

A close-up photograph of several large, green cabbage leaves. The leaves are layered, showing their characteristic wavy, ruffled edges and a prominent network of light green veins. The lighting is bright, highlighting the texture and color of the foliage. The text "A propos de choux ..." is overlaid in the center of the image.

**A propos de
choux ...**

À propos de choux...



Véronique Chable

Henri Bellis

19 octobre 2006

**UMR INRA
AgroCampus**

**APBV
Amélioration des
Plantes et
Biotechnologies
Végétales**



Partie 1 : Connaissances de l'espèce, organisation de la recherche et de la sélection conventionnelle

1. Les caractéristiques de l'espèce
 - Histoire des choux et ressources génétiques
 - Structure du génome et des espèces voisines
 - Caractéristiques biologiques et agronomiques conditionnant la sélection
2. Les critères de sélection conventionnelle
3. L'organisation de la sélection conventionnelle
 - Les systèmes d'hybridation et leur gestion dans un programme de création de variété hybride F1 : auto-incompatibilité et stérilités mâles
 - La sélection des lignées et la création des hybrides

L'espèce

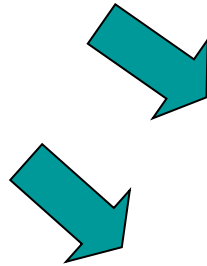
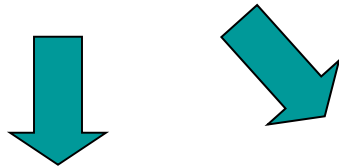
Brassica oleracea L.

- Appartient au genre des Brassicacées (ou Crucifères)
- $2n = 18$
- Espèce majoritairement bisannuelle et allogame

Histoire des choux



Chou sauvage



À partir de -1000
Avant JC



XVI ième siècle

Chou-fleur

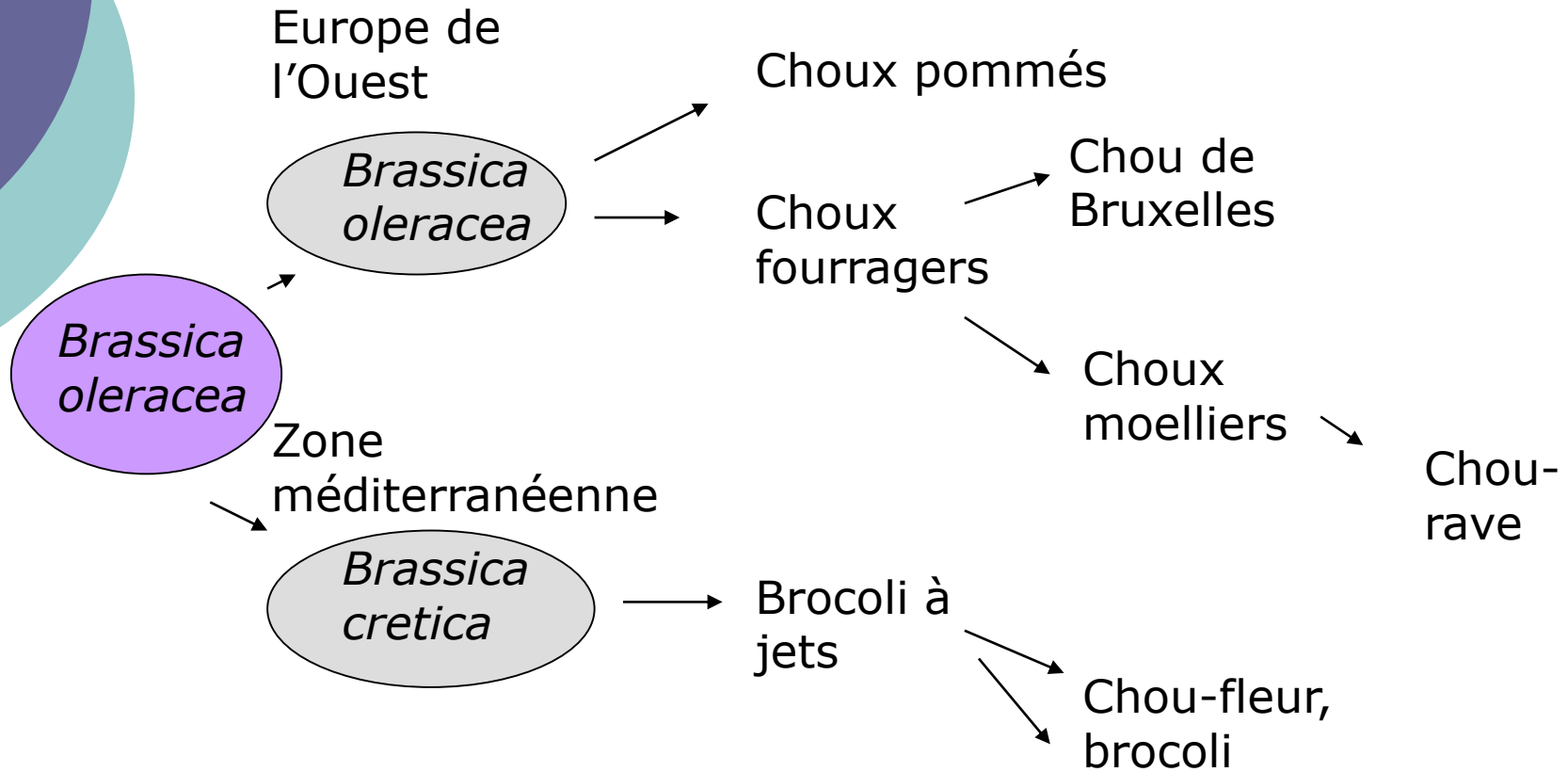


XIV ième siècle

Classification de l'espèce *Brassica* (Crisp 1975)

Convar.	Var.	Nom français	Aspects morphologiques	
<i>oleracea</i>	<i>oleracea gemmifera</i> <i>ramosa</i>	Chou sauvage Chou de Bruxelles Chou branchu ou milletêtes	Tige ramifiée ou développement des bourgeons axillaires	
<i>acephala</i>	<i>acephala sabellica</i> <i>selensia</i>	Choux fourragers Choux verts Choux frisés	Tige non ramifiée	Feuilles pédunculées
	<i>medullosa gongylodes</i>	Chou moellier Chou rave		
<i>capitata</i>	<i>capitata sabauda</i> <i>costata</i>	Choux pommés Choux de Milan Chou à grosse côte		
<i>botrytis</i>	<i>italica botrytis</i>	Brocoli à jets Chou-fleur		Inflorescence terminale très développée

Aspects évolutifs



Ressources génétiques

Ensemble de variétés patrimoniales
sauvegardées avant la
généralisation des hybrides



Le centre INRA de Rennes conserve environ 800 variétés populations collectées au début des années 80.

Un programme international et européen

Une structure internationale : IPGRI

(Institut international des ressources phytogénétiques)

elle a 25 ans et siège à Rome

Rôle de développement des initiatives nationales et internationales

L'organisation européenne : ECP/GR

European Cooperative Programme for crop genetic and Resources networks

date de 1980 et regroupe 35 pays.

assure la coordination d'actions entièrement financées par chacun des pays et coordonnées par l'IPGRI

Au niveau des *Brassica*, un groupe de travail a été initié dès 1989 et se réunit régulièrement. Une base de données regroupe les informations (espèce, variété, localisation des semences) des différents pays. Elle est gérée aux Pays-bas depuis 1991, à la CGN (Centre for Genetic Resources) sur le campus de l'Université de Wageningen.

Actuellement, on y trouve les données de 32 institutions appartenant à 22 pays européens, correspondant à un total de 19113 échantillons.

La collection rennaise : les choux pommés, collection de l'ouest de la France



Chou type Milan



Chou de Rennes



Chou de Lorient



Chou pointu Finistère

Choux pommés



Chou vert

Origines diverses



Chou grimpant



Chou « coupé-plat »

Choux fourragers



« mille tête »



feuillus



« jaune »



Cavalier vert



Cavalier rouge



moellier



Moellier « grand gigo »



Moellier rouge

Et autres crucifères légumières....



