Recueil des fiches ressources Mètis

Version 1
Novembre 2025

collectif_metis@riseup.net
https://collectif-metis.org/

Ce document est sous licence creative commons BY-NC-SA.

Vous êtes autorisé à partager et à adapter son contenu tant que vous citez les auteurs de ce document et indiquez si des changements ont eu lieu, que vous ne faites pas un usage commercial de ce document, tout ou partie du matériel le composant, que vous partagez dans les mêmes conditions votre travail issu de ce document. Plus d'informations : creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.fr.

Pour citer ce document : *Recueil des fiches ressources Mètis. Version 1. Novembre 2025. Licence CC BY NC SA.*

Table des matières

1 Introduction **7**

2 Principes de la sélection participative sur les céréales à paille **9**
2.1 Définition et cadre méthodologique . . . 9
2.1.1 Définition . . . 9
2.1.2 Cadre méthodologique . . . 9
2.2 Décentraliser la sélection . . . 10
2.2.1 Décentraliser la sélection dans les environnements cibles . . . 10
2.2.2 Valoriser les interactions entre la variété et l'environnement . . . 11
2.2.3 Apports relatifs de la génétique, de l'environnement et de leurs interactions . . . 13
2.3 Mobiliser une large diversité . . . 14
2.4 Développer des variétés paysannes : évaluation et sélection . . . 15
2.4.1 Variétés issues de semences paysannes . . . 15
2.4.2 Évaluation et sélection . . . 16
2.5 Co-construire entre les acteurs du programme . . . 18
2.6 Mettre en réseau . . . 19

3 Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille **21**
3.1 Contexte et définitions . . . 21
3.1.1 Où trouver les semences . . . 21
3.1.2 Différents types de blés . . . 21
3.2 Diversité conservée dans les Centres de Ressources Biologiques : la gestion *ex-situ* par les instituts de recherche . . . 26
3.2.1 Accès aux semences à travers internet . . . 27
3.2.2 Cadre juridique . . . 27
3.2.3 Avantages et inconvénients de la gestion *ex-situ* . . . 28
3.3 Diversité conservée dans les Maisons des Semences Paysannes : la gestion *in-situ* par les maisons des semences paysannes . . . 28
3.3.1 Accès aux semences à travers des rencontres . . . 29
3.3.2 Cadre juridique . . . 29
3.3.3 Avantages et inconvénients de la gestion *in-situ* . . . 30
3.4 Multiplication et évaluation des semences . . . 30

4 Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative **31**
4.1 Brassage de la biodiversité cultivée pour sélectionner . . . 31
4.2 Lignées pures . . . 32
4.3 Mélange de lignées pures . . . 32
4.4 Populations . . . 34
4.5 Mélange de populations . . . 35
4.6 Croisements . . . 35
4.6.1 Croisements bi-parentaux . . . 35
4.6.2 Croisements multi-parentaux CCP . . . 36
4.6.3 Populations mâle-stérile . . . 37
4.7 Mise en place d'une stratégie . . . 38

5 Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille **39**
5.1 Théorie . . . 39
5.1.1 Mendel et définitions . . . 39
5.1.2 Croisements bi-parentaux : 1 locus, 2 allèles . . . 39
5.1.3 Croisements bi-parentaux : 2 locus, 4 allèles . . . 40
5.1.4 Croisements bi-parentaux : 3 locus, 6 allèles . . . 42
5.1.5 Croisements bi-parentaux : généralisation . . . 42
5.2 Pratique . . . 42
5.2.1 Biologie d'un épi de blé . . . 43
5.2.2 Protocole de croisement . . . 43
5.3 Conséquence dans le cadre d'un programme de sélection participative . . . 46
5.3.1 Construire un mélange diversifié et évolutif . . . 46
5.3.2 Choisir les parents pour un croisement . . . 47
5.3.3 Vérifier si le croisement a fonctionné . . . 47
5.3.4 Sélectionner dans la descendance d'un croisement . . . 47

6 Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille **49**
6.1 Définition . . . 49
6.2 Cadre théorique . . . 49
6.2.1 Les forces évolutives . . . 49
6.2.2 Concept de méta-population . . . 55
6.3 Résultats issus de projets de recherche . . . 55
6.3.1 Diversité de Rouge de Bordeaux : gestion à la ferme vs gestion dans les Centres de Ressources Biologiques . . . 55
6.3.2 Diversité du mélange de Touselles : gestion dans un réseau de fermes . . . 56
6.3.3 Diversité dans un programme de sélection participative . . . 58
6.4 Exemples d'Organisations collectives . . . 58

7 Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection **59**
7.1 Définitions et objectifs . . . 59
7.2 Étapes dans la conduite de la collection . . . 59
7.2.1 Choisir la parcelle . . . 60
7.2.2 Choisir les semences à semer . . . 60
7.2.3 Semer . . . 60
7.2.4 Entretenir . . . 64
7.2.5 Sélectionner . . . 64
7.2.6 Récolter et stocker . . . 65
7.3 Observations, mesures, gestion et analyse des données . . . 66
7.3.1 Observations et mesures . . . 66
7.3.2 Gestion et analyse des données . . . 67
7.3.3 Statuts juridiques et positionnement politique . . . 68
7.4 Multiplication et production sur les fermes . . . 69

8 Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ **71**
8.1 Définition et objectifs . . . 71
8.2 Sélection évolutive . . . 71
8.3 Sélection participative . . . 72
8.4 Sélection mutualiste . . . 73
8.4.1 Principes . . . 73
8.4.2 Méthodologie . . . 73

9 La sélection massale au champ sur les céréales à paille **77**
9.1 Définition . . . 77
9.2 Cadre théorique . . . 77
9.2.1 Définitions . . . 77
9.2.2 Valeurs théoriques possibles . . . 78
9.3 Résultats issus de projets de recherche . . . 79
9.3.1 Sélection en génération précoce dans des populations issues de croisement par un paysan . . . 79
9.3.2 Sélection dans diverses populations dans un réseau de fermes . . . 81
9.3.3 Sélection dans des mélanges . . . 82
9.4 Quelques bonnes pratiques . . . 83
9.4.1 Populations dans lesquelles sélectionner . . . 83
9.4.2 Une grande diversité de critères . . . 84
9.4.3 Quelques exemples selon différents objectifs . . . 84
9.4.4 Au champ . . . 85
9.4.5 Stockage des épis et battage . . . 86
9.4.6 Semis du bouquet de sélection . . . 86

Index **87**

Bibliographie **89**

1. Introduction

Ces fiches ressources recensent les connaissances que nous mobilisons dans nos formations et au sein de notre Maison des Semences Paysannes. Elles ont pour objectif de faire un état des lieux des connaissances pratiques et théoriques sur les savoirs et savoir-faire entourant les semences paysannes de céréales.

Ces fiches sont, dans la mesure du possible, mises à jour chaque année grâce à une veille bibliographique et aux différents échanges entre pairs qui émaillent nos actions autour de l'agroécologie paysanne.

Elles sont librement diffusables et utilisables dans le respect de la licence creative communs BY-NC-SA. Nous sommes preneurs de vos retours pour les compléter, les améliorer ... N'hésitez pas à nous écrire : collectif_metis@riseup.net

[1]

Le mélange Mètis

[2]

Motofaucheuse dans une parcelle de multiplication

[3]

Battage des parcelles de multiplication

[4]

Bouquets confectionnés dans le mélange Mètis à Barie.

[5]

Journée collective de confection de bouquets de sélection dans le mélange odyssée de l'Odyssée de l'engrain à Péguilhan.

2. Principes de la sélection participative sur les céréales à paille

Version 2 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

2.1 Définition et cadre méthodologique

2.1.1 Définition

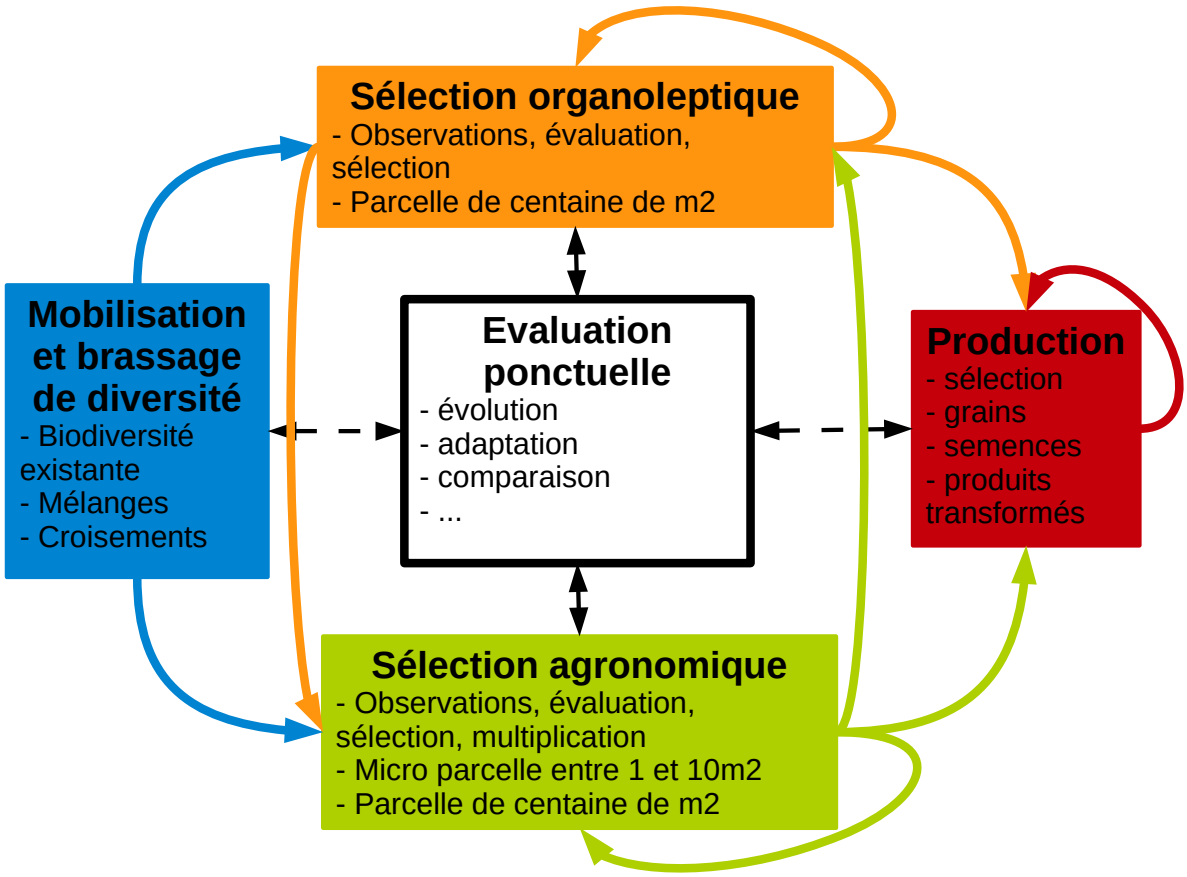
La sélection participative est un mode de sélection variétale qui engage paysans, animateurs et chercheurs dans le développement de nouvelles variétés et concours à la gestion dynamique de la biodiversité cultivée. Les objectifs d'un programme de sélection participative sont divers mais auront en commun de développer des variétés hétérogènes adaptées à la diversité des pratiques agroécologiques, renforcer l'autonomie des territoires dans la gestion et la sélection de leurs semences, réfléchir à un modèle politique de gestion des semences autour de la notion de communs [6, 7, 8].

2.1.2 Cadre méthodologique

Deux grands volets peuvent être organisés dans un programme de sélection participative :

1. des *« étapes en routine »*, c'est à dire qui se font chaque année, dans les Maisons des Semences Paysannes afin de sélectionner des variétés issues de semences paysannes adaptées à la diversité des pratiques :
   - Mobiliser et brasser la diversité à partir de la biodiversité existante, de mélanges ou de croisements,
   - Évaluer et sélectionner des variétés hétérogènes au niveau agronomique et organoleptique dans les fermes et les jardins,
   - Sélectionner dans les champs, produire du grain, et le transformer en farine, pain, etc à partir des nouvelles variétés sélectionnées.

2. des *« évaluations ponctuelles »* afin de répondre à des questions précises pour évaluer ce qui se passe dans les étapes en routine afin par exemple d'étudier l'évolution des populations, leurs adaptation, etc. Ces évaluations peuvent être plus contraignantes au niveau expérimental et ont vocation a être effectuées une année ou deux. Elles répondent à une question précise de recherche.



[9]

Schéma d'une méthodologie de la sélection décentralisée et participative en réseau

Cette organisation repose sur cinq principes décrit dans cette fiche :

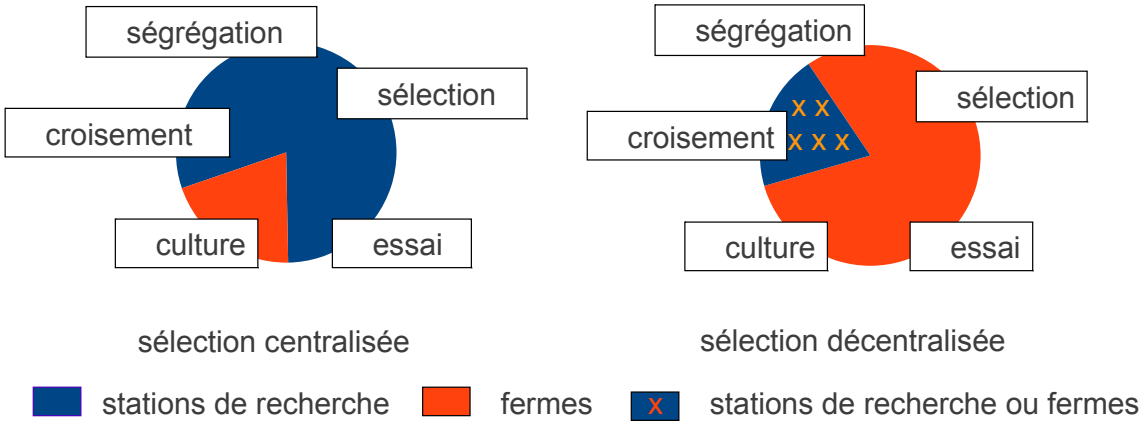
— Décentraliser la sélection
— Mobiliser une large diversité
— Développer des variétés paysannes à travers l'évaluation et la sélection
— Co-construire avec la diversité des acteurs
— Mettre en réseau les acteurs, les semences et les savoir-faire associés

2.2 Décentraliser la sélection

2.2.1 Décentraliser la sélection dans les environnements cibles

En condition de culture agroécologique et paysanne, les environnements et les pratiques sont très contrastés par rapport aux systèmes productivistes : les itinéraires techniques sont moins uniformes, les productions sont plus diversifiées et très souvent transformées à la ferme, l'absence d'intrants chimiques standardisent moins les milieux de culture. Aussi pour développer des variétés adaptées à cette diversité de conditions une stratégie est de décentraliser la sélection dans les environnements cibles (le terme « environnement » comprend ici les facteurs biotiques, abiotiques mais aussi socio-techniques, économiques et culturels) ce qui permet de développer leur adaptation locale en valorisant les interactions entre les variétés (les génotypes) et les environnements : on parle des interactions génotype $\times$ environnement ($G \times E$).

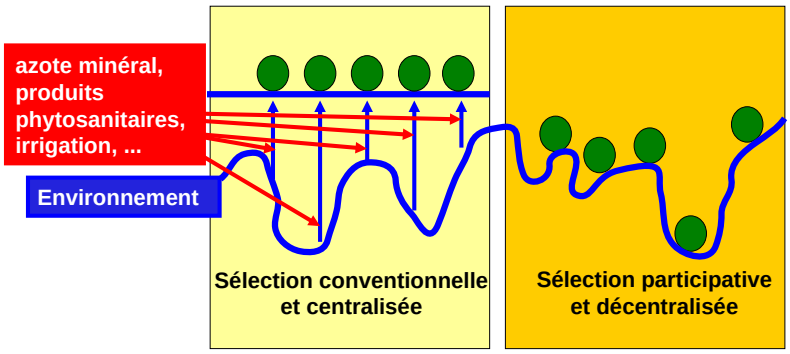
Comme le montre la figure ci-dessous, chaque étape du programme de sélection est décentralisée dans les fermes par rapport à une approche centralisée en station.



[10]

Sélection décentralisée versus sélection centralisée : à la ferme ou en station

La figure ci-dessous montre les différences d'approche entre une sélection conventionnelle pour une agriculture chimique où les plantes sont sélectionnées pour bien se comporter dans un environnement standardisé avec des intrants tels que l'azote minéral, l'irrigation, des produits phytosanitaires, etc. et une sélection participative et décentralisée où on cherche une variété adaptée à l'environnement. Cette dernière permet de valoriser les interactions génotype × environnement et l'adaptation locale.



[11]

Sélection décentralisée versus sélection centralisée : conséquence au champ

2.2.2 Valoriser les interactions entre la variété et l'environnement

D'un point de vue de modélisation statistique et de génétique quantitative, il est possible de décomposer un caractère observé en potentiel génétique, environnemental et d'interaction. C'est à dire de mesurer l'influence de chaque composante (génétique, environnement, interaction) sur le caractère en question.

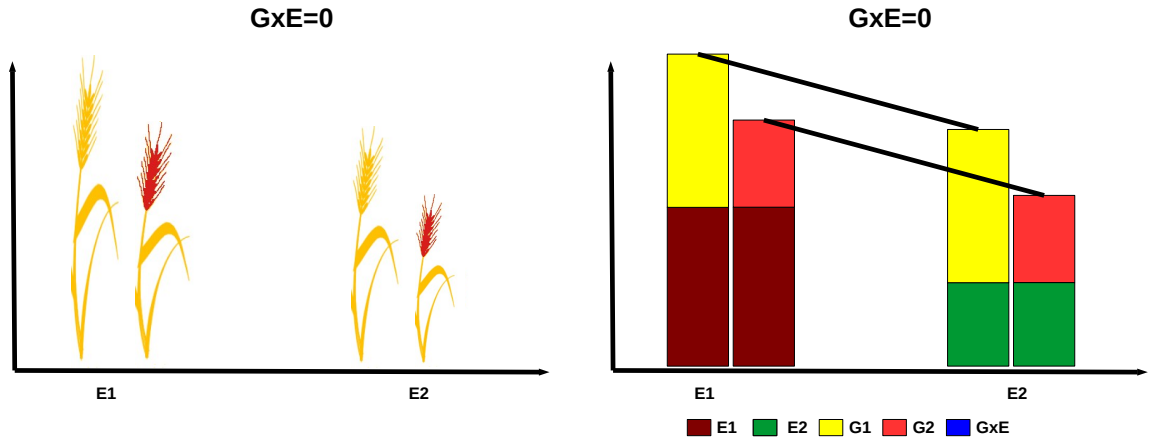
P (phénotype que l'on observe) = G (le potentiel génétique de la variété) + E (le potentiel de l'environnement) + G × E (l'interaction entre la variété et l'environnement où elle est cultivée)

Dans la figure ci-dessous, les effets sont représentés avec des couleurs différentes :

— E1 : potentiel de l'environnement 1,
— E2 : potentiel de l'environnement 2,

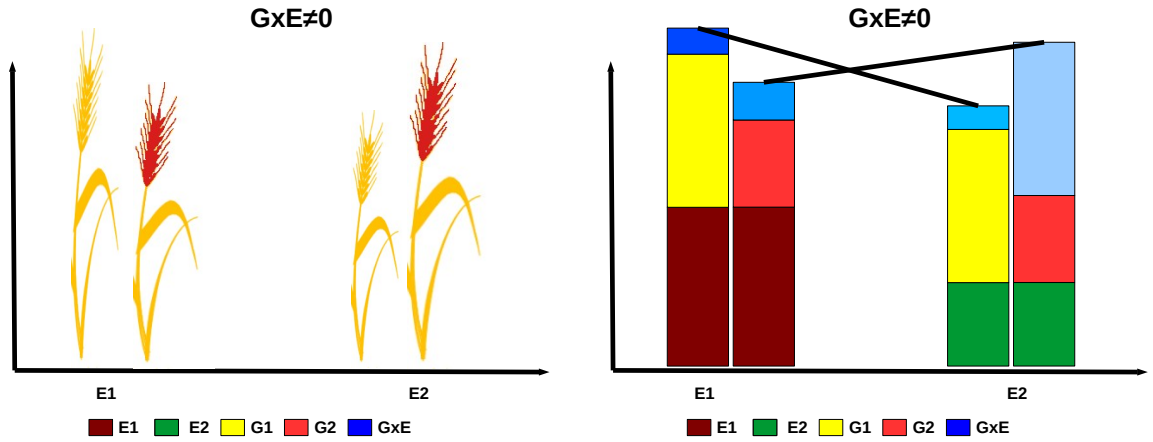
— G1 : potentiel génétique de la variété 1,
— G2 : potentiel génétique de la variété 2,
— GXE : interaction génétique × environnement.

Alors que les effets E1, E2, G1 et G2 sont toujours les mêmes et qu'ils s'additionnent selon les combinaisons, les interactions $G \times E$ sont uniques et dépendront des situations. La mise en place d'un essai dédié permet d'estimer ces « briques » afin de caractériser les potentiels génétiques, environnementaux et d'interactions.



[12]

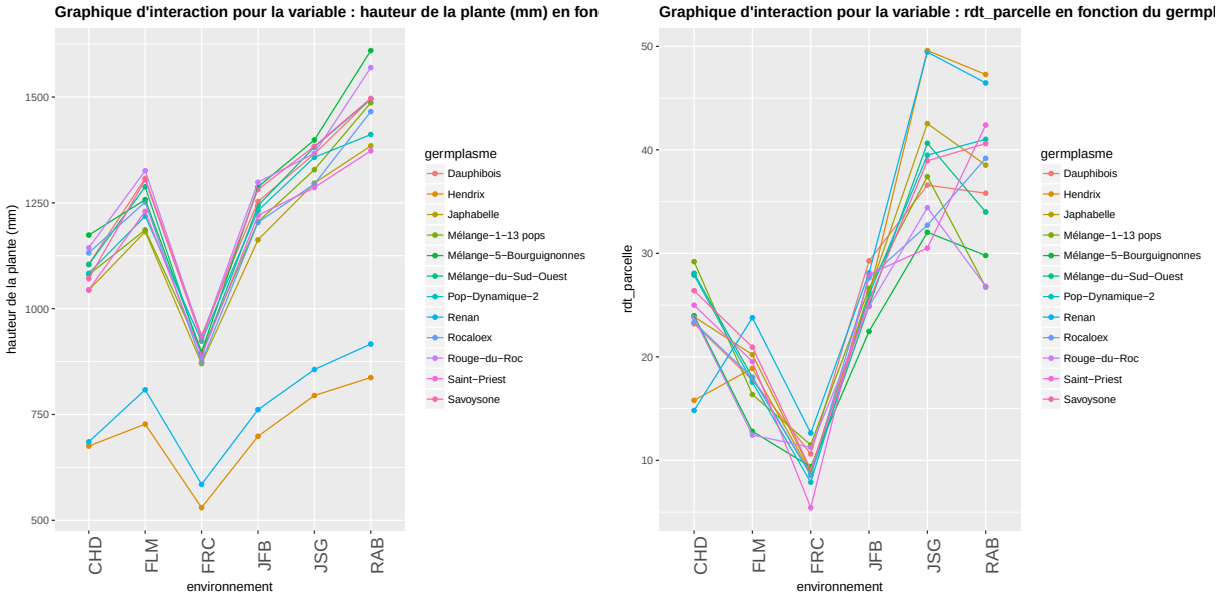
Exemple (imaginaire !) sans interactions entre les variétés et les environnements. La hauteur est la somme des effets de la variété et de l'environnement.



[12]

Exemple (plus réaliste !) avec de l'interaction entre les variétés et les environnements. La hauteur est la somme des effets de la variété, de l'environnement et de l'interaction entre les deux.

Sur le graphique ci-dessous, les environnements sont présentés en abscisse (différentes fermes participant à l'essai), une valeur telle que le rendement ou la hauteur en ordonnée et le phénotype par variété en couleur (Dauphibois, Hendrix, Japhabelle, ...) qui résultent de la somme de l'environnement, de la variété et de l'interaction. Les lignes se croisent plus ou moins : si elles se croisent c'est qu'il y a de l'interaction, si elles sont parallèles, c'est qu'il n'y a pas d'interaction. Les figures ci-dessous illustrent ces concepts avec de vraies données : sur le graphique de gauche, la hauteur présente peu d'interactions (elle est essentiellement la somme des « briques » variété et environnement) alors que le rendement présente beaucoup d'interactions (graphique de droite).



[13]

Hauteur (gauche) et rendement (droite) pour six fermes (en abscisse) et 12 variétés (en couleur) pendant deux années. Renan et Hendrix sont des variétés commerciales lignées pures et les autres variétés sont issues de sélection participative.

2.2.3 Apports relatifs de la génétique, de l'environnement et de leurs interactions

Dix variétés issues d'un programme de sélection participative entre l'INRA et le RSP ainsi que deux variétés commerciales lignées pures ont été évaluées dans six fermes pendant deux ans en agriculture biologique. Différentes mesures telles que la hauteur, le rendement et le taux de protéines ont été effectuées.

La variation d'un caractère (rendement, taux de protéine, hauteur, etc) peut être expliquée par différents facteurs (ou « briques ») comme expliqué dans la section précédente.

Les pourcentages de variation d'un caractère donné permettent de comparer l'importance relative de la génétique, de l'environnement, de l'année ou des interactions. Ces pourcentages sont à relativiser par rapport au contexte car ils vont dépendre du nombre et de la diversité des environnements, des variétés et des années.

	variété	ferme	année	année × variété	année × ferme	variété × ferme
Hauteur	2,8	60,4	2	0,3	12,5	1,4
Rendement	3	61	0,8	0,9	16,3	6,2
Taux de protéine	6,4	11	42	1,7	17	7,5
Hauteur	41,9	34,9	1,2	0,2	7,7	1,9
Rendement	3,8	57,3	0,4	1	15,7	8,8
Taux de protéine	7	9,4	45,5	3,5	14,2	6,6

Pourcentage de variation associé à chaque facteur pour la hauteur, le rendement et le taux de protéine pour deux jeux de données : un avec uniquement des variétés issues de sélection participative (en haut), l'autre avec des variétés issues de sélection participative et des variétés commerciales (en bas) [14]

Pour la hauteur dans le jeu de données regroupant « variétés issues de sélection participative et variétés commerciales », la variation expliquée par la génétique est plus importante qu'avec un jeu de données regroupant seulement des variétés issues de sélection participative car les variétés commerciales sont beaucoup plus petites que les variétés paysannes et apportent beaucoup de variations. Il faut donc regarder au cas par cas. Dans un ensemble de variétés paysannes hautes dans différentes fermes, la variation liées aux variétés et à l'interaction est faible (2,8% et 1,4%) et les pratiques ont beaucoup d'impact (60,4% et 12,5%).

Pour le rendement quelque soit le jeu de données, la variation est expliquée par :

1. la ferme, c'est à dire les conditions de culture, est le plus important (autour de 60%) suivi par
2. l'interaction entre l'année et la ferme, c'est à dire une pratique pour une année donnée (autour de 16%), suivi par

3. l'interaction variété × ferme (autour de 7%) puis de

4. la variété (autour de 3%).

Le rendement est donc très lié aux pratiques culturales et au sol et aussi à l'effet « année » sur la ferme (c'est à dire une pratique et un sol pour une année donnée). La sélection dans les fermes pour valoriser ces interactions est importante.

Pour le taux de protéine quelque soit le jeu de données, la variation est expliquée par :

1. l'impact de l'année est très fort (autour de 43%) suivi par

2. l'interaction entre l'année et la ferme, c'est à dire une pratique, un sol pour une année donnée (autour de 15,5%), suivi par

3. la ferme, c'est à dire les conditions de culture (autour de 10%), puis de

4. la variété (autour de 6,5%) et de

5. l'interaction variété × ferme (autour de 7%)

Le taux de protéine est donc très lié à l'année et aux pratiques culturales. Comme pour le rendement, la sélection dans les fermes pour valoriser ces interactions est importante.

Cette étude montre également [14] que les variétés issues de sélection participative :

— sont significativement plus hautes que les variétés commerciales
— ont le même potentiel génétique de rendement que les variétés commerciales lignées pures (8 variétés issues de sélection participative sur 10) ou des potentiels plus faibles (2 variétés issues de sélection participative sur 10)
— ont des taux de protéines supérieur ou égal aux variétés commerciales selon les variétés
— maintiennent un niveau de productivité en conditions difficiles
— sont stables dans le temps au niveau du rendement et du taux de protéine

2.3 Mobiliser une large diversité

Pour développer de nouvelles variétés il faut de la diversité. Plus il y a de diversité, plus les chances de trouver ce qui convient augmentent. Cette étape doit se faire en fonction des objectifs que l'on s'est fixé : le choix des variétés avec lesquelles travailler en dépendra. Deux stratégies existent :

— mobiliser la diversité existante [1]. Pour y accéder il faut prendre contact
  — avec les banques de graines qui se trouvent partout dans le monde. En France, une grande diversité de céréales est disponible au Centre de Ressources Biologiques de Clermont-Ferrand.
  — avec des Maisons des Semences Paysannes en France et dans le monde
— brasser la diversité pour en redévelopper [2]. Brasser la diversité permet d'augmenter la diversité et ainsi d'avoir plus de possibilité pour sélectionner. Les deux grandes options de brassage sont les mélanges et les croisements.

1. Plus d'informations sur la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21
2. Plus d'information dans les fiches *Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative* page 31 et *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

[15] [16]

Deux façons de gérer la biodiversité : ex-situ à gauche dans les Centres de Ressources Biologiques et in-situ à droite dans les Maisons des Semences Paysannes

2.4 Développer des variétés paysannes : évaluation et sélection

2.4.1 Variétés issues de semences paysannes

On appelle variétés paysannes les variétés issues de semences paysannes. La dernière définition de « semences paysannes » date de 2019, décidée collectivement par consentement lors d'une assemblée générale du Réseau Semences Paysannes.

Les semences (i) paysannes sont un commun inscrit dans une co-évolution entre les plantes cultivées, les communautés et les territoires (notions développées dans la charte du Réseau Semences Paysannes disponible ici `https://www.semencespaysannes.org/images/vie_du_reseau/2021/Charte_du_RSP_VF.pdf`.
Elles sont issues de populations dynamiques (ii) reproduites par le cultivateur, au sein d'un collectif ayant un objectif d'autonomie semencière.
Elles sont et ont toujours été sélectionnées et multipliées avec des méthodes non transgressives de la cellule végétale et à la portée du cultivateur final, dans les champs, les jardins, les vergers conduits en agriculture paysanne, biologique ou biodynamique.
Ces semences sont renouvelées par multiplications successives en pollinisation libre et/ou en sélection massale, sans auto-fécondation forcée sur plusieurs générations.
Les semences paysannes, avec les savoirs et savoir-faire qui leur sont associés, sont librement échangeables dans le respect des droits d'usage définis par les collectifs qui les font vivre.
(i) Semences = semences et plants (hors plants maraîchers à repiquer)
(ii) Les semences paysannes peuvent appartenir à des variétés populations ainsi définies : les variétés populations sont composées d'individus exprimant des caractères phénotypiques proches mais présentant encore une grande variabilité leur permettant d'évoluer selon les conditions de cultures et les pressions environnementales. Elles sont définies par l'expression de caractères issus de combinaisons variables de plusieurs génotypes ou groupes de génotypes. Une variété population est définie comme une entité eut égard à son aptitude à être reproduite conforme avec des pratiques agronomiques et dans un environnement déterminés.

Ces variétés hétérogènes ont de nombreux avantages :

— elles participent au maintien et au renouvellement d'une biodiversité drastiquement érodée par l'industrialisation de l'agriculture [17] à travers une gestion de fermes en réseau [3].
— elles détiennent un potentiel pour s'adapter
— elles confèrent stabilité et rusticité

3. Plus d'informations dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49

2.4.2 Évaluation et sélection

A partir de la diversité mobilisée, qu'elle soit issue de croisements, de mélanges, de variété de pays, de variétés anciennes, ... il faut sélectionner c'est à dire choisir.

Ceci nécessite la mise en place d'une organisation où les moyens vont dépendre des objectifs mais aussi des contraintes en temps, matérielles et économiques. Trois approches existent :

1. évaluer les nouvelles variétés sur des micro-parcelles pour choisir d'une parts entre les variétés selon des critères à définir et d'autre parts au sein des variétés les plus jolis épis pour développer une nouvelle variété ou un nouveau mélange qui pourra ensuite être évalué en production au champ et au fournil
2. cultiver des mélanges diversifiés à la ferme dans le cadre de la production et laisser évoluer le mélange ou sélectionner les plus jolis épis au sein de ce mélange pour l'améliorer
3. mélanger les deux approches avec un équilibre entre collection et production au champ

Il y autant de collectifs que de manière de s'organiser. Beaucoup ont des approches mixtes avec des collections gérées par une association et des parcelles de multiplication ou de sélections dans le cadre de la production dans les fermes (échelle du millier de m2).

