



# Le développement de la sélection variétale du blé face aux défis du futur

**Dario Fossati**

125 ans de sélection du blé en Suisse romande





# Sommaire

1. La sélection du blé en Suisse, leçons du passé
2. Les défis
3. Les nouveaux outils
4. Conclusion





# Sommaire

1. Les défis de la sélection
2. Les nouveaux outils





# Les défis de la sélection

- 1. Définir des objectifs de sélection pertinents** Prévoir l'avenir à une échéance d'au moins 10-15 ans (pour le blé) !
- 2. Avoir accès à une grande diversité génétique, l'explorer ou la créer**
- 3. Utiliser tous les outils techniques existants et efficaces**
- 4. Gérer les moyens à disposition**
- 5. Trouver les meilleurs accès aux marchés**



# Les défis de la sélection

## 1. Définir des objectifs de sélection pertinents:

Pourquoi améliorer ?, pour qui ?, pour quelle utilisation ?

- La plante
  - Hybrides ?, propagation végétatives ?, **autogame** / allogame ? Y
- L'environnement de la plante
  - **Le climat**
    - Les risques abiotiques les plus fréquents, les plus risqués ? ??
  - Lieux ?, Fertilité du sol ? Y
  - **Intrants utilisables** (**herbicides**, fongicides, **traitements des semences**, ... ) (?)
  - Techniques culturales (**extenso – bio – PER**; mécanisation, No-till, TCS, agroforesterie, utilisation de robots,...) Y ?
- L'environnement «humain»
  - Politique agricole, soutien étatique ??
  - Utilisations (fourrage, **biscuit**, **panification**, autres...) Y
  - Besoins des **transformateurs** (meunerie, boulangerie) et des **consommateurs** Y ?
  - Substitutions possibles Y



# Les défis de la sélection,

## Le climat

- Une augmentation très rapide de la température et du CO<sub>2</sub> → Période de végétation plus courte (-20 jours en 40 ans à Changins) et des stades plus précoces
- Des années très variables
  - 2012 hiver froid, dégâts de gel
  - 2013 très peu de lumière pendant la méiose, pertes de fertilité
  - 2014 hiver très doux, records de température, de manque de soleil au milieu de l'été, de précipitations en juillet
  - 2015 nouveau record de chaleur en été, forte précipitations en mai
  - 2016 premier semestre très pluvieux,
  - 2017 orages violents, gelées nocturnes record en avril,
  - 2018 automne (2017) très doux, record de chaleur, été caniculaire, sécheresse
  - 2019 automne (2018) très doux, record de chaleur en juin,
  - 2020 tempêtes hivernales, sécheresse en avril, pluies en juin
  - 2021 intempéries en fin août et octobre (2020), hiver doux, fortes pluies, printemps froid, été humide, grêle
  - 2022 très chaud et sec, année record, hiver doux, 4ème printemps le plus chaud, 2ème été le plus chaud, une des 10 années les moins pluvieuses
  - 2023 Pluies abondantes en automne (2022) à l'ouest, très sec et chaud en été

→ Quelle est la meilleure phénologie ? Quelles résistances abiotiques :

- au gel (variabilité génétique forte, certaines variétés résistent à moins 30°C)
- au sec (quel type de sécheresse, variabilité modérée, moins de pertes est-ce suffisant ?)
- au chaud (lié au sec, variabilité génétique relativement faible)
- à l'excès de pluies (germination sur pied, QTL de résistance en phase de déploiement),
- aux faibles radiations pendant méiose (recherche de QTL en cours)

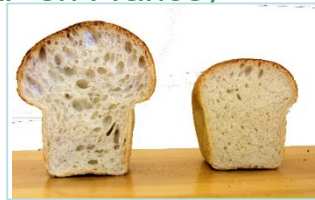


# Les défis de la sélection

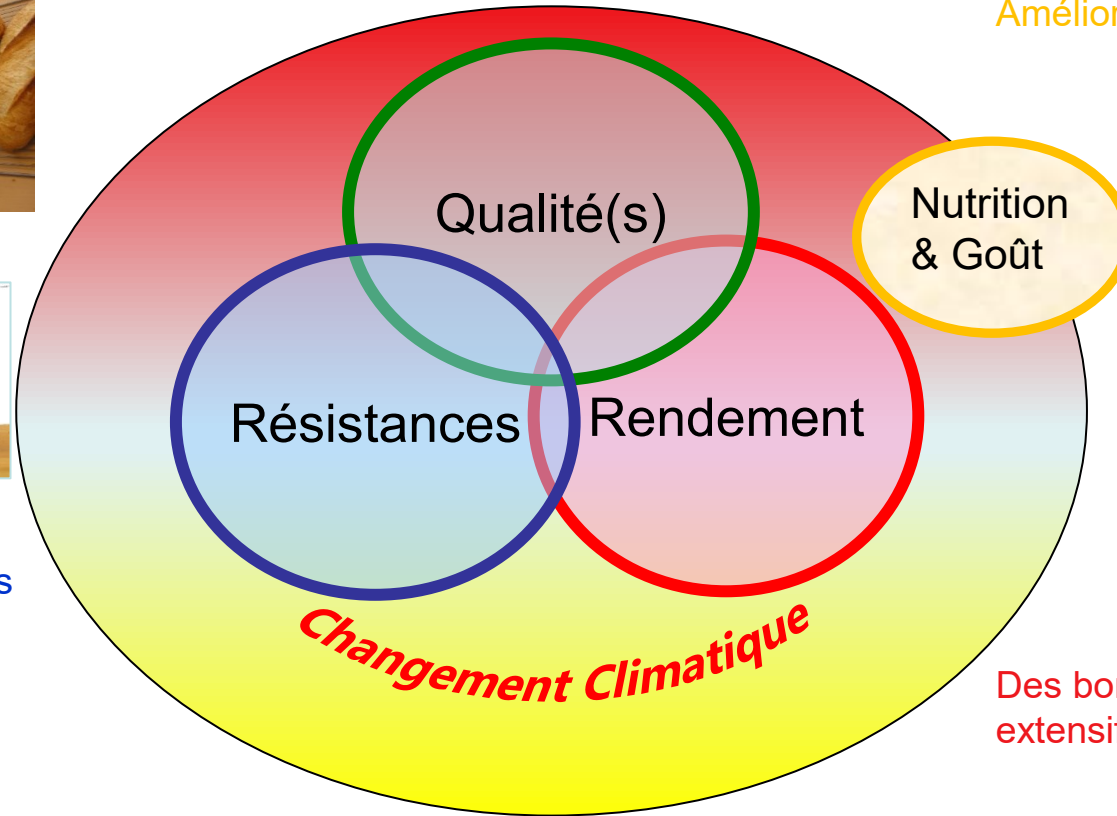
## 1. Définir des objectifs de sélection pertinents



Leader en Suisse pour les qualités Top et 1 (30% des cv BAF en France)



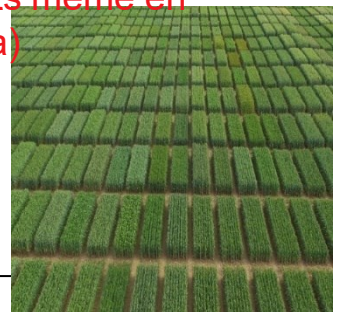
Résistances suffisantes pour la culture en « extenso » dans 85% des situations (helvétiques)



Amélioration des valeurs nutritives

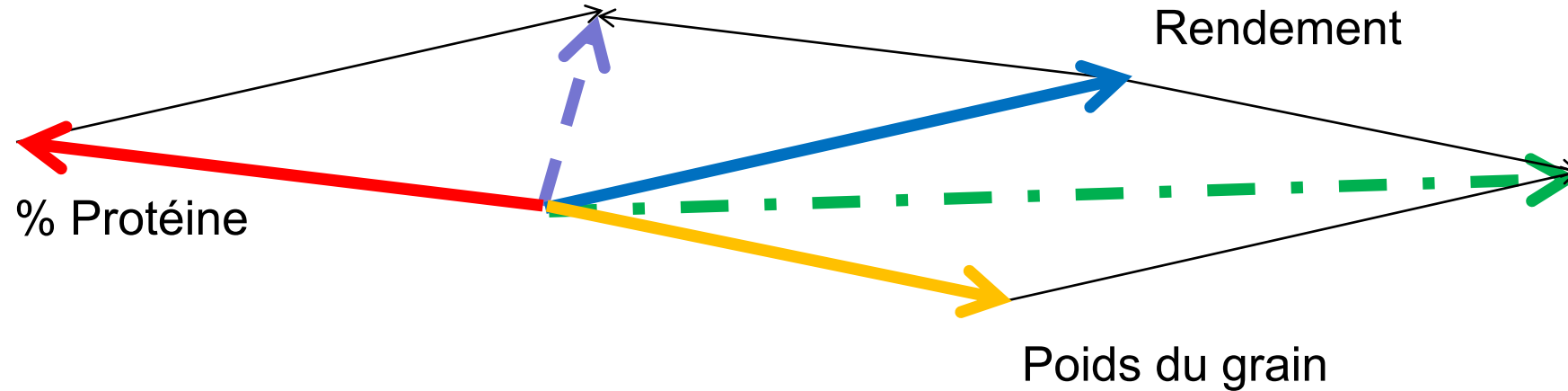


Des bons rendements même en extensif (~130 UN/ha)