Chou de Bruxelles



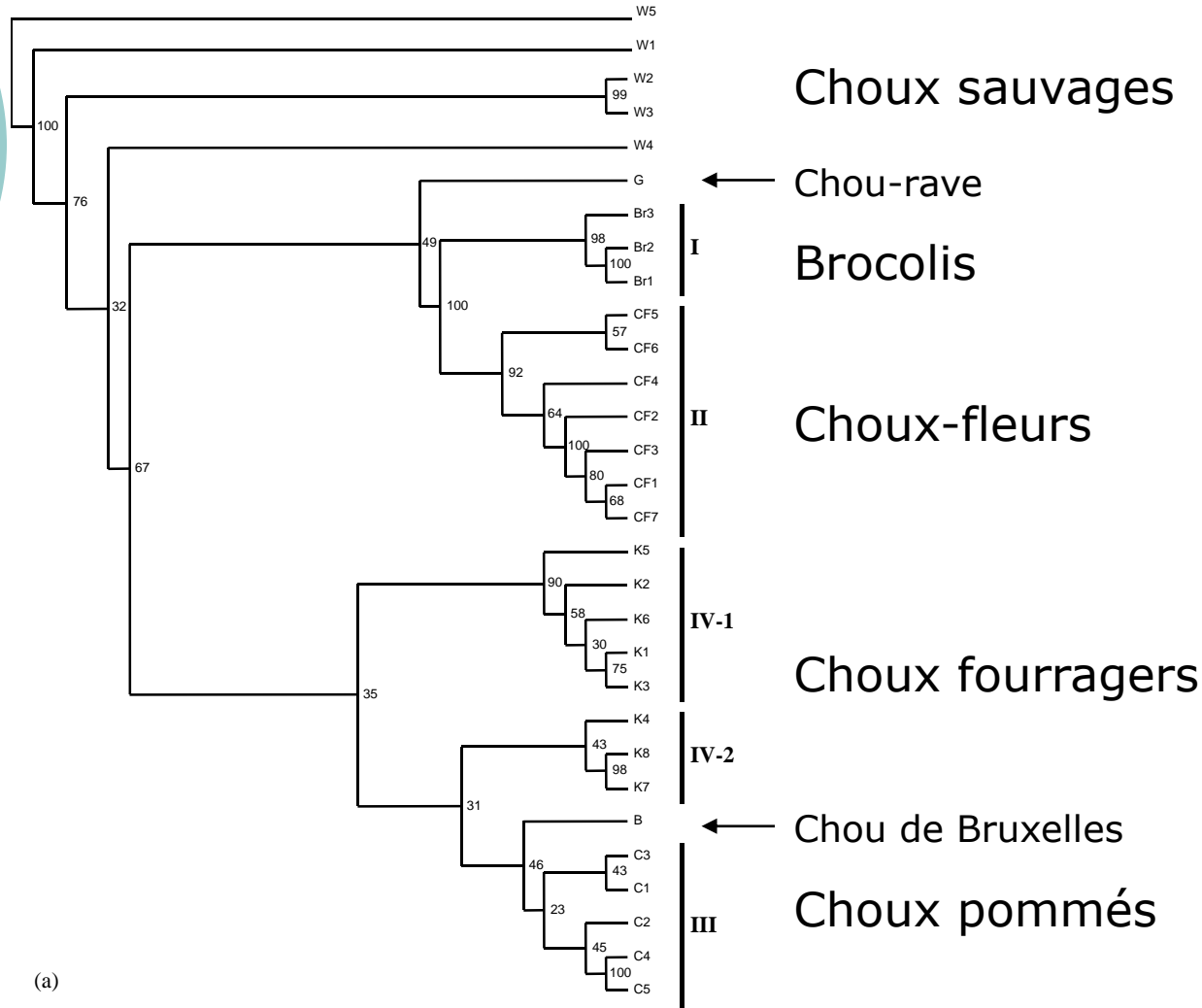
Chou-rave



rutabaga



Avec une approche génomique



Phenograms of 30 *B. oleracea* populations/lines

Neighbor-joining classifications using AFLP fragments (N=713); (W1 to W5: wild cabbages; CF1 to CF7: cauliflowers; Br1 to Br3: Broccolis; C1 to C5: cabbages; K1 to K8: kales; G: kohlrabi; B: Brussel sprout; see

(a)

Le chou et l'arabette

Arabidopsis thaliana : tétraploïdisation depuis l'ancêtre, il y a 30 à 35 millions d'années puis des réarrangements chromosomiques ont modifié l'architecture génomique

Cependant, il semble que tous ces réarrangements aient eu lieu avant la séparation entre les espèces *Arabidopsis* et *Brassica* (20 à 24 millions d'années)

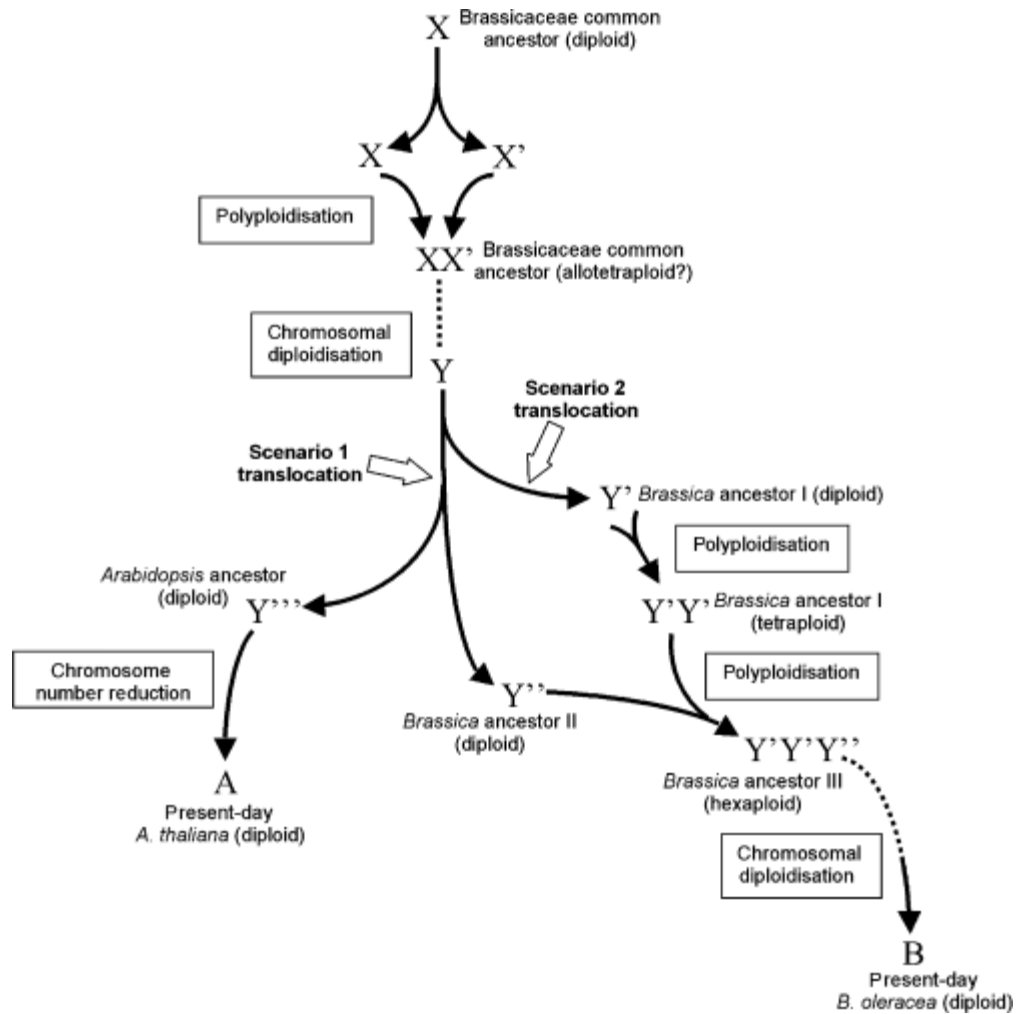
Brassica oleracea : hexaploïdisation

Ziolkowski P. A.; Kaczmarek M.; Babula D.; et al.

Genome evolution in Arabidopsis/Brassica: conservation and divergence of ancient rearranged segments and their breakpoints.

Plant Journal 47 (1): 63-74 2006

Chou et arabette



Le chou et ses voisins

- Triangle de U
 - Colza = amphidiploïde chou – navette
- ➔ Programmes de recherche communs

les méthodes de sélection

= compromis entre les contraintes biologiques et économiques dans un système agricole donné

Caractéristiques conditionnant la sélection du chou-fleur (et des choux en général)

○ Critères

biologiques

Espèces allogames

Pollinisation par les insectes

Clonage facile

○ Critères

économiques

Faible densité à l'hectare

Faible surface cultivée

Le produit récolté est un organe végétatif

Critères biologiques



Critères agronomiques



Chaque plante compte...



Récolte manuelle



Multiplication végétative *in vivo*



La floraison du chou-fleur



Sélection et systèmes agricoles

Agriculture conventionnelle ou industrielle

Les semences ont leur filière distincte de la production agricole

avec deux processus distincts et des métiers différents

- La sélection des variétés
- La production de semences

Agriculture paysanne ou biologique

Une nouvelle voie se dessine : la sélection et la production de semence ne sont qu'une seule action intégrée dans une tradition paysanne

La sélection récente des choux-fleurs

- Etape 1
« Amélioration des populations »
 - sélection massale et variétés fermières
- Etape 2
« Création de variétés homogènes »
 - création variétés hybrides F1
- Etape 3 : deux voies

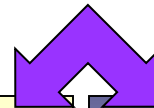
XXI ième
siècle

« variétés standardisées et
biotechnologiques »

Sélection professionnelle - grands groupes
internationaux le plus souvent

« variétés de terroir »

Sélection paysanne et professionnelle
- structures locales ou indépendantes





Les objectifs de sélection cas du système conventionnel

- Pour le producteur et le circuit de commercialisation
- Pour le sélectionneur et producteur de semences



Les objectifs de sélection pour le producteur - commercialisation

Chou-fleur et brocoli

Critères de qualité de la pomme :

- couleur
- forme
- densité
- grain
- couverture
- conservation

Rusticité des plantes

Qualité du produit



Les objectifs pour le sélectionneur en agriculture conventionnelle – producteur de semence

- Variétés protégées
- Coûts de production semence compétitifs

Allogamie de l'espèce : variétés hybrides F1



Etapes de sélection d'un hybride F1

- Ressources génétiques
- Création de lignées
- Systèmes d'hybridation fiables
- Aptitude à la combinaison
- Fertilité des porte-graine

Les pools génétiques chou-fleur

XVI ième siècle : Pool brocolis et choux-fleurs

Italiens

Bisannuels
NO Europe

Annuels N
Europe

Asiatiques

Australiens

très diversifiés
en forme et
couleur

dérivent des
italiens, depuis
300 ans

origine?
depuis
400ans

recombinants
entre annuels et
bisannuels
depuis 300 ans

recombinant
entre annuels,
bisannuels et
italiens, depuis
250 ans

Allogames majoritaires

Autogames

Allogames majoritaires

**Romanesco,
brocoli**

Chou-fleur d'hiver

Chou-fleur d'automne



Création de lignées

- Autofécondation forcée
(en contournant l'auto-incompatibilité
si elle s'exprime)
- Haplodiplométrie

