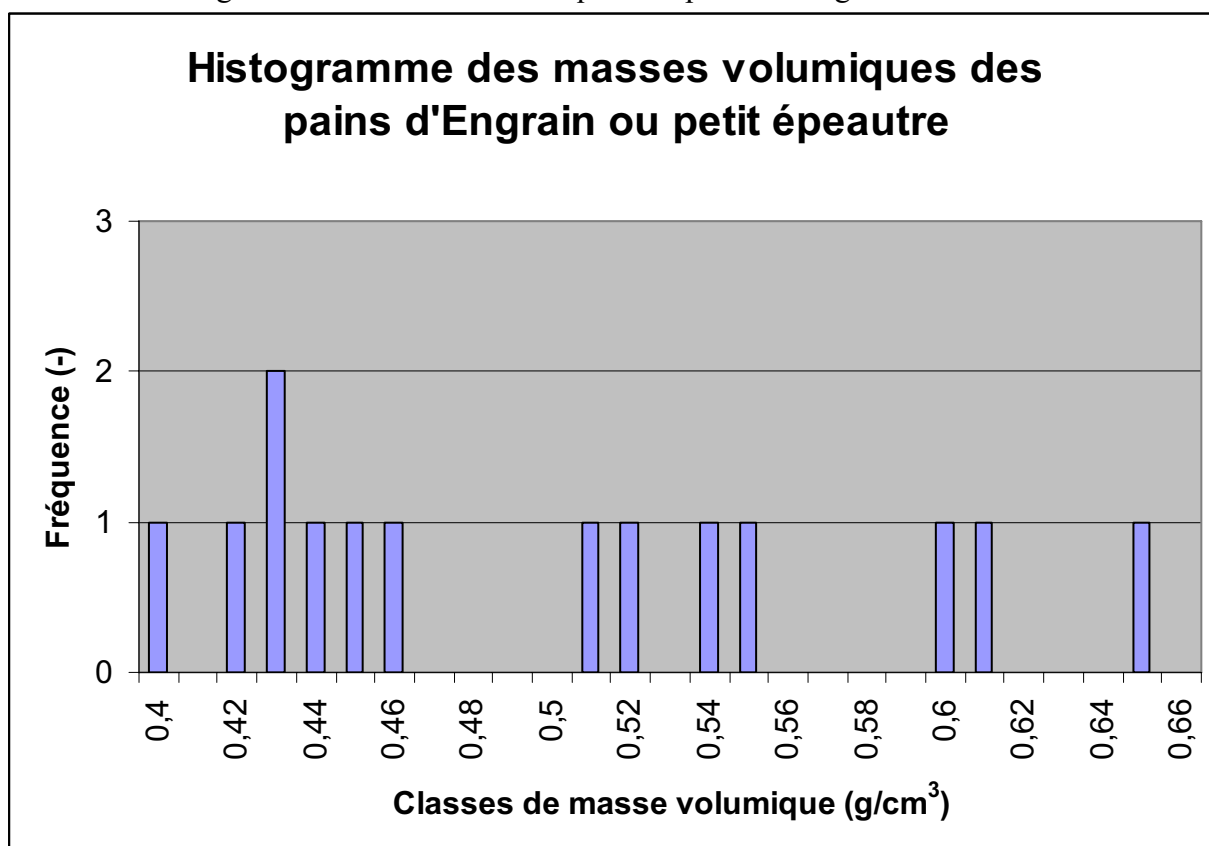
Annexe 2 : Histogrammes des masses volumiques des pains de Type 110 et dits complets