# Sélectionner c'est ... un pari sur le futur et des compromis sur les objectifs



Trop de buts → peu de progrès

Décathlonien <> Spécialiste

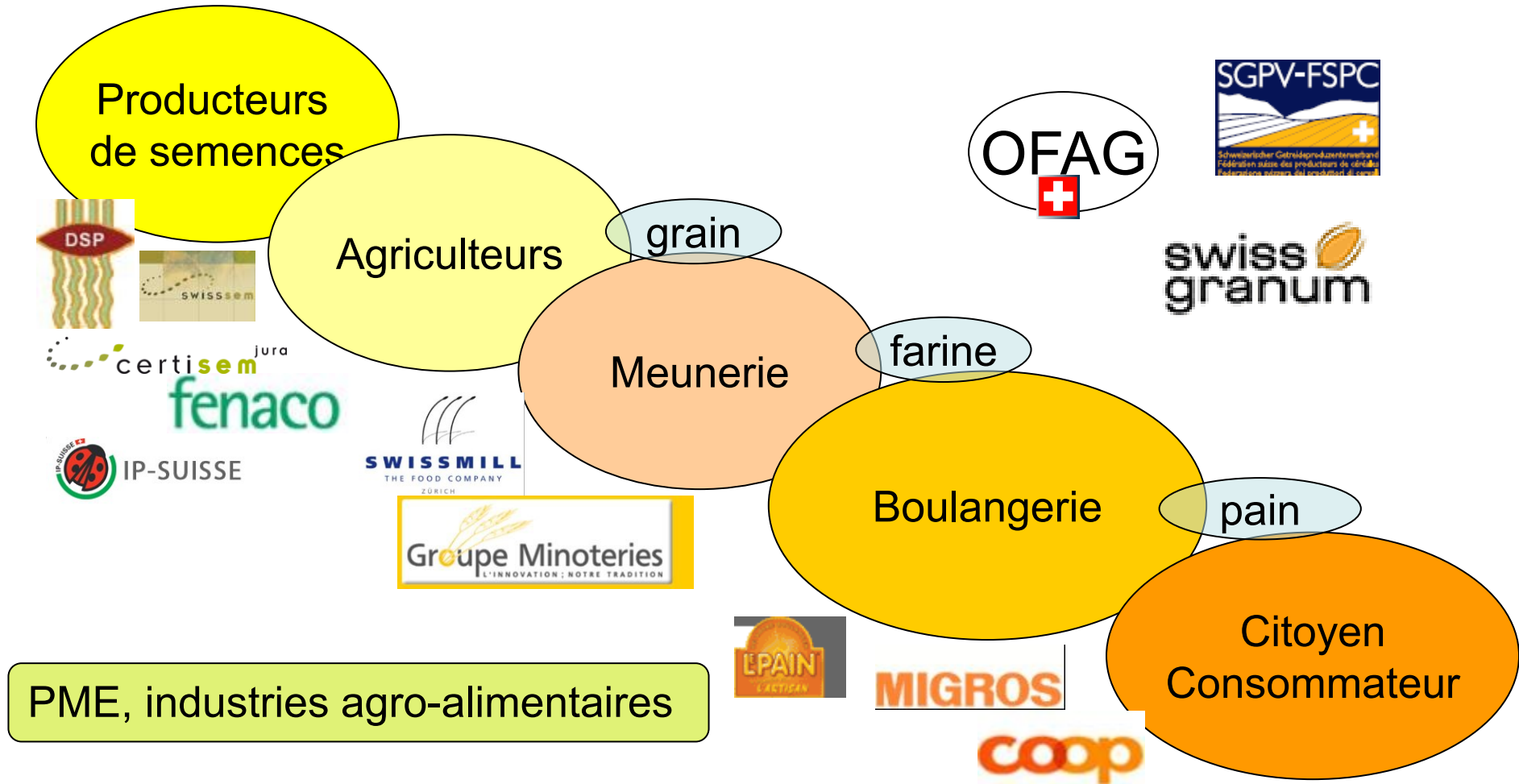
(sprinter, lanceur, sauteur, marathonnier, ...)





# Les défis de la sélection

1. Définir des objectifs de sélection pertinents, être en adéquation avec toute la filière





# Les défis de la sélection

## 2. Avoir accès à une grande diversité génétique, l'explorer ou la créer

### Créer de la diversité

- **Par croisements (dans le blé)**
- **Par croisements interspécifiques.**  
Ré-explorer la diversité des espèces ancêtres ou apparentées au blé (p.ex. blés «synthétiques», ...)
- Par mutagenèse traditionnelles ou par NBT (CRISPR-Cas9), par activation des transposons
- Par édition du génome

### Explorer la diversité

- **Echanges de lignées et de variétés entre sélectionneurs (avant et après inscription)**
- A travers les pépinières internationales (CIMMYT, ICARDA)
- A travers des projets de recherches entre sélectionneurs (p.ex projets EU, FSOV)
- Rechercher des gènes dans la diversité des variétés locales (banques de gènes)



### Accès à la diversité

- **UPOV** <> Patent
- Sélectionneurs traditionnels <> Firmes «chimiques» multinationales
- NAGOYA, Traité International



# Les défis de la sélection

## 3. Utiliser tous les outils techniques existants et efficaces

### Veille sur l'évolution des techniques

«Il faut les utiliser aussi vite que possible, mais aussi lentement que nécessaire»

- Cytogénétique (autrefois occasionnellement) ~1960
- Mutagénèse (dans les années 70', occasionnellement) ~1960
- Culture in-vitro et variation somaclonales (quelques tentatives) ~1980
- Haploïdes doublés (régulièrement, pas en routine) ~1980
- *Transgénèse (anciens OGM)* (recherche, pas en sélection) ~1985
- Marquage moléculaire et recherche de QTL's (en routine) ~1985
- Sélection et «back-cross» assistés par marqueurs (en routine) ~1990
- «Speed breeding» & SSD («Single Seed Descend») (occasionnellement) ~2000
- Sélection génomique, Bioinformatique (en routine depuis 2018) ~2012-2018
- Phénotypage par drones, phéno-mobiles, etc... (pas encore convaincant) ~2015
- *«New Breeding Technologies» (p.ex. CRISPR-Cas9)* (pas encore autorisé...) ~2015
- Activation de transposons (au labo d'Etienne Bücher) ~2020

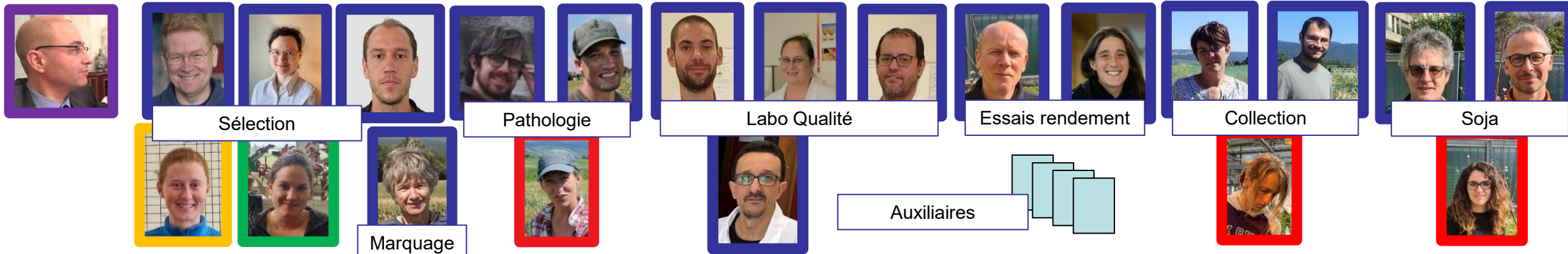


# Les défis de la sélection

## 4. Gérer les moyens à disposition

La sélection demande des investissements importants

- Personnel
  - Nombre
  - Il faut un long apprentissage pour maîtriser les techniques
  - Les travaux exigent de la concentration, de la rigueur sur de longues séries répétitives (préparation des semis, notations, récoltes, analyses, croisements)
  - Besoins de personnels auxiliaires en été





# Les défis de la sélection

## 4. Gérer les moyens à disposition

- Infrastructures
  - Terrains: **Choix primordial des lieux de sélection.** L'idéal est une sélection itinérante («shuttle breeding») entre lieux représentatifs et contrastés. P.ex: Vouvry pour les maladies, Changins pour le climat plus sec et chaud, tous le plateau pour les tests de rendement, etc...
  - Serres (et contre saisons): pour accélérer la sélection, pour la pathologie
  - Laboratoires: internes (analyses de routine et recherche) & externes (technologies coûteuses et évoluant rapidement)
  - Machines: Les machines pour la sélection sont coûteuses
  - Bâtiments: Locaux techniques, de stockage, des chambres froides
- Consommables parfois chers (p.ex. marquage moléculaire)



# Les défis de la sélection

## 5. Trouver les meilleurs accès aux marchés

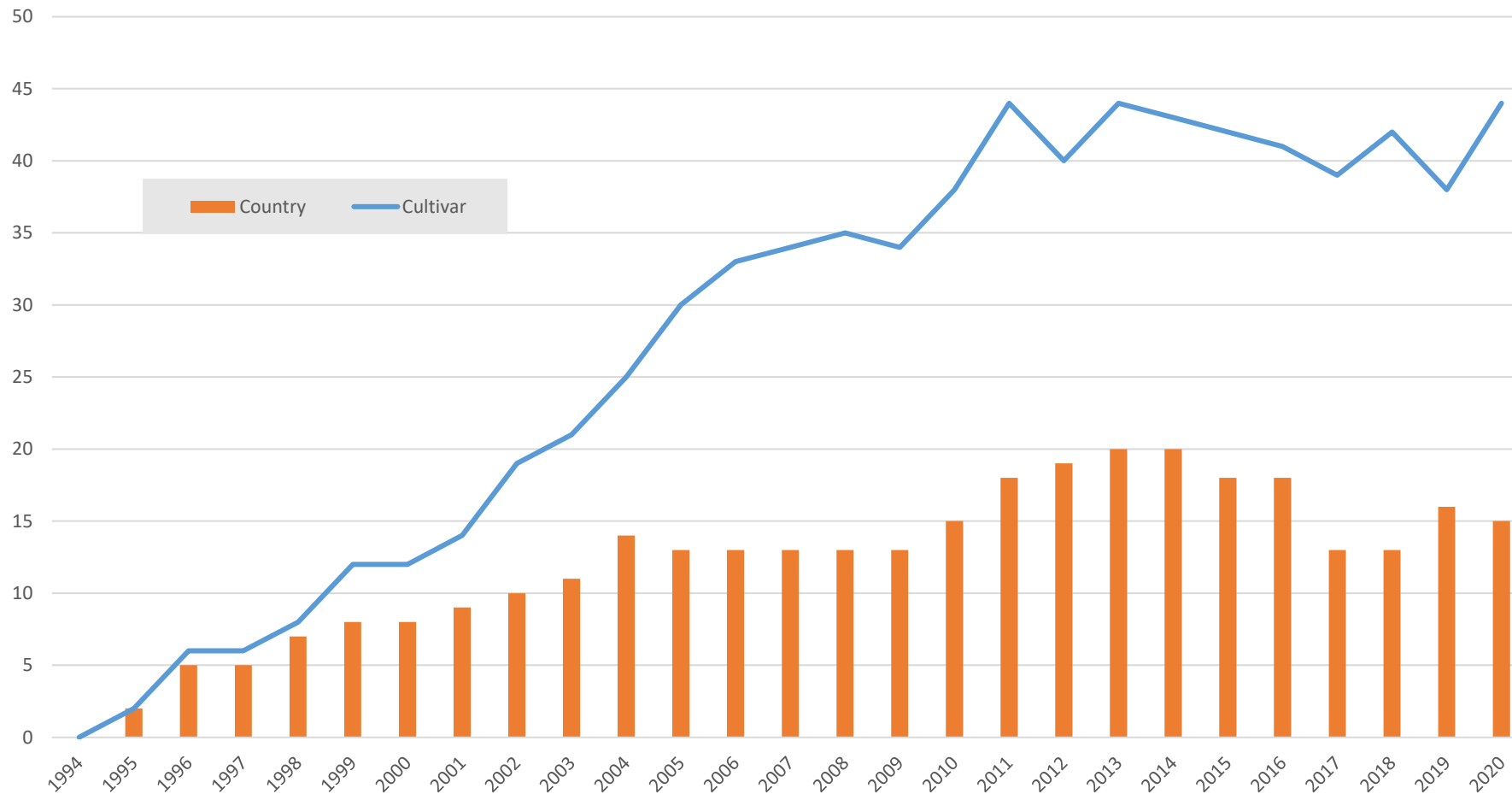
- Collaborer avec des développeurs en Suisse (DSP) et à l'étranger (via DSP, de nombreux partenaires)
- Intérêts communs entre sélectionneurs et partie commerciale, il faut échanger les informations
- Le sélectionneur doute, cherche les défauts <> le commerciale met en avant les qualités des variétés
- Si possible éviter les concurrences entre sélectionneurs au sein du partenaire qui développe nos variétés (difficile)
- Avoir des partenaires de confiance
- Bien connaître les besoins de l'aval, ne pas les imaginer à priori !
- Explorer des territoires plus lointains, exploiter toute les possibilités des variétés