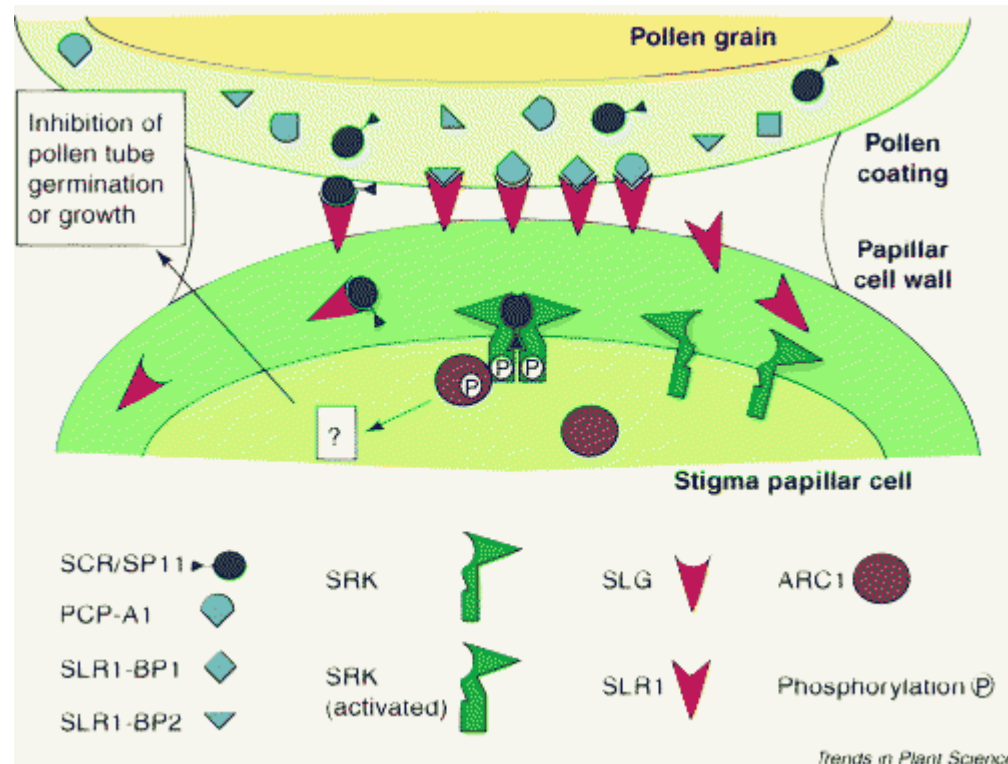


Les systèmes d'hybridation

- L'auto-incompatibilité pollinique
Système de type immunitaire de reconnaissance entre le pollen et le stigmate

Il existe deux types d'auto-incompatibilité chez les plantes :
sporophytique et gamétophytique

Mécanisme moléculaire de l'IC



Locus S (au moins 3 gènes) : SLG SP11 SRK

Explication de la diapo précédente

A model of self-recognition in the self-incompatibility (SI) response.

- Formation d'un ménisque quand le pollen touche la papille stigmatique (implication de SLG et SLR1 dans l'adhésion, et interaction avec PCP – A1)
- La réponse IC implique le facteur SP11 ou SCR (similaire aux PCPs) du pollen et SRK du stigmate
- SLG et SRK reconnaissent toutes deux la partie cystéine du SCR/SP11
- SLG pourrait favoriser el transport du SCR/SP11 vers la paroi cellulaire où se trouve SRK.
- L'interaction de SRK avec SCR/SP11 changerait sa conformation, puis l'état de phosphorylation de sa partie kinase, son affinité avec ARC1 qui interagit avec les formes phosphorylées de kinase.



D'un point de vue pratique

Un système de reconnaissance

- Gestion des croisements, quel que soit le système d'hybridation

Un système de rejet

- Fiabilité du système d'hybridation



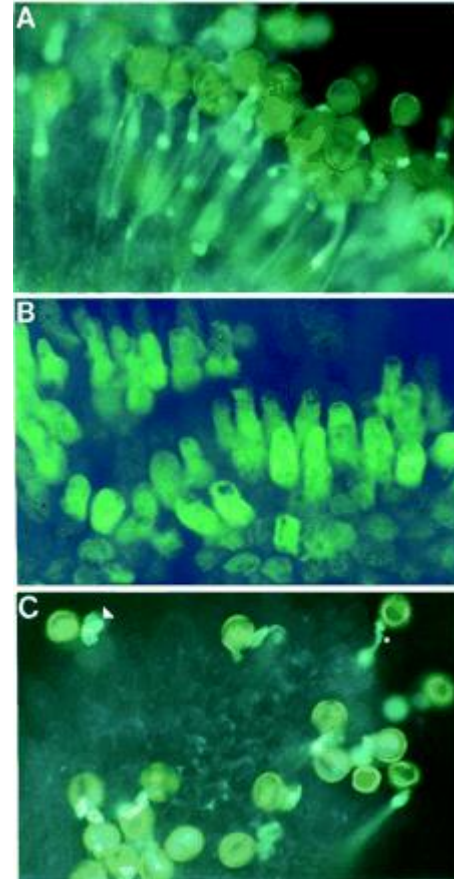
Le système de reconnaissance

Déterminé

- par croisement
- par analyse biochimique (IEF)
- par analyse moléculaire (PCR-RFLP)

Observation de la réaction IC

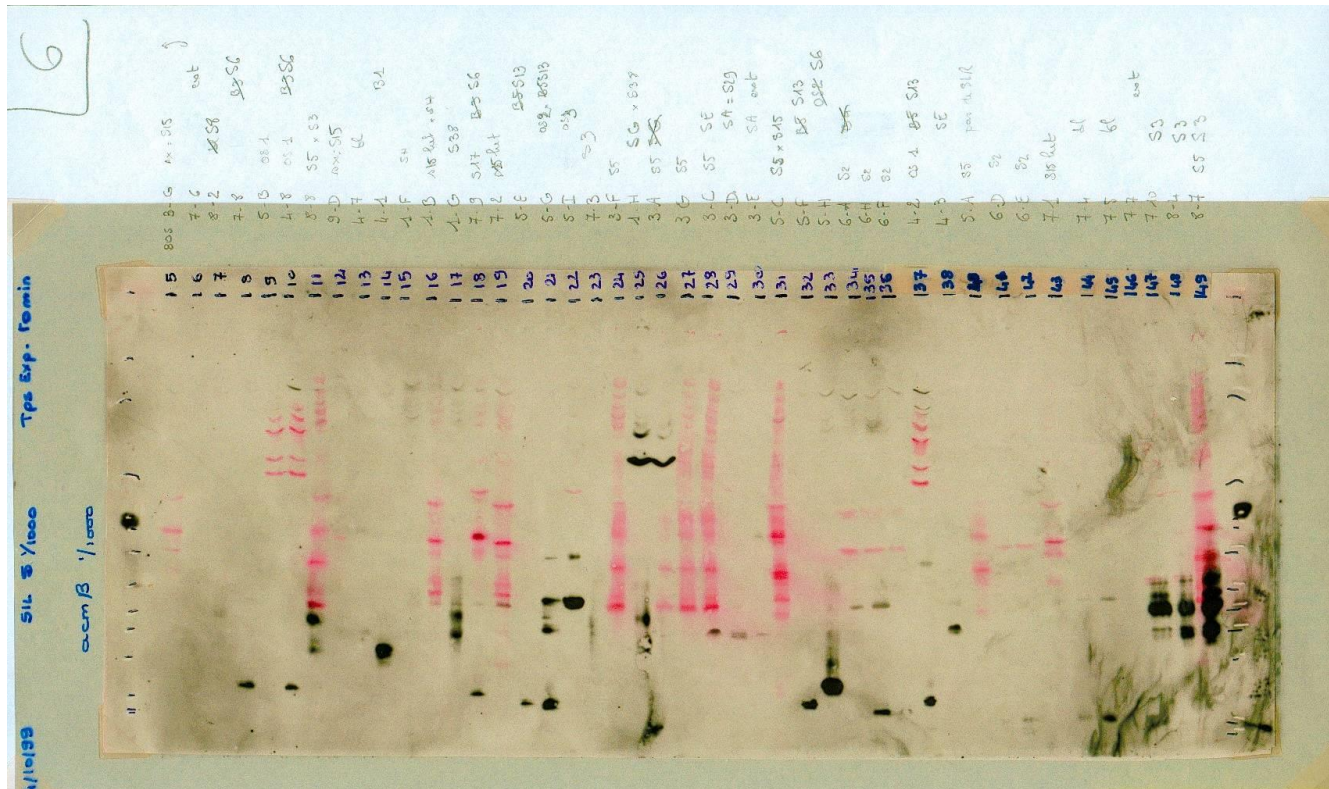
- Par microscopie à fluorescence, 24 heures après pollinisation
- Par graines, quelques semaines après pollinisation



Détermination des haplotypes par croisements

Male	ML 06	SHO 02	GEM 04	FUT 02	W28 02	C21 01	C37 05	C19 09	cauliflower SB
Female									
ML 06 (SP)	-	-	+	+	+	+-	+	+	+
SHO 02 (SP)	-	-	+	+	+	+	+	+	+
GEM 04 (SP)	+	+	-		+	+	+	+	+
FUT 02 (SP)	+	+	-	-	+		+		
W28 02 (SP)	+	+	+	+	-	-	+	+	+
C21 01	+	+	+		-	-	+	+	+
C37 05	+	+	+	+	+	+	-	-	+
C19 09	+	+	+		+	+	-	-	+
cauliflower SB	+	+	+		+	+	+	+	-
S-Haplotype detected	Hw1	Hw1	Hw2	Hw2	Hw3	Hw3	Hw4	Hw4	SB

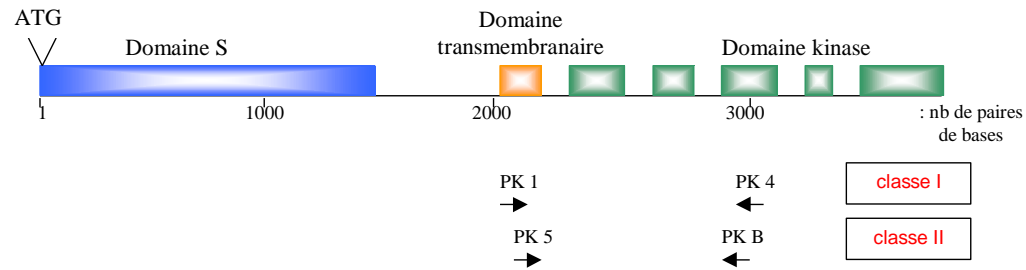
IEF = focalisation isoélectrique marquage des glycoprotéines