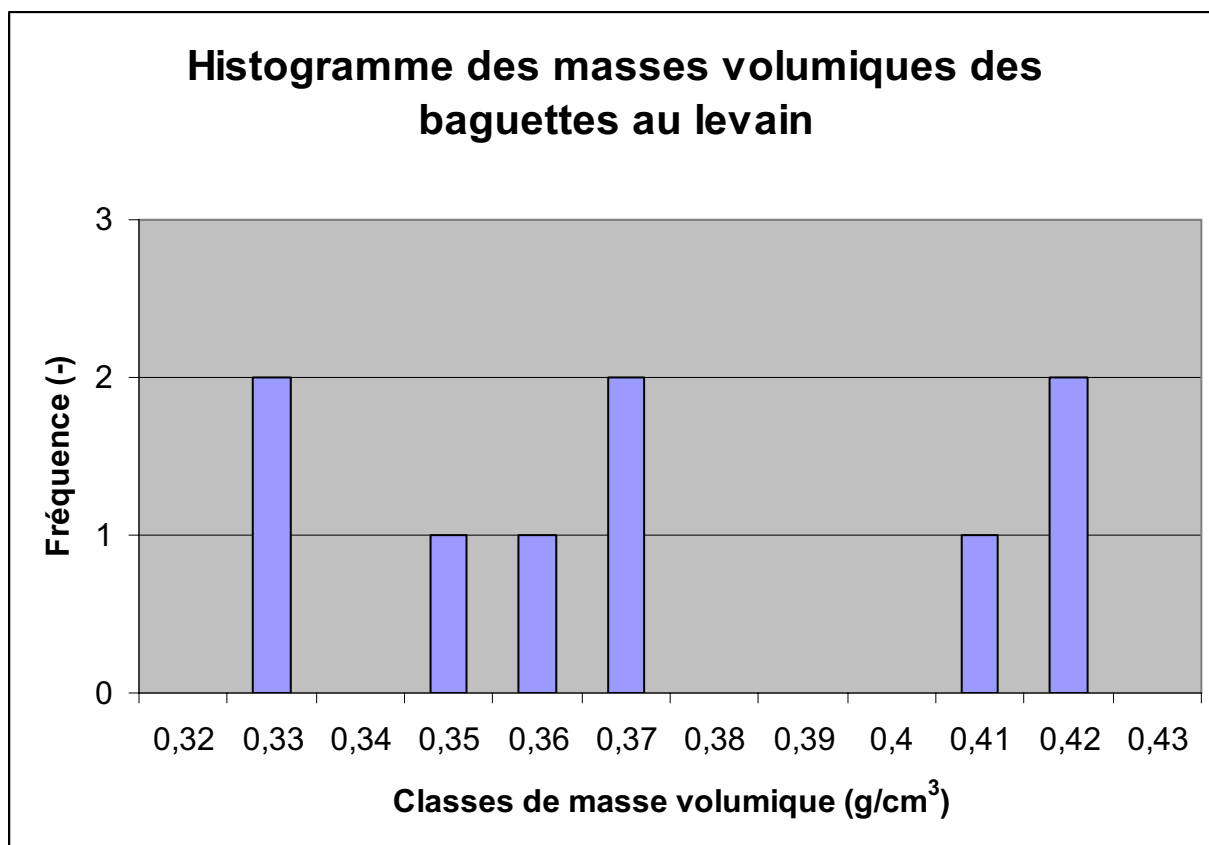
Annexe 3 : Histogramme des masses volumiques des pains intégraux



Annexe 4 : Histogramme des masses volumiques des pains de seigle



Annexe 5 : Histogramme des masses volumiques des pains d'engrain ou de petit épeautre



Annexe 6 : Histogramme des masses volumiques des baguettes au levain,

Programme Recherche INRA-CIAB / ACTA / ACTIA 2005-2007

Qualités des blés biologiques et Qualités nutritionnelle et organoleptique des pains biologiques



TACHE 4 : RASSEMBLER TOUS LES ACTEURS DE LA FILIERE POUR VALIDER LES METHODES D'APPRECIATION DE LA QUALITE DES BLES BIOLOGIQUES - COORDINATION DU PROJET

Auteurs : B. Taupier-Létage (1), J. Abécassis (2), P. Viaux (3)

Nom de l'organisme bénéficiaire : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Nom des responsables scientifiques : B. Taupier-Létage, L. Fontaine et S. Lubac

Nom du Laboratoire : Commissions Qualité et Grandes Cultures

Adresse : ITAB, 149 Rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12

Nom de l'organisme bénéficiaire : Institut National de la recherche Agronomique

Nom du responsable scientifique : J. Abécassis

Nom du Laboratoire : UMR-IATE

Adresse : INRA, 2 Place Viala - 34060 Montpellier Cedex 1

Nom de l'organisme bénéficiaire : Arvalis Institut du Végétal

Nom du responsable scientifique : P. Viaux

Nom du Laboratoire :

Adresse : Arvalis, Domaine de Boigneville - 91720 Boigneville

RESUME SIGNALÉTIQUE

Trois Comités (de Coordination, de Pilotage et de Responsables de tâches) ont été mis en place pour assurer le suivi du programme. Ils se sont régulièrement réunis conformément au planning prévu.