Organisation dans le cadre d'une collection avec micro-parcelles

La mise en place de micro-parcelles dans une collection permet d'étudier finement le comportement de différentes variétés et d'apprendre à les observer. Cela permet ainsi d'assembler des variétés complémentaires dans un mélange ou de repérer de potentiels parents pour effectuer un croisement manuel. Ces collections offrent également un support d'éducation populaire et pédagogique vivant pour des visites et des formations. Enfin, une partie de la récolte peut aussi servir à la diffusion de dosette de semences.

Grâce aux collaborations avec la recherche, beaucoup de connaissances méthodologiques ont été développées sur la gestion des collections et leurs analyses dans le cadre d'une sélection en réseau de collectifs [18].

La mise en place de micro-parcelles, généralement entre 1 et 10 m2, nécessite des moyens assez important notamment en

— temps de travail pour la gestion des semences, les semis, le désherbage, les mesures le cas échéant, la récolte de petites quantités, la gestion des étiquettes et des lots, le stockage ...
— outils adaptés à des petites quantités : semoir, moissonneuse batteuse ou batteuse à poste fixe, espace de stockage ...

[19]

[20]

Exemples de microparcelles avec Renan entouré de deux variétés paysannes (gauche) et plateformes de plusieurs centaines de parcelles (droite)

Plus d'informations sont disponibles dans la fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59 .

Organisation dans le cadre de la production

La mise en place d'une stratégie d'évaluation et de sélection dans le cadre de la production agricole est plus simple à mettre en place car elle ne nécessite pas de matériel adapté aux petites quantité ni de temps dédié à la mise en place et au suivi des micro-parcelles.

Par exemple, la diffusion d'un mélange très diversifié qui va s'adapter aux différentes fermes est une pratique courante au sein du Réseau Semences Paysannes. En général, ces mélanges sont resemés sans obligatoirement y appliquer une sélection au champ mais souvent une sélection lors du tri des semences en conservant une part importante des beaux grains.

[21]

Exemple de sélection naturelle divergente d'une population de blé tendre très diversifiée développée par l'ICARDA après 10 années d'évolution en Sicile (gauche) et la même population après 10 années d'évolution en Toscane (droite) semées côte à côte.

[22]

Évaluation de la population Savoysone après dix ans dans son environnement de culture (gauche) et la population Savoyon issue de Savoysone après 10 ans de culture dans une nouvelle ferme (MAV).

Plus d'informations sont disponibles dans la fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ* page 71 .

Organisation mixte : collection et production

La majorité des Maisons des Semences Paysannes mélange les deux approches : mise en place de collections de plusieurs variétés et sélection / adaptation de mélanges ou de variétés dans le cadre de la production.

Il convient alors de trouver une articulation entre la collection et les variétés et mélanges en production dans les champs. La collection peut permettre d'évaluer une nouvelle diversité (par exemple du pourtour méditerranéen pour trouver des variétés plus adaptées aux printemps secs) puis nourrir les mélanges existant avec des variétés intéressantes.

Sélectionner

Devant toute cette diversité, il faut ensuite choisir les variétés ou les groupes de plantes qui se comportent le mieux en réponse à son environnement et à ses pratiques. Il existe deux niveaux pour faire la sélection.

La sélection inter-populations c'est à dire entre les populations Celle-ci peut se faire :

- Au niveau d'un lieu : entre des populations cultivées dans une ferme
- Au niveau du réseau : entre des populations cultivées dans le réseau de fermes

Pour comparer et choisir entre un grand nombre de variétés, les micro-parcelles sont nécessaires. Pour un nombre faible de variété, des comparaisons dans le cadre de la production sont possible si les semences sont disponibles. A l'échelle d'un réseau de fermes, des méthodes d'analyse issues des collaborations avec la recherche permettent de classer les variétés entre elles et de les comparer [18]. Ces méthodes nécessitent des moyens humains dédiés et une coordination entre les différentes fermes.

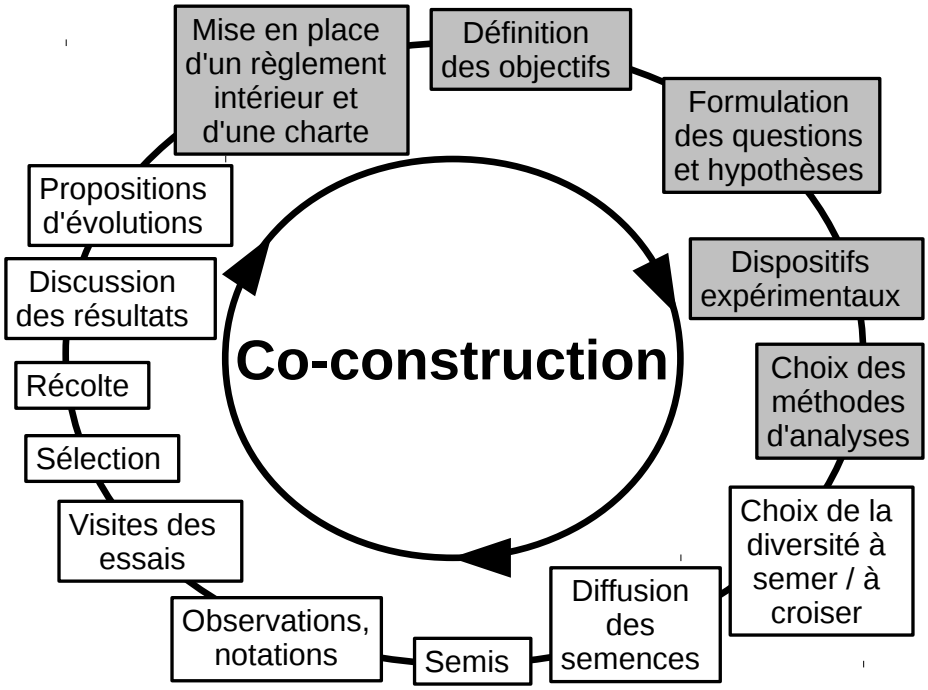
La sélection intra-populations c'est à dire à l'intérieur des populations Deux niveaux de sélection existent :

- la sélection naturelle et transmission d'effets induits par épigénétique : on laisse faire la nature et les pratiques
- la sélection massale positive ou négative à l'intérieur des populations. Cette dernière est efficace sur les composantes du rendement. Le choix des épis se fait sur différents critères : esthétiques, agronomiques ou organoleptiques

Plus d'informations sont disponibles dans les fiches *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49 et *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77 .

2.5 Co-construire entre les acteurs du programme

La co-construction de l'organisation est centrale et se situe à de nombreux moment de l'année.



[23]

Exemple d'étapes de co-construction lors d'un programme de sélection participative. Les cases blanches suivent le cycle de culture. Les cases grises sont des éléments rediscutés chaque année et au cours de l'année avec les participants.

Les objectifs La définition des objectifs et des valeurs de chacun est un préalable indispensable pour initier un cadre de collaboration et de confiance. Ces objectifs et ces valeurs se placent dans un mouvement social de réappropriation des semences comme un commun. Ces valeurs vont orienter les moyens et les actions et accompagner la mise en place de règles de fonctionnement sur la gestion des semences et les prises de décisions. Il faut veiller à bien articuler fin et moyens pour concourir aux objectifs notamment politique [24].

Les objectifs peuvent être considérés au niveau individuel ou au niveau du groupe (local, régional, voire national) par exemple

- augmenter l'autonomie de ma ferme et de mon territoire
- sélectionner des mélanges pour augmenter le rendement tout en maintenant de bonnes qualités organoleptiques
- étudier l'adaptation de populations suite à plusieurs années de sélection
- étudier la réponse à la sélection (est-ce que ma sélection est efficace ?)

Les contraintes Pour atteindre ces objectifs, il faut aussi identifier les contraintes qui vont impacter la mise en œuvre, par exemple

- la quantité de semences disponibles
- la force de travail et le matériel disponibles
- le nombre de micro-parcelles possibles
- le nombre de fermes
- le nombre de variétés
- le nombre de variétés répétées
- le nombre d'année
- le type de mesures (textes, rangs, mesures quantitatives ou qualitatives), attention à ne pas être trop ambitieux !
- la gestion et l'analyse des données
- la place de la technique (des outils technologiques en particulier) dans notre démarche [25]

Cela permettra ensuite collectivement de

— Choisir les variétés, la répartition des variétés dans le collectif, choix du témoin commun le cas échéant
— Choisir les mesures (ne pas être trop ambitieux ..., mesures, données, analyses, discussion, etc)
— Fixer un calendrier pour la suite avec les étapes clés
— ...

Ces phases de co-construction seront différentes selon si le groupe travaille avec des équipes de recherche qui, dans le cadre d'un projet, va apporter des moyens humains et financier et sont contraintes par leurs institutions. Un des points important est alors de se mettre d'accord sur un cadre de valeur, sur la propriété des résultats et des données ainsi que de leurs analyses et de leur diffusion [4].

2.6 Mettre en réseau

Le travail autour de la sélection se place dans une mise en réseau qui permet d'échanger des semences, des savoir-faire, de construire une culture politique commune. Par exemple Mètis s'investit dans deux espaces :

— La Nouvelle Aquitaine Cultive la Biodiversité (NA-CDB) au niveau régional
— Le Réseau Semences Paysannes (RSP) au niveau national

4. On revient sur ces éléments dans la fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59

3. Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille

Version 1 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

3.1 Contexte et définitions

3.1.1 Où trouver les semences

Pour démarrer un travail d'adaptation et de sélection de nouvelles variétés sur sa ferme, il faut se procurer des semences. Il est possible de s'en procurer de trois façons :

— dans les Centres de Ressources Biologiques gérés par des instituts de recherche comme l'INRAe en France
— dans des Maisons des Semences Paysannes, qui sont des associations locales ayant chacune leurs propres règles d'usage
— sur le marché des variétés biologiques et biodynamiques

Différents types de semences sont disponibles. Chacune est liée à une histoire particulière. Les blés peuvent être séparés en quatre catégories représentatives de leur période de culture et de leur mode d'obtention.

3.1.2 Différents types de blés

Les blés de pays : avant le XIXème siècle

Les Blés de pays se caractérisent par leur très grande diversité, leur hautes pailles et leur adaptation locale. Ils sont issus de millénaires de sélection par les paysans et ont peu à peu disparus des champs à partir du XIXème, remplacés par les blés de sélectionneurs puis les variétés modernes. Ils ont une faible force boulangère (W) ce qui ne les rend pas compatibles avec les procédés de la meunerie et la boulangerie industrielles. Les blés de Pays sont souvent accolés à un nom de lieu. Par exemple Blanc de La Réole, Rouge du Morvan, Barbu du Roussillon, Barbu de Lacaune... Ou ont un nom vernaculaire. Par exemple Bladettes dans le sud-ouest, Touselles et Saissettes dans le sud-est.

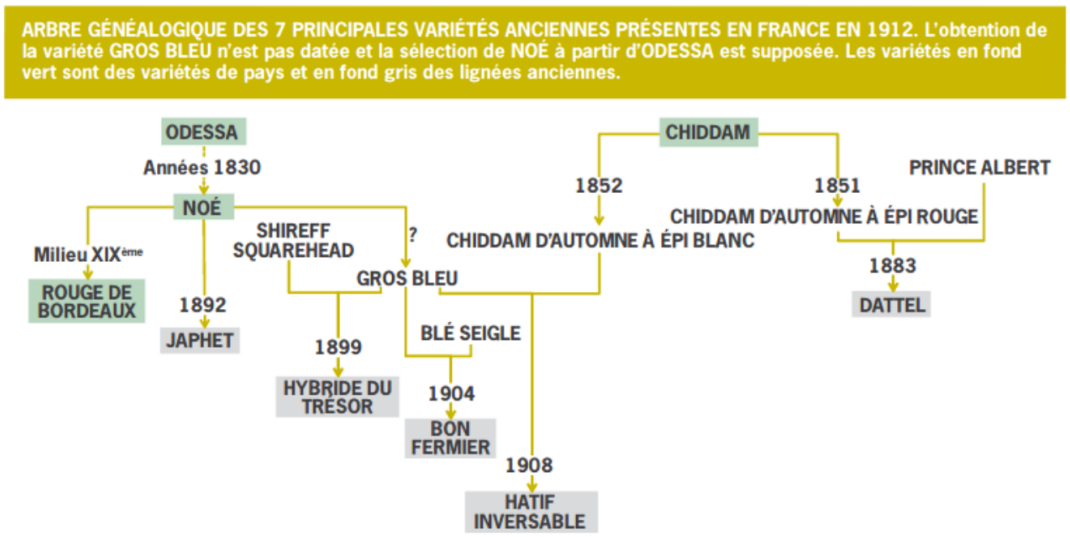
L'abolition des jachères au XVIème siècle pour des prairies artificielles (graminées et légumineuses fourragères) ou en plantes sarclées fourragères (navets par exemple) va augmenter la fertilité des sols. Dans les nouvelles rotations, les fourragère alternent presque sans discontinuer avec les céréales de sorte que les terres labourables produisent autant de fourrages que les pâturages et les prés de fauche. Le développement de ces rotations va de pair avec l'augmentation du cheptel qui permet à son tour plus de produits animaux, de force de traction et de fumier. Cet accroissement de la fumure augmente les capacités de fertilisation des terres arables. Il s'agit pour les grands propriétaires du nord de l'Europe qui ont mis en place très tôt ce nouveau système, par notamment le biais des enclosures, de disposer de nouvelles races d'animaux et de plantes plus exigeantes et plus productives capables de tirer parti de ces améliorations [26].

En France, au milieu du XIXème siècle, des blés anglais comme Chiddam ou ukrainiens avec Odessa puis Noé arrivent dans les campagnes. Ce sont des blés plus productifs, qui vont donner des variétés comme Rouge de Bordeaux, connu pour sa tenue au champ et au fournil, ou encore Japhet.

Les blés anciens ou de sélectionneurs : fin XIXème, début XXème siècle

Les blés « anciens », ou de sélectionneurs, sont des blés sélectionnés à partir de croisements par les premiers « gentlemen farmer » en Angleterre au début du XIXème siècle sur le principe de la lignée pure, c'est à dire la

multiplication d'épis « élite » qui vont donner des variétés homogènes génétiquement, à la diversité réduite avant l'apparition des blés nains. Ces nouvelles variétés de blés sont capables de mieux valoriser l'augmentation des apports d'azote (Patrick Shirreff, John Le Couteur). A la fin du XIXème siècle, les premiers hybrides Vilmorin s'appuieront sur ces blés anglais sélectionnés (Dattel par exemple). La semence commence à devenir une marchandise et un intrant produit hors des fermes.



[27]

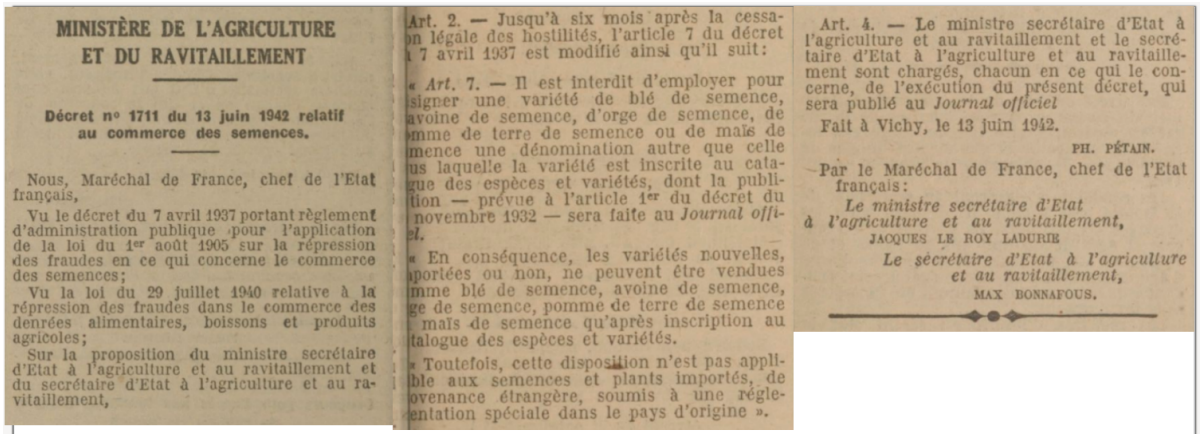
Arbre généalogique des sept principales variétés anciennes présentes en France en 1912

Lors de la première guerre mondiale (1914-1918), plus de 650 000 paysans sont tués et laissent des campagnes vide. La fin de la guerre coïncide avec l'expansion de la machinisation et de la chimie agricole (recyclage de l'azote militaire). A partir des années 20, il y a une disparition progressive des blés de pays et anciens qui sont supplantés par les lignées pures des sélectionneurs. Emile Schribaux, chercheur en agriculture et obtenteur d'un des premiers blés de force de printemps Florence Aurore en 1930, illustre l'état d'esprit des instances dirigeantes à cet époque : « Voilà des années que nous recommandons en vain de porter la hache dans la forêt touffue des blés français, et d'y pratiquer des coupes sombres [...] C'est une douzaine, une quinzaine de blés au plus qui suffiraient pour toute l'étendue du territoire » (1938) [28].

En 1934, une publication d'ordonnance du Troisième Reich sur les semences acte la naissance du système catalogue obligatoire en Allemagne. C'est ce catalogue qui servira de modèle pour la mise en place du catalogue officiel en France en 1942 sous le régime de Vichy. Sous l'injonction de l'occupant nazi, le catalogue devient obligatoire en France pour le blé, l'avoine, l'orge, le maïs et la pomme de terre [28, 29]. Ce catalogue va acter la disparition des variétés de pays : d'une vingtaine en 1937, il n'en reste plus aucune en 1966 [30].

En parallèle, des instances étatiques de gestion des semences voient le jour [28, 29] :

— En 1941 avec la création du Groupement National Interprofessionnel des Semences (GNIS), aujourd'hui SEMAE
— En 1942 avec la création du Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS). Conformément au Décret 2009-676, le CTPS assure une mission de conseil et d'appui technique au Ministère chargé de l'Agriculture pour la préparation et l'exécution de la politique en matière de variétés, semences et plants.



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET DU RAVITAILLEMENT

Décret n° 1711 du 13 juin 1942 relatif au commerce des semences.

Nous, Maréchal de France, chef de l'Etat français,

Vu le décret du 7 avril 1937 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 1er août 1905 sur la répression des fraudes en ce qui concerne le commerce des semences;

Vu la loi du 29 juillet 1940 relative à la répression des fraudes dans le commerce des denrées alimentaires, boissons et produits agricoles;

Sur la proposition du ministre secrétaire d'Etat à l'agriculture et au ravitaillement et du secrétaire d'Etat à l'agriculture et au ravitaillement,

Art. 2. — Jusqu'à six mois après la cessa-on légale des hostilités, l'article 7 du décret 7 avril 1937 est modifié ainsi qu'il suit:

« *Art.* 7. — Il est interdit d'employer pour signer une variété de blé de semence, avoine de semence, d'orge de semence, de mme de terre de semence ou de maïs de mence une dénomination autre que celle us laquelle la variété est inscrite au cata-gue des espèces et variétés, dont la publi-tion — prévue à l'article 1er du décret du novembre 1932 — sera faite au *Journal offi-el*.

« En conséquence, les variétés nouvelles, portées ou non, ne peuvent être vendues mme blé de semence, avoine de semence, ge de semence, pomme de terre de semence maïs de semence qu'après inscription au talogue des espèces et variétés.

« Toutefois, cette disposition n'est pas appli-ble aux semences et plants importés, de ovenance étrangère, soumis à une régle-entation spéciale dans le pays d'origine ».

Art. 4. — Le ministre secrétaire d'Etat à l'agriculture et au ravitaillement et le secrétaire d'Etat à l'agriculture et au ravitaillement sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel*

Fait à Vichy, le 13 juin 1942.

PH. PÉTAIN.

Par le Maréchal de France, chef de l'Etat français:

Le ministre secrétaire d'Etat à l'agriculture et au ravitaillement,
JACQUES LE ROY LADURIE

Le secrétaire d'Etat à l'agriculture et au ravitaillement,
MAX BONNAFOUS.

[31]

Décret 1711 du 13 juin 1942 relatif au commerce des semences

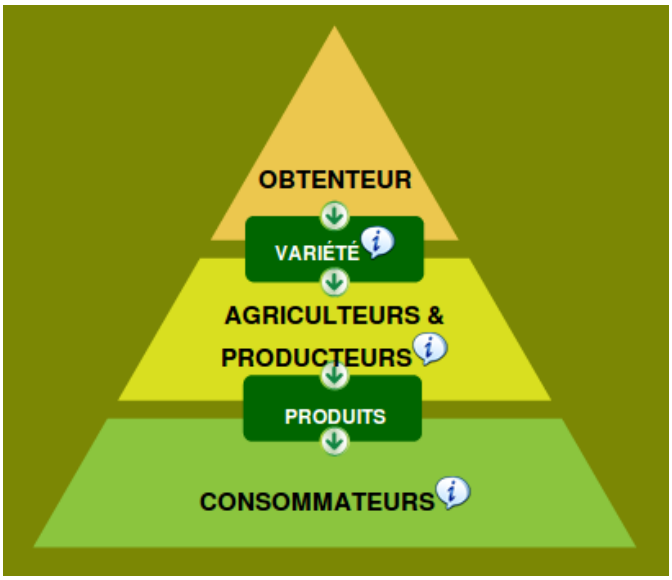
Les blés modernes : depuis le XXème siècle

Les variétés de céréales inscrites sur le catalogue officiel ont été sélectionnées pour l'agriculture intensive et pour des processus de transformation industriels. Elles n'ont donc pas d'intérêt a priori pour démarrer un programme de sélection participative. De plus, ces variétés sont soumises à un droit de propriété intellectuelle et nous n'avons aucune garanties qu'elles ne soient pas issues de procédés biotechnologiques. Il existe certaines exceptions notamment pour les lignées sélectionnées pour la biodynamie en sélection généalogique.

Depuis le XIX^{ème}siècle, la sélection s'est professionnalisée et la gestion des « ressources génétiques » est institutionnalisée (voir section suivante). La sélection est orientée pour une agriculture intensive en consommation d'intrant (azote de synthèse, produits-phyto-sanitaires). La mise en place du catalogue avec les critères de Distinction, d'Homogénéité et de Stabilité (DHS) fait disparaître les variétés paysannes au profits des lignées pures de très courte paille et des hybrides F1. En parallèle, la mise en place d'un système de propriété intellectuelle sur le vivant permet de rémunérer le sélectionneur pour son travail à travers des certificats d'obtention végétale et de brevets, ce qui renforce le statut de semences comme une marchandise et complique voire interdit les semis issus de ces variétés dans les fermes.

[32]

Paul Bormans, sélectionneur en Ile de France, qui prend des notes accompagné d'une collègue en 1949



[33]

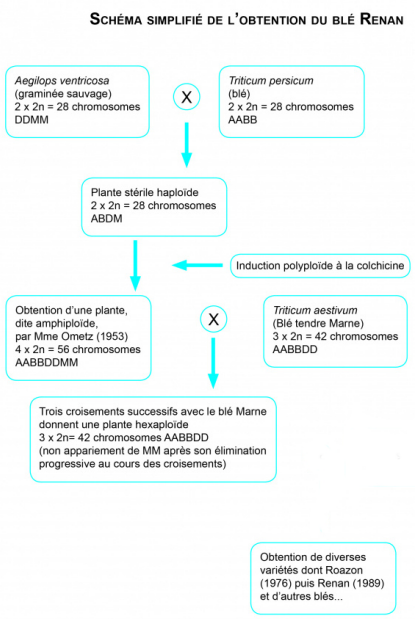
L'organisation de la sélection sur le site de l'UPOV, l'Union de Protection des Obtentions Variétales

Parmi les nombreuses variétés de blés issus de sélection, citons le blé Renan qui est une variété lignée pure de blé tendre (*Triticum aestivum*) très utilisée en agriculture biologique : il a représenté jusqu'à 30 % des blés tendres bio en France en 2007. Cette variété est un bon compromis entre rendement et qualité en culture bio. La variété a été mise au point par l'INRA et inscrite au catalogue des variétés en 1990. Cette variété présente des résistances à la rouille et au piétin-verse qui sont issues d'une graminée sauvage, *Aegilops ventricosa*, apparentée aux blés mais avec laquelle le blé tendre n'est pas sexuellement compatible [34].

Pour croiser ces deux espèces incompatibles, la colchicine, un produit chimique et cancérigène, a été utilisé. Renan n'est pas un OGM réglementé selon la loi en vigueur bien qu'un produit chimique ait été utilisé pour doubler les chromosomes (induction polyploïde). Par ailleurs, le règlement bio stipule que « pour la production de variétés biologiques adaptées à la production biologique, les activités de sélection biologique sont menées dans des conditions biologiques » qui excluent toute utilisation de produit chimique de synthèse.

[19]

Renan : variété commerciale au milieu de variétés issues de sélection participative



[35]

Processus d'obtention de la variété Renan

Les blés issues de sélection participative ou paysanne : depuis le XXème siècle

A partir des années 2000 en France, un groupe de paysans, animateurs et chercheurs s'est organisé dans un programme de sélection participative pour développer de nouvelles variétés adaptées à des pratiques agroécologiques et artisanales et gagner en autonomie [6, 8] [1].

Le tableau ci-dessous illustre une partie de la diversité des variétés développées dans le cadre de ce programme de sélection participative [14] :

Nom	Origine	Type
Rouge du Roc	JFB, Lot-et-Garonne	Sélection massale dans Rouge de Bordeaux
Pop dynamique 2	FLM, Maine-et-Loire	Mélange de 3 variétés de pays et 2 variétés + récentes
Mélange-5 Bourguignon	BER, Côte d'Or	Mélange de 11 variétés de pays locales
Mélange du Sud-Ouest	JFB, Lot-et-Garonne	Mélange de 20 variétés de pays locales
Savoysone	RAB, Haute-Savoie	Issue d'un croisement entre 2 variétés de pays
Rocaloex	RAB, Haute-Savoie	Mélange de 11 populations issues de croisements
Mélange-1 13 pops	BER, Côte d'Or	Mélange de 13 populations issues de croisement
Dauphibois	CHD, Isère	Mélange d'environ 25 variétés de pays, populations issues de croisements et variétés récentes
Japhabelle	JFB, Lot-et-Garonne	Mélange de 25 populations issues de croisements et sélectionnées

1. Plus d'informations dans la fiche *Principes de la sélection participative sur les céréales à paille* page 9

[36]

Savoysone : mélange paysan issu de sélection participative en Haute Savoie

[37]

Japhabelle : mélange paysan issu de sélection participative en Lot et Garonne

Résumé des différents types de blés

	Année	Type de sélection	Hauteur	Qualité technologique des pâtes
Variétés de Pays	Avant 1800	massale	hautes à très hautes	W très faible
Variétés anciennes	1800-1940	généalogique	hautes	W faible
Variétés commerciales	1940 -	technique moderne	courtes à très courtes	W très fort
Variétés paysannes	2000 -	massale, participative	hautes	W moyen

Les quatre types de variétés de blés et leurs caractéristiques concernant la hauteur et la force boulangère (W).

3.2 Diversité conservée dans les Centres de Ressources Biologiques : la gestion *ex-situ* par les instituts de recherche

Depuis le XIX^{ème}siècle, la sélection s'est professionnalisée et la gestion des « ressources génétiques » est institutionnalisée dans une gestion *ex-situ*. La gestion *ex-situ* est une gestion statique réalisée par des instituts de recherche qui vise à conserver des accessions (i.e. une variété donnée recueillie à un endroit donné à une date donnée) à l'identique dans des chambres froides. Cette gestion est réalisée par les Centres de Ressources Biologiques (CRB) ou Banque de gènes en anglais (gene bank).

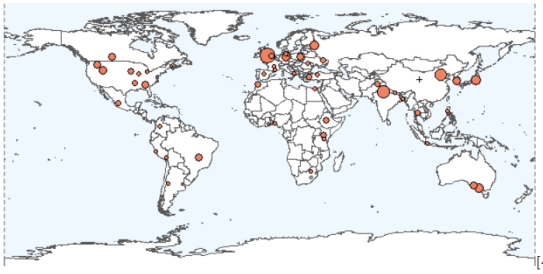
En France, c'est le CRB de Clermont-Ferrand qui conserve une grande diversité de céréales à paille : plus de 9800 accessions y sont conservées. Le centre maintient également une « core collection » qui permet de stocker 98% d'allèles avec seulement 372 accessions [38]. Les gènes sont un élément du végétal considéré comme une machine à améliorer et les généticiens sont les ingénieurs de ces machines. Tous liens aux paysans et à leurs savoir-faire sont oubliés [39].

En 2008, la super banque de gènes très médiatisée de Svalbard en Norvège est inaugurée. Elle accueille des doublons des semences conservées dans le monde entier pour limiter le risque de pertes des semences dû à des problèmes environnementaux (inondations, ouragans, etc) ou sociaux (guerre). Les semences envoyées restent la propriété des CRB qui les déposent et peuvent les retirer quand ils le souhaitent. Par exemple, lors de la guerre en Syrie, elle accueille la collection du centre international pour la recherche en agriculture dans les zones arides (ICARDA) quelques années avant d'être transféré au Liban et au Maroc. En 2025, 123 instituts situés dans 87 pays ont déposé 1 331 458 échantillons de semences de 6 297 espèces cultivées et leurs apparentés sauvages. Le blé est l'espèce la plus représentée avec plus de 260 000 échantillons [2] [40].

2. La liste des échantillons, avec des nom de code peu lisibles ... est disponible sur `https://seedvault.nordgen.org/Search`

[41]

L'extérieur et l'intérieur de la Réserve mondiale de semences du Svalbard


[42]

Carte des principaux centres de ressources biologiques dans le monde et la taille de leur collection (la taille du cercle correspond aux nombres d'accessions par lieu). Si la taille de la collection n'est pas connu, un + est représenté.

3.2.1 Accès aux semences à travers internet

L'accès aux semences gérées dans les CRB se fait par internet. Un grand nombre de centres dispose d'un site internet qui permet de commander des accessions, par exemple

- En France, une grande diversité de céréales est disponible au CRB de Clermont-Ferrand. Il est possible de commander des accessions en ligne sur le site Siregal [3], par exemple pour les céréales : `https://urgi.versailles.inra.fr/siregal/siregal/accessionSimpleForm.do`. La procédure est assez simple et rapide. Suite à la commande, le CRB nous contacte par mail et demande de remplir un ATM (voir section ci-dessous) et envoie ensuite une enquête de satisfaction. Les résultats sont ensuite partagés avec les enquêtés.
- Le réseau européen ECPGR et son site Eurisco recense les accessions gérées par les banques de gènes en Europe : `https://eurisco.ipk-gatersleben.de/apex/eurisco_ws_dev/r/eurisco/home`, il est facile de se perdre dans le site, aussi « le plus simple » est de sélectionner *Passeport data*, puis *standard search (ex situ)* et de faire sa recherche. Cela permet de repérer où sont les accessions que l'on cherche pour ensuite contacter la banque de gène appropriée. Il ne faut pas hésiter à contacter directement la personne qui s'occupe de la banque de gène et de leur demander conseil (en anglais ...). Il est possible de trouver des listes de contacts, par exemple :
  - `https://www.ecpgr.org/aegis/aegis-membership/associate-member-agreements`
  - `https://www.ecpgr.org/contacts-in-ecpgr/ecpgr-contacts/genebank-managers-network`
- Le réseau international CGIAR et son site Genesys recense les accessions gérées par les banques de gènes dans le monde : `https://www.genesys-pgr.org/`, en cliquant sur une accession, le contact s'affiche, il suffit de lui écrire, là encore en anglais.

Un site internet du CIMMYT permet d'avoir accès à la généalogie de nombreuses variétés de blés, cela peut être utile dans le cadre de recherches : `http://wheatpedigree.net/`

3.2.2 Cadre juridique

Recevoir les semences : accords à signer

Lorsque l'on demande des semences à un CRB, un accord est à signer, il existe deux types d'accord.