Notion de classe : haplotypes de classe I et II

PCR- RFLP

Schéma de SRK avec ses 3 domaines et la position des amorces



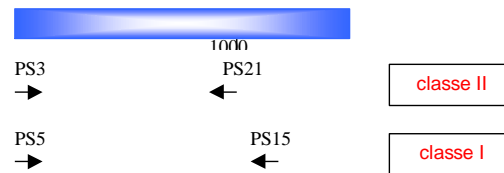
PK 1: 5'-CTGCTGATCATGTTCTGCCTCTGG-3' (Nishio *et al.*, 1997)

PK 4: 5'-CAATCCCAAAATCCGAGATCT-3' (Nishio *et al.*, 1997)

PK 5: 5'-AGACAAAAGCAAGCAAAAGCA-3' (Nishio *et al.*, 1997)

PK B: 5'-CAAATCCCTATGGATGATTCTAAA-3' (INRA – ENS Lyon, DEA J. Rocherieux)

Schéma de SLG et la position des amorces



PS 3 : ATGAAGGGGTACAGAACAT

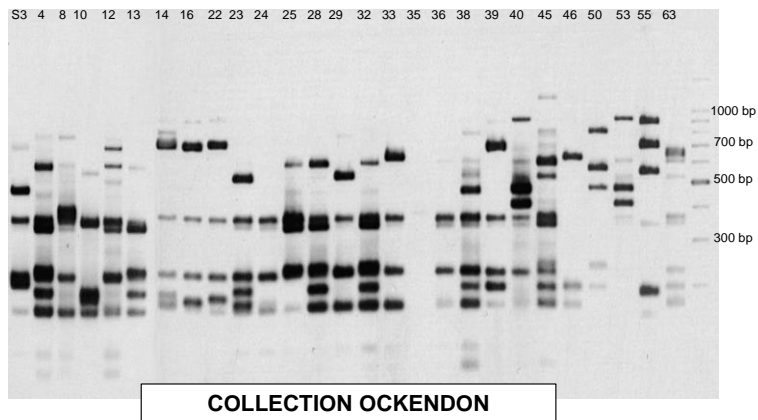
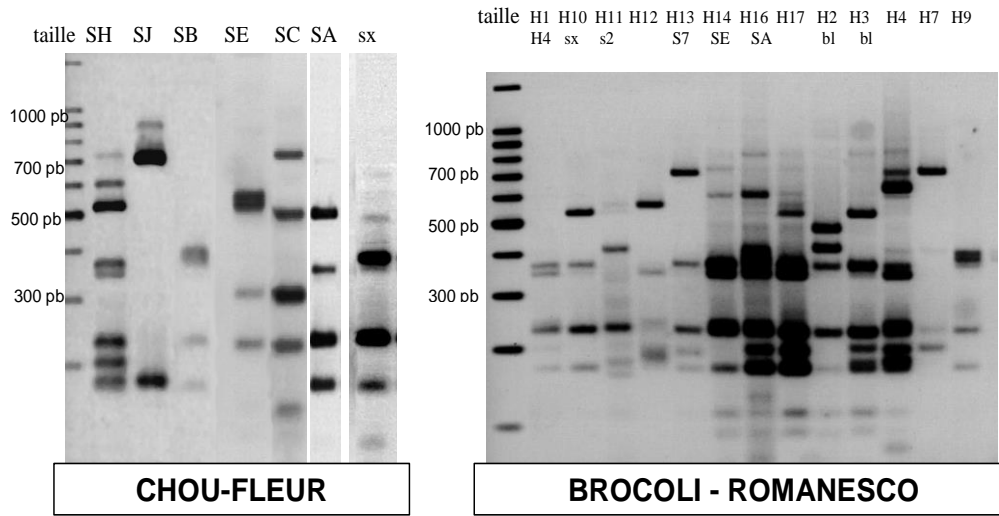
PS 5 : ATGAAAGGCGTAAGAAAAACCTA

PS 15 : CCGTGTTTTATTTAAGAGAAAAGAGCT

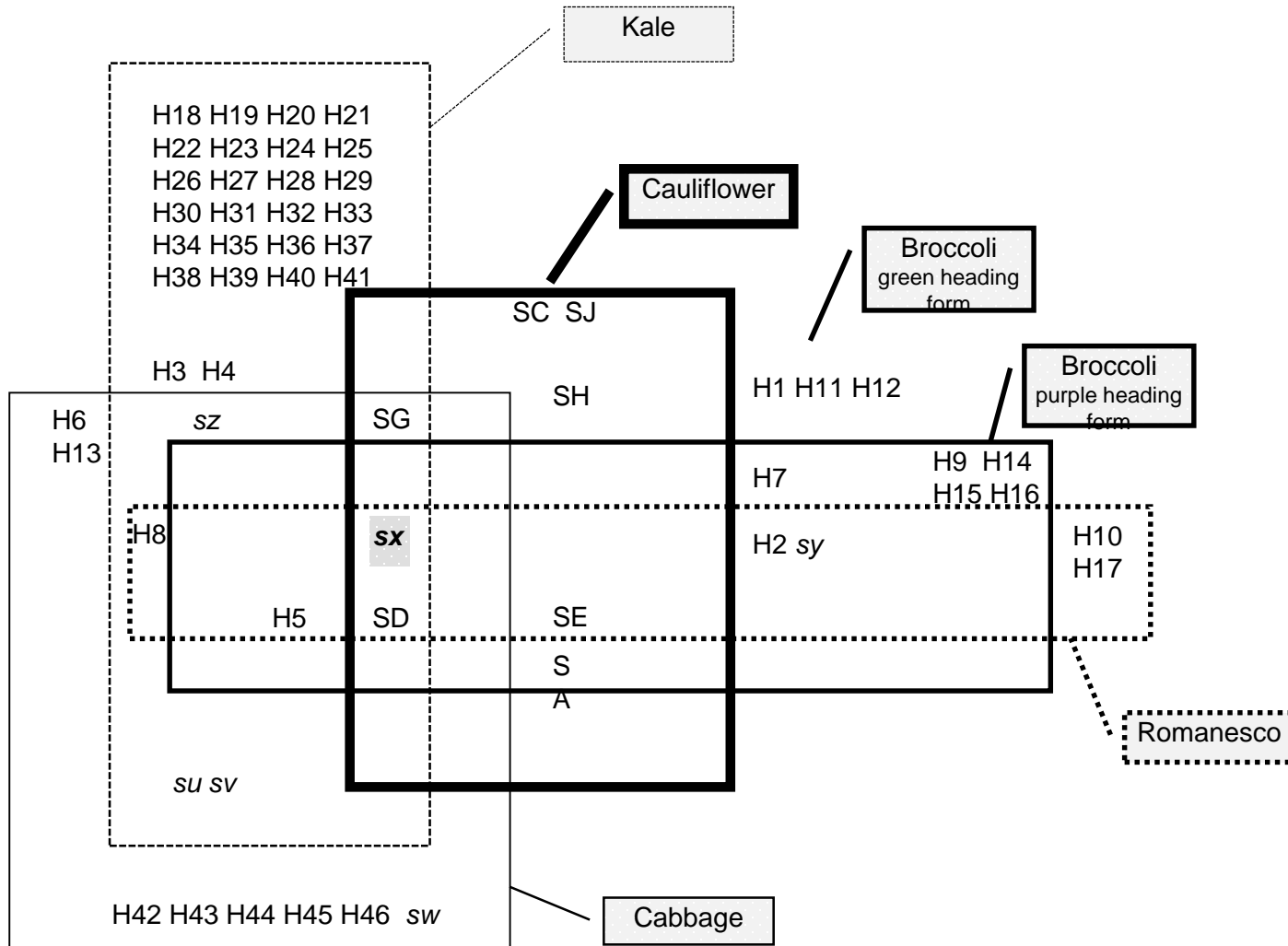
PS 21 : CTCAAGTCCCACTGCTGCGG

source : Nishio T, Kusaba M, Watanabe M, Hinata K (1996)

Variabilité Brassica



Distribution des haplotypes



Niveau d'IC

Percentage of plants for each level of self-incompatibility, evaluated by the SCI index, for cauliflower, broccoli and romanesco

SCI	level of self-incompatibility	cauliflower*			broccoli	romanesco
		autumn	winter	total		
0%	strict	10	7	8	24	26
1-5%	strong	12	12	12	23	38
6-50%	partial	23	46	36	36	24
51-100%	compatibility	55	35	44	16	12
	<i>nb of tested plants</i>	49	74	123	99	68

Distribution de l'IC

Distribution of broccoli (B) and romanesco (R) plants according to two measures of the level of self-incompatibility; relationship between both measures: pollen tubes counts and calcul of the self-compatibility index (SCI*)

SCI classes	0%	1-5%	6-50%	51-100%	<i>not evaluated**</i>	sum of plants		
classes estimated by pollen tubes counts						R	B	total
0.0	31	29	15		6	39	42	81
0.1-1.0	6	18	18	2	9	24	29	53
1.1-4.0	4	2	16	8	1	10	21	31
4.1-8.0	1		3	14		5	13	18
Romanesco	18	26	16	8	10			
Broccoli	24	23	36	16	6			
sum of plants	42	49	52	24	16			

*SCI = nb of seeds after self-pollination / nb of seeds after cross pollination

** the fertility was too low to calculate SCI index

Variabilité de l'IC pour un haplotype, exemple S15

Inter-crossing between 3 homozygous sx plants (11035, 41865, 40443)

plant	11035	41865	40443	fertility control
11035	3	12	43	97
	2	13	29	70
	1	6	1	54
41865	0	2	0	61
	4	8	0	102
	0	4	8	27
40443	13	19	8	77
	12	55	39	70
	32	26	45	149
fertility control	109	108	95	
	97	111	94	
	33	58	47	

nb de graines pour 6 fleurs traitées



Les stérilités mâles

Définition

Chez les plantes bisexuées (monoïques ou hermaphrodites), la stérilité mâle est l'incapacité de transmettre l'information génétique par des gamètes mâles.