Trois séminaires (de lancement, intermédiaire et final) ont constitué des temps forts dans le programme pour faire un état d'avancement du programme décider des orientations à prendre et des actions complémentaires à engager.

Tous les différents acteurs de la filière ont été impliqués plus ou moins largement dans le programme, du producteur au consommateur, en passant par les organismes stockeurs, les meuniers, les boulangers le développement et la recherche.

Le Forum de restitution du programme aux différents acteurs de la filière, prévu en Novembre 2007, est en cours de préparation active. De nombreuses réunions du Comité d'organisation ont déjà eu lieu

Ce Forum constituera un temps fort dans l'animation de la filière et devrait contribuer au développement et à la structuration d'une filière blé pain bio dynamique.

1) RAPPEL DES OBJECTIFS

Cette tâche comporte deux objectifs :

- Assurer la coordination du programme de recherche, grâce à divers Comités mis en place
- Animer la filière en mobilisant les acteurs (producteurs, meuniers, boulangers) de la filière Blé panifiable biologique.

Ce travail d'animation devait se faire au sein des tâches A3-T1, A3-T2 et A3-T3, en interaction avec les travaux de recherche de l'axe 2.

En fin de programme, un Forum de restitution des résultats du programme devait être organisé concernant tous les acteurs de la filière, (production, meunerie, boulangerie, consommateurs). Ce forum devait favoriser les échanges entre les différents groupes d'acteurs (producteurs, meuniers, boulangers, consommateurs), afin que chacun puisse connaître et prendre en compte les contraintes des autres acteurs.

2) PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

a) Démarche

Le suivi et la coordination du programme ont été confiés à trois instances :

- Le Comité de Pilotage du Programme
- Le Comité de Coordination du Programme
- Le Comité des Responsables de Tâches

Plusieurs groupes de travail ont fonctionné en parallèle, car ils concernaient des problématiques précises ou des aspects spécifiques du programme.

b) Méthode

Des séminaires regroupant tous les partenaires du programme (dont les différents Comités) ont été organisés au lancement du programme, à mi-parcours et en fin de programme.

Les différents comités se sont réunis pour assurer le suivi et la coordination des actions.

1 Le Comité de Pilotage du Programme

Le comité de pilotage de projet regroupe les membres du comité de coordination du programme ainsi que des personnalités de la filière céréales biologiques : producteurs et transformateurs ainsi que des membres de la recherche académique et des centres techniques. Ce Comité a pour fonction de fixer les grandes orientations du projet, d'évaluer l'avancement global du programme et au besoin de proposer les réorientations nécessaires pour atteindre les objectifs visés.

2 Le Comité de Coordination du Programme

Le comité de coordination regroupe les responsables des axes du programme. Il se réunit tous les trimestres et a pour fonction d'assurer l'animation générale du projet et la coordination des actions entre les différents axes. Il suit l'avancement des programmes des différentes tâches, et rend compte au comité de pilotage des actions engagées.

3 Le Comité des Responsables de Tâches (CRT)

Le comité des responsables de tâches est composé des membres du comité de coordination du programme et des responsables de tâches. Le comité des responsables de tâches se réunit tous les 6 mois pour faire un état d'avancement des différentes études et assurer la coordination entre les différentes tâches. Les responsables de tâches assurent l'animation et le suivi des actions placées sous leur responsabilité. Ils établissent un compte rendu semestriel d'avancement de leur programme.

c) Résultats

Trois séminaires ont représenté des étapes importantes pour l'avancement du programme :

Le 29 Mars 2005 : Séminaire de lancement du programme à Paris

Les 15 et 16 Mars 2006: Séminaire intermédiaire à Nantes

Les 14 et 15 Mars 2007: Séminaire final à Clermont Ferrand

Les différents Comités (voir leur composition en annexe) mis en place se sont réunis dans les conditions initialement prévues.