L' « accord standard de transfert de matériel » (SMTA en anglais pour Standard Material Transfert Agreement ou ATM en français) si la semence fait partie d'une espèce présente à l'annexe 1 [4] du Traité international sur les ressources phyto-génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA) et que le pays qui envoie les semences a signé le traité. C'est le cas de la France. Le texte est téléchargeable sur le site de la FAO, qui cordonne le traité. Cet accord permet notamment d'engager le bénéficiaire qui reçoit les semences à [43] :

- utiliser ou conserver les semences uniquement à des fins de recherche, de sélection et de formation
- ne revendiquer aucun droit de propriété intellectuelle ni aucun autre droit limitant l'accès facilité aux semences fournies

3. L'ensemble des espèces disponibles est ici : `https://urgi.versailles.inra.fr/siregal/siregal/grc.do`
4. La liste est disponible sur le site de la FAO : `https://www.fao.org/plant-treaty/areas-of-work/the-multilateral-system/annex1/fr/`

— verser un pourcentage fixe des ventes de semences qui aurait été issues, après un travail de sélection, des semences fournies sauf si ces nouvelles semences sont disponibles pour la recherche et la sélection sans restriction

Un accord bilatéral avec le pays concerné si l'espèce ne fait pas partie de l'annexe 1 ou que le pays n'a pas signé le traité. L'échange tombe alors sous l'égide de l'accord de Nagoya. Ce cas est plus rare et est très lourd au niveau administratif.

Semer les semences : dérogation pour le label AB

Si la ferme est certifiée en Agriculture Biologique, il faut faire une demande de dérogation « Utilisation pour essai de matériel de reproduction des végétaux non biologiques non traitées » (Annexe II partie I point 1.8.5.1 d) du règlement (CE) n°2018/848). Les documents sont téléchargeables sur le site « Semences et plants biologiques » [5], rubrique *« Quel est le cadre prévu pour les essais ? »*. La demande doit être envoyées deux semaines avant les semis à son organisme certificateur qui doit valider la mise en place de l'essai.

3.2.3 Avantages et inconvénients de la gestion *ex-situ*

Parmi les avantages

— la disponibilité et l'accès aux semences. Grâce à l'ATM la gestion administrative est simplifiée. Les contacts trouvés sur internet sont fiables. De notre expérience à Mètis, cela a toujours très bien fonctionné (France à Clermont ferrand et Montpellier, Espagne, Norvège notamment)
— La grande diversité d'espèce et de variétés disponibles qui sont introuvables par ailleurs car disparus des champs

Concernant les inconvénients

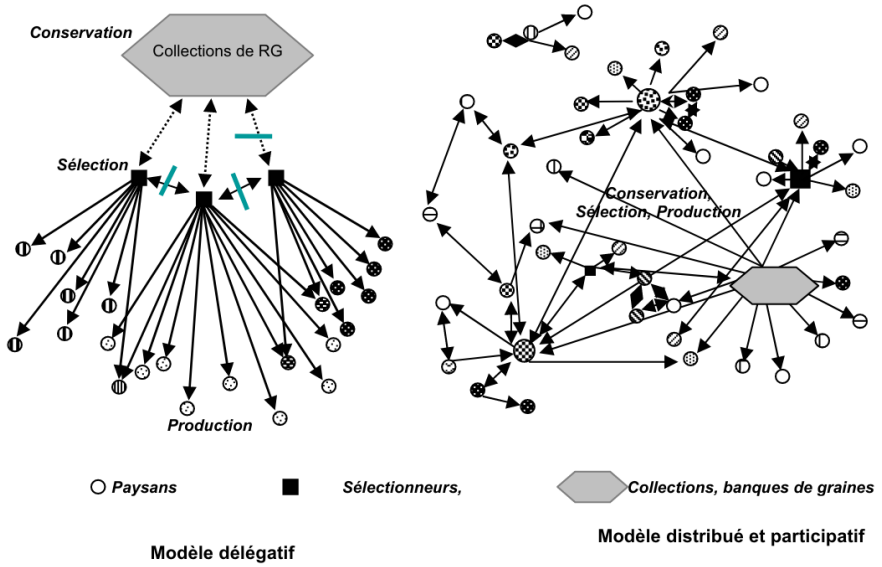
— les quantités sont très petites, de l'ordre de quelques grammes. Cela demande un travail de multiplication avant de pouvoir semer des surfaces supérieures importantes. Par exemple, les échantillons du CRB de Clermont Ferrant permettent de semer un m2. Il faut compter quatre à cinq années pour pouvoir semer 1000m2.
— la perte de diversité génétique à l'intérieur des variétés. Les échantillons sont petits et la dérive est importante [6]
— Le peu d'informations d'intérêt contenues dans les données passeport et parfois la confusion entre lieu de collectage et type génétique. Ainsi des variétés issues de lignées sélectionnées sont nommées du nom de la localité où elles ont été collectées ce qui peut prêter à confusion (par exemple la variété Saint Priest qui semblerait dérivée de la lignée Progress inscrite en 1942 [44]).
— la gestion centralisée et liée à des financements public comporte de nombreux risques tels que environnementaux (les phénomènes extrême augmentent avec le changement climatique : ouragan inondations, sécheresses,incendies, tremblements de terre ...), politique (guerre), financier (désengagement des États) [45].
— le SMTA est un outil du TIRPAA, traité multilatéral avec 144 pays signataires, qui encadre la conservation, l'accès et l'utilisation durable des semences agricoles au niveau mondial. Ce traité ne résout pas l'appropriation des semences par les grandes multinationales agro-chimiques et aucun « partage des avantages » n'est effectif [46]. Le traité facilite la biopiraterie en mettant en libre accès les semences qui peuvent être utilisées par les multi-nationales comme base de leurs nouvelles variétés sur lesquelles elles déposent des droits de propriétés intellectuelles. Aujourd'hui, de nombreuses semences du TIRPAA voient leur ADN séquencées, ce qui facilite le dépôt de brevet sans qu'aucun partage des avantages ne soient prévus [47].

3.3 Diversité conservée dans les Maisons des Semences Paysannes : la gestion *in-situ* par les maisons des semences paysannes

Depuis la domestication des céréales dans le croissant fertile, les communautés paysannes sèment, échangent, mélanges leurs semences. Cette gestion dans les champs, nommée *in-situ* dans le jargon institutionnel, a donné naissance à une diversité incroyable. Cette gestion de la diversité génétique et des processus évolutifs qui en sont

5. `https://www.semences-plants-biologiques.org/#/faq`
6. Plus d"informations dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49

à l'origine est dynamique, en perpétuelle évolution et intrinsèquement lié aux organisations sociales qui gèrent les semences [7]. Ce mode de gestion est encore très présent dans les pays avec une agriculture vivrière et plus marginale voire inexistante dans les pays industrialisés. En France, plusieurs Maisons des Semences Paysannes, telles que Mètis, gèrent de manière dynamique cette diversité cultivée et construise une alternative au modèle délégatif de la gestion des ressources génétiques [30].



A gauche : modèle délégatif avec gestion des ressources génétiques par des banques de gènes. Création, évolution de la diversité seulement chez les sélectionneurs. A droite : modèle distribué et participatif avec un fonctionnement en métapopulation, agriculteurs (voire amateurs) sont acteurs de la gestion. Figure issue de [30]

Cette gestion de la diversité génétique par les communautés paysannes a été reconnue au niveau international avec la convention sur la diversité biologique de Rio en 1992, elle sera suivi par la signature en 2004 par différents pays dont la France, du Traité international sur les ressources phyto-génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA) par la FAO [39]. Ce qui n'est pas sans poser de problèmes comme nous l'avons vu précédemment.

Enfin, depuis 2018, l'article 19 de la Déclaration des Nations Unies sur les droits des paysans et des autres personnes travaillant dans les zones rurales (UNDROP) reconnaît le droit des paysannes et paysans aux semences [48].

3.3.1 Accès aux semences à travers des rencontres

Les Maisons des semences ont chacune leurs règles d'usage. Elles ont en commun que les semences sont accessibles lors de rencontres. Certaines vont distribuer quelques grammes quand d'autres distribueront quelques kilos en échange de la même quantité une fois la récolte faîte.

Une liste non-exhaustive des Maisons des Semences Paysannes en France est sur le site du Réseau Semences Paysannes : `https://www.semencespaysannes.org/`. Un site internet, le spicilège, recense quelques variétés cultivées au sein du réseau : `https://www.semencespaysannes.org/cultivons-la-diversite/spicilege.html`. Il y a également des Maisons des Semences Paysannes dans les autres pays européens. On trouvera une liste non exhaustive des réseaux des semences paysannes nationaux sur le site de la coordination européenne « Libérons la biodiversité » : `https://liberatediversity.org/`.

3.3.2 Cadre juridique

En France, l'échange de semences paysannes de céréales, c'est à dire d'un point de vue réglementaire une semence issue d'une variété du domaine public et non inscrite au Catalogue officiel est autorisé entre paysans :

— dans le cadre de l'entraide agricole sans limite de quantité (échange non monétarisé)

— dans le cadre de la conservation, la sélection et la recherche pour des *« petites quantités »*. La quantité correspond à celle nécessaire pour le but poursuivi.

7. Plus d'informations dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49

Ensuite, chacun est libre d'auto-produire, de sélectionner et de multiplier lui même ses semences paysannes et d'en vendre la récolte en l'état ou transformée [49].

3.3.3 Avantages et inconvénients de la gestion *in-situ*

Parmi les avantages

- la disponibilité en quantité supérieures à celle des Centre de Ressources Biologiques. Cette quantité dépendant des règles d'usage des groupes.
- La grande diversité des mélanges issus de semences paysannes et cultivés à la ferme qui ont une très forte capacité d'adaptation et ont déjà fait leur preuve au champ et en transformation artisanale. Le mélange Mètis cultivé par les membres de l'association est par exemple issu de variétés ayant fait leur preuve dans le sud-ouest de la France.
- l'accès aux semences est facilité si l'on assiste à des rencontres et que l'on construit la confiance avec le groupe sinon il est compliqué car la réactivé des contacts est parfois lente.
- la gestion administrative est très simple, une convention peut être signée ou un accord oral suffit comme dans le cadre de Mètis par exemple.

Concernant les inconvénients

- les Maisons des Semences Paysannes conservent moins de variétés « en pure » que les Centres de Ressources Biologiques. Pour certaines variétés, une demande au CRB sera indispensable
- les Maisons des Semences Paysannes ont des situations financières très précaires et peuvent disparaître. Un moyen pour éviter cet écueil est de cultiver le maximum de diversité dans les champs, cela sera alors souvent des mélanges et non des variétés « en pure »

3.4 Multiplication et évaluation des semences

Une fois les semences reçues, et après une année ou deux de multiplication, de nombreuses options sont possibles :

- Mettre en place des collections pour évaluer et sélectionner dans cette diversité [8] voire la coupler avec la production dans les champs [9].
- Brasser cette diversité à travers des mélanges ou des croisements [10].

8. Plus d'informations dans la fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59

9. Plus d'informations dans la fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ* page 71

10. Plus d'informations dans les fiches *Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative* page 31 et *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

4. Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative

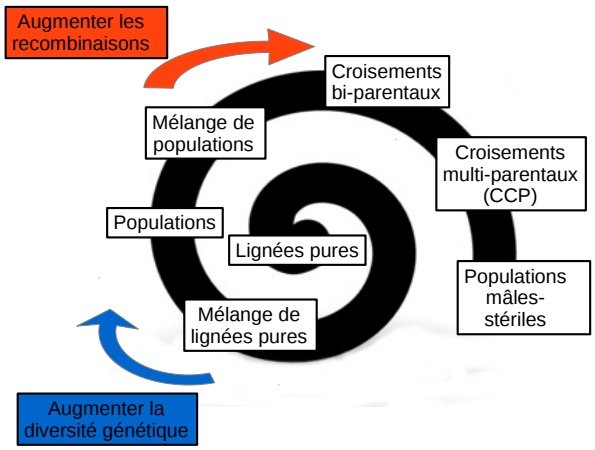
Version 2 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

4.1 Brassage de la biodiversité cultivée pour sélectionner

Brasser la diversité permet d'augmenter la diversité et ainsi d'avoir plus de possibilité pour sélectionner des plantes ou des variétés d'intérêt. Avant de définir une stratégie pour brasser cette diversité, il faut se procurer les semences et commencer à les multiplier [1].

Plusieurs stratégies sont possibles pour brasser la diversité :

- les lignées pures
- les mélanges de lignées pures
- les populations
- les mélanges de populations
- les croisements bi-parentaux
- les croisement multi-parentaux (CCP pour « Composite Cross Population »)
- les populations mâles-stériles



[50]

Gradient de brassage dans une population de blé tendre. Inspiré de [51]

Il y a un gradient pour chacune de ces stratégies avec d'une part de plus en plus de diversité génétique et d'autre part de plus de plus de recombinaisons. Les recombinaisons correspondent aux combinaisons possibles entre deux plantes parents suite à un croisement : plus les parents seront différents et plus les recombinaisons apporteront des combinaisons de caractères nouveaux dans la descendance. Le blé tendre est majoritairement autogame avec un taux de croisement mesuré dans des populations très diversifiées autour de 5% (entre 2 et 10% selon les populations et les lieux de cultures [52]).

Le tableau ci-dessous présente le niveau de sélection possible selon la stratégie employée. La sélection peut se réaliser à trois niveaux :

- La sélection naturelle : les individus les plus adaptés aux pratiques, au sol, à l'environnement, se reproduisent plus : il y a une évolution de la fréquence des individus au sein de la population [2]
- La sélection intra-population qui consiste à sélectionner au sein d'une population de plantes, on parle aussi de sélection massale [3]

1. Plus d'informations dans la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21
2. Plus d'information dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49
3. Plus d'information dans la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77

— La sélection inter-population qui consiste à sélectionner entre des populations de plantes [4]

Ce tableau donne une indication mais tout dépend du type de variété utilisé, en effet un mélange d'un nombre très important de lignées pures très différentes pourrait être plus diversifié qu'une population basée sur peu de parents.

Type de diversité | sélection	naturelle	intra	inter
Lignées pures	−−	−−	+++
Mélanges de lignées pures	+	+	+++
Populations	++	++	+++
Mélanges de populations	+++	+++	++
Croisements bi-parentaux	+++	+++	++
Croisements multi-parentaux	++++	++++	++
Populations mâles-stériles	++++	++++	++

Niveau de sélection possible selon différentes stratégies de brassage de la biodiversité. −− : très faible ; + ; ++ ; +++ ; ++++ : efficacité de sélection de faible à très fort.

La suite du document détaille les éléments pour chaque stratégie.

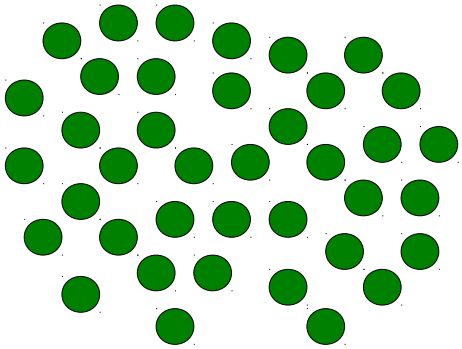
4.2 Lignées pures

Au sein d'une lignée pure, toutes les plantes sont identiques entre elles, ce qui signifie :

— qu'il n'y a aucune possibilité d'évolution
— qu'il n'y a aucune possibilité de sélection au sein de la variété car toutes les plantes sont identiques : la différence observée n'est pas dû à la génétique de la plante mais au sol.
— que si les plantes se croisent entre elles, les plantes issues du croisement seront identiques génétiquement aux plantes parents.
— qu'il est très efficace de sélectionner entre des variétés lignées pures. En effet, comme il n'y a aucune variation au sein d'une variété, il est facile de différencier les variétés et donc de sélectionner entre variétés.

sélection de lignée pure		
naturelle	intra	inter
−−	−−	+++

Niveau de sélection possible. −− : très faible ; + ; ++ ; +++ ; ++++ : efficacité de sélection de faible à très fort.



[53]

Diversité au sein d'une lignée pure : chaque cercle représente une plante. Ici toutes les plantes sont identiques génétiquement, il n'y a aucune diversité.

4.3 Mélange de lignées pures

Au sein d'un mélange de lignées pures, il y a autant de types de plantes que de lignées pures. Les plantes différentes peuvent se croiser et donner de nouvelles plantes avec des combinaisons des parents. Dans ce cas :

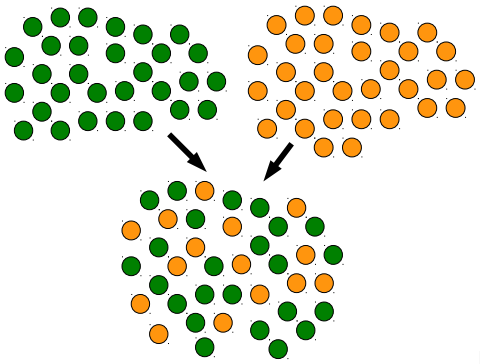
— il y a une petite possibilité d'évolution : les plantes différentes vont pouvoir de croiser et créer de nouvelles plantes. Cela dépendra du nombre de lignées dans le mélange et de leurs différences. Si les lignées sont très proches, les croisements donnent de nouvelles plantes très proches des parents. Si les lignées sont très différentes, les croisements donnent de nouvelles plantes très différentes des parents (voir figure en fin de section).

4. Plus d'information dans la fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59

— il y a une petite possibilité de sélection au sein du mélange après quelques années car il y a différents types de plantes et de nouvelles plantes issues de croisements.
— si le mélange concerne peu de lignées pures, alors il reste efficace de sélectionner entre le mélange et d'autres variétés. En effet, la variation au sein du mélange reste faible et il est facile de différencier avec d'autres variétés et donc de sélectionner.

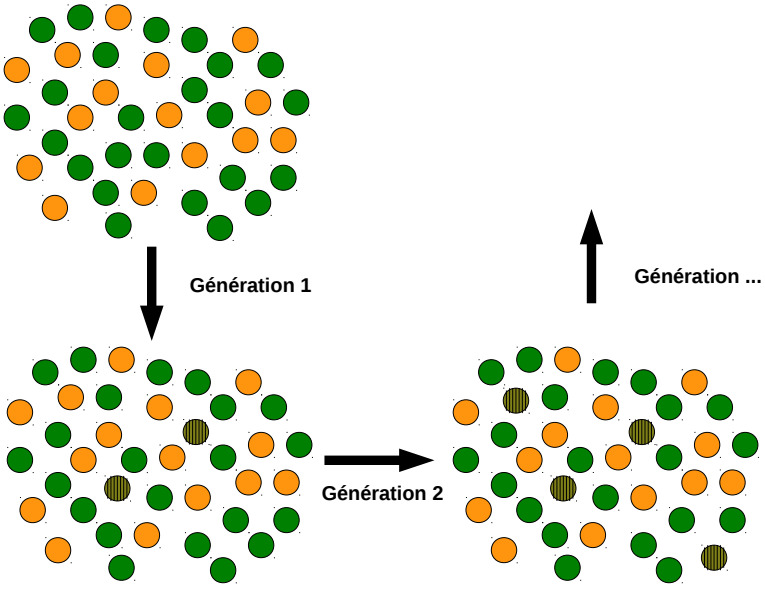
sélection de mélange de lignées pures		
naturelle	intra	inter
+	+	+++

Niveau de sélection possible. + ; ++ ; +++ ; ++++ : efficacité de sélection de faible à très fort.



[53]

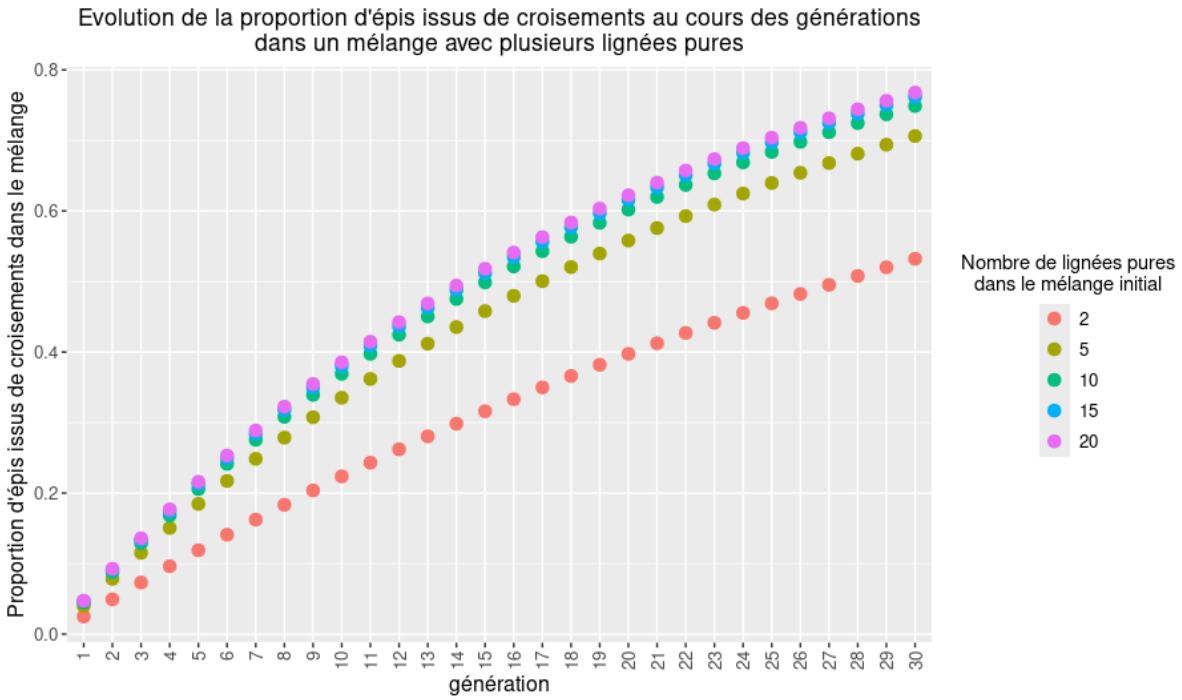
Diversité au sein d'un mélange de lignées pures : chaque cercle représente un type de plante. Ici il y a deux lignées pures qui ont été mélangées donc deux types de plantes, il y a une faible diversité au sein de la variété.



[53]

Diversité au sein d'un mélange de lignées pures qui évolue : chaque cercle représente un type de plante. Ici il y a deux lignées pures qui ont été mélangées donc deux types de plantes. Dans le cas du blé où les croisements sont de l'ordre de 5%, certains croisements ont eu lien et ont permis d'ajouter de nouveau type de plante dans le mélange (rond hachuré). Au fil des générations, le mélange augmente en diversité même si celle-ci reste faible.

La figure ci-dessous illustre l'évolution de la proportion d'épis issus de croisements au cours des générations dans un mélange avec plusieurs lignées pures. Plus il y aura de lignées dans le mélange initial, plus la proportion d'épis issus de croisements sera importante. Avec un mélange de deux lignées pures, il faut 15 ans de multiplication avant d'avoir 30% des plantes issues de croisements. Avec un mélange de dix lignées pures, il faut 15 ans de multiplication avant d'avoir 50% des plantes issues de croisements. Au delà de 10 lignées dans le mélange, la tendance est la même : les plantes issues de croisements sont dans les mêmes proportion au cours des générations.



[54]

Evolution de la proportion d'épis issus de croisements au cours des générations dans un mélange avec plusieurs lignées pures. On fait l'hypothèse que chaque lignée pure peut se croiser entre elles au sein du mélange à hauteur de 5%.

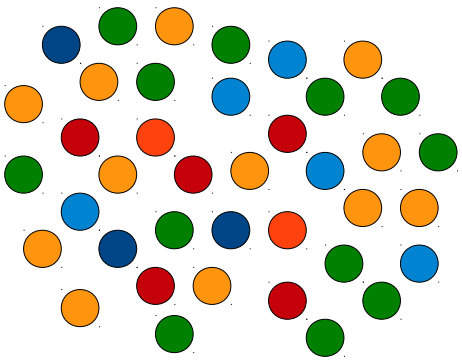
4.4 Populations

Au sein d'une population, toutes les plantes peuvent être similaires sur des caractères phénotypiques, comme la hauteur ou la couleur par exemple, et présentent une diversité génétique qui peut être importante [5], ce qui signifie :

- qu'il y a une possibilité d'évolution assez forte : les plantes les plus adaptées vont mieux se reproduire et augmenter en fréquence dans la population notamment sur des caractères d'adaptation comme la précocité [55].
- qu'il y a une possibilité de sélection au sein de la variété car certaines plantes vont montrer des différences
- que la probabilité que des plantes différentes se croisent est assez élevée, ce qui générera de nouvelles plantes avec de nouvelles combinaisons alléliques.
- qu'il est assez efficace de sélectionner entre des variétés populations car elles ont en général un « type » particulier. Par exemple une population avec des barbes sera facile à différencier d'une population sans barbes.

sélection de populations		
naturelle	intra	inter
++	++	+++

Niveau de sélection possible. + ; ++ ; +++ ; ++++ : efficacité de sélection de faible à très fort.



[53]

Diversité au sein d'une population : chaque cercle représente un type de plante.

5. Voir différents exemples dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49

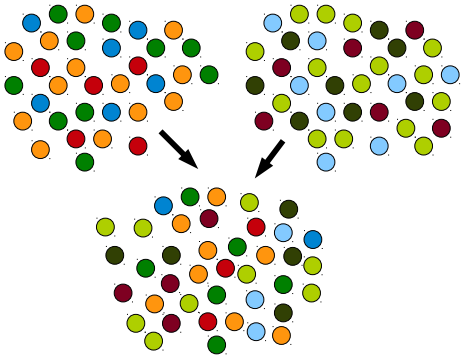
4.5 Mélange de populations

Au sein d'un mélange de populations, de nombreuses plantes vont présenter des différences entre elles, ce qui signifie :

— qu'il y a une possibilité d'évolution supérieure à des populations seules. Un mélange de population évolue assez vite les premières années avant de se stabiliser autour d'un comportement moyen [55].
— qu'il y a une possibilité de sélection au sein de la variété car de nombreuses plantes sont différentes
— que la probabilité que des plantes différentes se croisent est élevée, ce qui générera de nouvelles plantes avec de nouvelles combinaisons alléliques. Comparé à un mélange de lignées pures, un mélange de population va avoir plus d'épis nouveau issus de croisements.
— qu'il peut être assez difficile de sélectionner entre des mélanges de variétés populations car ils sont très diversifiés et peuvent présenter de nombreuses similitudes avec d'autres mélanges.

sélection de mélange de populations		
naturelle	intra	inter
+++	+++	++

Niveau de sélection possible. + ; ++ ; +++ ; ++++ ; +++++ : efficacité de sélection de faible à très fort.



[53]

Diversité au sein d'un mélange de populations : chaque cercle représente un type de plante.

4.6 Croisements

Il existe des méthodes de croisements pour brasser la diversité :

— les croisements bi-parentaux
— les croisements multi-parentaux
— les populations mâles-stériles

Le principal avantage des deux premières méthodes est qu'elles permettent de contrôler les parents qui seront utilisés dans les croisements afin de mettre en œuvre une stratégie de sélection pour associer tel et tel caractère dans la nouvelle population.

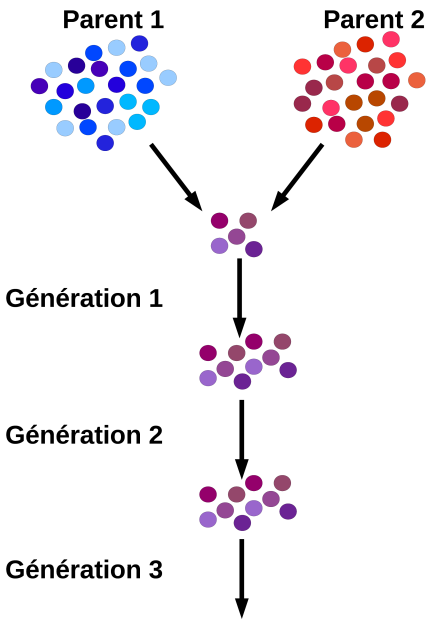
4.6.1 Croisements bi-parentaux

Une nouvelle population issue de croisements va présenter une diversité d'autant plus grande que les parents étaient éloignés [6]. On se retrouve alors dans le cas des mélanges de populations présenté précédemment.

6. Plus d'information dans la fiche *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

sélection de population issue de croisements bi-parentaux		
naturelle	intra	inter
+ + +	+ + +	++

Niveau de sélection possible. + ; ++ ; + + + ; + + ++ : efficacité de sélection de faible à très fort.



[56]

Croisements entre deux populations pour générer une nouvelle population

4.6.2 Croisements multi-parentaux CCP

Les croisements multi-parentaux (CCP = Composite Cross Population) sont le fait de croiser plusieurs parents deux à deux et de mélanger les graines issues de ces croisements. Ce travail est lourd et peut être facilité que dans le cadre d'un partenariat avec des équipes de recherche.

Après plusieurs générations, la nouvelle population va présenter une diversité d'autant plus grande que les parents étaient éloignés et que le nombre de croisements différents ont été réalisé. On se retrouve alors dans le cas présenté précédemment mais avec beaucoup plus de diversité, ce qui signifie :

- qu'il y a une grande possibilité d'évolution et d'adaptation à des environnements très variables [57].
- qu'il y a une grande possibilité de sélection au sein de la variété car de nombreuses plantes sont différentes
- que la probabilité que des plantes différentes se croisent est très élevée, ce qui générera de nouvelles plantes avec de nouvelles combinaisons alléliques.
- qu'il peut être très difficile de sélectionner entre des variétés issue de croisements multi-parentaux car une large diversité est en général recherché dans les parents.

Parent	1	2	3	4	...	$n-1$	n
1		C-[1]-[2]	C-[1]-[3]	C-[1]-[4]	...	C-[1]-[$n-1$]	C-[1]-[n]
2			C-[2]-[3]	C-[2]-[4]	...	C-[2]-[$n-1$]	C-[2]-[n]
3				C-[3]-[4]	...	C-[3]-[$n-1$]	C-[3]-[n]
4					...	C-[4]-[$n-1$]	C-[4]-[n]
⋮					⋮	⋮	⋮
Parent $n-1$							C-[$n-1$]-[n]

Combinaisons de croisements réalisés à partir de n populations parents : tous les croisements sont réalisés deux à deux avant d'être mélangés. Par exemple C-[1]-[2] correspond au croisement entre le parent [1] et le parent [2]. Pour n le nombre de parents, il y a $\frac{n\times(n-1)}{2}$ possibilités

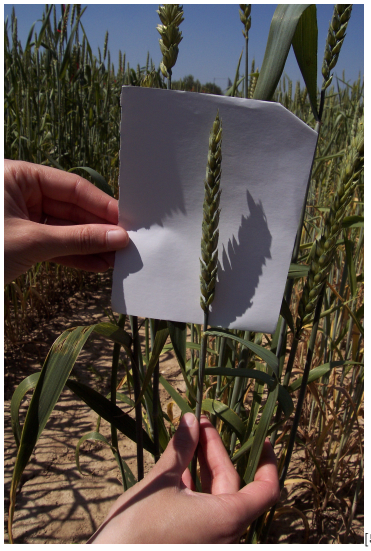
sélection de population issue de croisements multii-parentaux		
naturelle	intra	inter
+ + ++	+ + ++	+ + +

Niveau de sélection possible. + ; ++ ; + + + ; + + ++ : efficacité de sélection de faible à très fort.

De manière générale, toutes les combinaisons de croisements sont envisageables : hybride deux voies, trois voies, etc.

4.6.3 Populations mâle-stérile

La population « mâle-stérile » est une population hautement recombinante (dite MAGIC !) développée par l'INRA du Moulon entre 1976 et 1980 qui a un fort taux d'allogamie [58]. 60 parents ont été croisés deux à deux au départ puis croisé avec la variété *Probus*, qui détient naturellement un gène de stérilité mâle ce qui permet un brassage permanent des fleurs des plantes. Cette population est très exigeante à gérer car il faut maintenir le taux d'épis mâle stériles dans la population pour maintenir le brassage. La moitié des plantes dans la descendance est mâle-stérile, ce qui signifie qu'un croisement est obligatoire par une plante voisine mâle-fertile. Si on ne resème que les plantes mâle-stérile (voir photo ci-dessous), alors la population est brassée en continue. Si on ne sélectionne pas les plantes mâle-stérile, la stérilité mâle va disparaître au bout de quelques générations. Cette population MAGIC a, peu ou prou, les même caractéristiques que les populations issues de croisements multi-parental vu précédemment. Cette population a été développée par la recherche pour être un réservoir de combinaisons intéressantes pour être ensuite utilisées en programme de sélection.


[59]

Epi fertile de blé tendre dans la population MAGIC

[60]

Epi stérile de blé tendre dans la population MAGIC

[61]

Epi stérile de blé tendre marqué par une laine rouge

sélection de population issue d'une population mâle-stérile		
naturelle	intra	inter
+++	+++	++

Niveau de sélection possible. + ; ++ ; +++ ; ++++ : efficacité de sélection de faible à très fort.