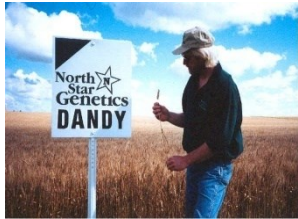
# Développement commerciale ... marchés étrangers

Nombre de variétés Agroscope-DSP à l'étranger et nombre de pays avec présence de ces variétés





# A l'étranger



**Quarna**



**BAKKER**  
SPRING WHEAT





# Les nouveaux outils

Quatre exemples

1. La sélection génomique

Capturer l'effet de tous les gènes

**Prédire** la performance sur la base du génome

2. Le phénotypage haut-débit (drones, phénomobiles, ...)

**Mesurer** avec plus de précision, plus vite, plus efficacement, **des traits d'intérêt** ...presque prêt pour la sélection (Hyphen-Literal ?)

3. Le «speed-breeding»

**Accélérer la sélection**: 4 générations en 14 mois (blé d'hiver) et peut-être encore plus avec le forçage de la vernalisation ... infrastructure coûteuse

4. L'édition du génome (p.ex. CRISPR/Cas-9)

**Créer de la diversité** par une mutation ponctuelle, (une seule !)  
... frein réglementaires



# Principes de la GS

2

Y. ZHAO, M. F. METTE AND J. C. REIF

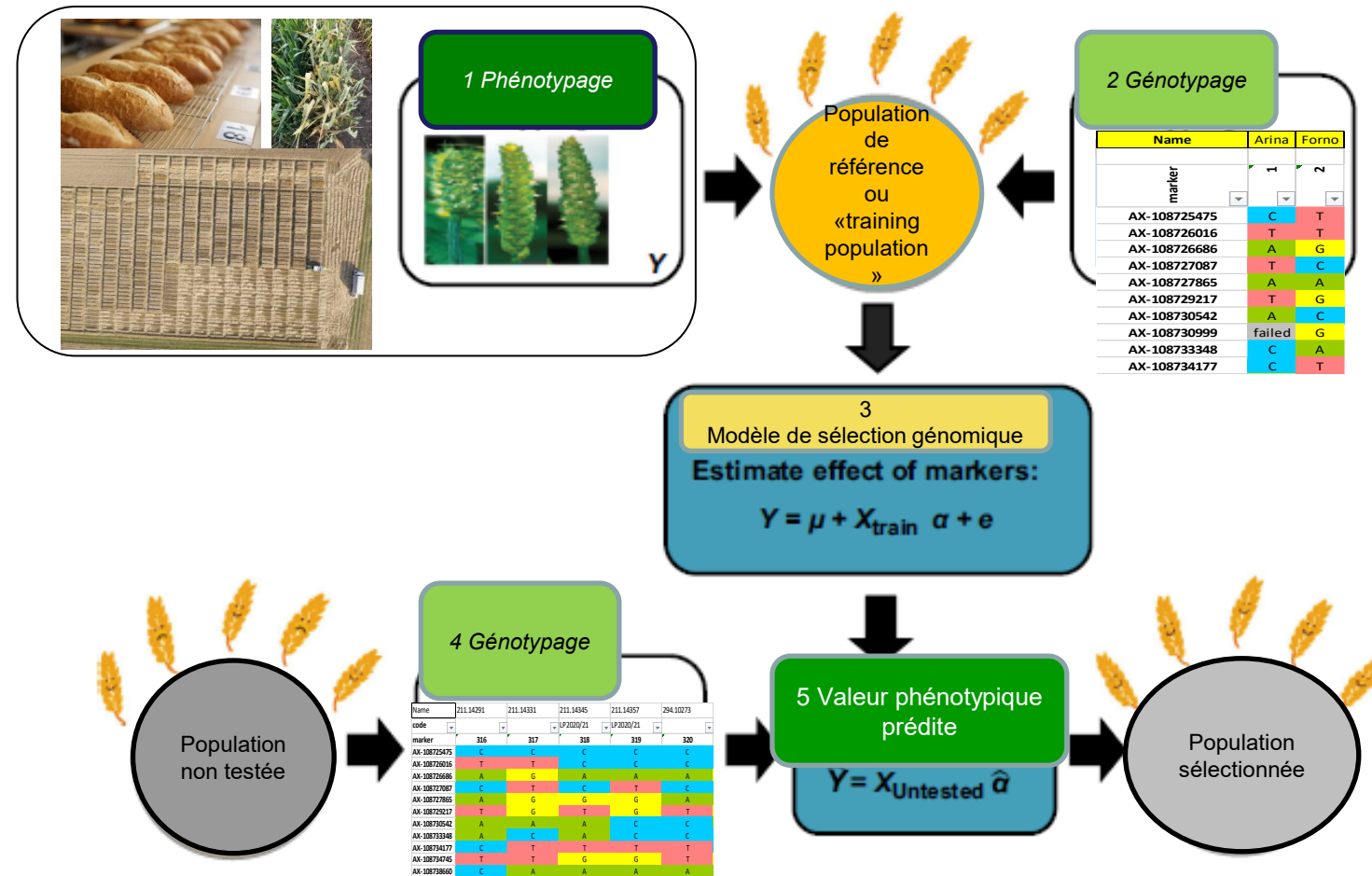


Fig. 1: Principle of genomic selection. Genomic selection follows a two-step process. First, phenotypic and genotypic data are collected in a training population and effects are estimated for all molecular markers on this basis (top). Second, members of untested populations are solely genotyped and then selected based on their expected phenotypes according to the marker effects estimated in the training population (bottom).



# Principes de la GS

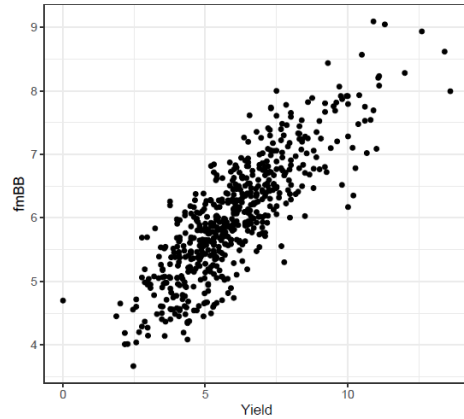
## Attention aux limites de la GS:

- Si des gènes ne sont **pas** (ou très rarement) présents dans la population de référence alors ces gènes ne seront pas pris en compte par le modèle
  - Si tous les individus de la population de référence ont le **même** gène, il ne sera non plus pris en compte par le modèle
- Il faut que la population de référence soit:
- **La plus divers possible mais pas trop éloignée de la population de travail**
  - La GS est efficace et le modèle «s'épuise» assez vite s'il n'est pas «rafraîchi». On atteint «le mieux du possible» pronostiqué par le modèle.
  - Les différents modèles statistiques sont moins importants que la qualité du phénotypage et surtout du nombre d'individus phénotypés (qui est toujours largement inférieur au nombre de marqueurs !)

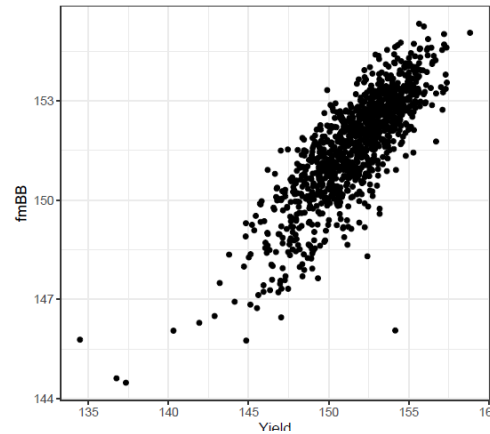


# GS 2021 - 2022

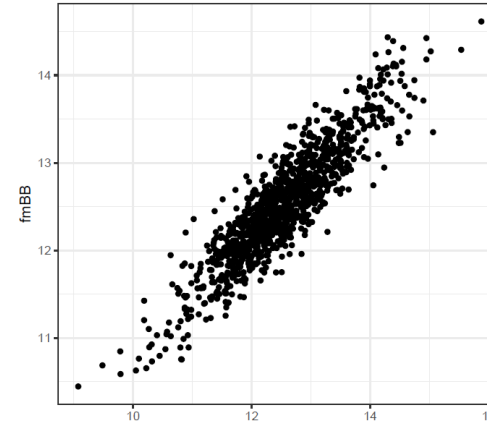
Résistance de la pâte  
cor.=0.835 n=582