Le Comité de Pilotage du Programme s'est réuni avant le démarrage du projet, puis a participé au séminaire de démarrage à Paris. Puis il a participé activement à chaque séminaire, intermédiaire à Nantes, puis au séminaire final, à Clermont Ferrand). Ces réunions ont permis de faire le bilan du travail et de faire des recommandations, suite aux différents séminaires.

Lors de la première réunion de travail, le Comité a souhaité élargir sa propre représentativité en demandant d'associer des personnes en lien avec les consommateurs (M. François, GRET) et les producteurs de semences biologiques (H. Penaud, Lemaire Deffontaines Semences).

Le Comité a évalué l'état d'avancement global du programme lors de ses réunions, et grâce à sa participation active aux séminaires, a contribué à la réalisation des objectifs prévus du programme.

Le Comité de Coordination du Programme s'est réuni régulièrement chaque trimestre, voire plus souvent lorsque le travail l'exigeait. Ces réunions pouvaient être physiques ou téléphoniques. Le comité a proposé que des actions complémentaires au programme soient lancées, afin d'apporter des réponses à des problématiques non prévues initialement. C'est ainsi que deux actions ont été conduites : « Comparaison des tests de panification normalisé NF V03-716 (BIPEA) et Tradition Française », et « Connaissance des organismes stockeurs et relations avec la meunerie », avec un financement demandé à l'ONIGC.

Le Comité des Responsables de Tâches s'est réuni tous les six mois afin de faire le point sur l'avancement du programme. Le travail sur les pains prototypes a été mis en place lors des réunions de ce Comité.

Un certain nombre de réunions ont été tenues dans le cadre d'actions spécifiques, en dehors de ces Comités : (voir les références dans les différentes tâches concernées), profitant de l'expérience de personnes compétentes dans ces domaines.

Tous les compte rendus de réunions des différents Comités ont été diffusés auprès de tous les partenaires du programme.

Lors de chaque séminaire et chaque réunion des responsables de tâches, un cd room a été réalisé, reprenant toutes les présentations power point faites, en même temps que le compte rendu de la réunion.

C'était aussi l'occasion de nombreux échanges entre les différents acteurs, ce qui a favorisé une meilleure compréhension des problématiques des différents acteurs.

Pour assurer la préparation du Forum de restitution, indispensable pour contribuer au développement de la filière, un Comité d'organisation du Forum a été mis en place. Il comprend les membres du Comité de Coordination du Programme ainsi que des personnes impliquées dans les différents groupes d'acteurs : la production et les organismes stockeurs, représentés par le Groupe Bio d'InterCéréales, la meunerie représentée par le responsable du Groupe Bio de l'ANMF, et la boulangerie représentée par le directeur de l'INBP.

Ce Forum, intitulé « Du blé au pain : le Bio , une filière d'avenir » s'adresse à tous les acteurs de la filière blé/pain, de l'agriculteur au consommateur, en passant par le collecteur, le meunier et le boulanger, concernés par la filière bio.

Il sera une contribution active au développement d'une filière blé-pain bio organisée et dynamique. (Voir le Flyer de diffusion en annexe, et le programme prévu.)

Tableau 1 : Dates de réunion des différents comités mis en place

Dates de réunions	Comité Coordination	Comité de Pilotage	Comité Resp. tâches
23 Mars 2005	x	x	
29 Mars 2005	x	x	x
12 Juillet 2005	x		
29 Septembre 2005	x		x
06 janvier 2006	x		
15 et 16 Mars 2006	x	x	x
23 Juin 2006	x		
27 Septembre 2006	x		x
04 Octobre 2006	x		
07 Février 2007	x		
14 et 15 Mars 2007	x	x	x

3) ANALYSE DES ECARTS PAR RAPPORT AUX OBJECTIFS

Le travail de coordination du programme avec les différents comités mis en place a bien fonctionné et a permis au programme de répondre aux principaux objectifs fixés.