[62]

Epi stérile de blé tendre marqué par une laine rouge dans la population MAGIC

4.7 Mise en place d'une stratégie

Afin de choisir la meilleure stratégie à mettre en œuvre il faut prendre en compte ses objectifs et ses contraintes. Pour les mélanges ou les croisements contrôlés, un travail en amont est nécessaire pour choisir quoi mélanger ou croiser selon ses objectifs. Les croisements manuels peuvent être réalisés à la ferme, via une organisation collective type Maison des Semences Paysannes ou via une station de recherche partenaire. La disponibilité en semences et la connaissances des variétés ou des parents à croiser sont des points clés.

De manière générale, plus on générera de diversité, plus il faudra veiller à cultiver les populations sur des grandes surfaces pour ne pas perdre de diversité par dérive [7]. Répartir la population dans plusieurs fermes permet aussi d'éviter cet écueil.

Type de diversité	faisabilité technique	temps nécessaire	remarques
Mélanges de lignées pures	−	−	
Populations	−	−	
Mélanges de populations	−	−	
Croisements biparentaux	+	++	Le croisement en tant que tel est faisable à la ferme mais prend un peu de temps avec des risques d'échec en extérieur avec les pluies qui peuvent empêcher une bonne fécondation. Il faut ensuite mettre en place un petit protocole l'année suivante pour vérifier si le croisement a fonctionné.
Croisements multiparentaux	+	+ + +	La technique est la même que pour les croisements biparentaux mais le temps de travail est décuplé du fait des nombreux croisements à réaliser.
Populations mâles-stériles	+ + ++	+ + ++	Le marquage des plantes mâles-stériles est très très long ... Et le choix des parents n'est pas forcément adapté à ses objectifs.

A quelles contraintes faire face selon le type de diversité concernant la faisabilité technique et le temps nécessaire.
− : très facile ou rapide ; + faisable ou peu de temps ; ++ : assez technique et temps assez important ; + + + : très technique et beaucoup de temps ; + + ++ : très très technique et énormément de temps

7. Plus d'informations dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49

5. Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille

Version 2 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

5.1 Théorie

5.1.1 Mendel et définitions

Gregor Mendel (1822 - 1884) est un moine tchèque qui a découvert les lois de l'hérédité en croisant des petits pois dans son jardin. Ces lois permettent de prédire la ségrégation des caractères connaissant les deux parents. C'est à dire la proportion de chaque parent que l'on retrouve dans les générations suivantes.

Réaliser des croisements permet de développer de nouvelles plantes combinant des caractères de ses parents [1].

Les plantes issues d'un croisement contiennent des caractéristiques venant des deux parents dans des proportions variables. Ces nouvelles plantes, après multiplication, sont des candidats à la sélection.

Définitions des termes repris dans la suite du document.

- **ADN** : l'acide désoxyribonucléique est le support de l'information génétique présent dans le noyau des cellules.
- **Gène** : séquence d'ADN constituant une unité d'information (héréditaire) qui code pour un caractère.
- **Chromosome** : fragment d'ADN qui contient des gènes.
- **Diploïdes** : Plante avec deux versions d'un même chromosome. Chaque chromosome aura un allèle pour un gène donné.
- **Allèle** : version d'un gène. Le gène « première lettre de l'alphabet » peut être **R** ou **r**
- **Locus** : lieu du génome où sont les allèles.
- **Homozygotes** : une plante diploïde a deux allèles identiques, par exemple **rr** ou **RR**
- **Hétérozygotes** : une plante diploïde a deux allèles différents, par exemple **Rr** ou **rR**

5.1.2 Croisements bi-parentaux : 1 locus, 2 allèles

Lors de la première génération (F1) soit deux plantes parents diploïdes et homozygotes à un locus **RR** et **rr** que l'on croise. Les graines issues de la fécondation (F1) seront, à ce locus, de la forme **Rr** ou **rR** : Le premier parent donne **R** et le deuxième **r**.

F1	R
r	Rr (ou rR)

Combinaison d'allèles dans la première génération pour deux plantes parents diploïdes homozygotes et un locus

Lors de la deuxième génération (F2) si 100% des plantes avec la combinaisons **Rr** (ou **rR**) s'autofécondent, comme dans le pois de Mendel, qui sont **Rr**, vont donner **R** ou **r** à la génération suivante. Il y a donc quatre combinaisons possibles : **RR**, **rr**, **Rr** et **rR**. **Rr** et **rR** sont identiques, aussi on considère les proportions suivantes :

1. La fiche *Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative* page 31 évoque les intérêts des croisements par rapport à d'autres stratégie de brassage de la biodiversité.

— 25% **RR** : on retrouve un des parents
— 25% **rr** : on retrouve un des parents
— 50% **Rr**

F2	R	r
R	RR	Rr
r	rR	rr

Combinaison d'allèles dans la deuxième génération à partir de deux plantes parents diploïdes et un locus

Lors de la troisième génération (F3) chacune des plantes va s'autoféconder selon la même logique :
— 25% des plantes **RR** vont donner **RR**
— 25% des plantes **rr** vont donner **rr**
— 50% des plantes **Rr** vont donner
  — 25% **RR** : on retrouve un des parents
  — 25% **rr** : on retrouve un des parents
  — 50% **Rr** et **rR**

Aussi les proportions évoluent comme suit :

25% de RR qui s'autoféconde :

F3	R
R	RR

50% de Rr (ou rR) qui s'autoféconde :

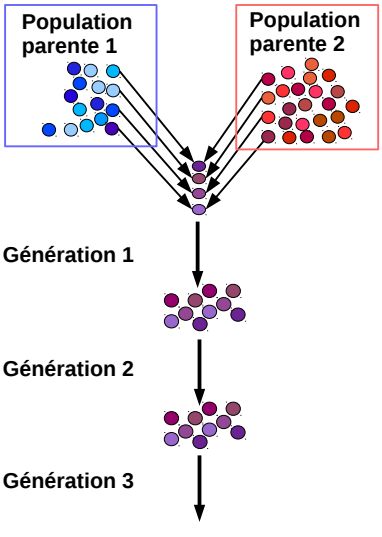
F3	R	r
R	RR	Rr
r	rR	rr

25% de rr qui s'autoféconde :

F3	r
r	rr

Combinaison d'allèles dans la troisième génération à partir de deux plantes parents diploïdes et un locus

Lors des générations suivantes (F4, F5 ...) la même logique se reproduit. Plus il y a de générations d'autofécondation, plus les plantes sont homozygotes, c'est à dire
— plus il y aura des plantes de type **rr** ou **RR** : les plantes parents et les plantes enfants sont de plus en plus semblables.
— moins il y aura de plantes de type **Rr** ou **rR** : le taux d'hétérozygotie diminue.



[63]

Croisement de populations puis descendance

Génération	taux d'hétérozygote (**Aa**)
1	100%
2	50%
3	25%
4	12,5%
5	6,25%
6	3,125%
7	1,5625%
⋮	⋮

Evolution du taux d'hétérozygotie pour un locus dans des plantes issues de croisements en fonction du nombre de générations. Chez le blé, qui est autogamme à 95%, on est proche de ces résultats.

5.1.3 Croisements bi-parentaux : 2 locus, 4 allèles

Lors de la première génération (F1) soit deux parents diploïdes et homozygotes à deux locus **RR**, **JJ** et **rr**, **jj** que l'on croise. Le premier parent donnera **R** et **J**, le deuxième parent donnera **r** et **j**. Les graines issues de la fécondation seront, à ce locus, de la forme **Rr** ou **Jj**.

F1	RR JJ
rr jj	Rr Jj

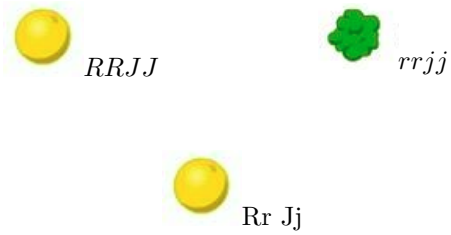
Combinaison d'allèles dans la première génération pour deux plantes parents diploïdes homozygotes et deux locus

Lors de la deuxième génération (F2) 100% des plantes avec les combinaisons **Rr** et **Jj** s'autofécondent. Les parents qui sont **Rr** et **Jj** peuvent donner **RJ**, **Rj**, **rJ** ou **rj** à la génération suivante, aussi on considère les proportions suivantes :

F2	RJ	Rj	rJ	rj
RJ	RR JJ	RR jj	Rr JJ	Rr Jj
Rj	RR jJ	RR jj	rr jJ	Rr jj
rJ	rR JJ	rR Jj	rr JJ	rr Jj
rj	rR jJ	rR jj	rr jJ	rr jj

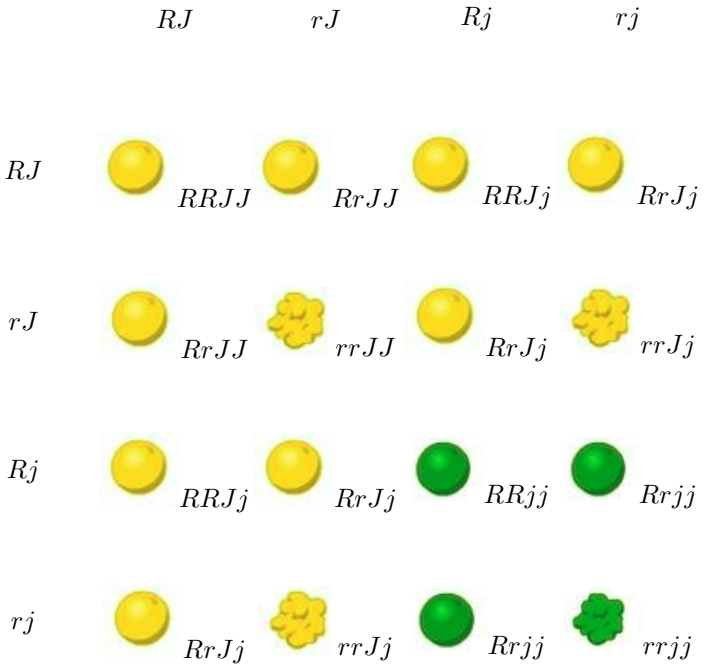
Combinaison d'allèles dans la deuxième génération pour deux plantes parents diploïdes et deux locus

Les premières et deuxièmes générations (F1 et F2) dans l'expérimentation de Mendel sur les petits pois qu'il autoféconde.



[64]

Gregor Mendel le 20 juillet 1822



Exemple de l'expérimentation de Mendel sur les petit pois. R : rond, r : ridé, J : jaune, j : vert. R et J sont dominants : ils prennent le dessus. r et j sont récessifs : ils sont « cachés » par les dominants.

Lors des générations suivantes (F3, F4 ...) c'est la même logique. Plus il y a de générations d'autofécondation, plus les plantes sont homozygotes, c'est à dire

- plus il y aura des plantes de type **rrJJ**, **RRjj** : de nouvelles combinaisons qui n'existaient pas dans les parents (**rrjj** et **RRJJ**) se stabilisent dans la population
- moins il y aura de plantes mélangeant les autres combinaisons : le taux d'hétérozygotie diminue.

5.1.4 Croisements bi-parentaux : 3 locus, 6 allèles

Lors de la première génération (F1) soit deux parents diploïdes et homozygotes à trois locus **RR**, **JJ**, **CC** et **rr**, **jj**, **cc** que l'on croise. Le premier parent donnera **R**, **J** et **C**, le deuxième parent donnera **r**, **j** et **c**. Les graines issues de la fécondation seront, à ce locus, de la forme **Rr**, **Jj** ou **Cc**.

F1	RR JJ CC
rr jj cc	Rr Jj Cc

Combinaison d'allèles dans la première génération pour deux plantes parents diploïdes homozygotes et trois locus

Lors de la deuxième génération (F2) 100% des plantes avec les combinaisons **Rr**, **Jj** et **Cc** s'autofécondent. Les parents qui sont **Rr**, **Jj** et **Cc** peuvent donner **RJC**, **RJc**, **Rjc**, **rJC**, **rJc** ou **rjc** ce qui donne 64 possibilités.

F2	RJC	RjC	RJc	Rjc	rJC	rjC	rJc	rjc
RJC	RR JJ CC	RR Jj CC	RR JJ Cc	RR Jj Cc	Rr JJ CC	Rr Jj CC	Rr JJ Cc	Rr Jj Cc
RjC	RR jJ CC	RR jj CC	RR jJ Cc	RR jj Cc	Rr jJ CC	Rr jj CC	Rr jJ Cc	Rr jj Cc
RJc	RR JJ cC	RR Jj cC	RR JJ cc	RR Jj cc	Rr JJ cC	Rr Jj cC	Rr JJ cc	Rr Jj cc
Rjc	RR jJ cC	RR jj cC	RR jJ cc	RR jj cc	Rr jJ cC	Rr jj cC	Rr jJ cc	Rr jj cc
rJC	rR JJ CC	rR Jj CC	rR JJ Cc	rR Jj Cc	rr JJ CC	rr Jj CC	rr JJ Cc	rr Jj Cc
rjC	rR jJ CC	rR jj CC	rR jJ Cc	rR jj Cc	rr jJ CC	rr jj CC	rr jJ Cc	rr jj Cc
rJc	rR JJ cC	rR Jj cC	rR JJ cc	rR Jj cc	rr JJ cC	rr Jj cC	rr JJ cc	rr Jj cc
rjc	rR jJ cC	rR jj cC	rR jJ cc	rR jj cc	rr jJ cC	rr jj cC	rr jJ cc	rr jj cc

Combinaison d'allèles dans la deuxième génération pour deux plantes parents diploïdes hétérozygotes et trois locus

Lors des générations suivantes (F3, F4 ...) c'est la même logique. Plus il y a de génération d'autofécondation, plus les plantes sont homozygotes, c'est à dire

- plus il y aura de plantes de type **RRJJcc**, **RRjjcc**, **rrJJCC**, **rrjjcc** : de nouvelles combinaisons qui n'existaient pas dans les parents (**RRJJCC** et **rrjjcc**) se stabilisent dans la population
- moins il y aura de plantes mélangeant les autres combinaisons : le taux d'hétérozygotie diminue

5.1.5 Croisements bi-parentaux : généralisation

En faisant l'hypothèse que toutes les combinaisons d'allèles sont possibles, on observe que le nombre de combinaison d'allèles est très très grand ! Cette valeur est sur-estimée car certains locus sont liés, c'est à dire que pour ces locus, les lois de Mendel ne sont pas vérifiés (il y a un écart à la proportion des 25%, 25% et 50% pour deux allèles **RR** et **rr**).

L'information importante à retenir est qu'en deuxième génération après un croisement, le nombre de combinaison est énorme et de nombreuses plantes avec des nouvelles combinaisons vont se stabiliser dans la population au cours des générations.

Plus les parents sont proches, plus la probabilité que certaines combinaisons soient les mêmes est forte. En effet, si des parents sont proches, il y aura moins de combinaisons car moins de diversité allélique.

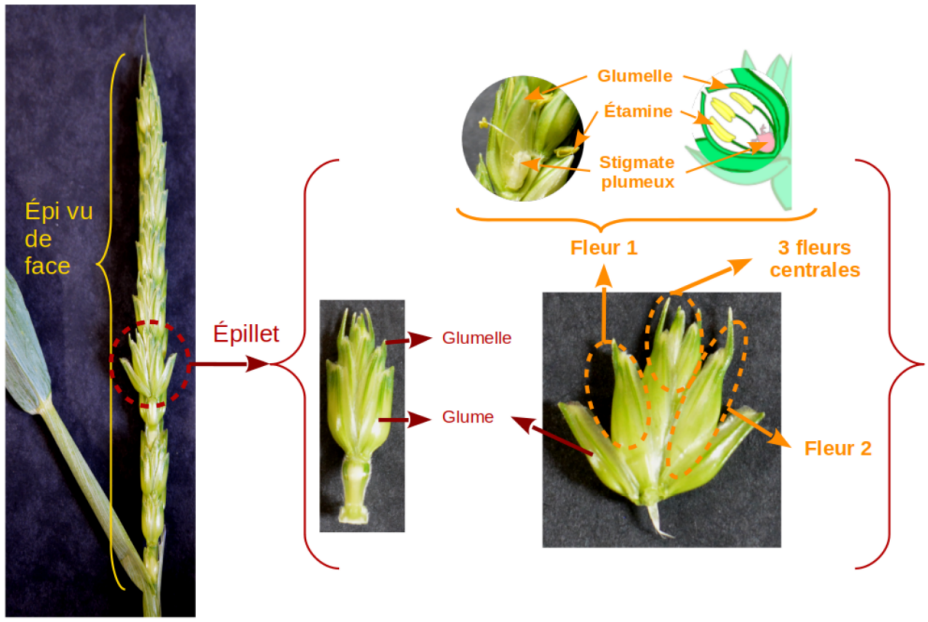
Plus les parents sont éloignés, plus la probabilité que certaines combinaisons soient les mêmes est faible. En effet, si des parents sont éloignés, il y aura plus de combinaisons car plus de diversité allélique.

5.2 Pratique

Cette partie est complètement reprise [2] et très légèrement adaptée de la fiche éditée par l'INRA et le Réseau Semences Paysannes « Réaliser des croisements chez le blé tendre » [65].

2. Nous préférons copier-coller ici cette fiche, sous la même licence que la présente fiche, pour simplifier la cohérence du document. Nous vous invitons à aller lire l'original qui a une mise en page sympathique [65]

5.2.1 Biologie d'un épi de blé



Morphologie du blé tendre : de l'épi à la fleur.

L'épi de blé est constitué de différents épillets. Eux mêmes contiennent différentes fleurs. Ces fleurs ont une anatomie identique composée des organes femelles (ovaires et stigmates) et des organes mâles (étamines). Leur disposition au sein des glumelles favorisent un système de reproduction : l'autofécondation.

Le blé possède au sein d'une même fleur des organes mâles et femelles : il est hermaphrodite.

La proximité des organes mâle et femelle favorise des échanges de pollen interne, ce qui va induire une autofécondation.

Dans de rares cas, autour de 5% (entre 2 et 10% selon les populations et les lieux de cultures [52]), du pollen peut être échangé entre fleurs de plantes différentes, ce qui va induire de l'allogamie. Un croisement va forcer l'allogamie à 100%, c'est à dire qu'une plante choisie comme femelle, va recevoir du pollen d'une autre plante choisie comme mâle.

5.2.2 Protocole de croisement

Matériel

- Ciseaux pointus ;
- Pince très fine de type pince à épiler ;
- sachets en papier avec des languettes pour les fermer ;
- feutre indélébile.

Préparation en amont

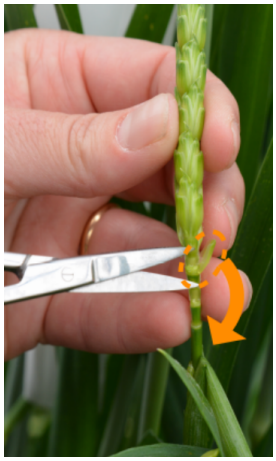
- Il est important de choisir des variétés dont les précocités sont compatibles. Deux variétés dont la précocité est trop décalée vont rendre impossible le croisement. Dans le cas des épis « mâles » (non castrés) il est envisageable qu'ils n'aient plus de pollen. Dans le cas des épis « femelles » (castrés) il se peut qu'ils ne soient plus réceptifs à la fécondation ;
- Il est préférable de faire les croisements dans les 2 sens. Il faut pour cela réfléchir en amont pour que les précocités marchent dans les 2 sens. Par exemple si j'ai deux variétés A et B, je vais faire les croisements suivants : A femelle $\times$ B mâle et A mâle $\times$ B femelle.
- Avant de commencer les croisements, il est conseillé de préparer une fiche qui reprend les croisements à effectuer : qui est mâle, qui est femelle, les dates de castration et de fécondation, les éventuelles observations.

Castration des épis Les épis castrés seront les épis femelles. Ils recevront ensuite le pollen d'une plante choisie comme mâle.

Cette opération se déroule en huit étapes :

Etape 1 : Choisir la bonne période de castration. Le bon stade pour la castration se situe quand l'épi est encore dans le haut de sa gaine, Cela signifie que l'autofécondation n'a pas encore eu lieu.

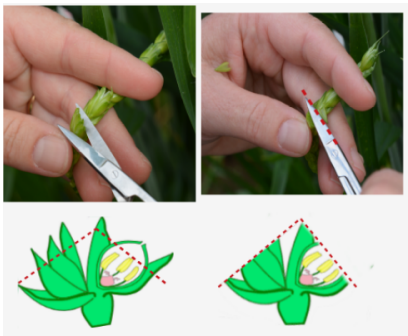
Etape 2 : Enlever la gaine délicatement avec le pouce et la plier. Cela permet de mettre en évidence tous les épillets.



Etape 3 : Retirer les épillets stériles situés à la base de l'épi. C'est une mesure préventive pour éviter d'éventuelles auto-fécondation, en effet la castration est délicate dans ces petits épillets.

Etape 4 : Retirer l'épillet en haut de l'épi, pour les mêmes raison que l'étape 3.

Etape 5 : Retirer la ou les fleurs centrales sur chaque épillet. Les fleurs centrales sont coupées (pointillés rouge) pour ne conserver que les fleurs périphériques (points orange). Par rapport à la figure de morphologie de la fleur, seules les fleurs 1 et 2 sont conservées.



Etape 6 : Couper le haut de chaque épillet afin de dégager les étamines, ce qui les rend accessibles pour la suite des opérations.

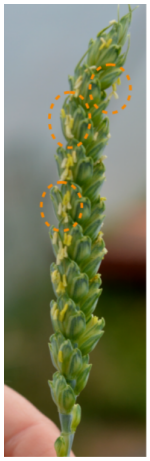
Etape 7 : Enlever les 3 étamines pour les 2 fleurs de chaque épillet. Il faut faire attention de bien retirer toutes les étamines de toutes les fleurs (il y a 3 étamines à enlever !). C'est une étape délicate qui nécessite de la concentration : si une étamine reste dans la fleur, alors il y aura autofécondation. Une pratique consiste à compter que les trois étamines ont bien été retirée à chaque fois. Cette étape prend entre 10 et 15 minutes.

Etape 8 : Mettre un sachet en papier autour de l'épi pour protéger les stigmates du pollen environnant Les sachets doivent être bien fermés à la base pour protéger au maximum. Sur chaque sachet il faut marquer : la variété de l'épi devenu femelle et la date de castration. Par exemple : "Blé du Lot, femelle, 17 mai 2024".

Après la castration, il faut attendre 4-5 jours pour que les épis castrés soient réceptifs. Ce n'est qu'après ce laps de temps que l'on peut passer à la fécondation.

Fécondation des épis La fécondation va permettre d'associer les plantes femelles préalablement castrées au pollen d'une plante choisie comme mâle.

Etape 1 : Vérifier que les épis femelles soient réceptifs. La réceptivité des épis femelles s'estiment par leur côté « plumeux ». Il faut faire attention en ouvrant le sachet que du pollen n'entre pas !



Etape 2 :

- Choisir un épi mâle en floraison. Dans ce cas, les étamines sortient sur 1cm (cercle orange). Pour faciliter l'opération :
  - Opérer les jours où il fait chaud facilite la sortie des étamines ;
  - Si les étamines ne sont pas assez sortie, il est possible de couper le haut des épillets : cela aide à la sortie des étamines ;
  - Planter le pied « mâle » à côté de celui femelle facilite le suivi des croisements ;
  - La couleur des étamines est un bon indicateur de la contenance en pollen. Si les étamines sont jaunes cela signifie qu'ils contiennent du pollen. A l'inverse si ils sont blancs, cela signifie que le pollen est déjà sorti ;
  - Attention à ne pas trop secouer les épis pour ne pas faire tomber tout le pollen avant la fécondation.

Etape 3 : Féconder l'épi femelle avec l'épi mâle. Il faut couper le haut du sachet puis insérer l'épi mâle au dessus, le secouer et le mettre dans le sachet. Le sachet doit ensuite être refermé avec les 2 épis, femelle et mâle, à l'intérieur. L'étape est réussie si on observe du pollen au fond du sachet.

Etape 4 : l'épi mâle peut être retiré après une semaine dans le sachet ou lors de la récolte. La réussite de la fécondation est très variable : entre quelques grains et une quinzaine.

5.3 Conséquence dans le cadre d'un programme de sélection participative

La théorie de Mendel permet de nous donner des indications pour mener des programmes de sélection participative.

5.3.1 Construire un mélange diversifié et évolutif

Au sein d'une population diversifiée de blé, les croisements à hauteur de 5% vont permettre de brasser un peu de diversité.

- Si la population est très hétérogène, les croisements vont générer des plantes différentes car la probabilité que les parents soient différents est forte.
- Si la population est assez homogène, la diversité dans la descendance sera réduite car la probabilité que les parents soient différents est faible.

Aussi, avec un mélange très diversifié, de nouvelles combinaisons vont apparaître chaque année.

5.3.2 Choisir les parents pour un croisement

Il est possible de contrôler les croisements en choisissant les parents avec des caractéristiques différentes pour certains caractères avec l'objectif de les associer.

Se pose alors la question du choix des parents et des critères selon les objectifs. Quels parents croiser suivant quels objectifs de sélection ? Ils peuvent être agronomique (précocité, résistance aux maladies, ...), organoleptique ou nutritionnel.

Les parents peuvent venir de variétés historiques de la région ou alors des variétés de régions différentes ou de pays différents (avec un objectif de résistance à la sécheresse par exemple, on pourra essayer de croiser des blés cultivés dans des pays avec des climats très secs).

Il est également important de savoir si le caractère recherché dépend plus de la génétique ou de l'environnement, autrement dit, il faut savoir si le caractère est héritable ou non [3]. En effet, si le caractère dépend beaucoup de la génétique (comme la précocité par exemple), alors le croisement peut avoir un sens. Si le caractère dépend beaucoup de l'environnement (comme le rendement par exemple), le principal levier d'amélioration sera peut être les pratiques agronomiques plutôt que la sélection.

Dans de nombreux cas, tout n'est pas noir ou blanc (comme la verse par exemple qui dépend de la génétique mais aussi de la richesse du sol).

En règle générale, plusieurs croisements sont réalisées avec différentes plantes mâles et femelles. Dans le cas de variétés hétérogène, les plantes mâles n'apporteront pas à chaque fois la même information génétique. Idem pour les plantes femelles. Aussi le résultat des différents croisements seront différents. La première génération ne sera pas homogène : il y aura autant de type de plante F1 que de croisement. Ce qui générera encore plus de diversité.

Dans le cadre de l'évaluation du programme de sélection participative sur le blé tendre décrite dans le chapitre trois de la thèse de Pierre Rivière [7], il a été observé que

- les nouvelles populations avec une variété plus moderne [4] dans les parents avaient plus de potentiel pour le poids de l'épi, une composante importante du rendement
- les nouvelles populations issues de croisements de variétés anciennes avec des variétés de pays étaient très diversifiées.

Dans le cas de parents issus de semences paysannes, il semble important que la population ait été cultivée plusieurs années dans la ferme afin d'avoir commencé sont processus d'adaptation au terroir et aux pratiques. Cela permet aussi d'observer son comportement pour mieux choisir les parents à croiser.

5.3.3 Vérifier si le croisement a fonctionné

Une fois le croisement réalisé, il est possible de contrôler s'il a fonctionné. en semant côté à côté les parents et les semences issues de la descendance.

- Si le croisement a fonctionné, alors les plantes issues du croisement sont différentes des parents
- Si le croisement n'a pas fonctionné, alors les plantes issues du croisement sont identiques à la plante mère (il y a eu autofécondation et pas croisement)

5.3.4 Sélectionner dans la descendance d'un croisement

Une fois le croisement réalisé, une nouvelle diversité est générée. Il sera alors possible de sélectionner dans cette nouvelle diversité.

Avant de faire la sélection dans des populations issues de croisements, il faut avoir plusieurs éléments en tête :

- en première génération de croisement, les plantes sont très hétérozygotes (proche de 100% si les deux parents portaient chacun des allèles différents). Aussi, si l'on sélectionne une plante à ce stade, il est fort probable que la descendance n'ait pas la même génétique que les parents (50% de chance en sélectionnant dès la première génération). Il est donc préférable d'attendre quelques années avant de sélectionner pour maximiser les chances que la génétique des parents se retrouvent dans la descendance. Par exemple à 4 ans, la probabilité que les enfants n'aient pas la même génétique que leur parent chute à 12.5%.
- des résultats montrent qu'une sélection paysanne précoce peut être efficace sur certains caractères [5].
- Lorsque l'on observe une plante (P), elle est la combinaison de son potentiel génétique (G), l'environnement où elle pousse (E) et l'interaction des deux ($G \times E$) : $P = G + E + G \times E$. Les graines que l'on va sélectionner

3. Plus d'information dans la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77
4. Variétés issues du travail biodynamistes ou de la première moitié du XXème siècle
5. Plus d'information dans la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77

ne « contienne » que l'information G et une partie de $G \times E$ aussi il faut être vigilant de bien sélectionner un nombre important de plantes pour ne pas garder des plantes qui ne sont que le reflet de E[6].

— Il faut prendre en compte la taille de la nouvelle population. Plus il faudra de place, plus le réseau aura un intérêt.

6. Plus d'information dans la fiche *Principes de la sélection participative sur les céréales à paille* page 9

6. Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille

Version 1 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

6.1 Définition

La biodiversité cultivée s'est considérablement érodée au cours de l'industrialisation de agriculture bien qu'elle joue un rôle majeur dans la capacité des systèmes agricoles à s'adapter aux changements climatiques et futurs [17, 66]. La gestion de cette biodiversité cultivée repose sur

— la culture de variétés paysannes, diversifiées génétiquement, le plus souvent cultivées en mélange
— la mise en place d'une organisation sociale dans un collectif au niveau local qui va mettre en œuvre des règles d'usage pour gérer ses semences et
— la mise en réseau avec d'autres collectifs au niveau régional et national.

C'est une gestion *in-situ*, au champ, dans les fermes et les jardins, qui contribue à la préservation et à l'augmentation de la biodiversité cultivée.

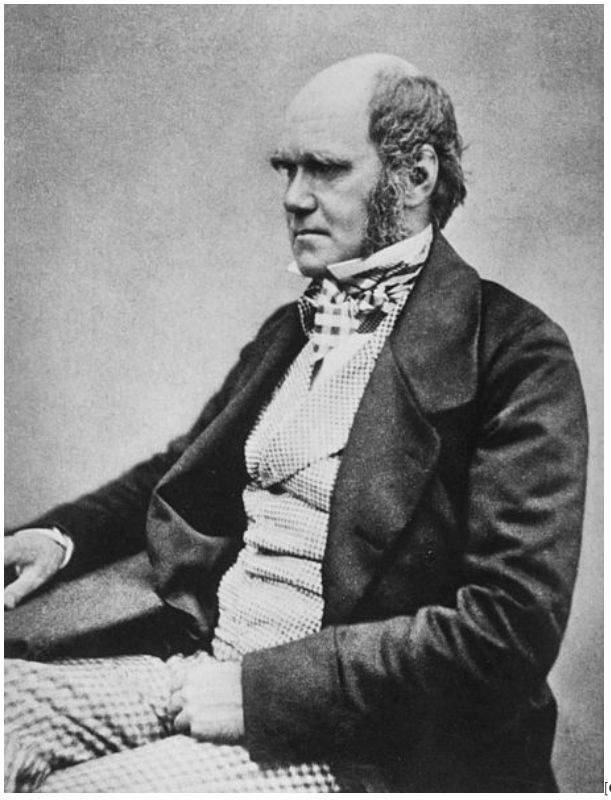
6.2 Cadre théorique

6.2.1 Les forces évolutives

Quatre forces évolutives sont à l'origine de l'évolution de la diversité dans une population composée d'une diversité d'individus : la sélection naturelle, la dérive génétique, la migration et la mutation

L'épigénétique et les recombinaisons (qui vont créer de la variation dans la descendance d'un croisement) sont également des mécanismes qui influent sur la gestion de la diversité mais ne sont pas considérées comme des forces en tant que telles.