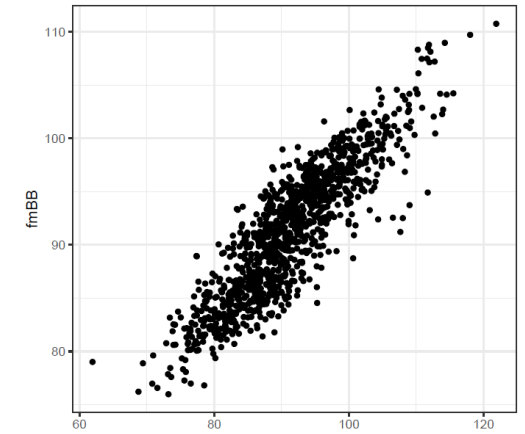
Epiation cor.=0.821  
n=1135



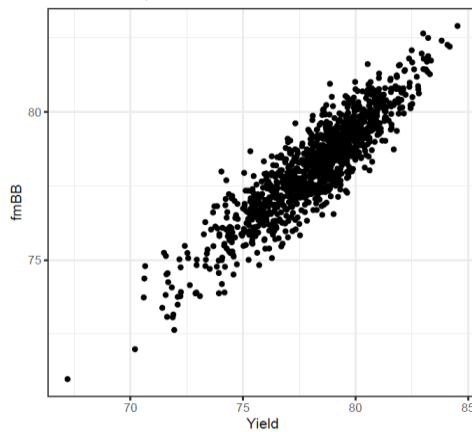
Protéine % cor.=0.906  
n=1135



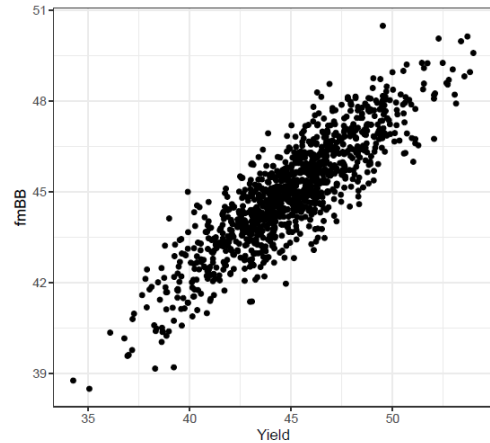
Hauteur de plante  
cor.=0.883 n=1135



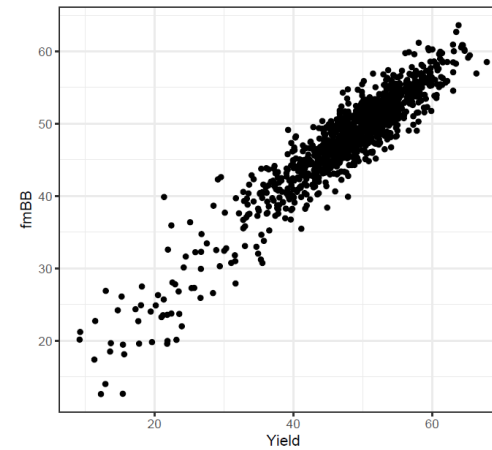
PHL cor.=0.897 n=1135



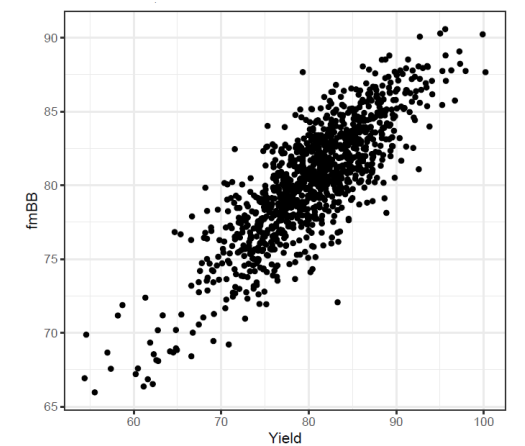
PMG cor.=0.870 n=1135



Zéleny cor.=0.937 n=1135



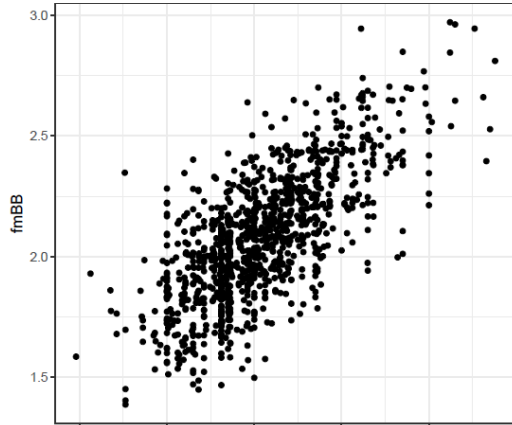
Rendement cor.=0.830 n=1135



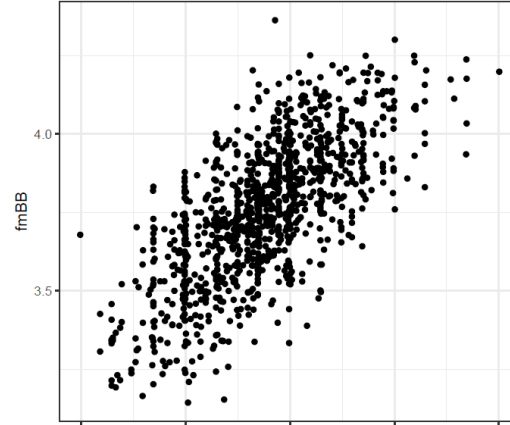


# GS 2021 - 2022

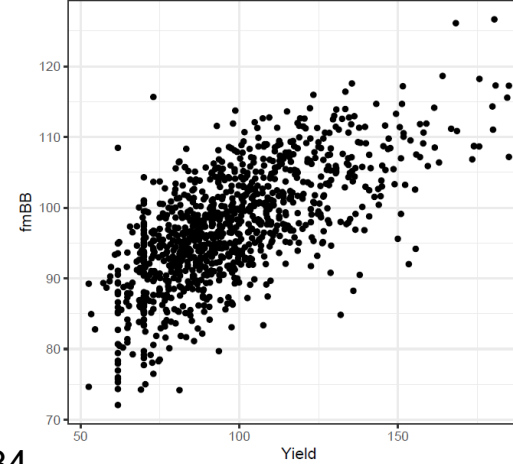
Note Fusariose cor.=0.711  
n=1079



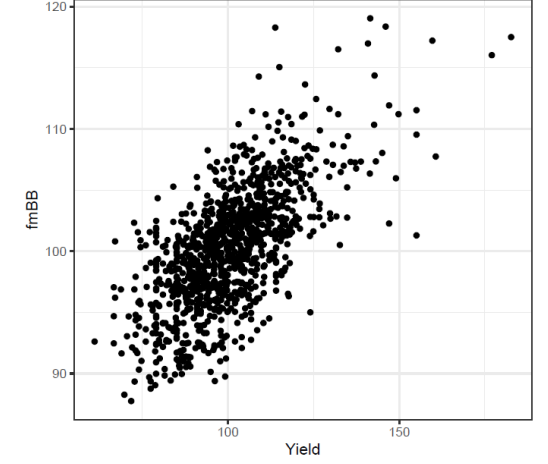
Note Oïdium cor.=0.696  
n=1081



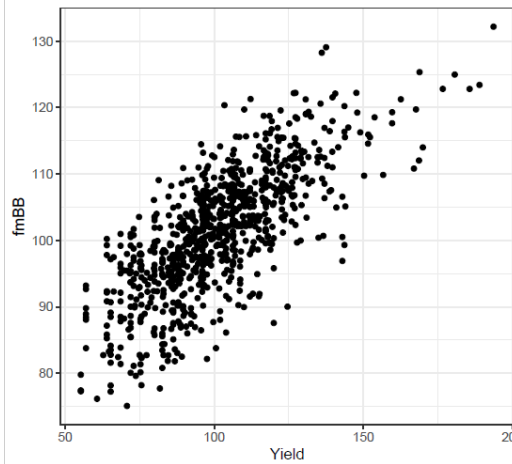
Septoriose épi cor.=0.678  
n=1065



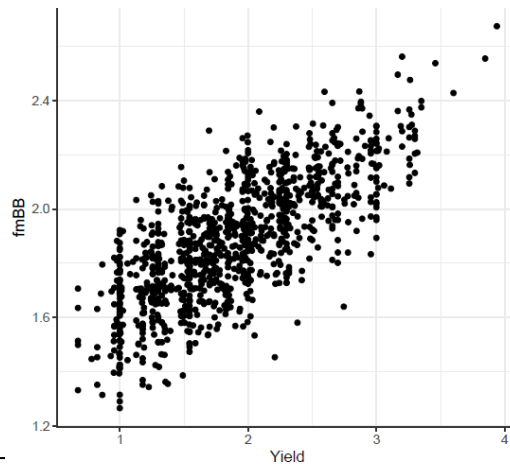
Septoriose feuille  
cor.=0.668 n=1072



Septoria tritici cor.=0.743 n=864



Rouille jaune cor.=0.748 n=1034

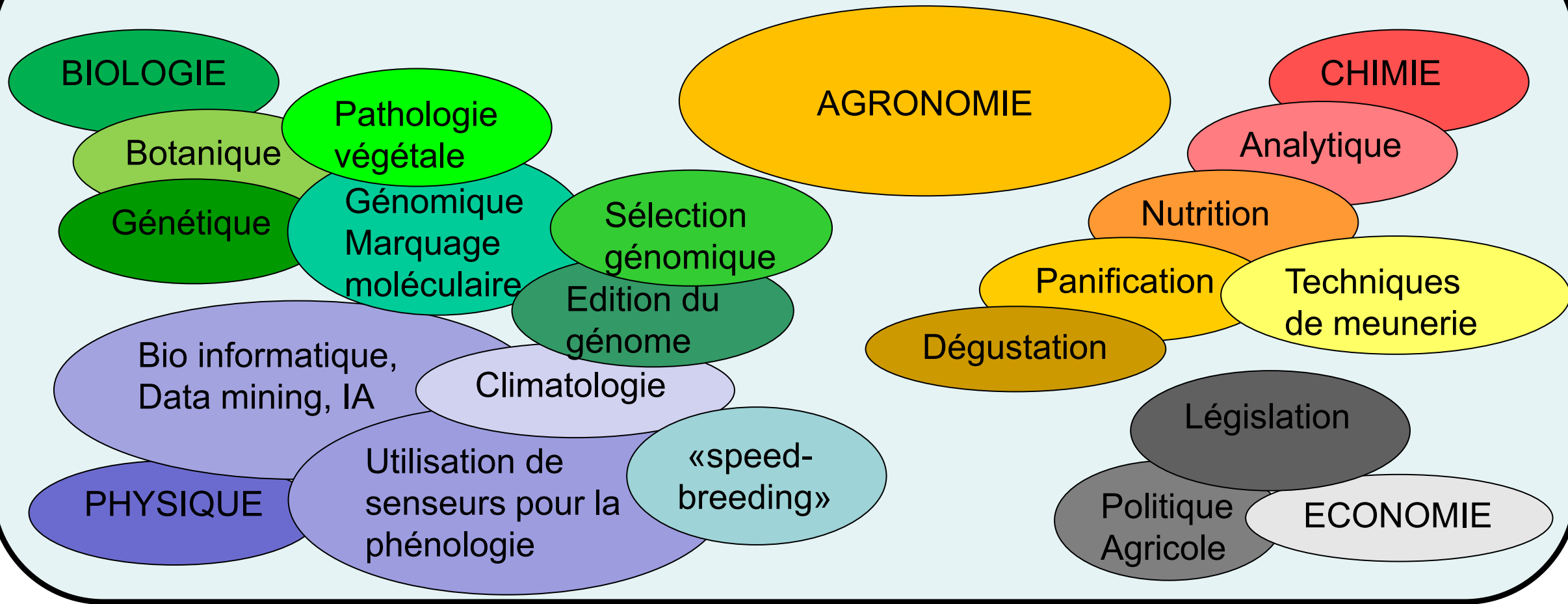


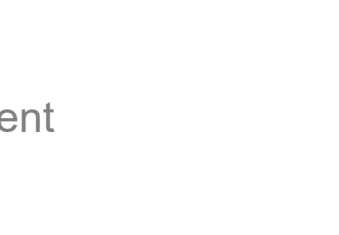
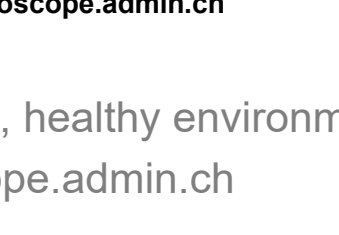
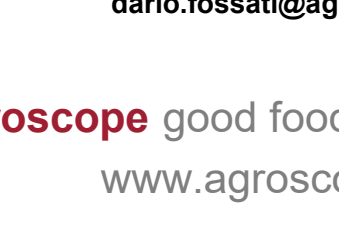
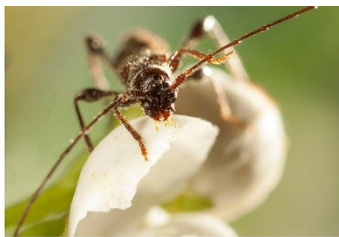
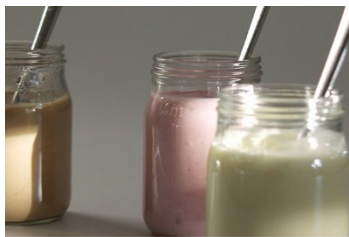
Sélectionneurs ASS  
D. Fossati



# Les défis de la sélection

Le sélectionneur est un intégrateur de connaissances et de techniques:





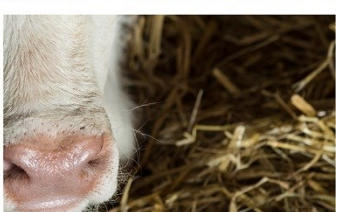
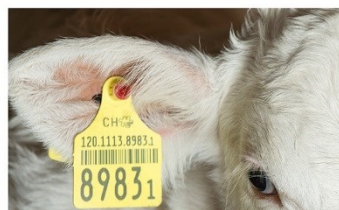
**Merci pour votre attention**

**Dario Fossati**

dario.fossati@agroscope.admin.ch

**Agroscope** good food, healthy environment

www.agroscope.admin.ch





# En Suisse, le début de la sélection

Des populations de blés dont sont issues les **variétés locales** (fin XIX - début XX<sup>ème</sup> siècle):

- Petit Rouge du pays
  - Blanc du Jorat, Bretonnières, Vuiteboeuf, Baulmes, ...
- Blanc du pays (Blanc précoce, Blanc de Savoie)
  - Haute-Broye, Peissy, Pailly, Rouge de la Venoge,...
- Blé d'Altkirch
  - Rouge de Gruyère, Rouge de Cernier, Rouge de Vaumarcus,...
- Blés du pays Grison
  - Plantahof, Rothenbrunner,...
- Blés du pays zürichoïsis
  - Strickhof,...
- Erlacher Weizen (Rütti)
  - MC XXII (1913), Barbut du Tronchet

3 variétés locales du Jura en collection : Belprahon, Jura Blanc, Rouge du Jura

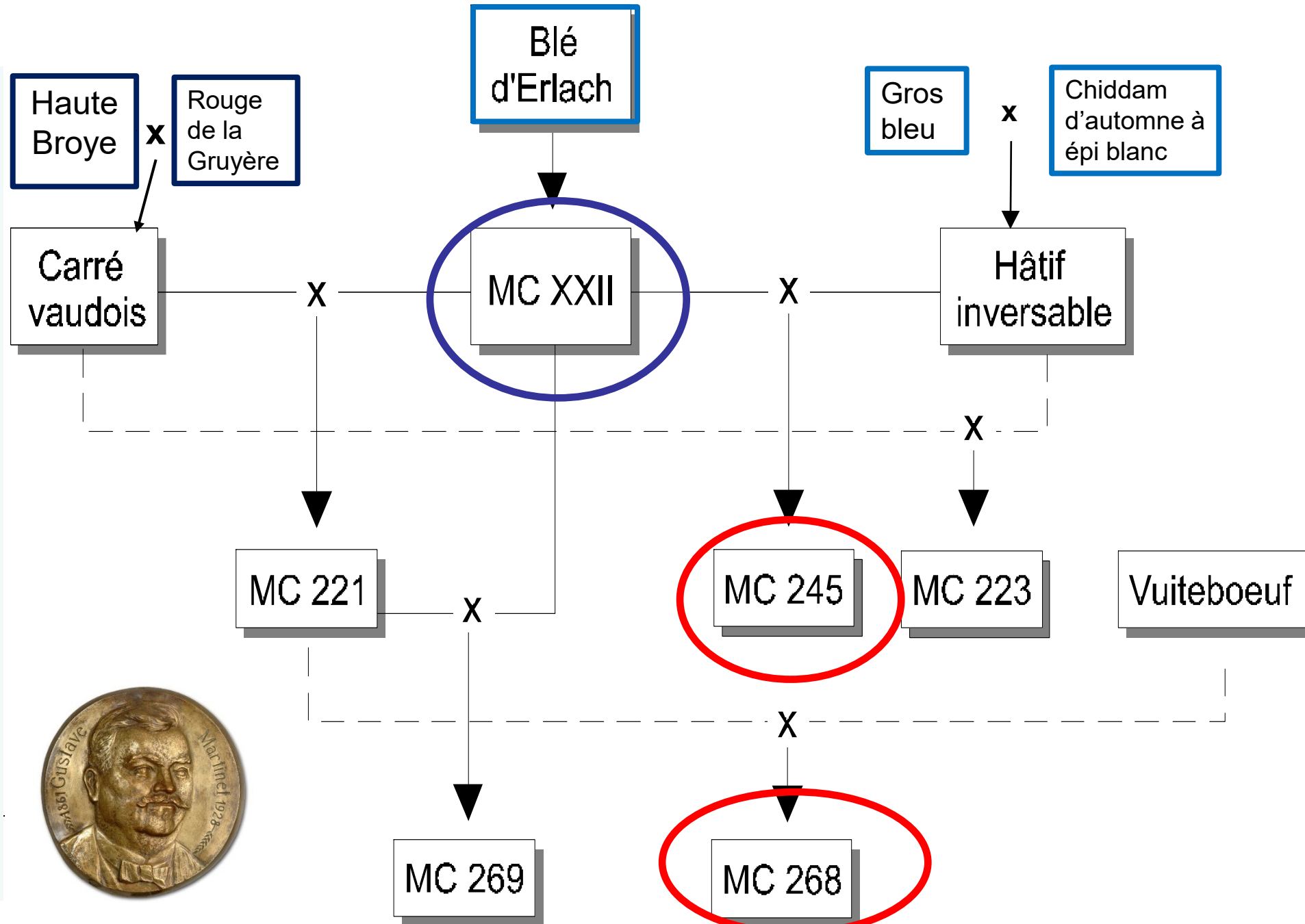




1. **Sélection participative**, pas de croisements, des variétés locales améliorées

2. Sélectionneurs, croisements spécifiques

3. Structures administratives (enregistrement, lois sur les semences, UPOV, Catalogue national, ...)





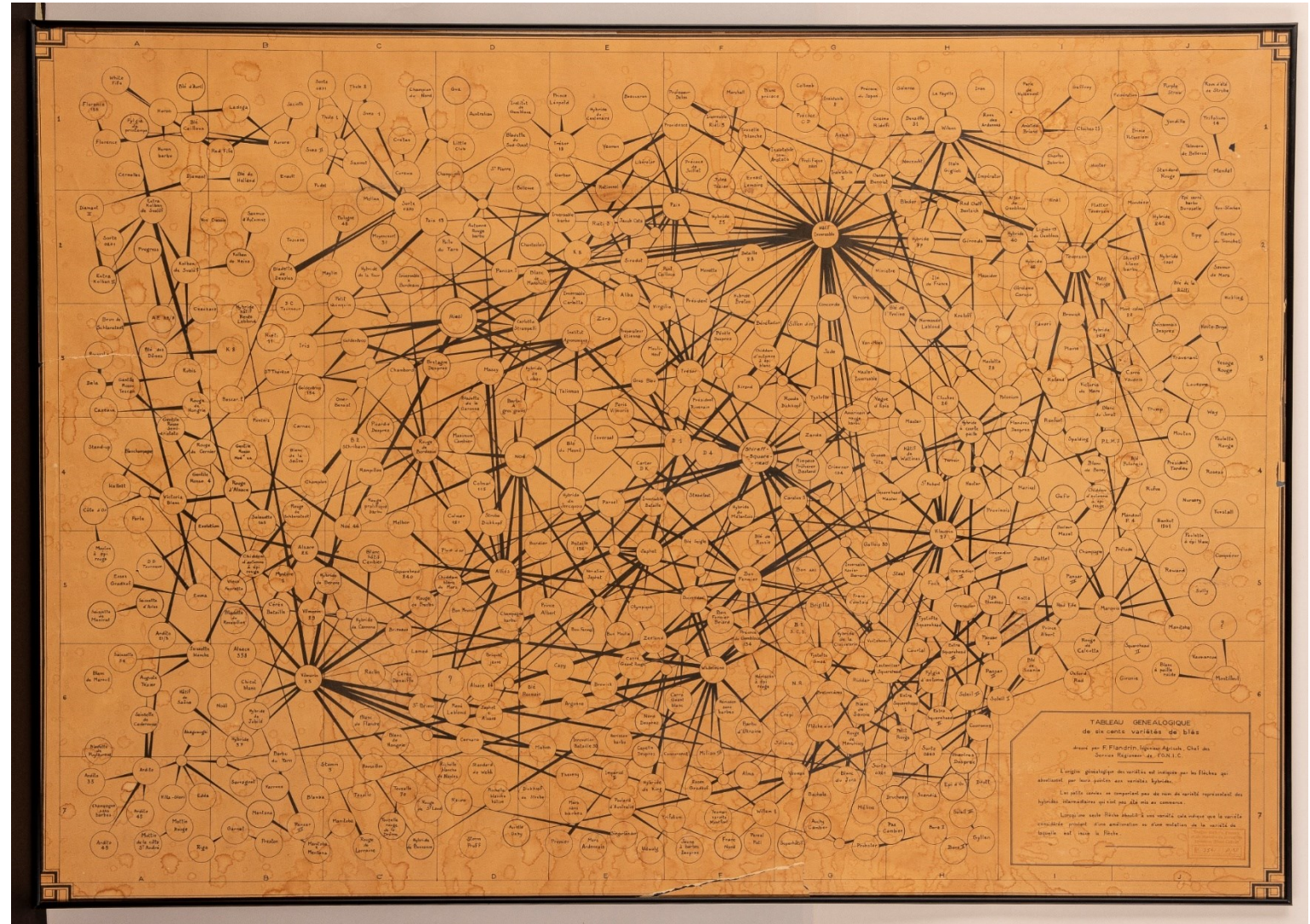
# La sélection au début du XX<sup>ème</sup> siècle