On peut peut-être regretter que les acteurs de la filière n'aient pas été assez sollicités dans les différentes tâches de l'axe 3 « Animation de la filière ». Les échanges entre les partenaires de l'axe2 et ceux de l'axe 3, pour coordonner la réflexion sur les développements méthodologiques ont démarré un peu tardivement. . Cette réflexion n'a pu être abordée qu'en fin de programme (test de mouture et de panification) et devra faire l'objet de travaux futurs.

Le travail d'animation, pour mobiliser, faire se rencontrer et échanger sur leurs problèmes les différents acteurs tout au long du programme semble avoir été défavorisé par rapport au travail de coordination.

Il avait été prévu la constitution de groupe de travail pour chaque catégories d'acteurs.

Dans le cadre des différentes Tâches de l'Axe 3, un grand nombre d'acteurs ont été effectivement rencontrés, mais il y a eu peu de rencontres spécifiques au sein des groupes d'acteurs (production, meunerie, boulangerie), ni entre ces groupes. Cependant, une présentation des premiers résultats obtenus dans le cadre des tâches 2 et 3 de l'Axe 3 a été faite lors d'une réunion du groupe bio de l'ANMF. Par ailleurs, il a été demandé à G. Brochoire de participer au programme en tant que représentant officiel de la Confédération de la Boulangerie.

Ce sera l'objectif principal du forum de restitution de contribuer au développement de la filière et de favoriser les échanges entre les différents acteurs de la filière

4) VALORISATION

Communications orales de deux partenaires du programme (H. Chiron et B. Taupier-Létage) lors du Séminaire d'information « Pain Bio, biscuits bio, autres produits à base de céréales bio : pourquoi ? Comment » organisé par le groupe Bio d'Intercéréales et l'Agence Bio le 23 Janvier 2006, dans le cadre du Salon National de la Boulangerie, Pâtisserie, Glacerie, Chocolaterie, Confiserie et Traiteur, à Paris, Porte de Versailles.

Exposition « L'agriculture biologique : des chercheurs s'impliquent » dans le cadre de Printemps Bio 2006, action nationale de communication sur l'agriculture biologique coordonnée par l'Agence Bio.

Présentation du programme de recherche et des premiers résultats dans plusieurs régions et groupements de producteurs biologiques :

Université d'Eté de Nutrition à Clermont Ferrand en Septembre 2005 : « La filière Blé Pain Biologique »

Journée Qualité des céréales Ath (Belgique) le 8 Mars 2006 : « Panification biologique et qualité nutritionnelle »

Communications et posters prévus dans le cadre du seizième Congrès International d'IFOAM à Modène en Italie en Juin 2008 intitulé « Cultiver le futur ».

ANNEXES

Annexe 1

Composition du Comité de Coordination

NOM	PRENOM	ORGANISME
Abécassis	Joël	Inra-UMR-IATE
Fontaine	Laurence	ITAB - Commission GC
Taupier-Letage	Bruno	ITAB - Commission Qualité
Viaux	Philippe	Arvalis

Composition du Comité de Pilotage

NOM	PRENOM	ORGANISME
Abécassis	Joël	Inra-UMR-IATE
Antoine	Dominique	Professionnel
Colomb	Bruno	Inra-ARCHE
Dupuy	Jean-Louis	ANMF - Minoterie Dupuy Couturier
Ferret	Salvador	Agribio-union
Fontaine	Laurence	ITAB - Commission GC
François	Martine	GRET
Gautronneau	Yvan	ISARA Lyon - Inra
Gury	Pascal	Professionnel
Penaud	Hervé	Lemaire Deffontaines Semences
Popineau	Yves	Inra-URPVI
Rémésy	Christian	Inra-U3M
Roussel	Philippe	ENSMIC
Taupier-Letage	Bruno	ITAB - Commission Qualité
Viaux	Philippe	Arvalis

Composition du Comité des Responsables de Tâches

NOM	PRENOM	ORGANISME
Abécassis	Joël	Inra-UMR-IATE
Alessandrin	Agnès	ADIV
Bar L'Helgouac'h	Christine	Arvalis
Chaurand	Marc	Inra-IATE
Chiron	Hubert	Inra-BIA-MC2
David	Christophe	ISARA Lyon
Della Valle	Guy	Inra-BIA-MC2
Fontaine	Laurence	ITAB - Commission GC
Morel	Marie-Hélène	Inra-IATE
Onno	Bernard	ENITIAA
Rémésy	Christian	Inra-U3M
Rolland	Bernard	Inra-UMRADPBV
Taupier-Letage	Bruno	ITAB - Commission Qualité
Viaux	Philippe	Arvalis