La sélection naturelle


[67]

Portrait de Charles Darwin (1809 - 1882)

La sélection naturelle est un processus qui explique l'évolution de population hétérogène au cours des générations. La sélection naturelle a été décrite par Charles Darwin au XIXème siècle [68] et repose sur la succession de trois processus :

— La **Reproduction** des plantes qui vont donner des graines
— La **Variation** dans la descendance des parents : plus les parents sont éloignés et plus il y a de diversité dans la descendance
— Le **Tri** des individus les plus adaptés qui se reproduisent plus : il y a une évolution de la fréquence des individus au sein de la population

Les deux premiers processus, reproduction et variation, sont décrits plus en détails dans deux fiches [a]

a. Voir les fiches *Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative* page 31 et *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

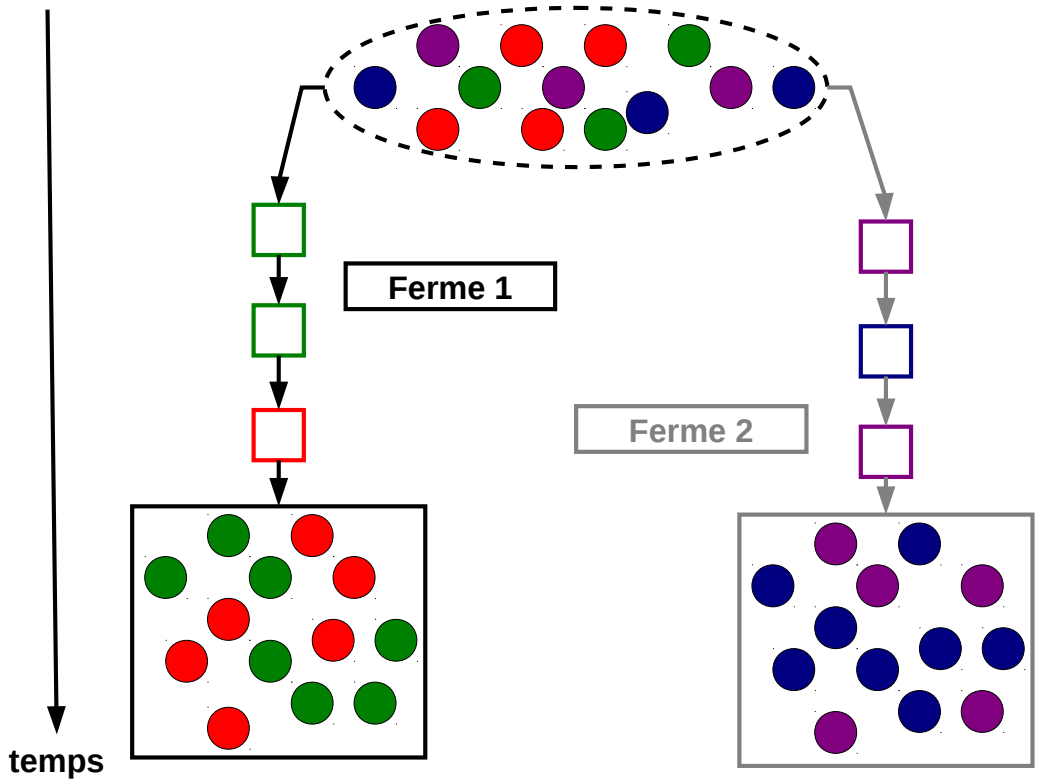
Des études sur des populations de blé tendre qui ont évolué pendant 26 ans en France [69] montrent que des populations hétérogènes génétiquement cultivées plusieurs années dans des environnements contrastés vont évoluer avec la sélection naturelle : les populations s'adaptent à leur environnement. Les caractères qui évoluent le plus sont :

— la hauteur : les populations ont tendance à grandir pour chercher la lumière, ce qui peut engendrer de la verse
— la précocité : les populations cultivées au Nord sont plus tardives que les populations cultivées au Sud. Après une dizaine de générations, la différence est significative entre les populations.

Ces études illustrent également que la diversité génétique au sein des populations diminue avec le temps mais est maintenue au niveau de l'ensemble des populations du réseau.

Une autre étude qui a étudié l'évolution de populations diversifiées de blé tendre montre qu'après trois ans, le poids des épis et le poids de mille grains ne répondent pas positivement à la sélection naturelle [70]. La sélection de plantes qui ne versent pas et qui présente de gros épis permet de diriger l'évolution des populations vers des critères d'intérêts agronomiques [1].

1. Plus d'informations dans la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77



[71]

Évolution schématique d'une population diversifiée avec quatre types de plantes : violette, rouge, bleue et verte. Dans la ferme 1, la population est cultivée pendant trois années : une année « verte », puis une année « verte », puis à une année « rouge » : les plantes de type verte et rouge sont en majorité dans la population, les plantes bleues et violettes ont disparu.
Dans la ferme 2, la population est cultivée pendant trois années : une année « violette », puis une année « bleue », puis à une année « violette » : les plantes de type violette et bleues sont en majorité dans la population, les plantes rouges et vertes ont disparu.

[21]

Exemple de sélection naturelle divergente d'une population de blé tendre très diversifiée développée par l'ICARDA après 10 années d'évolution en Sicile (gauche) et la même population après 10 années d'évolution en Toscane (droite) semées côte à côte.

[22]

Évaluation de la population Savoysone après dix ans dans son environnement de culture (gauche) et la population Savoyon issue de Savoysone après 10 ans de culture dans une nouvelle ferme.

[72]

Mélange Mètis issu de la récolte de Nico S. et cultivé dans la collection Mètis

[73]

Mélange Mètis issu de la récolte de Jean-Phi et Isa et cultivé dans la collection Mètis

[1]

Mélange Mètis issu de la récolte d'Annelaure et Frank et cultivé dans la collection Mètis

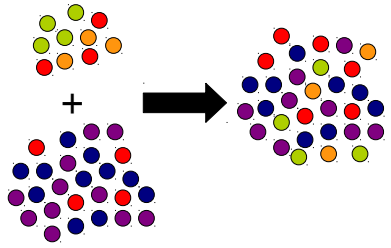
[74]

Mélange Mètis issu de la récolte de David et cultivé dans la collection Mètis

Différentes version du mélange Mètis cultivées dans des fermes de Gironde et Lot et Garonne semées dans la collection de Mètis pour illustrer l'adaptation du mélange. Le mélange a été créé en 2021 et diffusé dans les fermes du réseau Mètis. Ce mélange est composé de : une variété de Touselle, Blanc de la Réole, Rouge de Bordeaux, Baroudeur, Rouge du Caucase, deux mélanges de variétés du sud-ouest, Japhabelle (une population issu de 25 croisements manuels), mélange Jadarossa, (mélange de variétés de pays), mélange de populations issues de 25 croisements manuels.

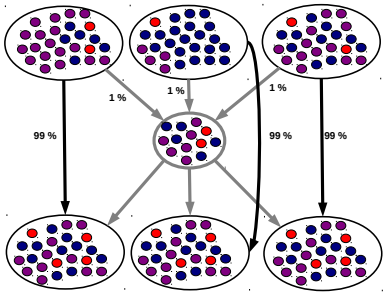
La migration

La migration correspond à une contamination de la population par des graines issues d'une autre population. Par exemple lors du tri ou de la récolte si la moissonneuse n'a pas été nettoyée. C'est une pratique qui peut être mise en place au niveau collectif pour maintenir une diversité dans un mélange : en effet le mélange va perdre de la diversité localement par la sélection naturelle, apporter une nouvelle diversité permet de compenser cette perte. Ces échanges de semences sont primordiaux pour une conservation efficace de la diversité et du potentiel adaptatif des mélanges [75].



[71]

Migration schématique dans une population. La population avec des plantes de types bleu, violette et rouge est contaminée par une population avec des types vert clair et orange. Une nouvelle population, plus diversifiée, est obtenue.



[76]

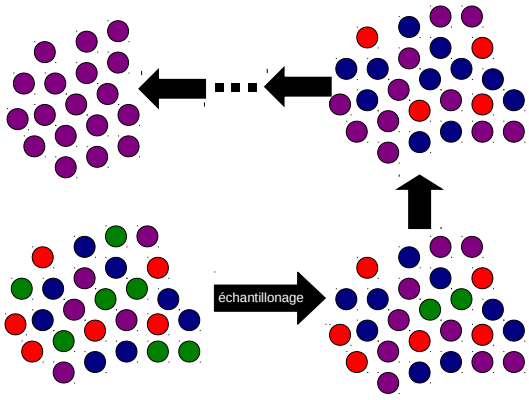
Migration contrôlée dans le mélange Mètis pour maintenir la diversité du mélange. L'équivalent d'1% du mélange vient du même mélange cultivé sur une autre ferme.

[77]

Illustration de la migration dans la collection Mètis : la variété Rouge de Bordeaux se retrouve avec quelques épis blanc arrivé par migration, ce qui augmente la diversité de la population.

La dérive génétique

La dérive est un effet d'échantillonnage : il n'est pas possible de resemer tous les grains récolté dans un champ, il y a forcément une partie des grains qui n'est pas resemé et donc une partie de la diversité qui peut être perdu. Plus l'échantillon semé sera grand, moins la dérive sera importante. A contrario, quand on sème quelques graines issues d'un Centre de Ressources Biologiques, la dérive est importante [2].



[71]

Au départ, la population a des types de plantes verte, bleue et rouge. Au cours du temps, par échantillonnage, le hasard va faire perdre les types vert, puis rouge et bleue. La population 'a plus que des types de plante violette : elle a perdu en diversité.

[78]

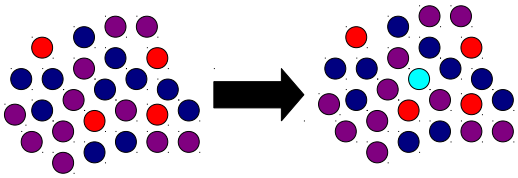
Illustration de la dérive à partir du mélange Mètis dans la collection Mètis : les différents échantillonnages successifs au cours des semis amène à ce que seulement deux composantes initiales du mélange soient encore présentes : Blanc de la Réole et Rouge de Bordeaux.

La mutation

La mutation est l'apparition au hasard d'un nouvel allèle (i.e. nouvelle version d'un gène). C'est la seule force évolutive qui va créer de nouvelles caractéristiques aux plantes. Ce nouveau caractère, par exemple la mutation du gène « q » qui devient « Q » va faire que les grains sont nus, va se propager dans la population s'il est héritable et s'il apporte un avantage adaptatif à la population : si les grains sont nus, la moisson est facilitée, c'est un avantage pour

2. Plus d'informations dans la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21

le paysan qui va le sélectionner et donc augmenter la fréquence des plantes avec ce caractère dans la population. Ces gènes « q » et « Q » ont été largement étudié et sont liés à l'architecture des glumes, la longueur de l'épi et sa forme ainsi que la fragilité du rachis. La mutation n'est apparu qu'une fois dans l'histoire des blés et s'est ensuite largement répandu [79]. Le rôle des mutations semble marginal à l'échelle d'un réseau de fermes cultivant des semences paysannes, bien que le très grand nombre de populations cultivées augmente la probabilité de fixer des mutations d'intérêt.



[71]

Une population avec des types de plante bleue, violette et rouge voit apparaître une nouvelle plante bleu claire par mutation.

[80]

Illustration de la mutation dans la collection Mètis : Au sein d'épis rouge non barbus, un épi rouge barbu apparaît.

Et aussi épigénétique et recombinaisons

[81]

Portrait de Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829)

L'épigénétique correspond à l'hérédité des caractères acquis décrit par Jean-Baptiste Lamarck :

- Les individus transmettent à leur descendance ce qu'ils ont acquis dans leur environnement
- L'information ne passe pas par l'ADN : caractère épi-génétique

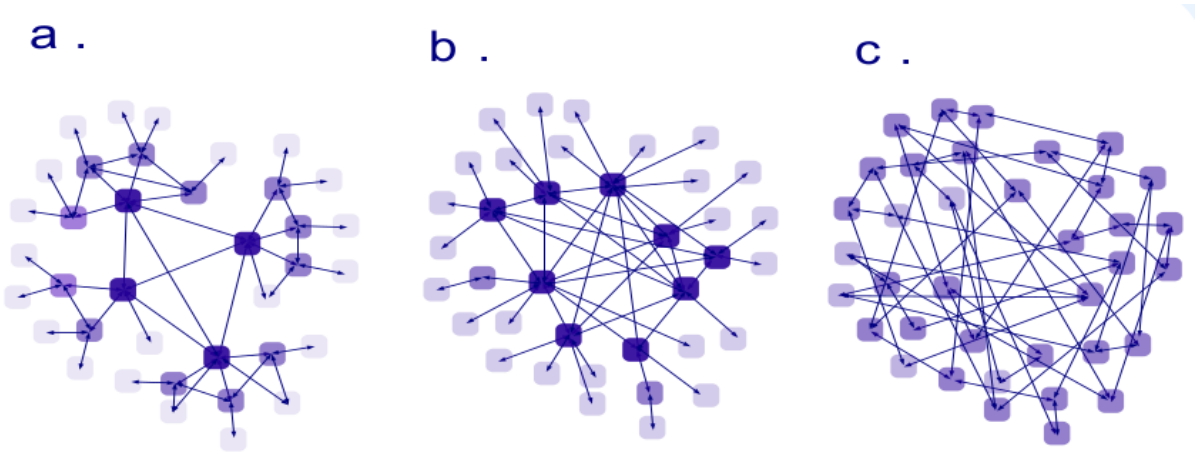
Alors que la sélection naturelle décrit l'évolution d'une population (et de fréquence d'individu dans une population), la sélection des caractères acquit décrit l'évolution des individus : les individus s'adaptent à leurs environnements. La contribution de l'épigénétique à l'adaptation est loin d'être claire.

La recombinaison est le mélange des combinaisons de caractères entre les parents lors de la reproduction. La diversité génétique en tant que telle ne bouge pas mais les combinaisons de caractères peuvent évoluer pour donner de nouvelles plantes avec des caractéristiques inédites [3].

3. Plus d'informations dans la fiche *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

6.2.2 Concept de méta-population

Les forces évolutives expliquent l'évolution d'une population dans un lieu donné. Dans le cadre d'une gestion en réseau, une même population de départ peut être cultivée dans différents lieux, on parle alors de méta-population. Une métapopulation est une population sub-divisée en plusieurs populations séparées géographiquement qui sont connectées entre elles par des échanges de semences. Chaque population est dans un état de déséquilibre, elle va perdre ou gagner de la diversité au gré des échanges et de son adaptation locale, alors que la méta-population dans son ensemble est stable : la diversité est conservée. [66].



[82]

Exemple de topologie de réseau illustrant une métapopulation. Les flèches représentent les diffusions de semences. Les carrés représentent des fermes. a.modèle petit monde ; b.modèle exponentiel ; c.modèle aléatoire. Issu de la thèse de Mathieu Thomas [66]

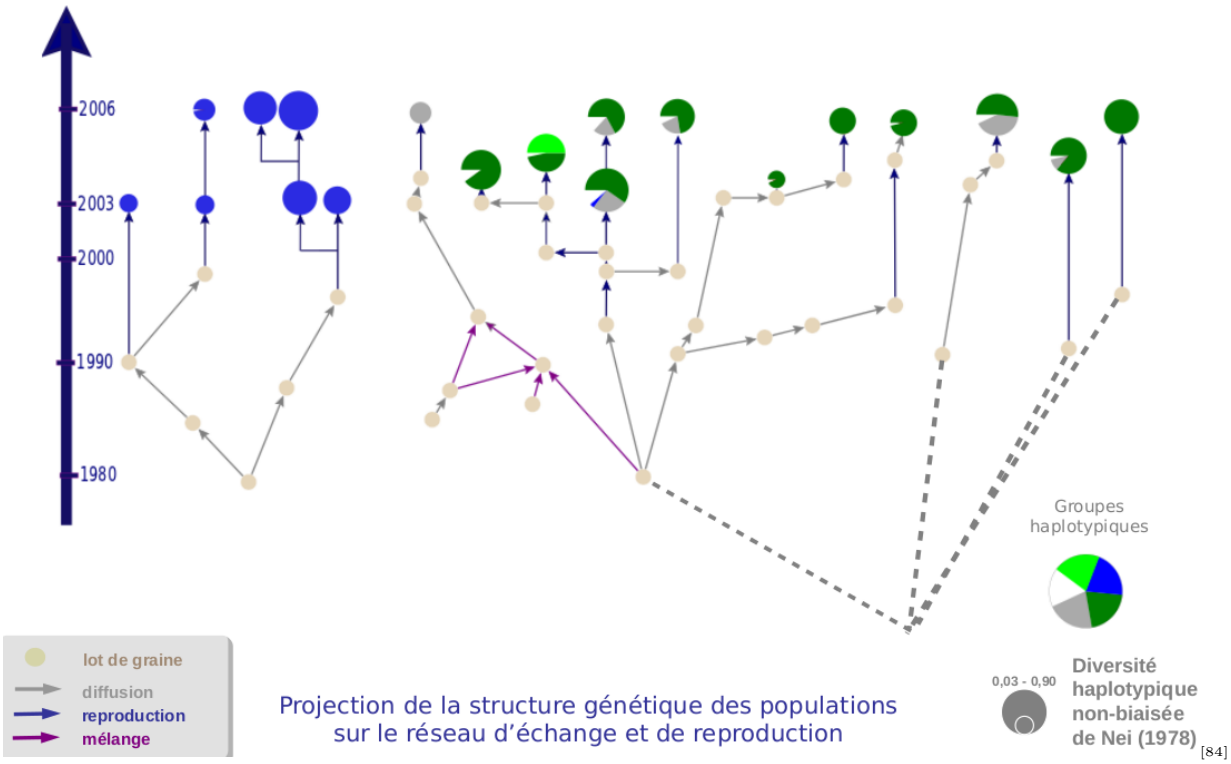
6.3 Résultats issus de projets de recherche

6.3.1 Diversité de Rouge de Bordeaux : gestion à la ferme vs gestion dans les Centres de Ressources Biologiques

La diversité génétique de différents lots de Rouge de Bordeaux a été étudié dans le cadre de la thèse de Mathieu Thomas [66, 83]. La structure génétique des lots de Rouge de Bordeaux étudiés est très liée à l'histoire des lots. La figure ci-dessous illustre deux voies indépendantes de diffusion :

— l'une à partir d'un échantillon de chez Vilmorin, conservé dans le Centre de Ressources Biologiques de Clermont-Ferrand, sur de petites surfaces de moins de 10m2, et diffusé dans quelques fermes qui présente des lots avec une diversité « bleue » et

— l'autre à partir d'une variété cultivée dans une ferme de la communauté de l'Arche, sur de grandes surfaces de plus de 100m2 entre 1980 et 1993, qui présente des lots avec une diversité « verte foncée », « verte claire », « grise », « blanche » et « bleue »



[84]

Schéma de répartition de la diversité génétique dans différents lots de Rouge de Bordeaux. Un rond représente un lot de graine. La couleur dans le rond représente le « type » de diversité de la méta-population. Plus la taille du rond est importante et plus le niveau de diversité au sein de la population est élevée. Il y a cinq « types » de diversité au sein de la méta-population qui sont réparties dans les populations. Les flèches représentent les liens entre les lots : diffusion (gris), reproduction (bleue) et mélange (violet). Issu de la thèse de Mathieu Thomas [66]

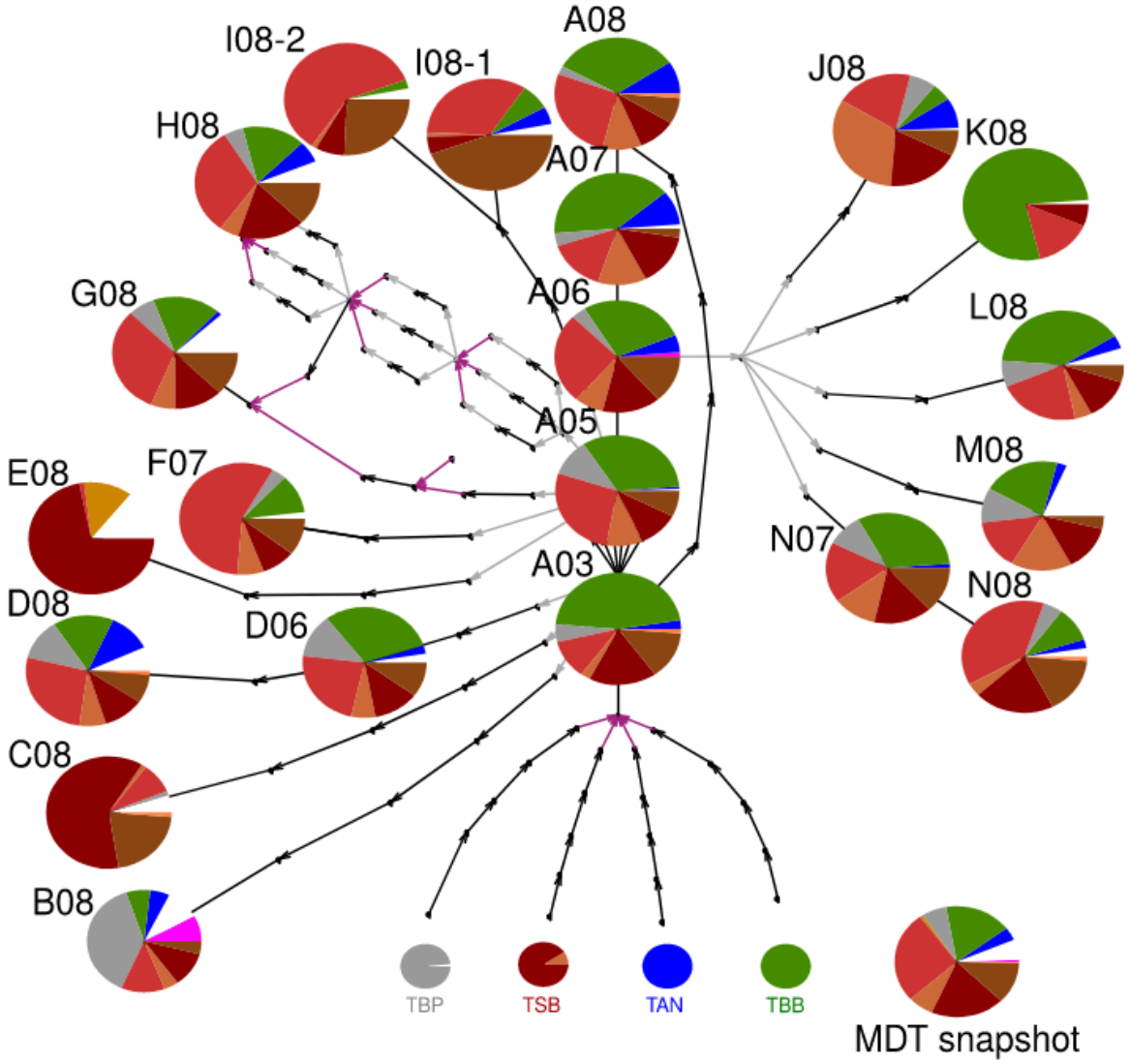
Ces deux histoires, représentatives de beaucoup de variétés paysannes cultivées dans les fermes [4], sont à l'origine de diversités génétiques différentes. La gestion à la ferme permet de conserver une diversité plus importante et différente que la gestion dans les Centres de Ressources Biologiques. Un même nom de variété couvre une structure génétique complexe avec des populations diversifiées.

Des résultats similaires pour la variété Solina d'Abruzzo ont été décrit dans la thèse d'Abdul Rehman Khan [85] : la variété cultivée dans une ferme depuis plusieurs dizaines d'années présentait une diversité très importante comparée à d'autres variétés similaires conservées par un Centre de Ressources Biologique.

6.3.2 Diversité du mélange de Touselles : gestion dans un réseau de fermes

La diversité génétique de différents lots de Touselle, mélangés et cultivés dans différentes fermes, a été étudié dans le cadre de la thèse de Mathieu Thomas [66, 86]. La figure ci-dessous illustre que la diversité à l'échelle de la méta-population « mélange de Touzelle » est maintenue tout en préservant la différentiation génétique et phénotypique entre sous-populations.

4. Plus d'informations dans la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21



[87]

Fréquence des différents groupes génétiques au sein du Mélange De Touselles (MDT) représentée sur un réseau de lot de semences. Un point ou un camembert représente un lot de semences. Les événements entre lots de semences sont représentés par des flèches. Les multiplication sont représentées par des flèches noires, les diffusions par des flèches grises, les mélanges par des flèches violettes. En bas, la composition génétique des composantes du mélange : Touselle Anone (TAN), Touselle Blanche Barbue (TBB), Touselle Blanche de Provence (TBP) et Touselle sans Barbe (TSB). Les camemberts sont identifiés par la ferme (de A à N) et l'année (03 pour 2003 à 08 pour 2008). Chaque camembert contient une couleur qui représente la proportion d'un « type » de diversité : TBP est en gris, TSB est divisé en 5 sous groupes (trois gradient de rouges, marron, rose saumon), TAN en bleu, TBB en vert, Florence-Aurore (FLA) en rose, Touselle des Hautes-Alpes (THA) en orange et inconnu en blanc. Le camembert en bas à droite « MDT snapshot » correspond à la diversité de l'ensemble des populations de 2008. Figure issue de [86].

La diversité présente au départ dans les composantes du mélange (représentée par les couleurs grise, marron, orange, bleue et verte) se retrouve répartie différemment dans chaque mélange cultivée dans les fermes. Au niveau de la méta-population, c'est à dire toutes les populations mélangées, la diversité est maintenue voire augmentée avec de nouvelles combinaisons qui apparaissaient grâce aux migrations et aux croisements au sein du mélange.

Certains mélanges présentent une nouvelle combinaison de diversité qui n'était pas présente au départ lors de la création du mélange (gradient de rouge et rose).

La précocité des mélanges est différente selon les fermes : les mélanges cultivés dans le sud de la France sont légèrement plus précoces que les mélanges cultivés dans le Nord de la France. Quatre années de culture dans chaque ferme a suffit pour que le mélange commence à s'adapter sur la précocité.

L'organisation sociale qui gère une méta-population, c'est à dire l'ensemble des fermes qui cultive, sélectionne, échange, ... garantit

— la conservation de la diversité face aux changements climatiques à venir grâce à la diversité des environnements et des pratiques cultivant les mélanges
— l'adaptabilité d'une population à un territoire et à de nouveaux environnements, les populations évoluent rapidement en réponse à leurs environnements notamment sur la précocité, ce qui corrobore d'autres études sur des populations de blés tendres en France [69].

6.3.3 Diversité dans un programme de sélection participative

La sélection au sein des populations est un processus faisant partie de la gestion de la diversité [5]. Les variétés issues de semences paysannes sélectionnées à la ferme dans le cadre d'un programme de sélection participative entre l'INRAe et le RSP, montrent des niveaux de diversité bien supérieure à des variétés commerciales lignées pures qui n'ont aucune diversité intra-variétale. Le niveau de diversité génétique des variétés paysannes est lié à leurs histoires, par exemple [88] :

— Rouge du Roc, issu de la sélection d'un épi barbu dans Rouge de Bordeaux, présente le moins de diversité dans les variétés paysannes mais a plus de diversité qu'une variété commerciale lignée pure.
— Ensuite, Savoysone, une nouvelles variété issue de croisements présente une diversité plus importante, de l'ordre de 3,7 fois plus que Rouge du Roc.
— Enfin les mélanges de semences paysannes avec des variétés de pays et issues de croisements, avec plus de cinq composantes au départ, sélectionnés ensuite plusieurs générations, présentent le plus de diversité, de l'ordre de 1,4 fois plus que les populations issues de croisements : Rocaloex (mélange avec 11 croiements), Japhabelle (mélange avec 25 croiements), Dauphibois (mélange de 26 croiements et variétés de pays)

Ces résultats sont cohérents avec d'autres analyses moléculaires qui montrent une grande diversité dans les variétés issues de sélection participative [7].

Il y a une grande diversité de pratiques et de sélection dans les fermes et chacune va permettre d'explorer une certaine diversité cultivée. Par exemple, certains croisements donnent une descendance avec une diversité inédite, fruit de la recombinaisons entre les deux parents, quand d'autres se rapprochent plus d'un des parents. La diversité des processus de sélection génère de la diversité génétique à travers les croisements et les mélanges puis la sélection de bouquets d'épis [7].

6.4 Exemples d'Organisations collectives

Il y a autant de manière de gérer la diversité qu'il y a d'organisation collective. C'est cette diversité d'organisation et leur mise en réseau qui est garante d'une bonne gestion de la biodiversité cultivée. Plusieurs fonctionnements de collectifs ont été décrit, citons par exemple :

— L'odyssée de l'engrain est une coopérative qui transforme des blés poulards en pâtes. Une dizaine de fermes cultive les blés et fait partie de la coopérative avec des consommateurs [89].
— Pétanièle est un collectif dans le Tarn et la Haute Garonne qui associe jardiniers, paysans, meuniers, paysans-meuniers, paysans-boulangers, boulangers ... pour conserver la biodiversité cultivée des céréales panifiables dans les champs et les jardins [90]
— L'ARDEAR Rhône Alpes regroupe paysans, meuniers, paysans-meuniers, paysans-boulangers, boulangers... qui retrouve et diffuse des semences paysannes de céréales à pailles, les savoirs et les savoirs-faire associés. Le groupe est très impliqué dans la sélection de nouvelles variétés paysannes [91]

Le Réseau Semences Paysannes a édité un recueil d'un grand nombre de fonctionnement de maison de semences paysannes qui illustre une grande diversité de fonctionnement sur un grand nombre d'espèces [92].

5. Plus d'informations sur la sélection des variétés paysannes sont présentés dans les fiches *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77 , *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59 et *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ* page 71 .

7. Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection

Version 1 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

7.1 Définitions et objectifs

Une collection est un ensemble de micro-parcelles, généralement entre 1 et 10 m2. La mise en place d'une collection peut poursuivre différents objectifs :

— évaluer le comportement agronomique de différentes variétés et apprendre à les observer
— sur la base des observations, sélectionner des épis [1], assembler des variétés complémentaires dans un mélange, repérer de potentiels parents pour effectuer des croisements manuels [2]
— offrir un support d'éducation populaire et pédagogique vivant pour des visites et des formations [3]
— commencer la multiplication de petits lots de semences pour ensuite pouvoir les diffuser ou continuer la multiplication avant d'entrer en production dans les fermes

7.2 Étapes dans la conduite de la collection

La mise en place de la collection dépendra des objectifs. Par exemple :

— évaluer des blés durs ou tendres du pourtour méditerranée en vue du changement climatique
— étudier l'adaptation de populations suite à plusieurs années de sélection en récupérant différentes versions d'un mélange dans différentes fermes et les semer côte à côté pour pouvoir les comparer
— étudier la réponse à la sélection (est-ce que ma sélection est efficace ?) : en semant les épis issus d'un bouquet de sélection à côté d'épis issus du vrac (c'est à dire des épis non sélectionnés) [4]

Ces objectifs vont avoir un impact sur le choix des semences, les plans de semis et les mesures à effectuer.

1. Voir à ce sujet la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77
2. Voir à ce sujet la fiche *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39
3. Comme pour notre fête des blés à Mètis ou la formation *Sélectionner un mélange dynamique de blés paysans sur sa ferme*
4. Plus d'informations dans la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77

[19]

[20]

Exemples de microparcelles avec Renan entouré de deux variétés paysannes (gauche) et plateformes de plusieurs centaines de parcelles (droite)

7.2.1 Choisir la parcelle

Le choix de la parcelle est primordial. Cela doit être une parcelle qui accueille du blé dans la rotation, qui a un bon potentiel et qui est propre dans l'idéal (l'entretien en sera facilité !). A cet effet, la pratique des faux semis est recommandée. Pour la robustesse des observations, la parcelle doit être la plus homogène possible. Étant donné la difficulté à cumuler l'ensemble de ces critères dans le cas des parcelles de production et donc soumise à rotation, beaucoup de paysans sélectionneurs choisissent de dédier un parcellaire de bon potentiel à la collection avec une rotation minimale (biennale ou triennale) et amendement de fond (type fumier) régulier.

7.2.2 Choisir les semences à semer

Les semences peuvent provenir des récoltes précédentes ou d'autres lieux comme les Centres de Ressources Biologiques ou les Maisons de Semences Paysannes [5]. Il ne faut pas hésiter à évaluer des variétés éloignées de sa zone pédo-climatique car des semences cultivées dans des conditions très différentes de leur lieu d'origine peuvent très bien se comporter [93].

Le nombre de variété à évaluer va dépendre de la force de travail. Il faut faire attention à ne pas viser trop grand.

Il faut veiller à ce que les blés ne se fassent pas manger par les oiseaux. Il y a deux solutions :

— mettre des filets sur les plantes mais cela est long, compliqué
— situer les essais dans une parcelle de blé (ou semer du blé autour de la collection sur une surface conséquente), pas trop loin du bord pour ne pas avoir trop de difficulté à y accéder. De loin la meilleure alternative, plus simple et plus représentative des conditions du champ.

7.2.3 Semer

Traiter les semences

Le traitement des semences, notamment contre la carie, est indispensable. La carie du blé est un champignon qui détruit le grain (remplacé par des spores noires) et donne une odeur de poisson pourri à la farine. Bien que non toxique, la farine n'est pas commercialisable. Les spores restent actifs dans le sol ce qui peut compromettre les futures cultures de blé sur les parcelles infectées.