Livret (125 p) et poster :  
«Les Blés de Semence»

F. Flandrin (Chef des  
Services Régionaux de  
l'O.N.I.C), 1949.

Plus de 550 variétés de blé  
et leur ascendance, dont  
~156 variétés locales  
~51 variétés sélectionnées  
dans ces populations

De plus de 20 pays



Sélectionneurs ASS  
D. Fossati



# Le début de la sélection du blé (selon le «World Wheat Book», Vol. 3)

Année	Pays	Sélectionneur ou lieu
<b>EUROPE</b>		
1790	GBR	Knight, premier croisement connu du blé
1856	France	L. de Vilmorin
1860	Poland	Peplowski
1865	Hungary	Mokry and Szilvay
1873	GBR	Sheriff
1875	Germany	Rimpau
1886	Netherland	Broekema
1886	Sweden	von Neergard Gyllenkrok and Welinder
1898	Switzerland	Martinet
1900	Italy	Strampelli
1901	Austria	Tschermark
1904	Ireland	Dublin
1910	Russia	Rudzinski
1911	Bulgaria	Ivanov
1912	Ukraine	Sagepin and Yuryev
1913	Norway	Vik
1914	Romania	Ionescu-Sisesti

Année	Pays	Sélectionneur ou lieu
<b>ASIA</b>		
1893	Japan	Tokyo
1904	India	Howard and Howard
1910	Korea	Suwon
1914	China	Reisner
1925	Turkey	Eskisehir
1933	Iran	Varamin Institute

<b>AFRIQUE</b>		
1902	South Africa	Neetling
1907	Kenya	Delamere and Evans
1920	Morocco	
1923	Tunisia	

Année	Pays	Sélectionneur ou lieu
<b>AMERIQUE DU NORD</b>		
1877	USA	Vermont
1887	Canada	Saunders

<b>AMERIQUE CENTRALE ET DU SUD</b>		
1912	Argentina	Backhouse
1937	Brazil	Camoinas
1945	Mexico	Borlaug

<b>AUSTRALIE-PACIFIQUE</b>		
1889	Australia	Farrer
1920	NZL	Canterbury

# Blés célèbres

- Hâtif inversable

(Gros Bleu x Chiddam d'automne)

Parent de 57 acc.



- Shireff-Square-Head

Parent directe de 16 acc.



- Rieti, Ardito, Mentana

Parent direct de 17 acc.



- Vilmorin 23 & 27

Parent direct de 23 & 22 acc.



- Noé (Gros-bleu, Japhet, Rouge de Bordeaux)

Parent direct de 10 acc.



- Alliés

Parent direct de 20 acc.



- Wilhelmine

Parent direct de 20 acc.



- Teverson

Parent direct de 12 acc.



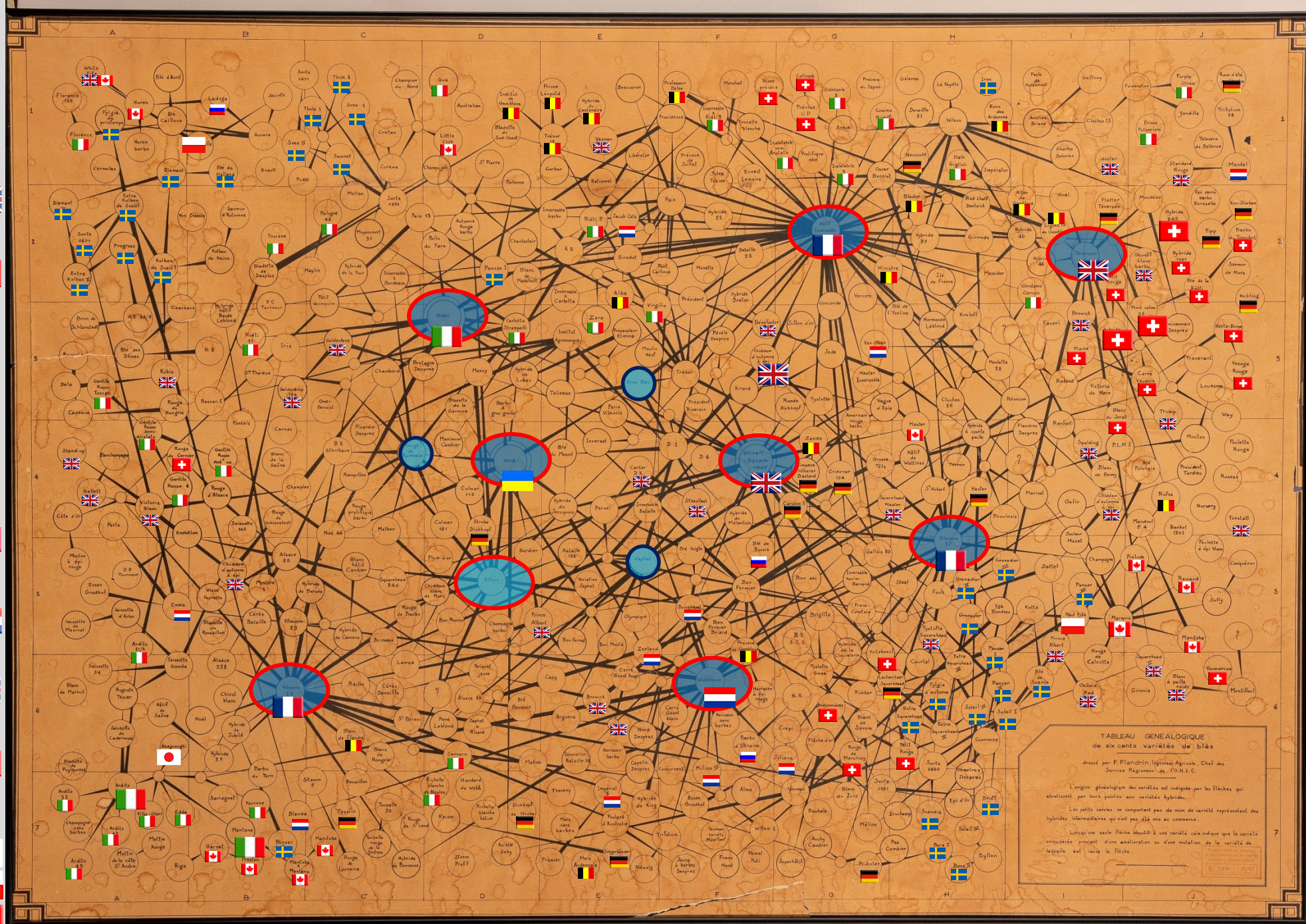
- Mont-Calme

- Swedish cultivars

- Akagomughi

- Red Fife

- Marquis





# Sélectionneurs du poster de 1949

Autrefois 65 Sélectionneurs. Aujourd'hui : plus que 16 dans le secteur des semences, mais **seulement 9** sont encore des sélectionneurs de blé

Country	Breeder (or location)	Breeder (or location)
France	Alliot	Lafite
	Bataille	Lasserre
	Belloy	Legland
	<b>Benoist</b>	<b>Lemaire</b>
	Blondeau	M. Maylin
	Bonte	M. Rabaté
	Bormans	<b>Maison Florimond Desprez</b>
	Bretignières	Maisse,UGA
	C. de Carbonnières	Mandoul
	Cambier	Nicolas
	Cazeaux	P.Genay
	Coop. De Brie	Parisot
	Crépin	Prof Schribaux
	Denaiffe	René Leblond
	Dromigny et Hamel	<b>St.Clermont / INRAe</b>
	Ets Georges Laurent	St.Dijon / INRAe
	Ets Tourneur Frères	St.Waningen
	Fernand Lepeuple	Sta.Colmar / INRAe
	Fondard	Tézier Frères
	Garnod	<b>Vilmorin-Andrieux / Limagrain</b>
Hermant		
IRA Versailles / INRAe		

Country	Breeder (or location)
<b>AUS USA</b>	Farrer
<b>BEL</b>	<b>Gembloux</b>
<b>CHE</b>	<b>Gustave Martinet/Agroscope</b>
<b>CND</b>	Saunders
<b>DEU</b>	Heine Krafft <b>Leutewitz / DSV</b> Rimpau <b>Strube</b>
<b>GBR</b>	Bamham Biffen Cambridge Bormans Carter King Sherriff Teverson

Country	Breeder (or location)
<b>HUN</b>	Bankuti
<b>ITA</b>	Avanzi Passerini <b>Sta.Rieti / CREA ?</b> Strampelli Todaro
<b>NLD</b>	Brokema
<b>SWE</b>	<b>Svalöf / Lantmännen</b>