Annexe 2 : Programme du Forum Pain Bio du 6 Novembre 2007 à Paris. :Du Blé au Pain, Le Bio, une Filière d'Avenir

L'actualité de la recherche sur la filière blé-pain Bio

Ouverture : Evolution de l'agriculture biologique en Europe et questions réglementaires : M.H. Aubert, député européenne

Session 1 : Les acteurs de la filière : du consommateur au producteur :

- 1 – Perceptions et attentes des consommateurs sur les pains biologiques: approches qualitatives: A Alessandrin, ADIV.
- 2 – Connaissance des filières meunerie et boulangerie: H. Chiron, INRA.
- 3 - Les organismes de collecte de blés panifiables biologiques: Enjeux et contraintes: C. David, ISARA .

Session 2 : Voies d'amélioration de la qualité du pain bio

- 1 – De nouveaux diagrammes de mouture pour d'autres pains: M. Chaurand, INRA.
- 2 – Comment optimiser la panification au levain ? B. Onno, ENITIAA.
- 3 – Préférences sensorielles : test hédonique de baguettes et boules biologiques: MH Desmonts, AERIAL.
- 4 – Comment améliorer la valeur nutritionnelle du pain ? C. Rémésy, INRA.

Session 3 : Amélioration des variétés et optimisation des pratiques culturales.

- 1 – Quelles pratiques agronomiques pour assurer les qualités nutritionnelle, organoleptique et sanitaire des blés biologiques? P. Viaux, ARVALIS.
- 2 – Des pistes pour la création de variétés adaptées: B. Rolland, INRA.

Table ronde : Une filière qui s'organise, au service de l'Environnement et de la Santé
Avec la participation des différents acteurs de la filière, du producteur au consommateur, et de responsables publics.

Du blé au pain, le Bio, une filière d'avenir

MARDI 6 NOVEMBRE 2007
PARIS

P R O G R A M M E

OUVERTURE
Evolution de l'agriculture biologique en Europe
et questions réglementaires

M.H. Aubert, députée européenne

SESSION 1

Les acteurs de la filière :
du consommateur au producteur

- Perceptions et attentes des consommateurs sur les pains biologiques : approches qualitatives
A. Alessandrin, ADIV.
- Connaissance des filières meunerie et boulangerie
H. Chiron, INRA.
- Les organismes de collecte de blés panifiables biologiques : Enjeux et contraintes
C. David, ISARA.

SESSION 2

Voies d'amélioration de la qualité du pain bio

- De nouveaux diagrammes de mouture pour d'autres pains
M. Chaurand, INRA.
- Comment optimiser la panification au levain ?
B. Onno, ENITIAA.
- Préférences sensorielles : test hédonique de baguettes et boules biologiques
M.-H. Desmonts, AERIAL.
- Comment améliorer la valeur nutritionnelle du pain ?
C. Rémesy, INRA.

Ce forum s'adresse à tous les acteurs de la filière blé/pain, de l'agriculteur au consommateur, en passant par le chercheur, le collecteur, le meunier et le boulanger, concernés par la filière bio. Il apportera des éléments de réponse aux questions que vous vous posez :

- Quelles variétés de blé pour quelles panifications ?
- Comment optimiser les pratiques culturales pour obtenir des blés de qualité ?

- Quel est l'impact des procédés de transformation sur la qualité des pains (type de farine ; meules ou cylindres ? levure ou levain ?)
- Comment optimiser les qualités nutritionnelle et organoleptique des pains ?
- Quels pains biologiques pour quels consommateurs ?

SESSION 3

Amélioration des variétés et optimisation des pratiques culturales.

- Quelles pratiques agronomiques pour assurer les qualités nutritionnelle, organoleptique et sanitaire des blés biologiques ?
P. Viaux, ARVALIS - Institut du végétal.
- Des pistes pour la création de variétés adaptées
B. Rolland, INRA.