Il existe plusieurs recettes pour détruire les spores de carie, notamment

— au vinaigre : attention au pourcentage d'acide acétique qui influe sur la proportion. Le dosage préconisée par l'ITAB est de 0,8 L vinaigre (8%) + 0,8 L d'eau froide pour 100 kg semence
— au cuivre : dans une bétonnière, 70 kg de semences pour 1,5 litres d'eau (dose 100 gr de cuivre pour 1 L d'eau). A appliquer la veille du semis. A noter que ce traitement très efficace n'est pas formellement autorisé en Agriculture Biologique.

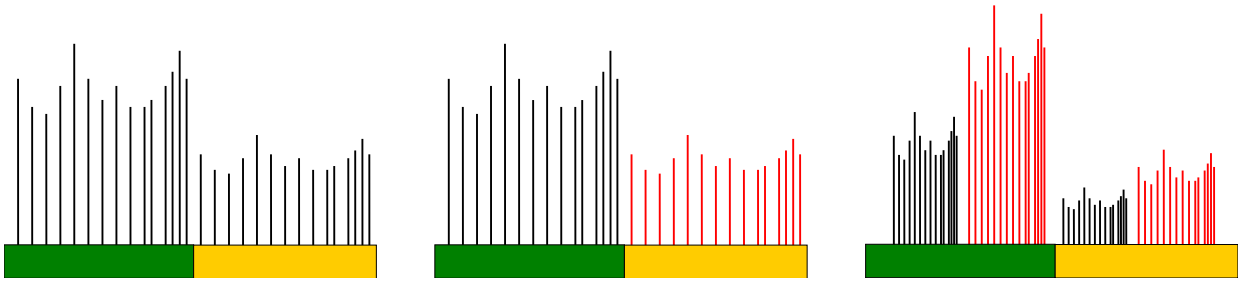
5. Voir plus d'informations dans la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21

Pour plus de détails et d'autres traitements possibles (farine de moutarde, produits commerciaux contenant des microorganismes antagonistes ...), on pourra se référer au site de l'ITAB qui est très complet et régulièrement mis à jour [94].

Établir le plan de semis

Pour chaque parcelle, il faut prévoir des étiquettes afin de faire le suivi des notations et aussi lors de la récolte pour bien identifier les lots.

Avec des répétitions Un élément important à discuter dans le plan est la présence ou non de répétitions, c'est à dire de parcelle répétée plusieurs fois dans la collection. Ces répétitions sont utiles pour comprendre si les observations sur les blés sont liées au sol ou à la variété et ainsi éviter des faire des erreurs d'interprétation. Les répétitions sont importantes si l'on souhaite comparer les variétés entre elles, au sein d'une collection et entre différentes collections, que cela soit avec des analyses statistiques ou une sélection plus sensible paysanne.



La même variété (en noir) est cultivée sur tout le champ, on observe alors des différences de hauteur qui sont du au sol et non à la variété (qui est la même partout).

Deux variétés différentes (noire et rouge) sont cultivées, on observe que la variété noire est plus grande que la variété rouge. La différence est elle due au champ ou à la variété ? On ne sait pas !

Deux variétés différentes (noir et rouge) sont cultivées avec deux répétitions, on peut ainsi comparer dans chaque zone du champ. On conclut ici que la variété rouge est plus grande que la variété noire.

Intérêt des répétitions. Deux variétés sont modélisées par les lignes noires et rouges. Deux types de sols sont représentés : un sol jaune et un sol vert. [95]

[96]

Première répétition du C14 sur la plateforme de Graine de Noé

[97]

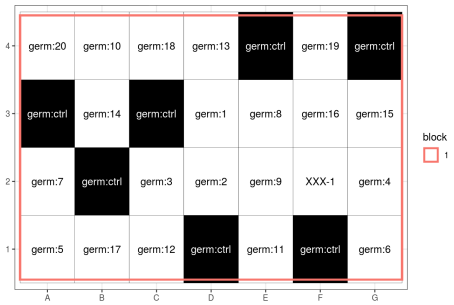
Deuxième répétition du C14 sur la plateforme de Graine de Noé

Pour une même variété, l'impact du sol est très important : les répétitions ont permis de l'observer

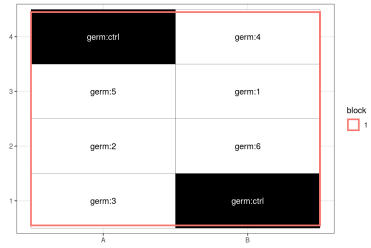
Ces collections gérées par des Maisons des Semences Paysannes ne sont pas des minis-stations de recherche aussi il n'est pas possible de répéter toutes les variétés pour plusieurs raisons :

— manque de place et de temps pour gérer les essais complètement répétés,
— envie d'optimiser l'espace disponible pour tester le plus de populations possible,
— besoin de flexibilité : les paysans ne veulent pas rentrer dans un cadre trop strict qui les oblige à semer des populations qui ne les intéressent pas.
— souvent, peu de graines sont disponibles

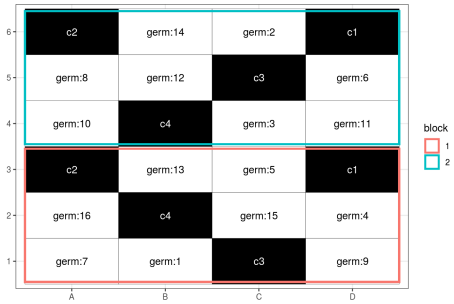
Grâce aux collaborations avec la recherche, il a été possible de mettre en place des dispositifs allégés, c'est à dire avec peu de répétitions, pour répondre à ces contraintes comme l'illustre différents exemples ci-dessous. Libre à chacun de choisir son type de dispositif. Cela dépendra du temps et des moyens techniques et humains disponibles. Au niveau d'essais en réseau, au delà du témoin qui doit être choisi collectivement, chaque paysan est libre de choisir les autres variétés et leurs nombres selon ses envies et ses questions ... Il pourra tester des mélanges, des variétés commerciales, des populations issues de croisements, tester la réponse à la sélection, étudier l'adaptation, etc. Chaque paysan pourra ensuite faire une sélection selon ses critères, par exemple la précocité, la résistance aux maladies, le rendement, ... en lien avec son sol, ses pratiques et l'environnement socio-économique. Chacun sème à la densité souhaitée et selon ses pratiques.



Dispositif ligne colonne : 22 variétés dont une témoin répétée sept fois en ligne et en colonne



Dispositif ferme satellite : Sept variétés dont une témoin répétée deux fois de part et d'autres de l'essai.



Dispositif ferme régionale : 20 variétés dont quatre témoins répétées dans chaque bloc.

Dispositif en blocs incomplets : dix variétés sont réparties dans 32 micro-parcelles

Exemples de dispositifs expérimentaux déséquilibrés. Une case correspond à une micro parcelle avec une variété. Les cases en noires sont des variétés répétées. Les cadres de couleurs correspondent à des blocs dans la collection. [98].

En face de chaque dispositif existe une analyse statistique dont il est question dans la section suivante.

Sans répétitions Si la collection est semée au milieu d'un champ de blé, ce qui est très conseillé, alors il est possible d'observer le blé à côté de la collection pour estimer visuellement l'effet du sol. Par exemple on peut observer que le bas de la parcelle est moins productif que le haut : il faudra alors le prendre en compte dans la sélection des variétés ou des épis. Cette méthode bricolée a le mérite d'être simple, de faire monter en compétences les paysans dans l'observation de leurs blés et de ne pas dépendre d'analyse statistique coûteuse en temps et compétences.

Semer

Une fois le plan décidé, les micro-parcelles marquées par des jalons, les lot de semences préparés et traités, les semis peuvent avoir lieu. On pourra semer avec un inter-rang de 20 ou 25 cm pour faciliter l'entretien des micro-parcelles. Un tire ligne et un semis à la main font l'affaire. On peut aussi utiliser un semoir maraîcher ou un semoir d'essai pour mieux gérer les densités. C'est un moment fort dans la vie d'une Maison des Semences Paysannes qui pourra mobiliser des bénévoles pour que le chantier soit plus rapide et plus convivial. Un engrais vert peut être semé dans les allées.

[99]

Semis de la collection Mètis à Casseneuil en 2024

[100]

Semis de la collection Mètis à Sigalens en 2024

[101]

Semis de la collection Mètis à Bazens en 2021

7.2.4 Entretenir

L'entretien de la collection se fait en mars, avril, mai et juin avec le passage de tondeuse ou de débroussailleuse dans les allées et le binage des micro-parcelles pour qu'elles soient propres.

7.2.5 Sélectionner

Face à toute cette diversité, il est intéressant de sélectionner des variétés ou des épis sur des critères agronomiques.

Deux niveau de sélection

La sélection inter-populations c'est à dire entre les populations Celle-ci peut se faire :

— Au niveau de la collection : entre les populations cultivées dans la collection. Des essais avec répétitions permettront de différencier statistiquement les variétés si des méthodes d'analyses adéquates sont utilisées [18, 102]

— Au niveau d'un réseau de collection : entre des populations cultivées dans le réseau de fermes si les collections partagent un témoin commun. Ce dernier niveau nécessite une coordination régionale ou nationale ainsi qu'une logistique et un lien avec la recherche importants qui permettent de mobiliser des méthodes d'analyse adaptées à de telles situations pour déterminer quelles nouvelles variétés peuvent être intéressante à semer dans une ferme [18, 102]

La sélection intra-populations c'est à dire à l'intérieur des populations Deux niveaux de sélection existent :

— la sélection naturelle et transmission d'effets induits par épigénétique : on laisse faire la nature et les pratiques [6]

— la sélection massale positive ou négative à l'intérieur des populations. Cette dernière est efficace sur les composantes du rendement. Le choix des épis se fait sur différents critères esthétiques et agronomiques [7].

Le jeu de la sélection Un *« jeu de la sélection »* peut être mise en place afin de faire discuter les participants autour de leur choix et critères de sélection. Ce jeu se déroule sur une zone de 20-30 micro-parcelles maximum qui est délimitée par des drapeaux aux quatre coins. On remet à chaque participant cinq brins de laine rouges (=j'aime pas) et cinq brins de laines verts (=j'aime) d'une dizaine de centimètres chacun. Cette évaluation peut tenir compte des observations qui ont été faites sur l'année ainsi que sur les années précédentes.

6. Plus d'information dans la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21
7. Plus d'information dans la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77

Sélection entre les populations chaque participant

1. est invité à se déplacer dans la collection en regardant l'ensemble des variétés et des épis afin de les comparer et de se « faire l'oeil »

2. attache au niveau de l'étiquette de la parcelle un brin de laine de l'une ou l'autre couleur selon s'il souhaiterait sélectionner ou non cette variétés : rouge (= je n'aime pas) et vert (= j'aime)

3. une fois que tous les participants ont sélectionné leurs parcelles à garder ou non, on fait le décompte et on regarde celles qui ont eu le plus de votes (symbolisés par les laines) et on discute des choix de chacun. Le but est d'échanger sur « Pourquoi ai-je préféré celle(s)-là ? ». Puis on peut regarder celle(s) qui n'ont eu que peu de votes et enfin celles qui n'ont eu aucun vote et comprendre pourquoi elles n'ont plu à personne ? On peut aussi regarder les votes contradictoires quand il y a à la fois des laines rouges et vertes.

Sélection massale au sein des populations chaque participant

1. est invité à se déplacer dans la collection en regardant l'ensemble des variétés et des épis afin de les comparer et de se « faire l'oeil ».

2. attache au niveau du rachis des épis un brin de laine de l'une ou l'autre couleur selon s'il souhaiterait sélectionner ou non cet épi : rouge (= je sélectionne) et vert (= je ne garde pas)

3. discute de ses choix autour par exemple de questions :

   — Qu'est ce qui me plaît dans cet épi ou cette plante ?
   — Sur quelles bases/quels critères ai-je fais mon choix ?
   — Qu'est ce que j'ai regardé particulièrement dans cet épi ?

Cet exercice permet de formuler des choses qui sont ressenties mais qu'ils n'auraient pas été exprimées autrement, et de réaliser que des critères peuvent beaucoup différer d'une personne à l'autre à cause des conditions, des pratiques ou des objectifs qui différent. Cela peut être plus facile de faire des binômes avec un temps de réflexion personnelle à partir de ses observations puis une mise en commun des perceptions.

7.2.6 Récolter et stocker

Comme pour les semis, la récolte et le battage sont un moment fort de maison des semences qui pourra mobiliser des bénévoles pour que le chantier soit plus rapide et plus convivial. Du petit matériel est nécessaire pour gérer les petites quantités notamment pour le battage des épis de la collection ou de parcelle de multiplication qui ne peuvent pas de faire avec une moissonneuse batteuse.

[2]

Motofaucheuse dans une parcelle de multiplication

[3]

Battage de parcelles de multiplication avec une batteuse à poste fixe

[103]

Battage d'épis de la collection avec une batteuse à poste fixe

[104]

Battage d'épis de la collection avec une batteuse à poste fixe

A Mètis, nous disposons de deux batteuses à postes fixes qui peuvent battre des gerbes ou des épis. Il faut en amont récolter les épis ou les gerbes à la faucille (et sans marteau) ou à la moto-faucheuse dans le cas de parcelle de plusieurs centaines de m2. Attention en cas de verse, il vous faudra faire très attention à ne pas mélanger deux variétés voisines.

Entre la récolte et le battage, il peut parfois se passer du temps, il faut alors veiller à bien stocker les épis dans des sachets en papier kraf ou les gerbes accrochées à des poutres de bâtiments pour éviter qu'elles soient mangées par les rongeurs.

Au moment du battage, il faut penser à bien nettoyer entre chaque variété et à bien identifier les lots qui seront ensuite immédiatement triés pour une meilleur conservation. Un tri sera peut être nécessaire pour enlever les adventices, les grains porteurs de carie, etc.

En cas d'humidité du grain supérieure à 15%, un séchage s'impose, par exemple en disposant les sacs en papier dans une pièce très sèche (utilisez un déshumidificateur d'air si besoin). Il faut éviter les sacs plastiques qui diminuent la conservation du grain, surtout s'il n'est pas complètement sec. Tous les sachets bien étiquetés doivent être stockés dans une armoire fermée, dans des vieux frigos usagés ou encore des fûts kraft qui ferment hermétiquement pour être à l'abri des souris et autres nuisibles.

7.3 Observations, mesures, gestion et analyse des données

7.3.1 Observations et mesures

Une fois la collection mise en place, les observations sur les blés peuvent se faire de plusieurs manières qui dépendront des objectifs et des moyens :

- sensiblement sans prendre de note, seul ou avec un groupe pour échanger
- à travers des fiches de notations qualitatives (note de 1 à 5, classement du meilleur au moins bon, commentaires)
- à travers des mesures quantitatives (hauteur, poids de mille grains, rendement, etc)

De manière générale, il ne faut pas être trop ambitieux dans les mesures et bien anticiper leur pertinence.

Observations sensibles Lors de rencontres avec les membres de l'association ou lors de formations, des temps d'observation sont pris pour décrire les épis et les plantes. Ces observations peuvent être guidées par des fiches.

Fiches de notations qualitatives Des fiches de suivi des populations ont été construite lors d'un programme de sélection participative entre le RSP et l'INRA. Ces fiches de suivis ont été défini collectivement à travers des discussions entre les membres du groupe (équipes de recherche, animateurs, paysans) et ont évolué selon les retours du terrain. Elles suivent le cycle des plantes et peuvent être source d'inspiration :

— fiche automne qui permet de recueillir des informations sur les caractéristiques des variétés semées, les informations sur la parcelle d'essais, les informations sur les pratiques, le climat
— fiche sortie d'hiver et climat
— fiche printemps et climat
— fiche récolte, sélection et climat

Dans le cadre de Mètis, seule la fiche « récolte » a été adaptée et est utilisée lors d'une rencontre annuelle de la collection ou lors de formation. L'objectif de cette fiche est d'observer la diversité pour ensuite sélectionner au niveau de la variété. Une deuxième fiche au niveau des épis pour la sélection massale est également utilisée lors de ces rencontres [8].

Mesures quantitatives Dans le cadre du programme de sélection participative entre le RSP et l'INRA, les mesures suivantes étaient réalisées [14] :

— au niveau de la micro-parcelles : rendement, poids de mille grains, taux de protéine au niveau de la micro parcelle, taux de verse
— sur 25 plantes prises au hasard dans la micro-parcelle : hauteur, distance feuille drapeau épi, poids de l'épi, nombre d'épillets par épi, nombre d'épi stériles par épi, longueur de l'épi, barbes, couleur, courbe

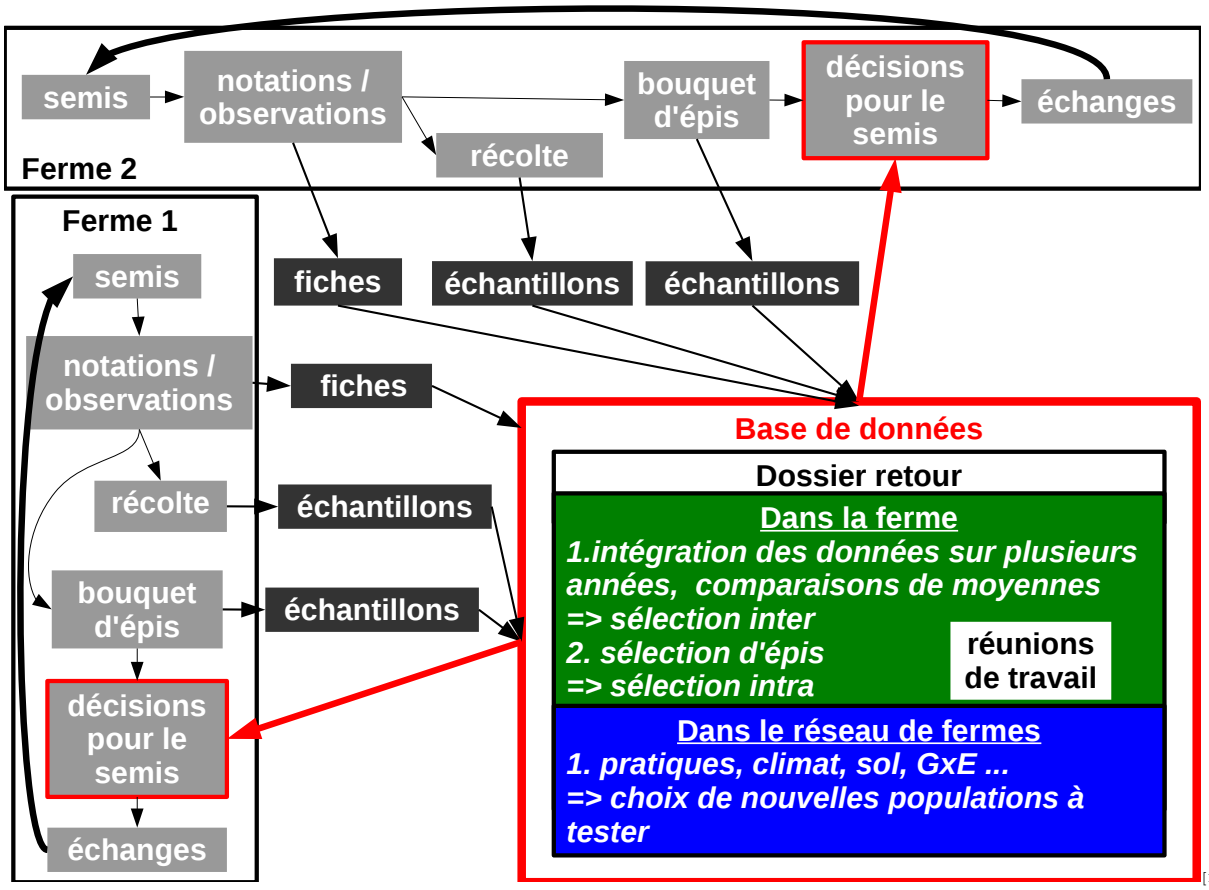
Ces mesures sont adaptées à un objectif de mesure fine de la diversité des variété. Objectif qui n'est pas possible sans collaboration avec la recherche, qui apporte des moyens importants. Au niveau d'une Maison des Semences Paysannes, il faut prioriser : la précocité, le rendement, la tenue à la verse et les qualités boulangères sont les trois critères prioritaires retenus au sein de Mètis.

7.3.2 Gestion et analyse des données

La gestion et l'analyse des données seront drastiquement différentes si une collaboration avec la recherche est en place.

Par exemple, dans le cadre du programme de sélection participative entre le RSP et l'INRA, les mesures étaient centralisées au fur et à mesure de l'année dans une base de données avant d'être analysées avec des méthodes statistiques adaptées [102, 105].

8. Voir la fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77



[106]

Étapes au sein du réseau de fermes du projet de sélection participative sur les céréales entre l'INRA et le RSP

A partir d'un dispositif ferme satellite ou régionale, ces méthodes permettent [107, 108, 109] :

— de comparer les variétés au sein d'une ferme
— de comparer les variétés et leurs sensibilités à l'interaction au niveau du réseau d'essais (c'est à dire si elles se comportent de manière stable ou non dans le réseau de fermes)
— de regrouper les fermes du réseau par similitudes (c'est à dire où les populations se comportent de manière similaire), ce qui permet de conseiller des variétés à échanger

D'autres type d'analyses existent selon les objectifs et les contraintes rencontrés [18] et un logiciel libre a été développé pour réaliser ces analyses [110].

Sans appui de la recherche, les mesures comme le rendement et la verse sont issus de dispositifs plus simples (généralement au niveau de la collection et pas au niveau d'un réseau de collections) ce qui ne nécessite pas de méthodes et outils maîtrisés par des équipes de recherche.

7.3.3 Statuts juridiques et positionnement politique

Si les mesures et les analyses sont simples et au niveau d'une Maison des Semences, les enjeux juridiques et politiques sont plus faciles à appréhender car ils se font en interne à la Maison des Semences. Mentionnons notamment la place du numérique qui peut avoir un impact important sur nos modes de fonctionnement et le risque de récupération de notre travail, et de notre imaginaire (!), par l'agro-industrie [25].

Dans le cadre d'une collaboration avec la recherche, les enjeux sont tout autres, notamment au regard des risques de biopiraterie et de dévoiement des moyens utilisés qui peuvent renforcer des logiques industrielles. Un travail de co-construction est indispensable à partir d'un cadre de valeur partagé notamment concernant la propriété des résultats et des données ainsi que de leurs analyses et de leur diffusion. On pourra se référer à un manuel sur la mise en place de projet collaboratif co-construit entre des instituts de recherche et le RSP qui décrit les enjeux relatifs à ce types de collaborations [111].

Concernant les données, un accord de consortium garantissant la propriété partagées des données (entre la MSP et l'institut de recherche) ainsi qu'un plan de gestion des données sont indispensables pour limiter les risques de biopiraterie.

Concernant les moyens utilisés, bien que co-construit de manière exemplaire, ils sont issus des disciplines académiques et nécessitent des compétences qui ne sont pas dans les Maisons des Semences, ce qui questionne les méthodes et les outils à mettre en oeuvre ainsi que nos manières de faire la recherche [24, 112].

7.4 Multiplication et production sur les fermes

Entre les petites quantités dans la collection et la production dans les fermes, il y a une étape de multiplication. Cette étape permet d'évaluer les variétés ou les mélanges sur leurs comportements organoleptiques en boulange par exemple.

La sélection entre variétés et massale au sein d'une variété ou d'un mélange peut également s'envisager dans le cadre de la production. La quantité de semences disponibles et l'organisation collective sont alors un point clé de réussite.

La fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ* page 71 revient sur ces dimensions.

8. Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ

Version 1 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

8.1 Définition et objectifs

Organiser l'évaluation et la sélection de nouvelles variétés dans le cadre de la production vise à simplifier et à démocratiser les méthodes de sélection participative. Elle se veut simple à mettre en place car elle ne nécessite pas de matériel adapté aux petites quantité ni de temps dédié à la mise en place et au suivi des micro-parcelles dans une collection.

Cette démocratisation permet que les paysans

— ne dépendent pas d'une personne qui fait la sélection (sélectionneur professionnel ou paysan sélectionneur passionné),
— gagnent en confiance et en pratique,
— se sentent plus légitimes à participer aux décisions de gestion du mélange,
— participent à nourrir les échanges entre pairs et ainsi augmenter les connaissances sur la sélection et la conduite du mélange,
— contribuent à élargir un réseau de fermes à même de gérer le mélange et de faire une sélection très locale, avec pour conséquence l'adaptation des mélanges et le renouvellement de la diversité
— renforcent l'autonomie alimentaire d'un territoire.

Trois méthodes d'évaluation et de sélection dans la cadre de la production sont présentées :

1. la sélection évolutive à partir d'un mélange diversifié
2. la sélection participative qui est une adaptation de ce qui se fait en collection
3. la sélection mutualiste basée sur un réseau de fermes réalisant des bouquets d'épis dans un mélange

8.2 Sélection évolutive

La sélection évolutive consiste à semer chaque année un mélange très diversifié afin de l'adapter à ses conditions de cultures (sol, climat, pratiques, etc). Ce type de sélection montre des résultats très intéressant sur le rendement : plus les conditions sont difficiles, plus les mélanges auront des rendements plus importants et stables et une meilleure résistance aux maladies [113].

L'enjeu principal est de confectionner le mélange diversifié de départ qui sera constitué de variétés reconnues pour leurs qualités agronomiques et organolpetiques. Ils peuvent être issus

— de croisements multi-parentaux réalisés dans le cadre de projets de recherche [1] qui évolueront sur des fermes et pourront être mobilisées dans des programmes de sélection participative. Par exemple l'ICARDA [2] a diffusé

1. Voir la fiche *Différentes stratégies de brassage de la diversité des céréales à paille dans un programme de sélection participative* page 31
2. Centre International pour la Recherche en Agriculture dans les Zones Arides

des mélanges de 2000, 700, et 1600 populations issues de croisements respectivement de blé tendre, de blé dur et d'orge [113]
— de mélanges de variétés paysannes cultivées dans les champs, ces dernières pouvant être issues de variétés de pays, anciennes, de sélection participative à l'image du mélange Mètis [3]

La diffusion d'un mélange très diversifié qui va s'adapter aux différentes fermes est une pratique courante au sein du Réseau Semences Paysannes.

[21]

Exemple de sélection naturelle divergente d'une population de blé tendre très diversifiée développée par l'ICARDA après 10 années d'évolution en Sicile (gauche) et la même population après 10 années d'évolution en Toscane (droite) semées côte à côte.

[22]

Évaluation de la population Savoysone après dix ans dans son environnement de culture (gauche) et la population Savoyon issue de Savoysone après 10 ans de culture dans une nouvelle ferme (MAV).

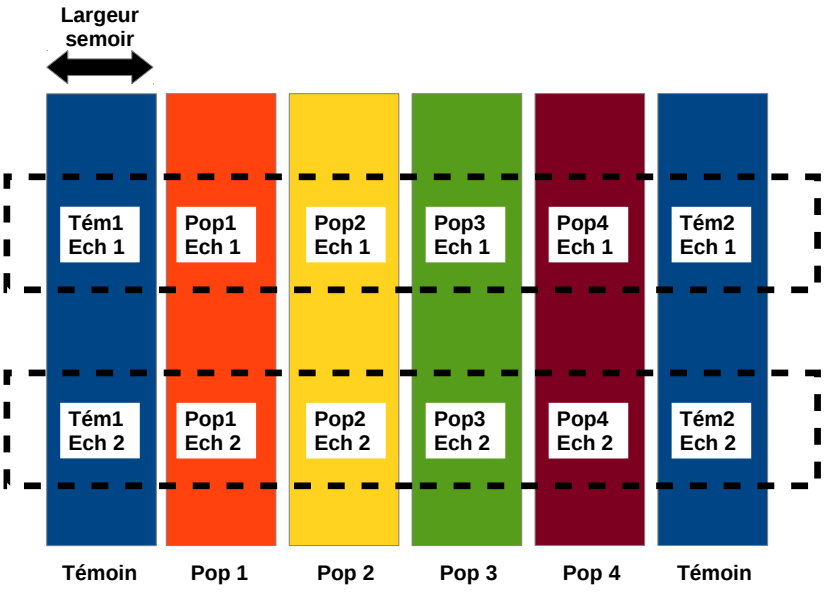
8.3 Sélection participative

La sélection participative est une adaptation de ce qui se fait en collection avec des microparcelles. La différence avec une collection est la quantité de semences disponible, ce qui permet d'utiliser le matériel de la ferme et donc de travailler sur des grandes parcelles.

Comme dans le cadre de la collection, les mêmes questions vont se poser au regard des dispositifs de semis, des mesures, de la gestion de l'analyse des données et du positionnement juridique et politique. La fiche *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59 revient sur ces différents éléments.

L'avantage de ces parcelle en multiplication est qu'il y aura assez de grains pour tester les qualités organoleptiques des variétés [114].

3. Voir la fiche *Différentes stratégies de mobilisation de la diversité existante des céréales à paille* page 21



[115]

Exemple d'un plan de semis dans des parcelles avec le matériel de la ferme. Tém : témoin. Pop 1 : numéro de la population évaluée. Ech 1 et Ech 2 : échantillon 1 et 2 pris dans la parcelle pour mesures. Il y a deux échantillons par parcelle qui jouent le rôle de répétitions.

8.4 Sélection mutualiste

La sélection mutualiste est une méthode conçue au sein de Mètis. Elle est en cours d'expérimentation avec Mètis sur le blé tendre et l'odyssée de l'engrain [4], le GAB65 et l'EI Purpan sur les blés poulards.

8.4.1 Principes

La sélection mutualise repose sur

1. un mélange très diversifié qui va évoluer de la même manière qu'avec une sélection évolutive
2. un réseau de fermes qui cultive ce mélange et qui sont assez proches géographiquement pour faciliter les rencontres et les échanges de semences
3. des bouquets d'épis réalisés par les paysans dans leur mélange en production
4. un travail d'animation pour collecter les bouquets d'épis, les battre, les mélanger, les multiplier, diffuser des semences, etc

Un des éléments central dans la sélection mutualiste est de démocratiser la sélection en formant les paysans à sélectionner des bouquets d'épis dans leur champ, dans le cadre de leur production.

8.4.2 Méthodologie

Fixer les objectifs En amont de la sélection, il faut définir les objectifs du groupes pour sélectionner des épis qui pourront répondre à ces objectifs. Par exemple sélection sur la tenue à la verse ou le rendement. La fiche *La sélection massale au champ sur les céréales à paille* page 77 revient sur tous ces aspects.

Deux niveaux de sélection possibles

— **Dans la collection** tout d'abord, pour repérer les beaux épis qui vont nourrir le *« mélange d'épis sélectionnés »*. Pour simplifier le protocole et ne pas dépendre de méthodes ou d'outils dédiés à l'expérimentation trop compliqués et coûteux en temps, argent et expertise, seul le rendement peut être mesuré sans variété répétée.

4. https://odysseedengrain-patesbio.fr/

Pour palier ce manque de répétition, la collection est entourée d'un mélange de blé qui permet de se rendre compte, de manière sensible, et avec l'expérience du paysan qui accueille les essais, s'il y a des hétérogénéité dans la parcelle. Seules les observations des blés à maturité par les paysans présents sont un critère de sélection.
La collection peut aussi accueillir une évaluation pour mesurer la réponse à la sélection des bouquets d'épis. Cela sera d'autant plus facile qu'une collaboration avec une équipe de recherche est en place.