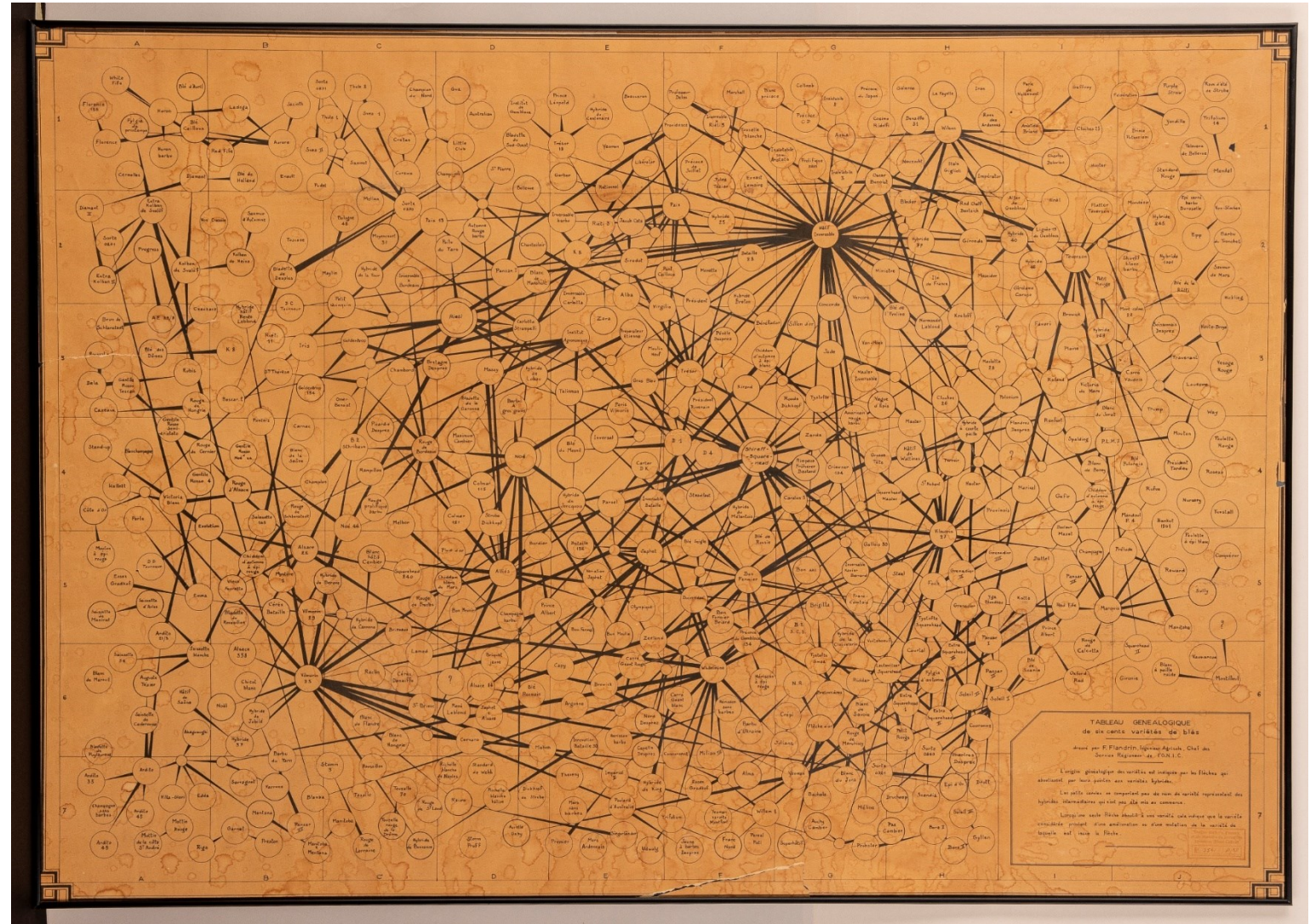
# Le début de la sélection

Des échanges très nombreux à travers toute la planète (même sans email ou poste rapide)

Des variétés fondatrices

De nombreux sélectionneurs

~79% de ces blés sont toujours conservés (vérification dans 5 banques de gènes)



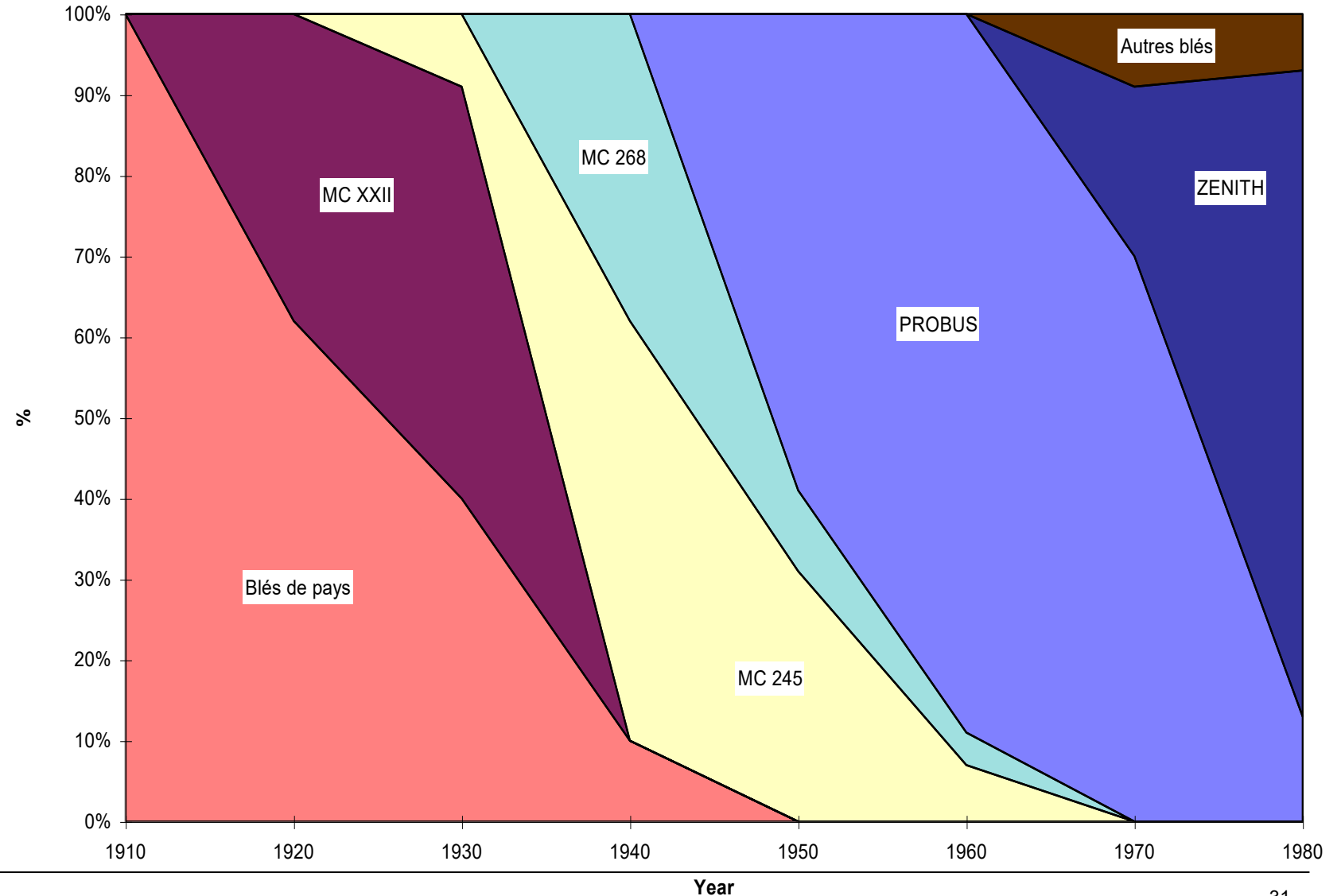
Livret (125 p) et poster : «Les Blés de Semence» F. Flandrin (Chef des Services Régionaux de l'O.N.I.C), 1949. Plus de 550 variétés de blé et leur ascendance.

Sélectionneurs ASS  
D. Fossati



# Part des variétés en Suisse romande

- Les blés de pays cèdent la place au MC XXII dès 1910 et disparaissent en 1950 en Suisse romande
- Les premières variétés issues de croisements ciblés lui succéderont. Mont-Calme 245 et 268 sont les variétés de blé du « plan Wahlen »
- Inscrit en 1949, la variété Probus sera quasiment en situation de monopole entre 1960-1970 malgré sa sensibilité à la rouille jaune



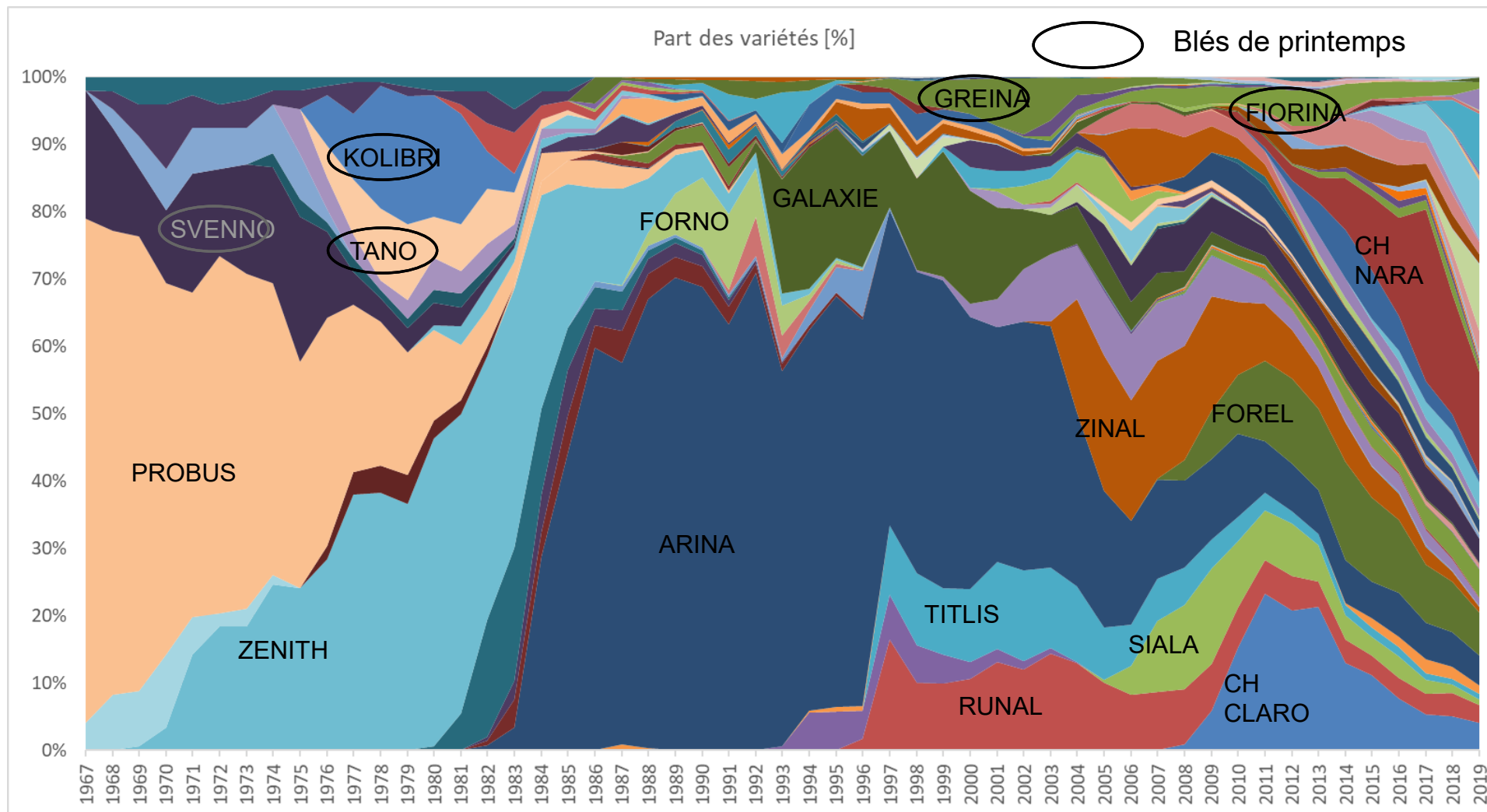


# Par des blé en Suisse (1967-2019), basé sur les ventes de semence certifiées

## Variétés No 1:

MC 245, 268,  
Probus, Zénith,  
Arina, Zinal, CH  
Claro, CH Nara,  
Montalbano

Les variétés de blé  
de printemps qui ont  
dépassés 10% des  
ventes ont été  
semées aussi en  
automne.