Les deux catégories de stérilités à *contrôle génétique* sont définies

- **les stérilités à contrôle nucléaire (= génique)** montrent une hérédité de type mendélien ;
- **les stérilités à contrôle géno-cytoplasmique ou nucléo-cytoplasmique**, conditionnées par la présence d'un cytoplasme inducteur de stérilité généralement appelé cytoplasme S



Les stérilités mâles géniques

- Récessives

- Nombreuses sources, majoritairement chez le chou-fleur d'hiver, dans des populations ou lignées en cours de consanguinisation

- Dominantes

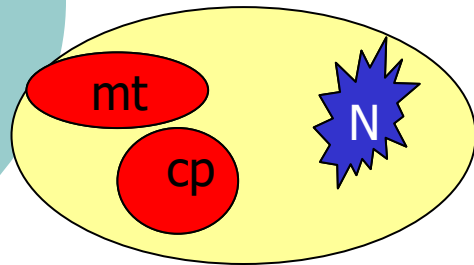
- 3 sources dont une seule exploitée pour le chou-fleur d'automne

Stérilités mâles cytoplasmiques

- N'existent pas chez le chou-fleur
 - Ont été introduites à partir de plusieurs sources : radis, *B. tournefortii*, colza
 - La source valorisée : Ogu-INRA, introduite par fusion de protoplastes
- Pour pallier les inconvénients de l'alloplasmie

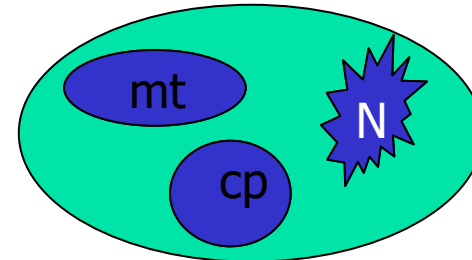
Fusion de protoplastes (C Primard, G Pelletier) INRA Versailles

Chou mâle stérile, après
croisement intergénérique



Cytoplasme Ogura
déficient en chlorophylle
nectaires peu développés

Chou mâle fertile, original

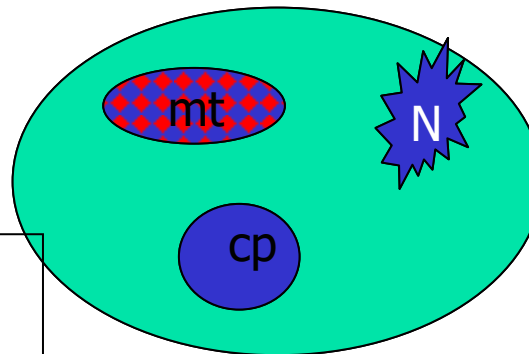


Cytoplasme colza
Fertile et vert

+
fusion somatique



cybrides



Mâles stériles
non déficients en chlorophylle
nectaires bien développés

Autre méthode d'obtention.....

Chimères

- obtention de CMS chez les choux par deux expérimentations comparées par une équipe japonaise (Hirata Y et al 2000) :
 - 1- chimère artificielle entre un chou rouge et Kotsuma (*B. campestris*)
 - 2- fusion protoplastes entre le radis et le chou
- Tous avaient un génome mitochondrial normal et étaient mâles fertiles

Contrôle mitochondrial

- Les produits de fusion somatique (*in vivo* et *in vitro*) ont abouti à la même CMS, déjà connue chez le radis Ogura, liée au même gène mitochondrial *orf138*.

Conclusion :

Il existe un mécanisme général d'induction de la CMS (Stérilité mâle cytoplasmique)

Ce résultat montre des interactions génétiques entre des cellules et tissus adjacents

Utilisation des stérilités mâles en « sélection conventionnelle »

La création de variétés hybrides : 4 étapes

1 - Création de lignées femelles

- conversion de lignées mâles fertiles en lignées mâles stériles : recherche des sources de stérilité, cycle de rétrocroisements

2 - Maintien de ces lignées femelles

- multiplication des lignées femelles pour la production de semences : production d'un pool de plantes à 100% mâle stérile

3 - Restauration de la fertilité

- étape nécessaire pour les espèces dont on récolte la semence : recherche de système de restauration et introduction dans les lignées restauratrices, les lignées mâles stériles sont alors les lignées mainteneuses

4 - Production de l'hybride

- mise au point des dispositifs de production de semences

Utilisation des stérilités mâles géniques

Principe de la conversion d'un génotype B avec une stérilité récessive A

A (ms/ms) x B (MS/MS)
AB (ms/MS)
100%Fertile et 50%B



Autofécondation : $\frac{3}{4}$ fertile, $\frac{1}{4}$ stérile
Repérage des AB (ms/ms) stériles



1er rétrocroisement
AB (ms/ms) x B (MS/MS)
AB (ms/MS)
100% fertile et x% B
(x > 50%)

OU

A (ms/ms) x B (MS/MS)
AB (ms/MS)
100%Fertile et 50%B



1er rétrocroisement
AB (ms/MS) x B (MS/MS)
50% AB (ms/MS) et 50% AB(MS/MS)
100% fertile et 75% B



Test-cross
Chaque plante
croisée avec A

2^{ème} rétrocroisement
Chaque plante
croisée avec B

Utilisation des stérilités mâles géniques récessives

Fin de la conversion d'un génotype B avec une stérilité récessive A

Autofécondation des BCn:

1/4 stériles B (ms/ms)

1/2 fertiles B (MS/ms)

1/4 fertiles B (MS/MS)

n varie selon les espèces et la distance génétique entre les parents

Entretien par croisement FxS

B (ms/ms) x B (MS/MS) suivi d'AF

Ou

B (ms/ms) x B (MS/ms)

Production de la semences hybrides

Lignée femelle (2^{er} cas)

50% B (ms/ms) + 50% B (MS/ms)

x lignée mâle

C (MS/MS)

100% BC (MS/ms)

Technique d'élimination à mettre au point

Utilisation des stérilités mâles dominantes

Principe de la conversion d'un génotype B avec une stérilité dominante A

Croisement d'introduction

A (**St**/st) x B (st/st)



AB (**ST**/st) + AB (~~st/st~~)

1/2 Fertile, 1/2 Stérile et 50%B



1^{er} rétrocroisement

AB (**St**/st) x B (st/st)

AB (**ST**/st) + AB (~~st/st~~)

1/2 Fertile, 1/2 Stérile et 75%B

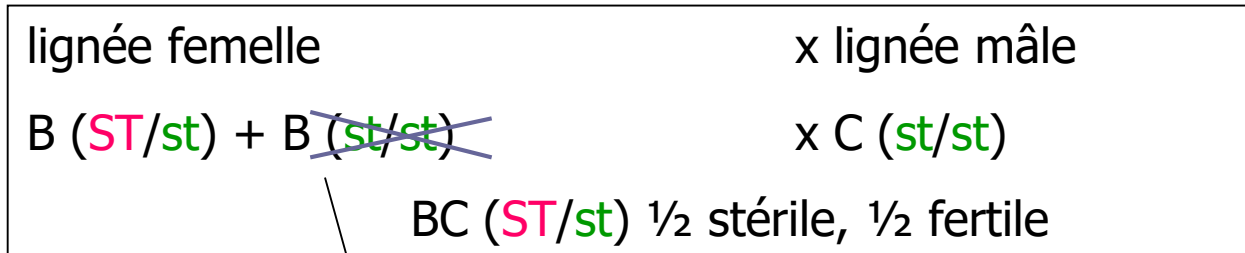


Et ainsi de suite,
jusqu'à BC n

Utilisation des stérilités mâles dominantes

Principe du maintien de B avec une stérilité dominante
= BC n+1

Production de la semence hybride



2 stratégies :

- marquage des plantes mâles stériles pour une élimination précoce
- artifice pour produire une lignée femelle à 100% stérile

Utilisation des stérilités mâles cytoplasmiques

*Principe de conversion d'une lignée B mainteneuse :
introduction du génome B dans le cytoplasme d'une lignée
A mâle stérile*

Croisement d'introduction

A (S)(rf/rf) x B (N) (rf/rf)

AB (S)(rf/rf)

100% stérile et 50%B

1^{er} rétrocroisement

AB (S)(rf/rf) x B (N) (rf/rf)

AB (S)(rf/rf)

100% stérile et 75%B

Et ainsi de suite,
jusqu'à BC n ➡ B(S) (rf/rf)

B (N)(rf/rf) et B (S)(rf/rf) sont des lignées alloplasmiques

Récapitulatif des systèmes d'hybridation du chou-fleur

Les systèmes d'hybridation

- ***Auto-incompatibilité***
11 haplotypes, niveau d'auto-incompatibilité dépend du fonds génétique
- ***Stérilité génique récessive (plus de 10 sources)***
origine spontanée, le plus souvent monogénique, le plus souvent stable
- ***Stérilité génique dominante (3 sources)***
origine spontanée, monogénique, stabilité dépend du fonds génétique
- ***Stérilité cytoplasmique (4 sources)***
origine croisement interspécifique et fusion de protoplastes (système Ogu-INRA), stable

Sélection conventionnelle du chou-fleur et gestion des systèmes d'hybridation

Comparaison des systèmes d'hybridation pour 4 critères

- *Fiabilité*
- *Multiplication de la plante femelle*
- *Méthode de conversion des lignées mâles fertiles*
- *Incidences agronomiques*

Systeme d'hybridation du chou-fleur

Fiabilité

- L'objectif est **l'obtention de lots de semences hybrides exempts de semences issues de l'autofécondation ou de croisement frère-soeur au sein de la lignée femelle.**
- Il implique un contrôle rigoureux d'un niveau élevé de l'auto-incompatibilité ou de la stabilité de la stérilité pour les lignées utilisées comme femelle.