— **Dans les champs** où chaque paysan :
  — au semis : ajoute dans son mélange un échantillon de grains issu du *« mélange d'épis sélectionnés »* à travers le travail de sélection mutualiste (il y a assez de semences après trois années)
  — à la récolte : sélectionne dans sa parcelle en production des bouquets d'épis qui sont ensuite battus et mélangés avec tous les bouquets issus de toutes les fermes pour former le *« mélange d'épis sélectionnés »*. Des formations et des ateliers sont organisées pour apprendre à observer et à sélectionner es épis sur des critères définis collectivement. Ce niveau de sélection peut tout à fait se réaliser sans le niveau précédent (collection)

Description de la méthode

Année 1 La première année, chacune des fermes du réseau

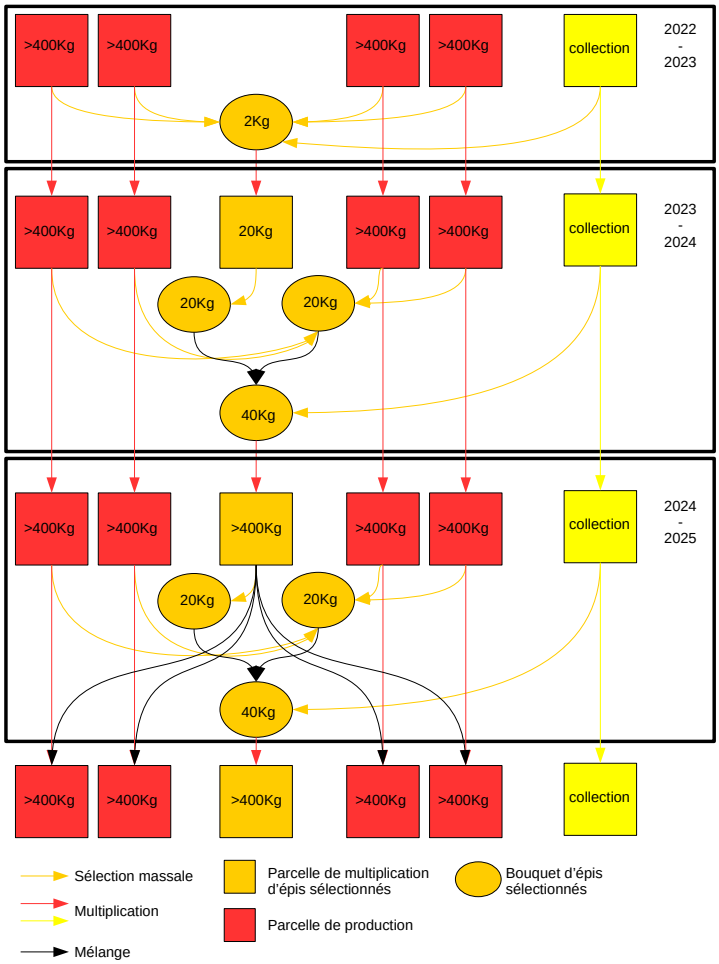
- récolte plus de 400kg de mélange dans son champ dans le cadre de sa production (case rouge > 400kg de la figure ci-contre)
- sélectionne un bouquet d'épi qui va abonder un *« mélange d'épis sélectionnés »* (rond orange) à travers une sélection positive sur les composantes du rendement et la verse dans le mélange en production. L'intensité de sélection est très forte : peu d'épis sont sélectionnés par rapport à la taille du mélange.

En parallèle, un travail similaire est fait sur de jolis épis de la collection qui sont insérés dans le *« mélange d'épis sélectionnés »*(rond orange). Pour cette première année, le lot de grains issu d'épis sélectionnés de 2kg peut être envisagé, c'est une année de démarrage pour lancer la dynamique.

Année 2 La deuxième année, les 2kg du *« mélange d'épis sélectionnés »* sont multipliés pour arriver à une récolte d'un lot de 20kg (carré orange). Sur ce lot de 20kg, toutes les graines sont conservés et sont ajoutés au 20kg issus des bouquets de fermes et de la collection (sélection positive sur les composantes du rendement, la hauteur et la verse ; intensité de sélection très forte). On fait l'hypothèse que la dynamique prend et que plus de grains issus d'épis sélectionnés abondent le mélange. Cela permet ainsi d'avoir 40kg de *« mélange d'épis sélectionnés »*.

Année 3 La troisième année, les 40kg du « mélange d'épis sélectionnés » sont multipliés pour arriver à 400kg.
Sur ces 400kg :

- 20kg issus d'épis sélectionnés sont mélangés avec 20kg issus des bouquets d'épis de la collection et des autres fermes cultivant le mélange (sélection positive sur les composantes du rendement, la hauteur et la verse ; intensité de sélection très forte) : 40kg de *« mélange d'épis sélectionnés »* sont obtenus au total
- les 380kg restant sont diffusés dans chaque ferme du réseau qui nourrit ainsi son mélange en production dans sa ferme avec des grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »*



[116]

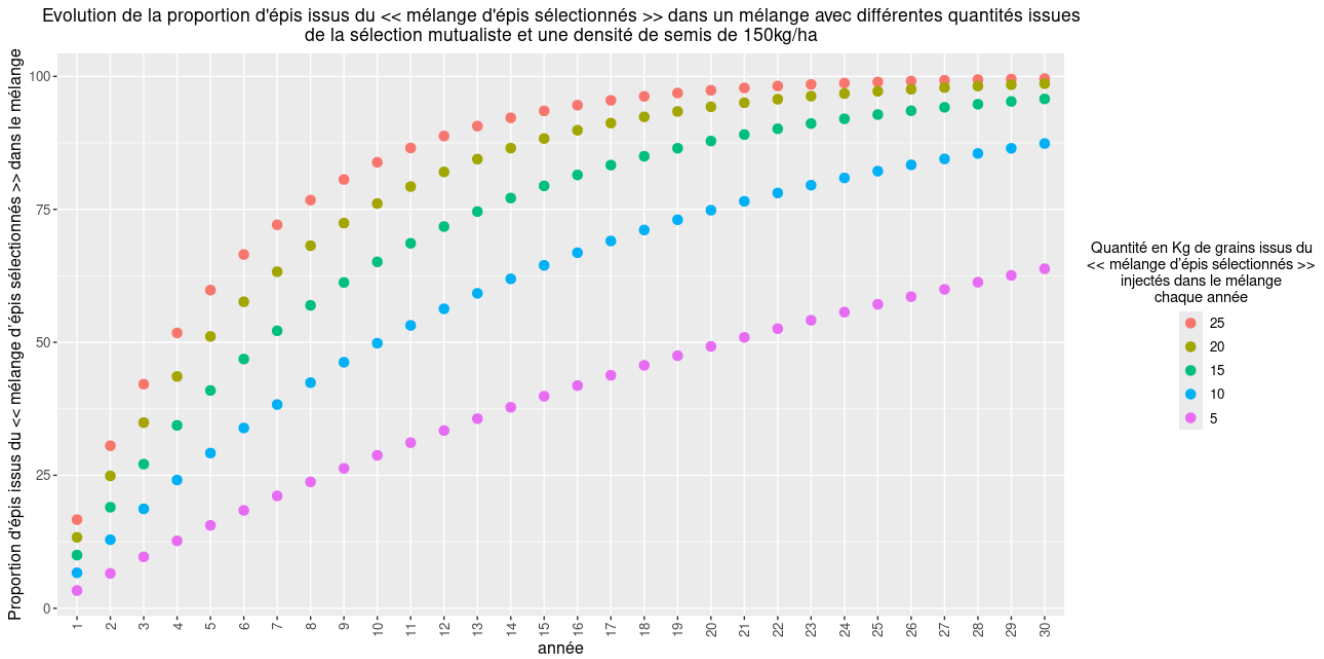
Méthodologie de la sélection mutualiste. Le cycle se poursuit comme la troisième année sans arrêt.
Dans la parcelle de multiplication des épis sélectionnés (carrés oranges) :

- *Sélection négative sur la hauteur puis positive sur les composantes du rendement et la verse*
- *Intensité de sélection faible d'environ 10% à partir de la deuxième année*
- *Avoir toujours 40kg à resemer*

Dans les parcelles de production au champ (carrés rouges) :

- *Sélection positive sur les composantes du rendement et la verse*
- *très forte intensité de sélection*
- *ajout d'une partie du mélange d'épis sélectionnés à partir de la 3ème année dans le mélange en production*

Années suivantes Le processus de l'année 3 peut être reproduit chaque année. Cela permet de nourrir d'années en années les mélanges en production dans les champs avec des grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »* : la proportion de grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »* augmente au cours du temps comme l'illustre la figure ci-dessous.



[117]

Évolution de la proportion d'épis issus du « mélange d'épis sélectionnés » dans un mélange avec différentes quantités issues de la sélection mutualiste et une densité de semis de 150 kg ha. Exemple pour un hectare.

A titre d'exemple, avec 380kg de grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »*, pour un réseau de dix fermes, chaque ferme peut récupérer 38kg chaque année. La proportion de grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »* va augmenter au cours du temps selon le nombre d'hectare semés comme l'illustre le tableau ci-dessous. Selon le nombre d'hectare cultivé par ferme, la quantité de grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »* peut varier.

Surface du mélange cultivé dans la ferme (ha)	Quantité de grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »*> reçu chaque année (kg)	Quantité de grains issus du *« mélange d'épis sélectionnés »* par hectare semé (kg)	Années avant d'avoir 25% de grains issus de sélection dans le mélange en production	Années avant d'avoir 50% de grains issus de sélection dans le mélange en production	Années avant d'avoir 75% de grains issus de sélection dans le mélange en production
1	38	38	1	3	5
5	38	7,6	6	14	28
10	38	3,8	12	28	55
15	38	2,5	17	42	83

Relations entre densité de 150kg/ha du mélange semé dans la ferme, quantité de grains issus du « mélange d'épis sélectionnés » reçu chaque année et années avant d'avoir 25%, 50% et 75% de grains issus de sélection dans le mélange en production.

9. La sélection massale au champ sur les céréales à paille

Version 2 du 3 novembre 2025
Pierre Rivière et Frédéric Latour

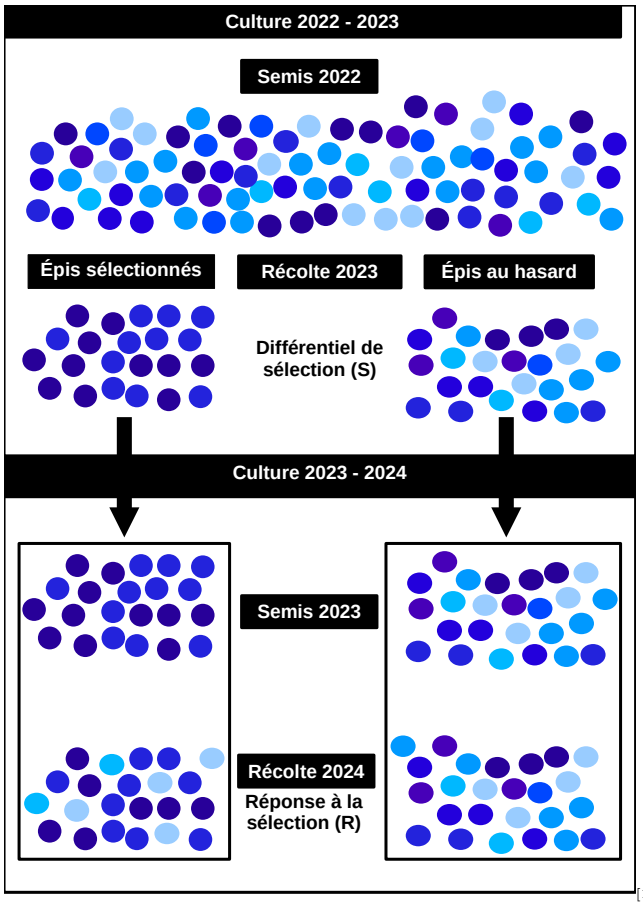
9.1 Définition

On parle de sélection massale quand on sélectionne, à la main, un ensemble d'épis dans une variété diversifié sur différents critères (réalisation d'un « bouquet de sélection »). La sélection est positive quand on garde certaines plantes et négative quand on se sépare de certaines plantes selon des critères définis en amont. Il existe également la sélection conservatrice qui consiste à garder une variété au plus près de sa description originale. La sélection massale une méthode pratique et simple à réaliser. Elle permet de reprendre la maîtrise du processus de sélection en accompagnant ses populations selon ses objectifs tout en gardant un grand potentiel d'adaptation grâce à une grande diversité.

9.2 Cadre théorique

9.2.1 Définitions

Trois notions sont importantes pour comprendre ce qui se passe lorsque l'on sélectionne plusieurs épis dans une population de blé.



Le différentiel de sélection (S) correspond à la différence entre la moyenne des épis qui ont été sélectionnés et la moyenne des épis qui n'ont pas été sélectionnés. Par exemple, si je sélectionne 50 épis qui font en moyenne 4g dans une population où les épis font en moyenne 2,5g. Le différentiel de sélection est alors de $4 - 2,5 = 1,5$. On s'attend à ce que l'année suivante, les épis issus de notre sélection soient plus lourd de 1,5g par rapport aux épis qui n'ont pas été sélectionnés.

La réponse à la sélection (R) correspond à la différence entre la moyenne des épis issus de la sélection et la moyenne des épis issus du tout venant (c'est à dire non sélectionnés). Pour reprendre l'exemple précédent, si j'ai semé des épis issus de sélection qui, une fois récoltés, font en moyenne 3,5g et des épis issus du tout venant (c'est à dire non sélectionnés) qui, une fois récoltés, font en moyenne 2,5g. La réponse à la sélection est alors de $3,5 - 2,5 = 1$.

L'héritabilité correspond à la part de potentiel génétique qui est transmis d'une génération à l'autre. Si un caractère transmis d'une génération à l'autre est uniquement d'origine génétique, alors l'héritabilité est de 1. Si un caractère transmis d'une génération à l'autre est largement d'origine environnemental, alors l'héritabilité est proche de 0. Par exemple, le rendement a une héritabilité faible car il dépend beaucoup de l'environnement et peu de la génétique alors que la floraison a une héritabilité forte car elle dépend peu de l'environnement et beaucoup de la génétique.[118]

La relation entre le différentiel de sélection (S), la réponse à la sélection (R) et l'héritabilité (h^2) est l'équation du sélectionneur :

$$R = h^2 \times S$$

Dans l'exemple précédent, $S = 1,5$ et $R = 1$, l'héritabilité réalisée du poids de l'épi est donc de $R/S = 1/1,5 = 0,7$.

9.2.2 Valeurs théoriques possibles

Selon les valeurs du différentiel de sélection (S) et de l'héritabilité (h^2), la réponse à la sélection (R) sera différente :

R	$=$	$h2$	$\times$	S	Commentaires
$+$	$=$	1	$\times$	$+$	L'héritabilité du caractère est très forte et le différentiel de sélection est positif donc la réponse sera également positive, du même ordre de grandeur que le différentiel.
0	$=$	1	$\times$	0	L'héritabilité du caractère est très forte et le différentiel de sélection est très faible donc la réponse sera également très faible, du même ordre de grandeur que le différentiel.
$-$	$=$	1	$\times$	$-$	L'héritabilité du caractère est très forte et le différentiel de sélection est négatif donc la réponse sera également négative, du même ordre de grandeur que le différentiel.
0	$=$	0	$\times$	$+$	L'héritabilité du caractère est très faible et le différentiel de sélection est positif donc la réponse sera également positive et très faible.
0	$=$	0	$\times$	0	L'héritabilité du caractère est très faible et le différentiel de sélection est très faible donc la réponse sera très faible.
0	$=$	0	$\times$	$-$	L'héritabilité du caractère est très faible et le différentiel de sélection est négatif donc la réponse sera négative et très faible.

Différentes valeurs possibles de R selon S et h^2. 1 : héritabilité très forte ; 0 : héritabilité très faible. + : valeurs positives ; − : valeurs négatives

Il y a deux leviers à actionner pour avoir une réponse positive :

1. **avoir un fort différentiel de sélection** : pour cela il faut prendre les épis extrêmes dans la population, par exemple ceux avec les plus long épis. Le différentiel de sélection sera d'autant plus grand
   — qu'il y aura beaucoup de diversité dans le champ.
   — que l'intensité de sélection sera forte. Par exemple prendre 200 épis dans une parcelle de 500m2 sera beaucoup plus « intense » que 200 épis dans une parcelle de 20m2 qui comprend un total d'individus nettement inférieur.
2. **avoir une forte héritabilité** : celle-ci va dépendre des lieux, des années, des corrélations entre caractères (par exemple si je sélectionne des épis longs, ils seront plus lourds) mais de nombreux caractères ont des ordres d'héritabilité connus. Par exemple chez les céréales, le rendement a une faible héritabilité et la précocité a une forte héritabilité.

Des résultats de projets de recherche nous donnent des indications sur la réponse à la sélection de différents caractères.

9.3 Résultats issus de projets de recherche

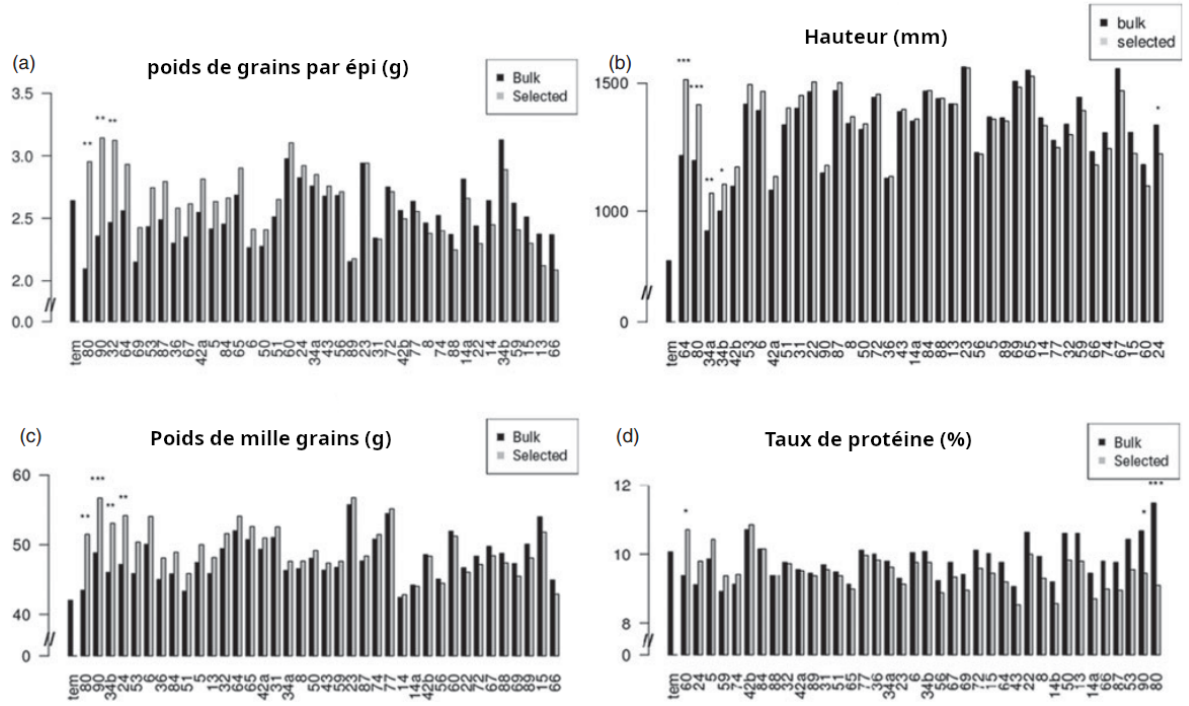
Cette partie présente des résultats de réponse à la sélection dans le cadre d'un programme de sélection participative entre l'équipe DEAP de l'INRA du Moulon et des collectifs membres du Réseau Semences Paysannes. Les résultats relatifs à la diversité génétique dans le cadre de ces sélections, qui sont un élément de la gestion de la biodiversité cultivée, sont présentés dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49 .

9.3.1 Sélection en génération précoce dans des populations issues de croisement par un paysan

Ces résultats sont issus d'un article de Rivière et al. [119]. Dès 2001, un paysan a observé une grande diversité de variétés de pays, variétés anciennes et variétés plus modernes dans sa ferme. En 2006, 90 croisements ont été fait entre différentes variétés afin d'associer des variétés présentant des qualités en boulange et au champ [1]. En 2008, le paysan a fait des bouquets de sélection dans 38 populations dans la deuxième génération après les croisements. En 2009-2010, à l'INRA du Moulon, ces 38 populations en troisième génération issues des bouquets sélectionnés d'une part et d'épis non sélectionnés d'autre part ont été évalués en trois répétitions.

1. Plus d'information sur les croisements dans la fiche *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

Exemple de réponse pour quatre variables



[120]

Évolution entre les versions sélectionnées (grises) et non sélectionnées (noires) pour 38 populations et quatre variables : (a) poids de grains par épi en grammes, (b) hauteur en cm, (c) poids de mille grains en grammes et (d) taux de protéine en %. Les étoiles représentent les différences significatives entre les deux moyennes, c'est à dire des différences qui sont dues à la sélection.

— Pour le poids de grains par épi, trois populations répondent significativement et positivement. Toutes les autres populations ne montrent pas d'évolution après sélection.
— Pour la hauteur, alors que le paysan souhaitait des plantes plus petites, quatre populations répondent significativement et positivement (plantes plus grandes) ; une population répond significativement et négativement (plantes plus petites). Il s'avère que son regard était attiré par les beaux épi sur les plantes hautes et que ce critère de sélection s'en est trouvé oublié !
— Pour le poids de mille grains, quatre populations répondent significativement et positivement. Toutes les autres populations ne montrent pas d'évolution après sélection.
— Pour le taux de protéine, une population répond significativement et positivement ; deux répondent significativement et négativement

Niveau d'héritabilité pour différentes variables

Avec le dispositif expérimental, il a été possible de mesurer des valeurs d'héritabilité. Ces valeurs ont été estimées à partir des 38 populations très hétérogènes en génération précoce (F3 : troisième génération) aussi la théorie nous dit que ces valeurs sont sous estimées. Elles restent très dépendantes de l'essai donc sont à prendre avec précaution mais permettent d'avoir en tête des ordres de grandeur. La hauteur a la plus forte héritabilité suivi par la précocité et la force boulangère (W). Les composantes du rendement comme le poids de mille grains et le poids de l'épi ont une héritabilité faible. Sur ces dernières, les pratiques agronomiques vont avoir un impact très important.

Variable	h^2
Hauteur	0.80
Précocité	0.57
W	0.57
Poids de mille grains	0.44
Poids de l'épi	0.23

Moyenne des héritabilité (h^2) mesurées sur les 38 familles

Résumé des principaux résultats

Les principaux résultats sont les suivants :
— 24/38 populations répondent sur au moins un caractère

— quatre populations répondent sur cinq caractères ou plus
— pour le poids de mille grains et le poids de l'épi, quand la réponse est significative, elle est positive
— la variance génétique entre les populations augmente après sélection pour la plupart des caractères mesurés ce qui signifie que les populations issues de la sélection sont plus différentes entre elles qu'avant la sélection
— la variance génétique au sein des populations diminue après sélection pour la plupart des caractères mesurés mais reste importante

9.3.2 Sélection dans diverses populations dans un réseau de fermes

Réponses à la sélection observées dans le programme de sélection participative

Ces résultats sont le bilan de 12 années de sélection dans différentes fermes participant à un programme de sélection participative entre l'équipé DEAP de l'INRA du Moulon et des collectifs membres du Réseau Semences Paysannes. Ils ont été publié dans la partie 3.3 de la thèse de Gaëlle Van Frank [121].

Les paysans sélectionnent au champ principalement des caractères visibles de productivité ou bien de vigueur de la plante qui résultent de son comportement global sur son cycle de développement.

Caractère	Différentiel	Réponse
Poids de mille grains	4.25% *** (n=471)	1.79% (n=103)
Poids de l'épi	27.64% *** (n=467)	10.36% *** (n=105)
Longueur de l'épi	13.82% *** (n=63)	2.49% * (n=37)
Taux de protéine	1.51% *** (n=385)	0.39% (n=78)
Nombre moyen de grains par épi	22.91% *** (398)	13.71% ** (n=78)
Hauteur	-	1.65% (n=60)
Rendement	-	29.22% (n=23)
Couleur	3.60% ** (n=550)	2.22% (n=99)
Barbe	1.30% (n=552)	2.34% (n=99)
Courbure	7.17% *** (n=531)	4.15% (n=97)

Différentiel de sélection et réponse à la sélection moyens pour différentes variables. Le nombre entre parenthèses correspond au nombre d'échantillons mesurés. Les étoiles indiquent quand l'évolution est significative statistiquement.

— Plusieurs caractères sont fortement sélectionnés : le poids de l'épi et le nombre moyen de grains par épi avec des différentiels de sélection de 28 et 23% respectivement.
— Le poids de mille grains et le taux de protéine sont aussi sélectionnés positivement alors que le premier est plus difficile à voir au champ que le poids des épis ou le nombre de grains par épi, et le second est impossible à visualiser au champ. Il y a donc une corrélation avec un autre caractère phénotypique que les paysans peuvent appréhender au champ ou tout simplement une appréciation globale du bel épi.
— En moyenne les paysans sélectionnent plutôt des épis plus foncés et plus courbés.
— Les réponses à la sélection sont globalement moins élevées que les différentiels de sélection : seuls le poids et la longueur de l'épi, ainsi que le nombre moyen de grains par épi présentent des réponses significatives et positives.
— De manière générale, il n'y a pas de structuration dans les différentiels et les réponses pour l'ensemble des caractères en fonction du type de variétés (croisements, mélanges, variétés anciennes ou de pays, variétés modernes).
— Il n'y a pas d'effet de dilution du taux de protéine avec l'augmentation du nombre moyen de grains par épi ou de la taille des grains dans les épis sélectionnés par les paysans.

Impacts de la sélection massale sur la variabilité des caractères

Poids de l'épi Pour le poids de l'épi, caractère beaucoup sélectionné par les paysans, l'échantillon d'épis sélectionnés ne présente pas, en moyenne, de réduction de variance par rapport à l'échantillon d'épis pris au hasard, voire augmente dans certains cas.

Cela peut s'expliquer par le fait que
— les paysans vont sélectionner à la fois des épis extrêmes, très lourds, mais aussi des épis moyens les plus fréquents dans la population

— les plantes présentant des épis plus lourds que les autres peuvent provenir de croisements, l'effet d'hétérosis leur conférant plus de vigueur par rapport au reste de la population. La plus grande variabilité dans la population résultant de la sélection pourrait alors s'expliquer par une ségrégation de ces nouveaux croisements [2].

Courbures et barbes Le bouquet sélectionné est généralement moins variable que les épis pris au hasard pour la courbure de l'épi et la présence de barbes.

Couleur et barbes Les sélections dans les mélanges conservent plus de variabilité que les sélections dans les autres types de populations pour la couleur et la présence de barbes.

Résumé des principaux résultats

— Il y a des manières de sélectionner diverses selon les paysans notamment sur la couleur, les barbes et la courbure de l'épi
— La sélection paysanne privilégiait les plantes les plus productives, présentant des épis plus gros avec plus de grains et des grains plutôt plus gros tout en maintenant le taux de protéine.
— Les caractères morphologiques sont sélectionnés vers des épis plus colorés et plus courbés, sans doute pour leur teneur présumée plus grande en caroténoïdes et en certains minéraux, et leur meilleur séchage avant la récolte par un plus grand ruissellement de l'eau de pluie.
— On observe des réponses allant dans le même sens que le différentiel de sélection pour tous ces caractères bien que la réponse à la sélection ne soit pas toujours significative.
— De manière générale, les paysans cherchent plutôt à conserver la diversité des composantes des mélanges

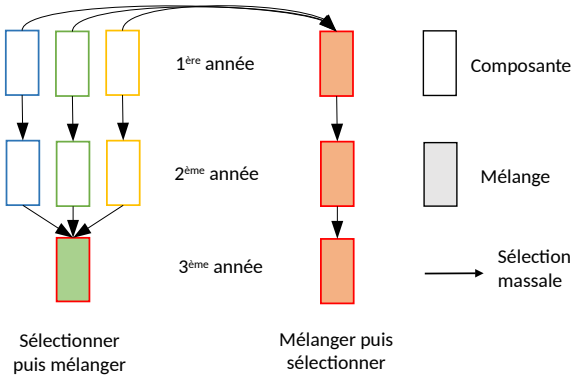
9.3.3 Sélection dans des mélanges

Dispositif

Des essais ont été réalisés dans différentes fermes pour étudier l'impact de la sélection dans des mélanges ou dans des composantes d'un futur mélange pendant deux années. Les résultats ont été publié dans la partie 2.2 de la thèse de Gaëlle Van Frank [121]. Le dispositif expérimental revenait à étudier deux modalités :

1. sélectionner dans différentes variétés puis les mélanger. On s'attend à obtenir un mélange plus performant en mélangeant des semences issues de sélections faites dans les composantes qu'en mélangeant des variétés sans sélection massale préalable
2. mélanger différentes variétés puis sélectionner dans le mélange. On s'attend à sélectionner les plantes qui se comportent bien en interaction

Ces deux modalités sont représentées dans la figure ci-contre.



[122]

Modalités étudiées dans l'expérimentation. Par soucis de clarté, deux modalités dont le témoin où aucune sélection n'a été faite dans le mélange, ne sont pas représentées.

Résultats

Tout d'abord, on constate que les mélanges sélectionnés ne présentent globalement pas de perte de variabilité par rapport aux mélanges où il n'y a pas eu de sélection.

Ensuite, sélectionner dans différentes variétés puis les mélanger
— est moins efficace sur la réponse à la sélection car le mélange contient des épis de chaque composante même si certains sont moins beaux
— permet de garder plus de diversité car chaque composante est représentée

Enfin, mélanger différentes variétés puis sélectionner dans le mélange

2. Plus d'informations dans la fiche *Le croisement pour augmenter la diversité dans un programme de sélection participative sur les céréales à paille* page 39

— est plus efficace sur la réponse à la sélection car certains épis des composantes de départ n'ont pas été sélectionnés
— conserve moins de diversité car des composantes ont disparu ou fortement diminué en proportion

9.4 Quelques bonnes pratiques

Sélectionner c'est observer et choisir ! Il faut prendre le temps de bien observer le plantes pour choisir celles qui correspondent à ses critères.

La sélection se fait quelques jours avant la moisson, elle permet de sélectionner les épis d'intérêt pour faire un ou plusieurs bouquets à partir des critères de sélection préalablement définis. Avec un sécateur, il est important de sélectionner des longues tiges avec les épis (1m minimum), cela permet aux épis de finir de mûrir et aussi de faciliter le stockage et la manutention des gerbes avant de les battre.

Cette étape est un des rares moment dans l'année où l'on peut observer les blés et développer une vision plus sensibles aux plantes. Faire des bouquets de jolis épis peut s'intégrer dans une « routine intentionnelle », c'est à dire des moments répétés qui permettent de développer son regard et sa sensibilité. Ces moments visent à restaurer et à entretenir une relation immédiate et soutenue avec le monde réel et le vivant qui va permettre de construire des connaissances opérationnelles et situées [123].

9.4.1 Populations dans lesquelles sélectionner

Plus les populations seront diversifiées, plus la sélection sera potentiellement efficace car le différentiel de sélection sera important. Aussi sélectionner dans des mélanges diversifiés ou des populations issues de croisements qui présentent une grande diversité sera plus efficace que de sélectionner dans des variétés anciennes ou de pays cultivées « en pure » [3].

[124] [125] [126]

Gradient de diversité dans différentes variétés, de la moins diversifiée à la plus diversifiée, de gauche à droite : une variété commerciale, plusieurs variétés de pays et le mélange Mètis.

3. Plus d'informations sur les niveaux de diversité des variétés sont décrites dans la fiche *Gestion dynamique de la biodiversité en réseau des céréales à paille* page 49

9.4.2 Une grande diversité de critères

Selon ses objectifs et sa sensibilité, chaque paysan aura ses propres critères et sa stratégie. Ces derniers peuvent être définis collectivement au sein du groupe. Par exemple, Michel Turbet-Delof a montré, dans la partie 3.2 de sa thèse, une grande diversité de critères de sélection utilisés par 10 paysans, qui étaient corroboré par d'autres études : capacité à taller, taille des épis, gros grains, rendement, pouvoir couvrant, forte biomasse en paille, résistance à la verse, résistance aux maladies, rusticité, forte demande en vernalisation, pas trop tardif à floraison, distance entre la dernière feuille et la base de l'épi, couleur de l'épi, barbes, courbure de l'épi, couleur du grain, potentiel de transformation, goût, qualité nutritionnelle, digestibilité, blés beaux, typicité [22].
Pour éviter de se « perdre » dans de nombreux critères, il est conseillé d'en choisir quelques-uns (deux ou trois par exemple). Dans tous les cas, il est important de garder une diversité dans les épis sélectionnés : blanc, rouge, barbus, non barbus, épi compact/lâche etc.

[127]
Exemple d'épi compact : Blé à épi carré

[128]
Exemple d'épi lâche : Touzelle Anone

9.4.3 Quelques exemples selon différents objectifs

Objectif : Sélectionner les pantes saines

Sélection positive sur la vigueur globale à la récolte avec une sélection positive, une jolie plante à la récolte s'est bien développée, a résisté aux potentielles maladies, se montre adaptée à son milieu. La courbure de l'épi (crosse) peut également être intéressante à sélectionner (capacité de l'épi à ressuyer rapidement).