TABLE RONDE

Une filière qui s'organise, au service de l'Environnement et de la Santé

Avec la participation des différents acteurs de la filière, du producteur au consommateur, et de responsables publics.

9h00	Accueil
9h30	Ouverture de la journée
10h45	Pause
12h30	Déjeuner
14h00	Reprise
14h50	Table ronde
17h00	Fin du forum

INFORMATION INSCRIPTION

Informations à compléter en lettres majuscules :

Nom _____

Prénom _____

Fonction _____

Société _____

Adresse _____

Code postal _____

Ville _____

Téléphone _____

Fax _____

e-mail _____

Adresse de facturation (si différente) :

Nom _____

Prénom _____

Fonction _____

Société _____

Adresse _____

Code postal _____

Ville _____

Téléphone _____

Fax _____

e-mail _____

Secteur d'activité :

- ☐ agriculteur
- ☐ consommateur
- ☐ collecteur
- ☐ chercheur
- ☐ boulanger
- ☐ étudiant
- ☐ meunier
- Autre _____

COUPON RÉPONSE

☐ Je souhaite participer au forum

DU BLÉ AU PAIN, LE BIO, UNE FILIÈRE D'AVENIR
mardi 6 novembre 2007

Bulletin à remplir au verso.

Participation aux frais,
comprenant le repas et la documentation :

☐ 50 euros TTC x __ personnes avant le 15 septembre,

☐ 60 euros TTC x __ personnes après le 15 septembre.

Merci de retourner ce coupon dûment rempli sous
enveloppe affranchie, accompagné d'un chèque à l'ordre
de ITAB, avant le 25 octobre 2007.

Je serai accompagné(e) de :

Inscription avant le 25 octobre 2007

INFORMATION INSCRIPTION

ITAB > Ouarda KEBLI

149, rue de Bercy

75595 PARIS cedex 12

tél. : 01 40 04 50 64

secretariat.itab@itab.asso.fr

Bulletin d'inscription disponible

en ligne sur :

www.itab.asso.fr

www.arvalisinstitutduvegetal.fr



Les Salons de l'Aveyron
17, rue de l'Aubrac
75012 PARIS

ACCÈS

• VOITURE :

• **En provenance de PARIS-SUD** :
Sortie Porte de Bercy > Direction Paris
centre par la voie express Georges Pompidou
> 1^{re} sortie Bercy Expo jusqu'au rond point
puis tourner à gauche > Rue Baron le Roy
jusqu'à l'hôtel les Balladins > Prendre la rue
en face de cet hôtel.

• **En provenance de PARIS CENTRE** : Par
la voie express Georges Pompidou > Sortie
Pont de Tolbiac à gauche > Traverser le Pont
de Tolbiac > Continuer tout droit Rue Joseph
Kessel > 2^e feu à droite > Rue de l'Aubrac
• **MÉTRO** : ligne 14, cours Saint-Emilion
• **AUTOBUS** : lignes 24 et 62

• **PARKING** : **POPB SNCF** : Accès par
le 48bis, bd de Bercy - Sortie piétonne
Place Lachambeaudie • **PARKING SAINT-EMILION** : Entrée rue de Libourne - Sortie
piétonne rue des Pirogues de France

INFORMATION INSCRIPTION

ITAB

Ouarda KEBLI

149, rue de Bercy

75595 PARIS cedex 12

tél. : 01 40 04 50 64

secretariat.itab@itab.asso.fr

Programme soutenu par :



Forum organisé avec le concours financier de :



ITAB - 149, rue de Bercy 75595 Paris cedex 12 - Tél. : 01 40 04 50 64 - www.itab.asso.fr

INRA - 147, rue de l'université 75338 Paris cedex 07 - Tél. : 01 42 75 90 00 - www.inra.fr

ARVALIS - Institut du végétal - 3, rue Joseph et Marie Hackin 75116 Paris - www.arvalisinstitutduvegetal.fr

Du blé au pain, le Bio, une filière d'avenir

PARIS

MARDI 6 NOVEMBRE 2007

SALONS DE L'AVEYRON PARIS 12^e