Sélection conventionnelle du chou-fleur

fiabilité des systèmes d'hybridation

- ***Auto-incompatibilité***
 - point faible de l'auto-incompatibilité : niveau d'auto-incompatibilité variable d'un fonds génétique à l'autre, mais très consanguins
 - génétique de la réaction de rejet du grain de pollen sur le stigmate non connue et phénotype non maîtrisé
- ***Stérilité génique récessive***
 - sélection des génotypes stables en fonction de la température (complément avec auto-incompatibilité)
- ***Stérilité génique dominante***
 - sélection des génotypes stables en fonction de la température (complément avec auto-incompatibilité)
- ***Stérilité cytoplasmique***
 - toujours très stable

Sélection conventionnelle du chou-fleur

fiabilité des systèmes d'hybridation

CONCLUSION :

- Le système le plus fiable est la stérilité mâle à contrôle cytoplasmique, les stérilités mâles à contrôle génique sont capables d'offrir la même fiabilité en effectuant des contrôles rigoureux des clones parents d'hybrides,
- mais l'auto-incompatibilité pollinique montre son handicap majeur pour ce critère, d'autant plus que les méthodes d'appréciation du niveau d'auto-incompatibilité à la floraison ne permettent pas de prévoir avec précision les résultats obtenus en production de semences.

Sélection conventionnelle du chou-fleur

Multiplication de la plante femelle

- L'objectif est de **multiplier le parent femelle dans des conditions économiquement viables tout en maintenant la fiabilité du système.**
- A chaque fois qu'elle est possible, la multiplication par graines est la plus économique.

Sélection conventionnelle du chou-fleur

Multiplication de la plante femelle

- ***Auto-incompatibilité***
 - bien que possible au stade bouton, l'autofécondation des plantes auto-incompatibles n'est pas envisagée du fait de l'instabilité du phénotype de rejet d'une génération à l'autreActuellement, clonage uniquement.
- ***Stérilité génique récessive***
 - clonage uniquement
- ***Stérilité génique dominante***
 - bien que des lignées mâles stériles homozygotes pour un gène de stérilité ait été obtenues, la stabilité de la stérilité n'est pas obtenue dans toute la descendance mâle stérileActuellement, clonage uniquement
- ***Stérilité cytoplasmique***
 - clonage et production de semences (rétrocroisement supplémentaires)



Sélection conventionnelle du chou-fleur

Multiplication de la plante femelle

CONCLUSION :

- Afin de maintenir la fiabilité du système, la multiplication par semis n'est actuellement envisageable que pour les stérilités mâles à contrôle cytoplasmique.
- Le clonage reste indispensable pour les stérilités à contrôle génique et l'auto-incompatibilité

Sélection conventionnelle du chou-fleur

Méthode de conversion des lignées mâles fertiles

- L'objectif est **l'introduction d'un système d'hybridation dans des lignées autocompatibles et/ou mâles fertiles dans un délai le plus court possible avec la manipulation d'un minimum de plantes.**

Sélection conventionnelle du chou-fleur

conversion de lignées fertiles

- ***Auto-incompatibilité***
 - aucun travail d'introduction, exploitation du système présent dans la plante
- ***Stérilité génique récessive***
 - introduction par rétrocroisement, mise au point de marqueurs moléculaires
 - création de plante mâle stérile par haplo-diplométrie
- ***Stérilité génique dominante***
 - introduction par rétrocroisement, mise au point de marqueurs moléculaires
- ***Stérilité cytoplasmique***
 - introduction par rétrocroisement

Sélection conventionnelle du chou-fleur

conversion de lignées fertiles

CONCLUSION :

Les stérilités à contrôle cytoplasmique sont le système le plus simple à manipuler pour introduire un système d'hybridation : faible effectif à chaque rétrocroisement et aucun contrôle.

Cependant, les stérilités à contrôle génique récessif permettent un gain de temps et la création de plantes originales par HD.

Sélection conventionnelle du chou-fleur

Incidences agronomiques et compatibilité avec le système de production

- L'objectif est **d'éviter l'expression de caractères secondaires négatifs liés aux systèmes d'hybridation.**
- Ils sont à rechercher à trois niveaux :
 - la production de semences
 - la qualité de l'hybride.
 - la compatibilité avec l'éthique d'une filière de production et ses cahiers des charges

Sélection du chou-fleur

Incidences sur autres critères

- ***L'auto-incompatibilité***

ce système ne modifie rien de la biologie de la plante :
c'est le système naturel d'allogamie de l'espèce

- ***Les stérilités mâles***

Les effets pléiotropiques des stérilités à contrôle cytoplasmique sur les caractères agronomiques sont à évaluer avec précision, ainsi que l'intérêt de conserver une lignée avec son propre cytoplasme.

Un premier handicap des stérilités radis et cybrides radis-colza à contrôle cytoplasmique est une faible productivité en production de semences comparée à la stérilité génique.

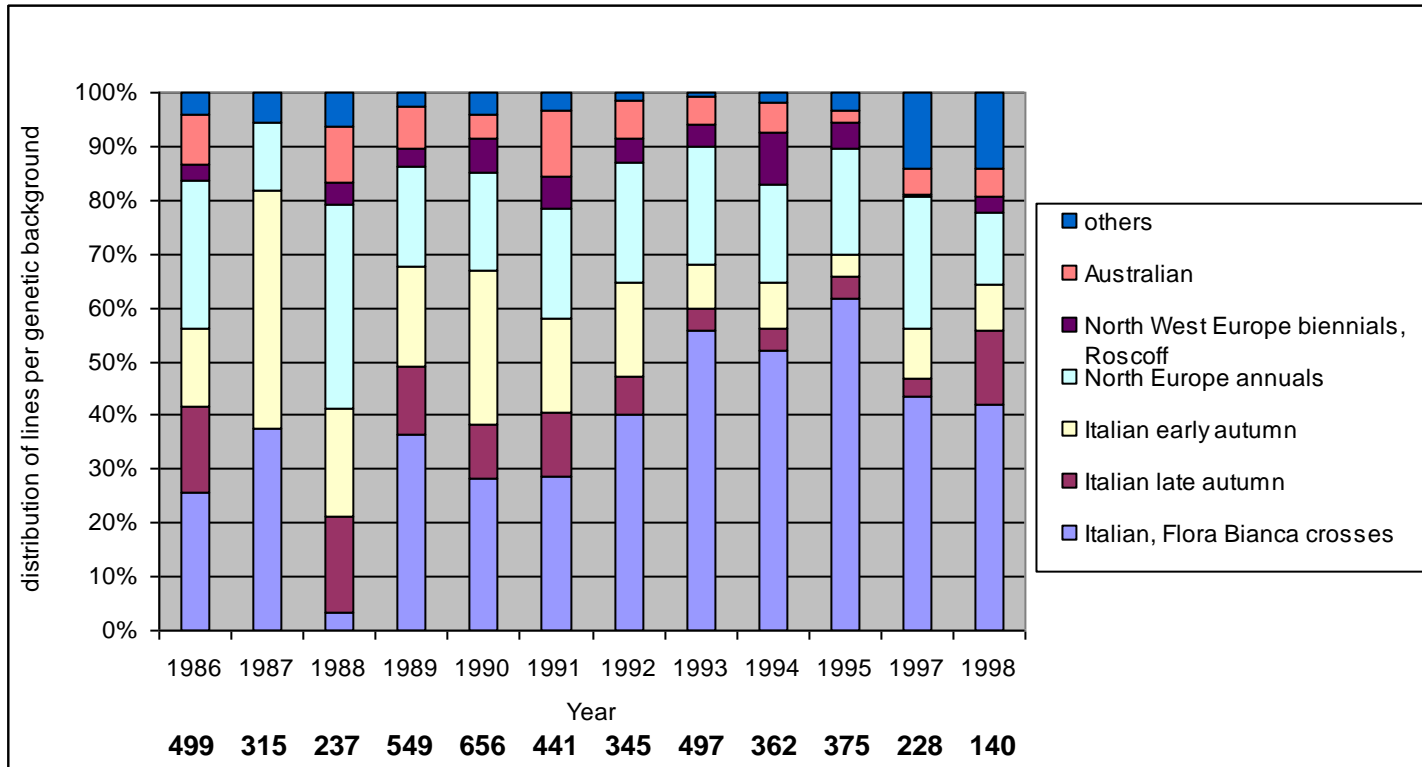
Un second handicap de la stérilité à contrôle cytoplasmique pour cette espèce est son origine quand elle est issue de fusion de protoplastes, dans le cas d'une utilisation pour l'agriculture biologique (ne respecte pas l'intégrité d'un organisme vivant, voir recommandations IFOAM)

Création d'hybrides – Sélection conventionnelle

- Sélection des lignées
 - Homogénéisation
 - Introduction de systèmes d'hybridation
 - Recherche de source de résistance (exemple, résistance à la hernie, voir aussi programme colza)
- Recherche des valeurs en combinaison

Exemple du programme INRA- CERAFEL :

lignées sélectionnées entre 1986 et 1998



La conduite de la sélection conventionnelle pour des hybrides F1

Etapes	Plans de croisement	Durée
- 1 - Recherche de combinaisons hybrides	Diallèle Top-cross Polycross <i>entre lignées appartenant à des groupes génétiques différents</i> Pollinisation manuelle ou par insectes Expérimentation sur 1 ou 2 sites	2 à 3 cycles
- 2 - Finition	Top-cross <i>avec des lignées apparentées dans chaque groupe génétique retenu</i> Pollinisation manuelle Expérimentation sur 2 à 3 sites	1 à 2 cycles
- 3 - Confirmation	Croisement entre 2 lignées <i>avec les 2 lignées retenues pour chaque combinaison choisie</i> Pollinisation par des insectes pollinisateurs Expérimentation sur 10 à 15 sites	2 cycles

Exemple de disjonction de caractères

Couleur du feuillage

2 lignées

-Groupe Flora Blanca

-Groupe « annuel du nord de l'Europe »



Les lignées et leur F2



F2

F3





Entre un hybride sélectionné et une variété commercialisée

- Pré-multiplication

Faisabilité de la multiplication de semence, essais multilocaux

Rôle des stations expérimentales

Dispositif breton, agriculture conventionnelle

- Convention avec INRA jusqu'en 2004 pour la sélection
- Stations expérimentales dans les 3 départements concernés, participation du CTIFL, financements régionaux, professionnels et européens
- OBS : organisation bretonne de sélection

CERAFEL : Comité Economique Régional Agricole Fruits et Légumes, rôle de régulation des marchés et d'animation technique