[129]
Exemple d'épis crossés dans une population de blé poulards

Objectif : Augmenter le rendement Sélection positive sur les composantes du rendement : épis les plus gros et les plus jolis. Au début de la confection du bouquet, prendre un épi parmi les plus gros que l'on garde à la main pour se faire une jauge pour la suite. Attention, on a tendance à sélectionner les plantes les plus hautes ! Les barbes peuvent être un caractère intéressant car elles augmentent la surface photosynthétique de l'épi contribuant ainsi au remplissage des grains , elles rendent aussi les épis moins appétant pour les animaux sauvages. La sélection sur ce critère est important car dans une population hétérogène, le poids des épis et le poids de mille grains à tendance à ne pas répondre positivement à la sélection naturelle [70].

Objectif : Diminuer la verse Sélection positive sur les plantes de tailles moyennes non versées. Être attentif à la grosseur de paille pour prendre un nombre important de plantes avec cette caractéristique. On peut se faire une jauge « grosse paille » que l'on garde à la main. Il faut écarter les plantes les plus petites qui ont des épis tout petits et les plantes trop grandes qui vont avoir tendance à verser. Écarter les plantes présentant des maladies. Une sélection négative anti-verse est envisageable en écimant les plantes les plus hautes en mai-juin. La sélection sur ce critère est important car dans une population hétérogène, les plantes sont en compétition pour la lumière et les populations vont grandir en taille [69].

Objectif : Augmenter la précocité Sélection négative au printemps en coupant les épis trop précoces ou trop tardif selon le critère de précocité choisi

Objectif : Sélectionner pour la qualité Olivier de Serres témoignait déjà au 16ème siècle que les blés rouges avec des petits grains devraient être réservés à l'alimentation humaine et les blés blancs avec de gros grains pour l'alimentation animale [130].

Bien qu'aucun lien de causalité ne soit établi, il existe

- dans une population très diversifiée, un lien entre couleur et taux de protéine : plus les épis sont colorés, plus le taux de protéine est élevé [131].
- dans un ensemble de populations issues de sélection participative et de variétés modernes, une corrélation positive entre cinq variables nutritionnelles et la couleur, la hauteur et la distance entre la feuille drapeau et la base de l'épi : plus la plante est haute et foncée, plus elle est riche en nutriments [114].

Il faudra ensuite une quantité suffisante de grains pour effectuer des test au fournil ...

9.4.4 Au champ

Sélectionneurs La sélection sera d'autant plus rapide qu'elle sera effectuée par plusieurs personnes, c'est encourageant et convivial. Dans ce cas, il faut veiller à encadrer les personnes qui feront les bouquets sur les critères et les bonnes pratiques.

Points de vigilance

- Garder en tête que la sélection massale est plus radicale que la sélection naturelle : attention à ne pas trop réduire la diversité : il est important de sélectionner une diversité de morphologie d'épis (blanc, rouge, barbus, non barbus, épi compact/lâche etc.)
- Garder une certaine diversité limite les risques. La migration de pollens (parcelles côte à côte) et les mélanges permettent de renouveler un peu la diversité et de limiter ce risque.
- Attention : lorsque les génotypes des plantes ne sont pas fixés, il y a ségrégation dans la descendance. En générations précoces, les plantes ne ressemblent pas à leurs parents. Cela correspond environ à 5% des plantes dans un mélange très diversifié [52].
- Sélectionner sur l'ensemble de la parcelle pour éviter les effets de bordure de champ ou du sol à l'intérieur de la parcelle, on peut sélectionner les plus beaux épis dans une zone où il n'y a que des épis moches.
- De manière générale, la sélection est plus sûre si elle s'appuie
  - sur plusieurs années (et plusieurs lieux) d'observation des populations
  - sur l'observation du comportement d'un ensemble de plantes

[132]

Effet bordure sur les épis de blé poulards d'Auvergne (souche blanche) : le gros épi se trouvait en bord de champ alors que le petit se trouvait au milieu de champ

[96]

[97]

La même variété issue de croisement à deux endroits différents de la parcelle : l'effet du sol est très marqué.

Nombres d'épis à sélectionner Selon le temps disponible et le nombre de personnes mobilisées pour la sélection, plus ou moins d'épis pourront être sélectionnés.

Nombre d'épis	Quantité de grains récolté	Surface année 1	Récolte année 1	Surface année 2	Récolte année 2
100	225 gr	14 m2	A minima 2.5 kg	150 m2	A minima 25 kg
200	450 gr	28 m2	A minima 5 kg	310 m2	A minima 50 kg
500	1125 g	70 m2	A minima 10kg	625 m2	A minima 100 kg
1000	2250g	140 m2	A minima 20 kg	1250 m2	A minima 200 kg

Tableau de correspondance nombre d'épis / quantité de grains à resemer pour un poids de mille grains moyen de 45g/1000 grains et 50 grains par épi en moyenne [119] et pour une densité de semis de 160 kg/ha. Les chiffres pour les surfaces et les récoltes sont des estimations.

200 épis à sélectionner dans un bouquet semble un bon compromis
- cela permet de ne pas perdre trop de diversité génétique
- ce n'est pas trop long à faire au champ surtout à plusieurs : compter entre 1 et 2 heures à quelques personnes
- cela permet d'avoir environ 450g de grains à resemer. On pourra penser à mélanger des bouquets de plusieurs fermes pour multiplier un mélange de bouquets sélectionnés.

9.4.5 Stockage des épis et battage

Conserver les épis à l'abri des rongeurs et de l'humidité (suspendu ou dans une caisse hermétique)
Le battage peut se faire lors d'un moment avec l'association, par exemple lors de la récolte de la collection.

9.4.6 Semis du bouquet de sélection

Les bouquets de différentes fermes pourront être mélangés pour avoir plus de semences à multiplier. Par exemple, si cinq fermes apportent 200 épis, cela fera plus de 2,25 kg à semer soit environ 140 m² à une densité de 160kg/ha. Plus on a d'épis, plus la multiplication est rapide. Le bouquet peut être semé sur la même ferme : l'adaptation sera plus fine mais la multiplication plus lente. Il peut être possible de mélanger les bouquets par type de sol. Par exemple, un mélange de bouquets pour des terres riches et un mélange de bouquet pour des terres avec moins de potentiel. Des fermes voisines peuvent aussi regrouper leurs lots [4].

[133]

Discussion sur les critères de sélection lors de la confection de bouquet dans le mélange mètis à Barie.

[4]

Bouquets confectionnés dans le mélange Mètis à Barie.

[5]

Journée collective de confection de bouquets de sélection dans le mélange odyssée de l'Odyssée de l'engrain à Péguilhan.

4. On revient plus en détails sur les modes d'organisation collective possibles dans les fiches *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille avec une collection* page 59 et *Organisation de l'évaluation et de la sélection de nouvelles variétés de céréales à paille dans le cadre de la production au champ* page 71 .

Index

hauteur, 12, 13, 26, 34, 50, 61, 66, 67, 75, 80, 81, 85
héritabilité, 78–80

poids de l'épi, 47, 67, 78, 80, 81
poids de mille grains, 50, 66, 67, 80, 81, 84, 86
précocité, 34, 43, 47, 50, 57, 58, 62, 67, 79, 80, 84, 85

rendement, 12–14, 17, 18, 24, 47, 62, 64, 66–68, 71, 73, 75, 78–81, 84

verse, 24, 28, 47, 50, 66–68, 73, 75, 84

Bibliographie

[1] Pierre Rivière. *Mélange Mètis issu de la récolte d'Annelaure et Frank et cultivé dans la collection Mètis*. 2025.

[2] Frédéric Latour. *Motofaucheuse dans les blés*. 2021.

[3] Frédéric Latour. *Battage de parcelles de multiplication avec une batteuse à poste fixe*. 2023.

[4] Frédéric Latour. *Bouquets confectionnés dans le mélange Mètis à Barie*. 2024.

[5] Julien Cantegreil. *Journée collective de confection de bouquets de sélection dans le mélange odyssée de l'Odyssée de l'engrain à Péguilhan*. 2024.

[6] Isabelle Goldringer et al. "Recherche participative pour des variétés adaptées à une agriculture à faible niveau d'intrants et moins sensibles aux variations climatiques". In : *Pour* 213.1 (2012). Publisher : GREP, p. 153-161. issn : 0245-9442. doi : 10.3917/pour.213.0153. url : https://shs.cairn.info/revue-pour-2012-1-page-153 (visité le 02/06/2025).

[7] Pierre Rivière. "Méthodologie de la sélection décentralisée et participative : un exemple sur le blé tendre". Thèse de doct. Gif sur Yvette : Paris Sud, 2014. 586 p. url : https://theses.hal.science/tel-00959369.

[8] Élise Demeulenaere et al. "La sélection participative à l'épreuve du changement d'échelle. À propos d'une collaboration entre paysans sélectionneurs et généticiens de terrain". In : *Natures Sciences Sociétés* 25.4 (2017). Publisher : EDP Sciences Section : Sociologie, p. 336-346. issn : 1240-1307. doi : 10.1051/nss/2018012. url : https://stm.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2017-4-page-336 (visité le 02/06/2025).

[9] Pierre Rivière. *Schéma d'une méthodologie de la sélection décentralisée et collaborative en réseau*. 2015.

[10] Pierre Rivière. *Sélection décentralisée versus sélection centralisée : à la ferme ou en station*. 2014.

[11] Pierre Rivière. *Sélection décentralisée versus sélection centralisée : conséquence au champ*. 2014.

[12] Pierre Rivière. *Modélisation de l'interaction génotype environnement*. 2015.

[13] Pierre Rivière. *Résultats des essais écoagri. Analyse ammi pour chaque variable mesurée*. 2015.

[14] Isabelle Goldringer et al. "Agronomic Evaluation of Bread Wheat Varieties from Participatory Breeding : A Combination of Performance and Robustness". In : *Sustainability* 12.1 (2020). Number : 1 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 128. issn : 2071-1050. doi : 10.3390/su12010128. url : https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/128 (visité le 08/11/2024).

[15] GNIS. *Lots de semences conservés en chambre froide*.

[16] Pierre Rivière. *Mesures des blés chez Jean-Sébastien et Chantal Gascuel*. 2012.

[17] Robin Goffaux et al. *Quels indicateurs pour suivre la diversité génétique des plantes cultivées ? Le cas du blé tendre cultivé en France depuis un siècle*. Rapport FRB, Série Expertise et synthèse. 2011, p. 44.

[18] Pierre Rivière, Isabelle Goldringer et Frédéric Rey. *Selecting the appropriate methodology for organic on-farm cultivar trials : a technical guide for researchers and facilitators*. Projet Liveseed, 2021. url : https://www.liveseed.eu/wp-content/uploads/2021/07/PUBLICATIONITAB_LIVESEED.final_.pdf.

[19] Isabelle Goldringer. *Renan au mileu des populations issues de sélection participative dans les essais écoagri*. 2014.

[20] Pierre Rivière. *Mesures des blés chez Florent Mercier*. 2012.

[21] Salvatore Ceccarelli et Stefania Grando. *Example of divergent natural selection of an evolutionary bread wheat population : the ICARDA evolutionary bread wheat population after 10 years evolution in Sicily (left) and the same population after 10 years evolution in Tuscany (right) grown side by side in Marche in 2020 (courtesy of Pierluigi Valenti, Rocca Madre Cooperative)*. 2022.

[22] Michel Turbet Delof. "Impacts de l'environnement sur les pratiques de sélection paysanne et le comportement variétés qui en résultent". Thèse de doct. Paris Saclay, 2024. 301 p.

[23] Pierre Rivière. *Etapes de co-construction dans le cadre du projet de sélection participative sur les céréales*. 2016.

[24] Pierre Rivière. "Autonomie, semences et recherche : témoignage d'un ancien chercheur". In : (2022). URL : https://collectif-metis.org/index.php/2022/08/31/autonomie-semences-et-recherche-temoignage-dun-ancien-chercheur/.

[25] Frédéric Latour et Pierre Rivière. "Du progrès dans l'ubérisation : le cas de l'appli SeedLinked". In : (2024). URL : https://collectif-metis.org/index.php/2024/02/13/du-progres-dans-luberisation-le-cas-de-lappli-seedlinked/.

[26] Marcel Mazoyer et Laurence Roudart. *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Seuil. 1997. 528 p.

[27] Robin Goffaux. *Arbre généalogique des sept principales variétés anciennes présentes en France en 1912*. 2011. URL : https://fondationbiodiversite.fr/wp-content/uploads/2019/05/frb_etude_bl_web.pdf.

[28] Christophe Bonneuil et Frédéric Thomas. *Semences une histoire politique. Amélioration des plantes, agriculture et alimentation en France depuis la seconde guerre mondiale*. Charles Léopold Mayer. 2012. URL : http://docs.eclm.fr/pdf_livre/357SemencesUneHistoirePolitique.pdf.

[29] M Lyautey, L Humbert et Christophe Bonneuil. "De quelques origines allemandes du Catalogue français des variétés et de lapolitique de modernisation agricole du gouvernement de Vichy in Histoire des modernisations agricoles au XXe siècle". In : *Histoire des modernisations agricoles au XXe siècle* (2021), p. 85-99. URL : https://hal.science/hal-03515773/document.

[30] Christophe Bonneuil et al. "Innover autrement ? : la recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale". In : *Dossier de l'environnement de l'INRA* 30 (1er jan. 2006).

[31] Journal Officiel. *Decret 1711 du 13 juin 1942 relatf au commerce des semences*. 1942. URL : gallica.fr.

[32] Sophie Richard. *Paul Bormans, sélectionneur en Ile de France*. 1949.

[33] UPOV. *L'organisation de la sélection sur le site internet de l'UPOV*. 2013. URL : www.upov.int/overview/fr/.

[34] Joseph Jahier et Bernard Rolland. *A l'origine du blé tendre Renan : une obtention sans mystère*. Revue SESAME. 2020. URL : https://revue-sesame-inrae.fr/a-lorigine-du-ble-tendre-renan-une-obtention-sans-mystere/ (visité le 08/11/2024).

[35] Frédéric Prat. *Processus d'obtention de la variété Renan*. 2022. URL : https://www.infogm.org/6716-ogm-ou-pas-point-sur-ble-renan?lang=fr.

[36] Isabelle Goldringer. *Savoysone cultivée en Savoie, là où elle a été sélectionnée*. 2015.

[37] Isabelle Goldringer. *Variété Japhabelle chez Jean-François Berthellot*. 2014.

[38] François Balfourier et al. "A worldwide bread wheat core collection arrayed in a 384-well plate". In : *Theoretical and Applied Genetics* 114.7 (1er mai 2007), p. 1265-1275. ISSN : 1432-2242. DOI : 10.1007/s00122-007-0517-1. URL : https://doi.org/10.1007/s00122-007-0517-1 (visité le 03/06/2025).

[39] Christophe Bonneuil et Marianna Fenzi. "Des ressources génétiques à la biodiversité cultivée". In : *Revue d'anthropologie des connaissances* 5, 2 (1er sept. 2011), p. 206. DOI : 10.3917/rac.013.0206.

[40] Åsmund Asdal. "The Svalbard Global Seed Vault – conserving plant genetic resources for European and global food security". In : *Genetic Resources* (S2 2025). Number : S2, p. 49-57. ISSN : 2708-3764. DOI : 10.46265/genresj.EBBB2856. URL : https://www.genresj.org/index.php/grj/article/view/genresj.EBBB2856 (visité le 03/06/2025).

[41] Mari Tefre. *L'extérieur et l'intérieur de la Réserve mondiale de semences du Svalbard*. 2013.

[42] Theresa Herbold et Johannes M. M. Engels. *Carte des principaux centres de ressources biologiques dans le monde et la taille de leur collection (la taile du cercle corespond aux nombres d'accessions par lieu). Si la taille de la colection 'nest pas connu, un + est représenté.* 2023.

[43] FAO. *Accord type de transfert de materiel.* 2025. URL : https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/70cae602-c112-45f0-8e0c-b4599e71f25a/content (visité le 10/06/2025).

[44] CAB Pays de la Loire. *Blés paysans en pays de la Loire.* 2022. URL : https://www.gabbanjou.org/wp-content/uploads/Guide-technique-Bles-Paysans_VF_web_compressed-1_compressed-1_compressed_compressed.pdf.

[45] Theresa Herbold et Johannes M. M. Engels. "Genebanks at Risk : Hazard Assessment and Risk Management of National and International Genebanks". In : *Plants* 12.15 (jan. 2023). Number : 15 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 2874. ISSN : 2223-7747. DOI : 10.3390/plants12152874. URL : https://www.mdpi.com/2223-7747/12/15/2874 (visité le 23/05/2025).

[46] Christine Frison. "Redessiner un commun pour les semences : évaluation critique du système multilatéral d'accès et de partage des avantages du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA)". In : *Revue interdisciplinaire d'études juridiques* 81.2 (2018). Publisher : Presses de l'Université Saint-Louis Section : Droit commercial, p. 211-241. ISSN : 0770-2310. DOI : 10.3917/riej.081.0211. URL : https://droit.cairn.info/revue-interdisciplinaire-d-etudes-juridiques-2018-2-page-211 (visité le 10/06/2025).

[47] Guy Kastler. "DSI : la biopiraterie dématérialisée – Inf'OGM". In : (2024). URL : https://infogm.org/article_journal/dsi-la-biopiraterie-dematerialisee/ (visité le 23/06/2025).

[48] Via Campesina. *Déclaration des Nations Unies sur les Droits des paysan · ne · s et Autres Personnes Travaillant dans les Zones Rurales.* 2020. URL : https://viacampesina.org/wp-content/uploads/2020/04/UNDROP-Book-of-Illustrations-l-FR-l-Web.pdf.

[49] Réseau Semences Paysannes. *Kit réglementaire.* 2021. URL : https://www.semencespaysannes.org/semons-nos-droits/fiches-pratiques.html.

[50] Pierre Rivière. *Gradient de brassage dans une population de blé tendre.* 2021.

[51] Isabelle Goldringer et Estelle Serpolay. *Varieties and populations for on-farm participatory plant breeding.* 2017. URL : https://diversifood.eu/wp-content/uploads/2018/06/Diversifood_innovation_factsheet2_VarietiesPopulations.pdf.

[52] Jérôme Enjalbert et al. "The relevance of outcrossing for the dynamic management of genetic resources in predominantly selfing Triticum aestivum L.(bread wheat)". In : *Genet Sel Evol* 30 (1998), p. 197-211.

[53] Pierre Rivière. *Différentes stratégie de brassage de la biodiversité.* 2021.

[54] Pierre Rivière. *Evolution de la proportion d'épis issus de croisements au cours des générations dans un mélange avec plusieurs lignées pures.* 2025.

[55] Bénédicte Rhoné et al. "Evolution of flowering time in experimental wheat populations : a comprehensive approach to detect genetic signatures of natural selection". In : *Evolution* 64.7 (1er juill. 2010), p. 2110-2125. ISSN : 0014-3820. DOI : 10.1111/j.1558-5646.2010.00970.x. URL : https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2010.00970.x (visité le 04/02/2025).

[56] Pierre Rivière. *Croisement puis descendance.* 2021.

[57] Odette D. Weedon et al. "High Buffering Potential of Winter Wheat Composite Cross Populations to Rapidly Changing Environmental Conditions". In : *Agronomy* 13.6 (juin 2023). Number : 6 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 1662. ISSN : 2073-4395. DOI : 10.3390/agronomy13061662. URL : https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1662 (visité le 04/02/2025).

[58] Stéphanie Thépot et al. "Efficiently Tracking Selection in a Multiparental Population : The Case of Earliness in Wheat". In : *Genetics* 199.2 (1er fév. 2015), p. 609-623. ISSN : 1943-2631. DOI : 10.1534/genetics.114.169995. URL : https://doi.org/10.1534/genetics.114.169995 (visité le 04/02/2025).

[59] *Epi fertile de blé tendre dans la population magic.*

[60] *Epi stérile de blé tendre dans la population magic.*

[61] *Epi stérile de blé tendre marqué par une laine rouge dans la population magic.*

[62] *Epi stérile de blé tendre marqué par une laine rouge dans la population magic.*

[63] Pierre Rivière. *Croisement de populations puis descendance*. 2021.

[64] Hugo Iltis. *Gregor Mendel le 20 juillet 1822*. 1822. URL : https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1998-mendel-and-inheritance.

[65] Lise Malicet-Chebbah et al. *Réaliser des croisements chez le blé tendre*. 2019.

[66] Mathieu Thomas. "Gestion dynamique à la ferme de l'agrobiodiversité, relation entre la structure des populations de blé tendre et les pratiques humaines". Thèse de doct. Paris Diderot, 2011. 215 p.

[67] Henry Maull et John Fox. *Portrait de Charles Darwin*. 1854. URL : https://en.wikipedia.org/?title=Charles_Darwin#/media/File:Charles_Darwin_seated_crop.jpg.

[68] Charles Darwin. *De l'origine des espèces*. Ebooks libres et gratuits. 1859. URL : https://archive.org/details/darwin_de_l_origine_des_especes.

[69] Jérome Enjalbert et al. "Dynamic management of crop diversity : From an experimental approach to on-farm conservation". In : *Comptes Rendus. Biologies* 334.5 (2011), p. 458-468. ISSN : 1768-3238. DOI : 10.1016/j.crvi.2011.03.005. URL : https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/biologies/articles/en/10.1016/j.crvi.2011.03.005/ (visité le 20/05/2025).

[70] J. C. Dawson et al. "Phenotypic diversity and evolution of farmer varieties of bread wheat on organic farms in Europe". In : *Genetic Resources and Crop Evolution* 60.1 (1er jan. 2013), p. 145-163. ISSN : 1573-5109. DOI : 10.1007/s10722-012-9822-x. URL : https://doi.org/10.1007/s10722-012-9822-x (visité le 20/05/2025).

[71] Pierre Rivière. *Les forces évolutives dans une population*. 2019.

[72] Pierre Rivière. *Mélange Mètis issu de la récolte de Nico S. et cultivé dans la collection Mètis*. 2025.

[73] Pierre Rivière. *Mélange Mètis issu de la récolte de Jean-Phi et Isa et cultivé dans la collection Mètis*. 2025.

[74] Pierre Rivière. *Mélange Mètis issu de la récolte de David et cultivé dans la collection Mètis*. 2025.

[75] Mathieu Thomas et al. "Seed exchanges, a key to analyze crop diversity dynamics in farmer-led on-farm conservation". In : *Genetic Resources and Crop Evolution* 58 (1er mars 2011), p. 321-338. DOI : 10.1007/s10722-011-9662-0.

[76] Pierre Rivière. *Migration contrôlée dans le mélange Mètis pour maintenir la diversité*. 2019.

[77] Pierre Rivière. *Illustration de la migration dans la collection Mètis*. 2025.

[78] Pierre Rivière. *Illustration de la dérive dans la collection Mètis*. 2025.

[79] Zengcui Zhang et al. "Comprehensive analysis of Q gene near-isogenic lines reveals key molecular pathways for wheat domestication and improvement". In : *The Plant Journal : For Cell and Molecular Biology* 102.2 (avr. 2020), p. 299-310. ISSN : 1365-313X. DOI : 10.1111/tpj.14624.

[80] Pierre Rivière. *Illustration de la mutation dans la collection Mètis*. 2025.

[81] Jules Pizzeta. *Portrait de Jean-Baptiste Lamarck*. 1893. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_de_Lamarck#/media/Fichier:Jean-baptiste_lamarck2.jpg.

[82] Mathieu Thomas. *Exemple de topologie de réseau*. 2011.

[83] Mathieu Thomas et al. "On-farm dynamic management of genetic diversity : the impact of seed diffusions and seed saving practices on a population-variety of bread wheat". In : *Evolutionary Applications* 5.8 (déc. 2012), p. 779-795. ISSN : 1752-4571. DOI : 10.1111/j.1752-4571.2012.00257.x.

[84] Mathieu Thomas. *Schéma de répartition de la diversité génétique dans différents lots de Rouge de Bordeaux*. 2011.

[85] Abdul Rehman Khan, Isabelle Goldringer et Mathieu Thomas. "Management Practices and Breeding History of Varieties Strongly Determine the Fine Genetic Structure of Crop Populations : A Case Study Based on European Wheat Populations". In : *Sustainability* 12.2 (jan. 2020). Number : 2 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 613. ISSN : 2071-1050. DOI : 10.3390/su12020613. URL : https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/613 (visité le 13/05/2025).

[86] Mathieu Thomas et al. "Diversifying mechanisms in the on-farm evolution of crop mixtures". In : *Molecular Ecology* 24.12 (juin 2015), p. 2937-2954. ISSN : 1365-294X. DOI : 10.1111/mec.13214.

[87] Mathieu Thomas. *Fréquence des différents groupes génétiques au sein du mélange de Touselles*. 2015.

[88] Gaëlle van Frank et al. “Genetic Diversity and Stability of Performance of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding”. In : *Sustainability* 12.1 (2020). Number : 1 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 384. ISSN : 2071-1050. DOI : 10.3390/su12010384. URL : https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/384 (visité le 24/09/2024).

[89] Réseau Semences Paysannes. *Monographie de collectif : la SCIC Odyssée d'Engrain*. 2018. URL : http://ressources.semencespaysannes.org/bip/fiche-bip-311.html (visité le 13/05/2025).

[90] Réseau Semences Paysannes. *Monographie de collectif : Pétanielle*. 2018. URL : http://ressources.semencespaysannes.org/bip/fiche-bip-312.html (visité le 13/05/2025).

[91] Réseau Semences Paysannes. *Monographie de collectif : groupe blé de l'ARDEAR AURA*. 2018. URL : http://ressources.semencespaysannes.org/bip/fiche-bip-313.html (visité le 13/05/2025).

[92] Réseau Semences Paysannes. *Les Maisons des Semences Paysannes*. 2014. URL : http://ressources.semencespaysannes.org/document/fiche-document-243.html (visité le 13/05/2025).

[93] Estelle Serpolay et al. “Diversity of different farmer and modern wheat varieties cultivated in contrasting organic farming conditions in western Europe and implications for European seed and variety legislation”. In : *Organic Agriculture* 1.3 (1er sept. 2011), p. 127-145. ISSN : 1879-4246. DOI : 10.1007/s13165-011-0011-6. URL : https://doi.org/10.1007/s13165-011-0011-6 (visité le 20/05/2025).

[94] ITAB. *Carie du blé*. 2025. URL : https://itab.bio/thematique-en-details/carie-du-ble.

[95] Pierre Rivière. *L'intérêt des répétitions*. 2015.

[96] Pierre Rivière. *Première répétition du C14 sur la plateforme de Graine de Noé*. 2011.

[97] Pierre Rivière. *Deuxième répétition du C14 sur la plateforme de Graine de Noé*. 2011.

[98] Pierre Rivière. *Exemples de dispositifs expérimentaux*. 2020.

[99] Pierre Rivière. *Semis de la collection Mètis à Casseneuil*. 2024.

[100] Frédéric Latour. *Semis de la collection Mètis à Sigalens*. 2024.

[101] Frédéric Latour. *Semis de la collection Mètis à Bazens*. 2021.

[102] Pierre Rivière et al. “Mise en place d'une méthodologie de sélection participative sur le blé tendre en France”. In : 32 (2013), p. 427.441. URL : https://hal.science/hal-01512175v1/file/Vol32_Rivi%C3%A8re%20et%20al_%7B7B94508E-8402-4A29-A2DA-861D85066CD9%7D.pdf.

[103] Frédéric Latour. *Battage d'épis de la collection avec une batteuse à poste fixe*. 2023.

[104] Frédéric Latour. *Battage d'épis de la collection avec une batteuse à poste fixe*. 2024.

[105] Yannick De Oliveira et al. “SHiNeMaS : a web tool dedicated to seed lots history, phenotyping and cultural practices”. In : *Plant Methods* 16.1 (23 juill. 2020), p. 98. ISSN : 1746-4811. DOI : 10.1186/s13007-020-00640-2. URL : https://doi.org/10.1186/s13007-020-00640-2 (visité le 28/06/2025).

[106] Pierre Rivière. *Etapes au sein du réseau de fermes du projet de sélection participative sur les céréales entre l'INRA et le RSP*. 2015.

[107] Pierre Rivière et al. “Hierarchical Bayesian Modeling for Flexible Experiments in Decentralized Participatory Plant Breeding”. In : *Crop Science* 55.3 (2015). _eprint : https ://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2135/crops p. 1053-1067. ISSN : 1435-0653. DOI : 10.2135/cropsci2014.07.0497. URL : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2014.07.0497 (visité le 28/06/2025).

[108] Gaëlle van Frank et al. “Influence of experimental design on decentralized, on-farm evaluation of populations : a simulation study”. In : *Euphytica* 215 (20 juin 2019). DOI : 10.1007/s10681-019-2447-9.

[109] Michel Turbet Delof et al. “Bayesian joint-regression analysis of unbalanced series of on-farm trials”. In : *Peer Community Journal* 5 (2025). ISSN : 2804-3871. DOI : 10.24072/pcjournal.495. URL : https://peercommunityjournal.org/articles/10.24072/pcjournal.495/ (visité le 09/01/2025).

[110] Pierre Rivière et al. *PPBstats : An R package to perform analysis found within PPB programmes regarding network of seeds circulation, agronomic trials, organoleptic tests and molecular experiments*. Version 0.26. 2020. URL : https://github.com/priviere/PPBstats_web_site.

[111] Agropolis Fondation. *Ébauche de manuel pour les projets collaboratifs sur les semences entre organisations paysannes et institutions de recherche*. 2019. URL : https://projetcoex.sciencesconf.org/data/pages/Manuel_projets_collaboratifs_CoEx_1.pdf.

[112] Pierre Rivière. “Quelles manières prometteuses de faire de la recherche ?” In : (2023). URL : https://collectif-metis.org/index.php/2023/06/16/quelles-manieres-prometteuses-de-faire-de-la-recherche/.

[113] Salvatore Ceccarelli et Stefania Grando. “Evolutionary Plant Breeding as a Response to the Complexity of Climate Change”. In : *iScience* 23.12 (18 déc. 2020). Publisher : Elsevier. ISSN : 2589-0042. DOI : 10.1016/j.isci.2020.101815. URL : https://www.cell.com/iscience/abstract/S2589-0042(20)31012-9 (visité le 29/06/2025).

[114] Camille Vindras-Fouillet et al. “Sensory Analyses and Nutritional Qualities of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding”. In : *Agronomy* 11 (2021), p. 2117. DOI : 10.3390/agronomy11112117.

[115] Pierre Rivière. *Plan de semis dans des parcelles en production*. 2014.

[116] Pierre Rivière. *Méthodologie de la sélection mutualiste*. 2025.

[117] Pierre Rivière. *Evolution de la proportion d’épis issus de la sélection dans un mélange avec différentes quantités issues de la sélection mutualiste et une densité de semis de 150 kg ha*. 2025.

[118] Pierre Rivière. *Expérience de réponse à la sélection*. 2024.

[119] Pierre Rivière et al. “Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses”. In : *Renewable Agriculture and Food Systems* 30.2 (2015), p. 190-201. ISSN : 1742-1705, 1742-1713. DOI : 10.1017/S1742170513000343. URL : https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1742170513000343/type/journal_article (visité le 24/09/2024).

[120] Pierre Rivière. *Évolution entre les versions sélectionnées et non sélectionnées pour 38 populations et quatre variables. Figure traduite de l’article de Rivière et al 2013. Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses*. 2013.

[121] Gaelle van Frank. “Gestion participative de la diversité cultivée et création de mélange de blé tenre à la ferme”. Thèse de doct. Paris Saclay, 2018. 262 p.

[122] Pierre Rivière. *Dispositif simplifié de l’expérimentation sur les mélanges*. 2024.

[123] Julien Blanc, Léo Mariani et Djoulia Goueythieu. “Garder la mesure. Analogisme et relation au vivant en univers paysan”. In : *Techniques et Culture* (2025).

[124] *Champ d’une lignée pure de blé tendre*.

[125] Pierre Rivière. *Essais chez Graines de Noé*. 2011.

[126] Frédéric Latour. *Mélange Mètis cultivé à Barie*. 2024.

[127] Vilmorin-Andrieux. *Blé à épi carré*. 1880. URL : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k96777743.texteImage.

[128] Vilmorin-Andrieux. *Touzelle Anone*. 1880. URL : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k96777743.texteImage.

[129] *Blé poulard*.

[130] Olivier De Serres. *Le théatre d’agriculture et mesnage des champs*. 1804. 888 p. URL : https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9617551r.texteImage#.

[131] Oliver Crowley et al. “Is mass selection a tool to improve quality in winter wheat composite cross populations ?” In : 2013.

[132] Frédéric Latour. *Effet bordure sur les épis de blé poulards d’Auvergne (souche blanche) : le gros épi se trouvait en bord de champ alors que le petit se trouvait au milieu de champ*. 2024.

[133] Frédéric Latour. *Discussion sur les critères de sélection lors de la confection de bouquet dans le mélange mètis à Barie*. 2024.