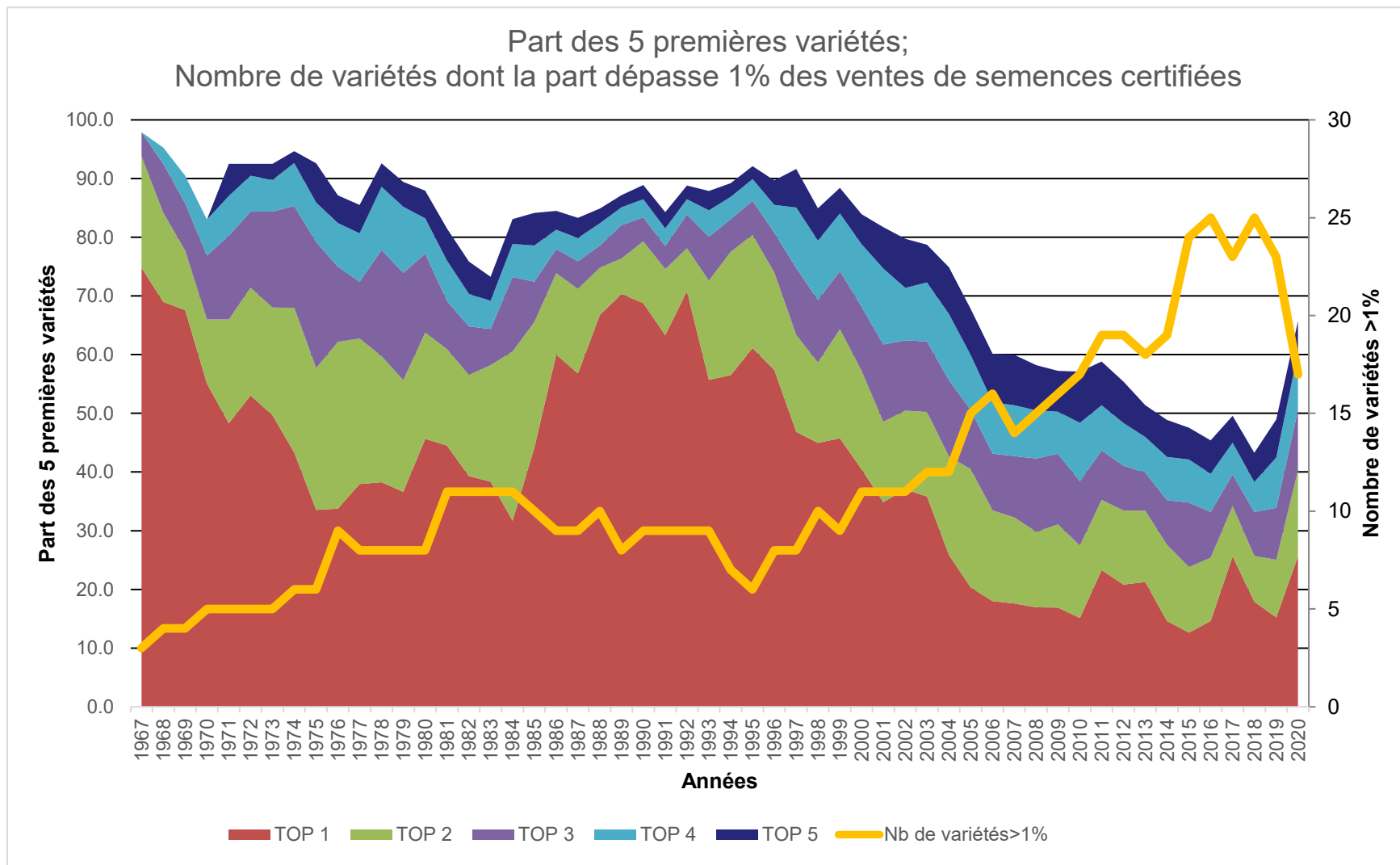
# Diversité des variétés

Depuis les années 60' le nombre de variétés sur le marché a fortement augmenté.

De moins de 10 en 1967 à plus de 100 variétés sur le Catalogue National actuellement (et de 2518 sur le Catalogue européen)

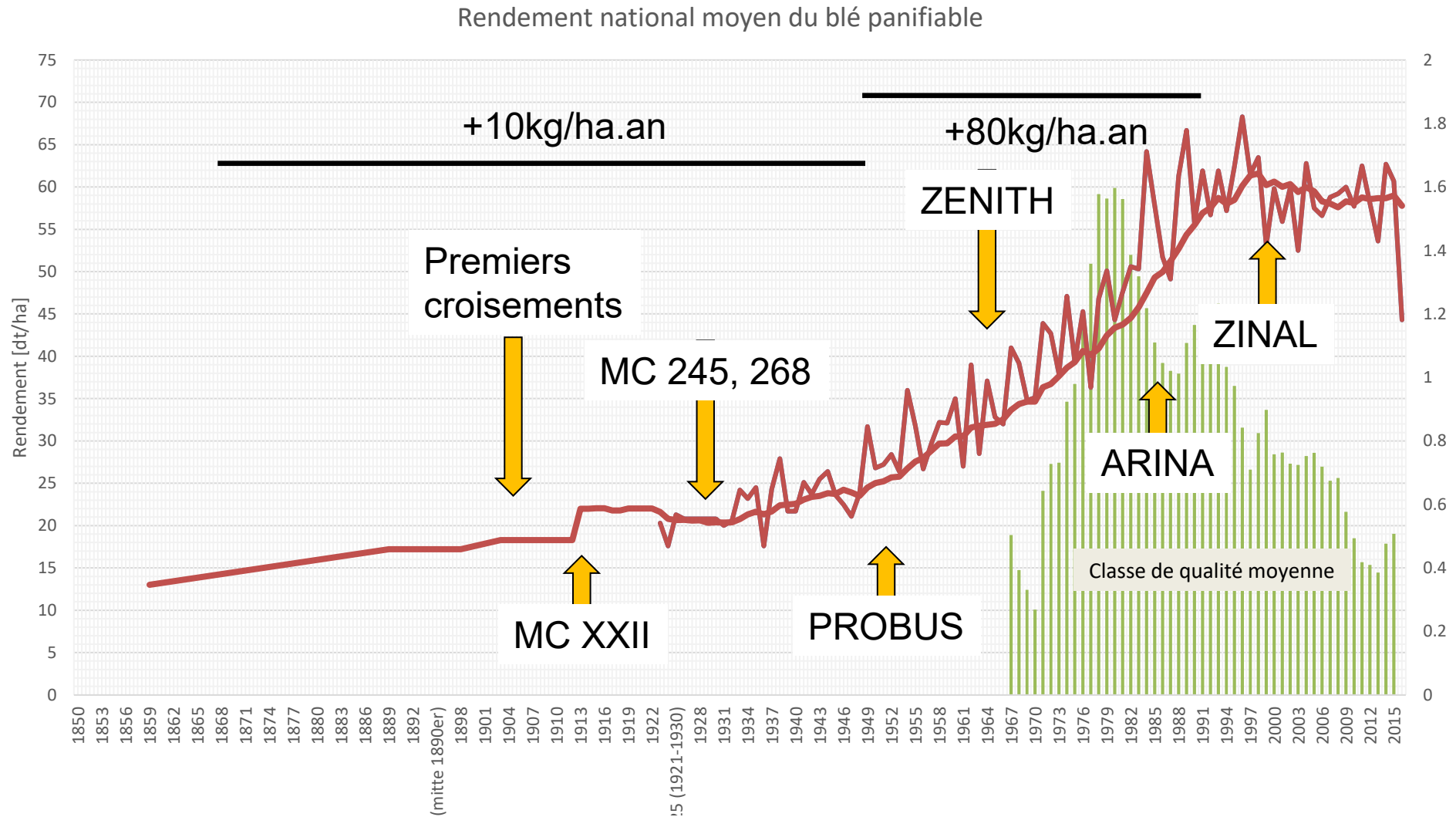
La part des 5 premières variétés est passé de 100% à ~50%

Mais moins de 25 variétés dépassent 1% des ventes





# Le progrès de sélection



La sélection est efficace. De 33 à 63% du progrès est attribuable à la sélection.



# Quelques particularités de la sélection en Suisse

La sélection du blé a commencé à la station de contrôle des semences situé à Mont-Calme, puis également à Oerlikon. Jusqu'en 1989, la sélection du blé est conduite en commun entre les deux stations (qui déménageront à Changins et à Reckenholz).

De 1989 à 1999 chaque station a son propre programme de sélection du blé. Depuis 1999 toute la sélection des céréales à paille d'Agroscope est assurée uniquement par Changins.

Jusqu'en 1999, la Régie Fédérale des Blés avait le monopole d'achat du blé. La Confédération donnait des impulsions à la production (prix des classe, paiements directs), au choix des variétés et donc aussi indirectement aux objectifs de sélection → **renforcement des objectifs de résistances (« extenso »)**



# Quelques particularités de la sélection en Suisse

Dès les années 50' un programme de sélection du blé de printemps a complété le programme de sélection du blé d'automne

→ **élargissement du pool génétique utilisable**

→ **synergies entre les deux programmes**

Depuis 2014 un projet tripartite avec DSV, DSP et Agroscope a permis de renforcer la sélection, en particulier du blé de printemps, et d'accéder plus efficacement aux marchés étrangers

La sélection du triticales (6x) a démarré à Changins en 1976 et a accompagné dès 1984 l'introduction de cette culture en Suisse. Pour se concentrer sur le blé, le programme sera arrêté en 2012 (manque de moyens).

La sélection de l'épeautre est arrêtée à Reckenholz car les variétés améliorées par des croisements avec le blé ne sont que faiblement adoptées.



# Les leçons du passé

## **Définir les besoins**

Une sélection proche des agriculteurs facilite l'adoption rapide du progrès génétique

## **Avoir une grande diversité**

Une sélection n'est possible qu'avec des échanges nombreux entre sélectionneurs

Malgré un nombre élevé de variétés à disposition le marché se concentre sur un petit nombre d'entre elles