L'inscription de la variété

- Critères DHS

Distinction Homogénéité Stabilité

Essai au GEVES sur deux sites

Pour procédure d'inscription au catalogue officiel

Vers la production de semences

Dispositif en rangs alternés de la lignée femelle (2/3) et de la lignée mâle (1/3)

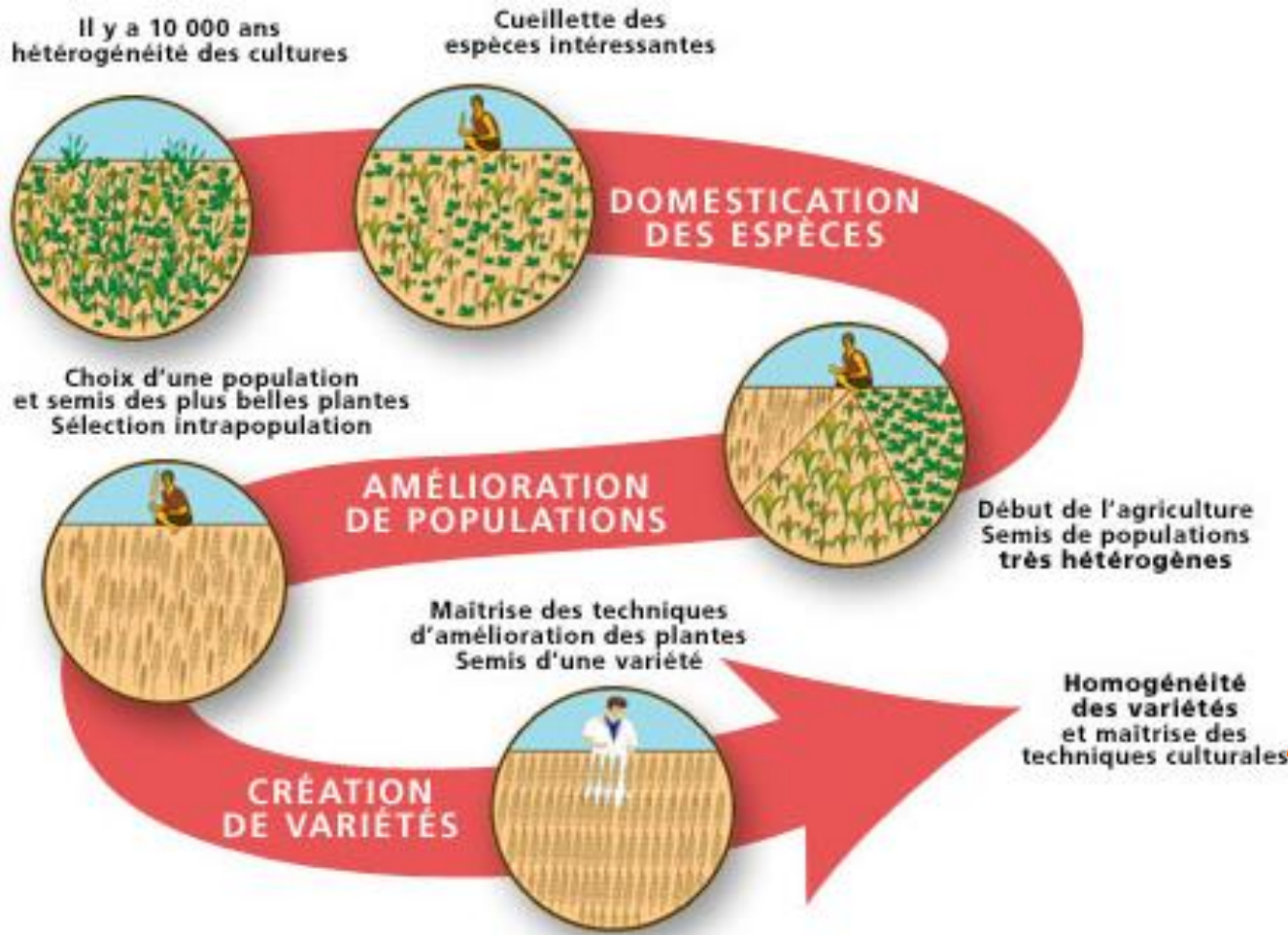


Cas OBS, Organisation Bretonne de Sélection

Difficultés de la production de semences

- Fertilité très variable selon les conditions climatiques
- Peu de nectar chez les plantes CMS
- Détérioration des conditions sanitaires avec la monoculture

Autre voie d'Amélioration des Plantes



La variété retrouve sa place, dans un mode de développement agricole respectant l'homme et son milieu

La variété devient un produit technologique, pour une agriculture industrielle et artificialisée

Agriculture, sélection et semences

- Avant 1850 : le paysan produit ses semences, la sélection appartient à la communauté
- depuis la fin du XIXe :
 - apparition du métier de sélectionneur, début de l'industrialisation de l'agriculture
 - travaux de grands collectionneurs (Vavilov, Harlan...)
- 1946 : création de l'INRA
 - Impératif socio-politique assigné en 1946 : « maîtriser les processus productifs en s'affranchissant le plus possible des aléas de la nature »
 - Développement de l'« amélioration des plantes », dans les secteurs publics et privés

Hypothèses de travail :

le contexte de l'Agriculture Biologique

systeme de production basé sur le
maintien des équilibres naturels

la plante cultivée participe à l'établissement
d'un équilibre dynamique

« plus qu'un mode de production, un
mode de développement »

la sélection et la production de semences
s'inscrivent dans l'éthique de la filière



Vers une sélection biologique

Qualité écologique

favoriser les équilibres biologiques

Qualité économique

critères agronomiques

qualité produit

image terroir

Respect de l'intégrité de la plante

Contraintes pour un sélectionneur

- grande **diversité** de variétés nécessaire à la filière
 - développer des produits spécifiques
 - privilégier des produits de terroir
 - diversité de conditions de production
- **faible quantité** de semences par variété
- maintenir des **coûts de sélection et de production** de semences à des niveaux raisonnables
 - schéma de sélection court
- « **urgence** » des besoins

<http://www.semences-biologiques.org/>

La réglementation concernant les semences et plants biologiques

En 1995, (avec fin de la dérogation en 2004), le règlement sur le mode de production biologique a été modifié en ce qui concerne les semences et plants : la production en agriculture biologique implique depuis cette date que les semences et les matériels de reproduction végétative ont été produits conformément aux règles générales de l'agriculture biologique pendant au moins une génération, ou, pour les cultures pérennes pendant deux périodes de végétation.

Cette condition concerne l'ensemble des semences et des plants, et est obligatoire sans possibilité de dérogation pour les plants de légumes issus de semences ... Pour les semences et les plants de pomme de terre, dans le cas où des semences bio des variétés recherchées ne sont pas disponibles, une dérogation reste possible dans des conditions strictes précisées par le [Règlement communautaire d'août 2003](#).

IFOAM : International Federation of Organic Agriculture Movements

D1 Normes provisoires pour l'Amélioration des Plantes, Principes généraux

- La sélection biologique de plantes et la production de semences visent une agriculture durable, renforcent la biodiversité génétique et **reposent sur des procédés naturels de reproduction.**
- L'amélioration des plantes pour l'AB est basée sur une approche holistique qui respecte les barrières de croisement naturelles et la fertilité des plantes, celle-ci établissant une relation étroite avec le sol vivant. Les « variétés biologiques » sont obtenues par un programme « biologique » d'amélioration des plantes.
- Les objectifs d'un programme d'amélioration des plantes est de maintenir et de diversifier les productions biologiques.

IFOAM

Appendix D1 Plant Breeding Draft Standards

Les techniques de sélection autorisées en AB

Techniques de variations induites

- combinaisons génétiques,
- croisement inter-variétal,
- croisement en pont,
- rétro croisement d'hybrides avec des F1 fertiles,
- traitement thermique,
- greffage du style,
- bouturage du style,
- pollen mentor non-traité.

Techniques de sélection

- sélection massale,
- sélection généalogique,
- sélection à partir du choix du site,
- modifications du milieu local,
- modifications de la période de semis,
- sélection épi-ligne,
- croisements de contrôle,
- sélection indirecte,
- méthodes de diagnostique par marquage ADN.

Maintien et multiplication

- multiplication par graines,
- multiplication végétative,
- division de tubercules;
- division des écailles, bulbes, enveloppe, et bulbilles, couvée de bulbes,
- bulbes périphériques (offset bulbs) etc.
- marcottage, bouturage et greffage des tiges
- rhizomes.

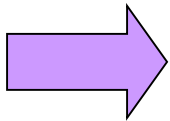
Et pour les choux et choux-fleurs

Type variétal privilégié pour l'AB

- Qualité et biodiversité au sein d'un peuplement végétal

Associer l'homogénéité du produit ou/et de critères agronomiques et l'hétérogénéité du fonds génétique

- Respecter la biologie de l'espèce



structure de variétés populations

Un projet CIAB (2001-2003)

Evaluer les variétés de « ressources génétiques »

Définir la variété bio pour les choux

Initier un travail de sélection

Avec l'INRA, l'Université et les partenaires d'IBB (Inter Bio Bretagne) sur un site expérimental :

la PAIS (Plate-forme agrobiologique d'Inter bio Bretagne)

A group of about ten people, dressed in outdoor jackets, are standing in a field of green plants, possibly a vegetable garden or farm. They are looking towards a large body of water, likely a lake or reservoir, in the background. The sky is overcast and grey. The overall scene suggests a community or educational activity in a rural or agricultural setting.

Sélection Participative

La sélection est insérée dans un ensemble d'approches associant différents acteurs dans un terroir (sol, climat, homme)

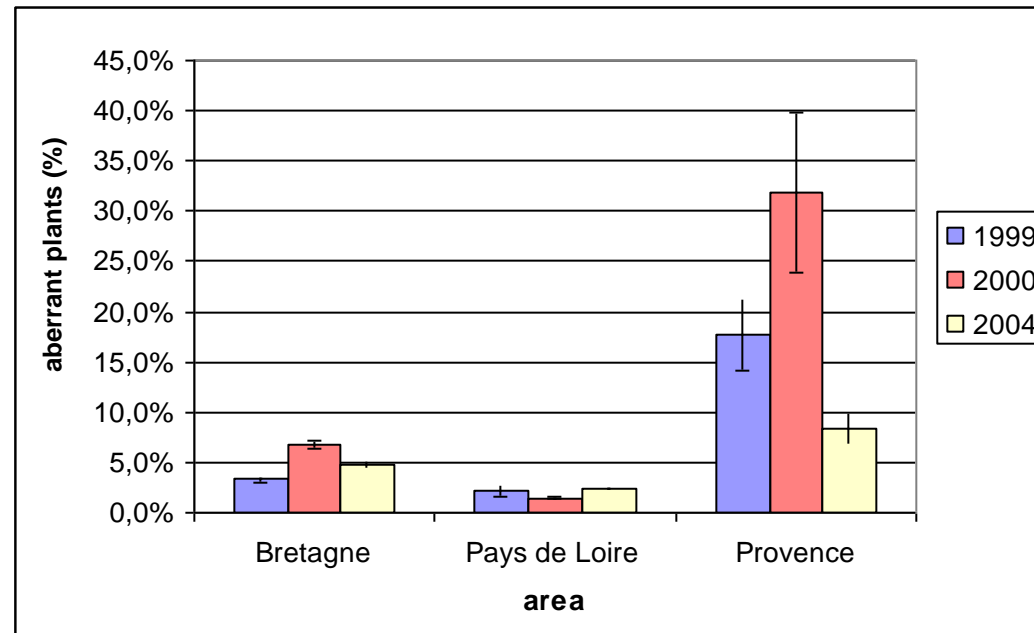
Autre programme de recherche

- Comprendre les plantes aberrantes
 - Hybrides en expérimentation pour mesurer l'évolution du phénomène
 - Analyse QTL de la sensibilité à l'aberration

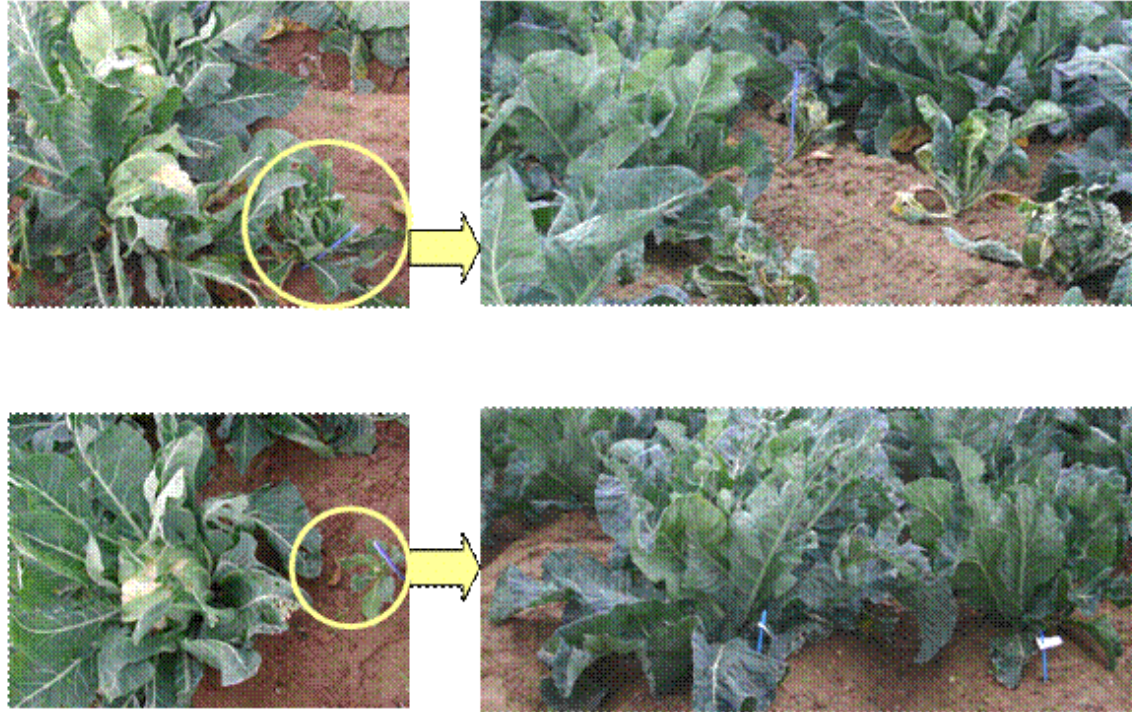
Un cas de maladie d'origine épigénétique chez les plantes

Situation	In the field at the beginning of the vegetative cycle	In the field at the end of the vegetative cycle	Plants after vegetative propagation	Proportion
Stable ab.	 frisée	 frisée	 frisée	3/22
Late expression then stable	 N	 tortured	 tortured	1/22
Evolution of the ab. phenotype	 Stick	 reduced and stick	 very reduced, sitck	8/22
Ab. plant with reversion to normality	 Lettuce like	 to the normality	 N	10/22
Normal control (N)	 N	 N	 N	

Incidence du lieu de culture



Transmission à la descendance



Bases du travail

Observations phénotypiques :

- mêmes phénotypes dans des fonds génétiques différents
- fertilité réduite des aberrants

Observations physiologiques

- le phénomène peut être réversible en cours de culture
- le taux d'aberrant dépend du lieu de culture pour un même lot de semences
- une partie des plantes aberrantes maintient son phénotype après clonage
- le caractère aberrant se transmet par greffe

Observations (cyto-) génétiques

- les caractères acquis ont une hérédité variable
- les plantes aberrantes peuvent être aneuploïdes
- le taux de plantes aberrantes, la réversibilité et la transmissibilité dépendent du fonds génétique

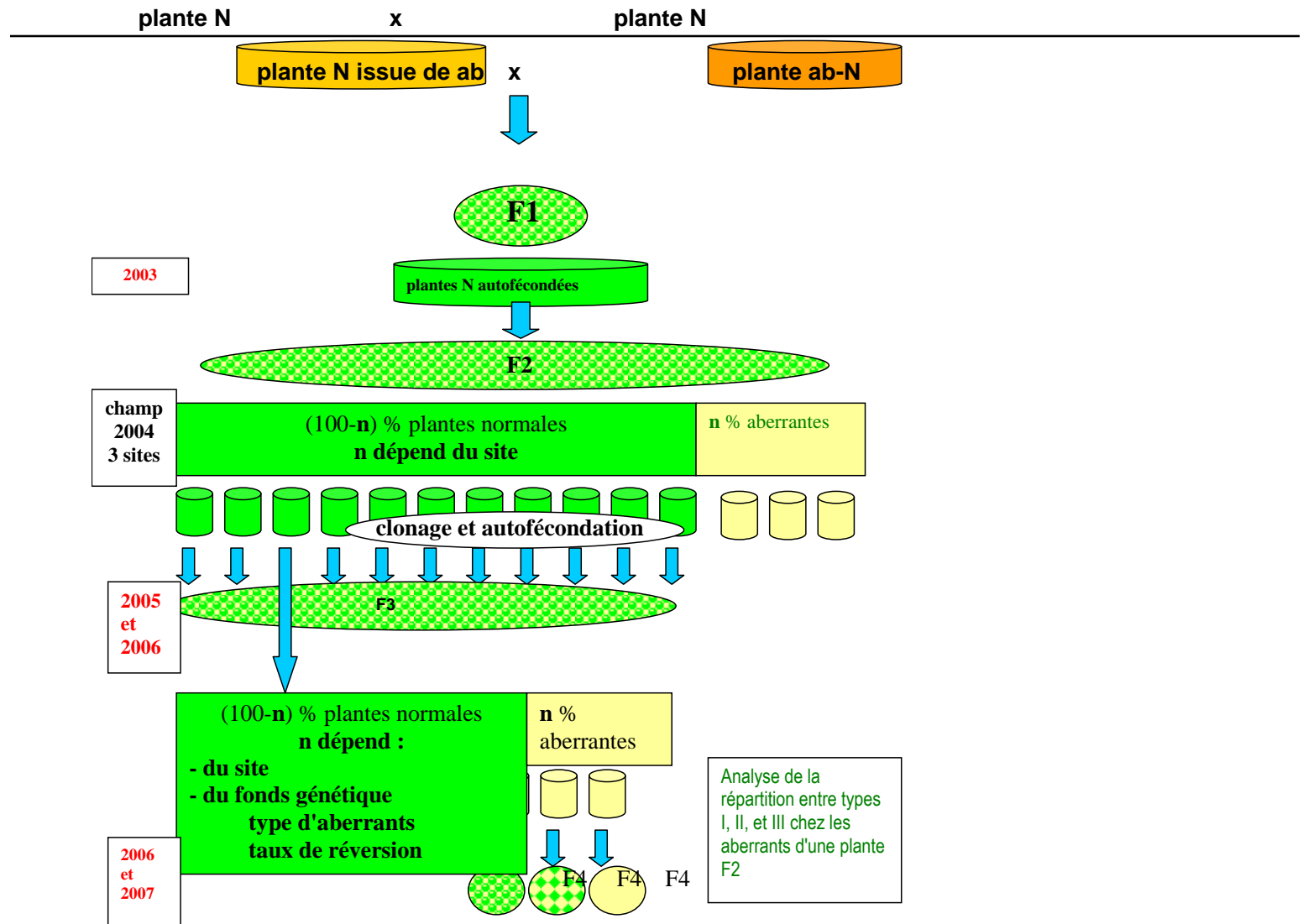
Observations biochimiques : « hyperméthylation » des plantes en évolution



Thèse en cours

- Analyse cinétique pour rechercher les modifications moléculaires au cours de « l'aberration »
- Recherche de gènes candidats exprimés

Analyse QTL en cours



Calendrier de travail de l'analyse génétique et la recherche de QTL

Conclusion

Les choux et l'INRA aujourd'hui

- Département génétique et amélioration des plantes
 - Ressources génétiques
 - Résistance à la hernie des crucifères
 - Plantes aberrantes
- Département Science pour l'action et le développement
 - Sélection participative