



Les défis de la sélection du blé

Dario Fossati

>125 ans de sélection du blé en Suisse romande





Sommaire

1. La sélection du blé en Suisse, leçons du passé, inscriptions
2. Les défis
3. Les nouveaux outils
4. Les objectifs pour le futur





Sommaire

1. Les défis de la sélection
2. Les nouveaux outils
3. Le détail des objectifs futurs





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

Fin XIX^{ème}, effondrements des prix du blé, surface céréalière n'est plus que de 40% de celle de ~1850

1898 Début de la sélection du blé en Suisse par Gustave Martinet à Mont-Calme

Légende: **GRAS MAJUSCULE** = variété suisse (Agroscope/DSP)

souligné = variété étrangère

italique = blé de printemps

blanc = variété dominante

part de marché des variétés des «Stations Fédérales» puis d'Agroscope/DSP

x%



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 ?
- L'environnement de la plante

Y



• **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**, nouilles, bière, autres...)

??

Y



- Besoins des **transformateurs** (meunerie, boulangerie) et des **consommateurs**
- Substitutions possibles !!

Y ?

Y

1902 Abolition des taxes douanières sur le blé → baisse considérable de l'autosuffisance (**politique !**)

1904 Premiers croisements par Gustave Martinet

(innovation, anticipation)

➔ Les défis de la sélection,

Le climat

- Une augmentation rapide de la température et du CO₂ → Période de végétation plus courte

→ 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
- 2024 **Pluies abondantes** dès fin octobre (beaucoup de semis tardifs, très tardifs), brève période **chaude** suivie de **frais (gel d'épis)** et de **pluies incessantes**, **très peu de lumière en particulier les mois de mai et juin**



→ 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 (anoxie, germination sur pied, QTL de résistance en phase de déploiement)
- aux faibles radiations pendant méiose (recherche de QTL en cours)

1909 Fondation du premier syndicat de sélectionneurs, l'ASS (structures de multiplication, filières !)

1913 Mise sur le marché de variétés issues de sélection massale : **Mont-Calme XXII, Carré Vaudois**

autres variétés en Suisse à cette époque : Plantahof, Rothenbrunner, Strickhof

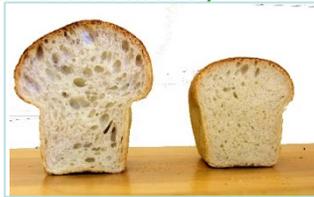


Les défis de la sélection

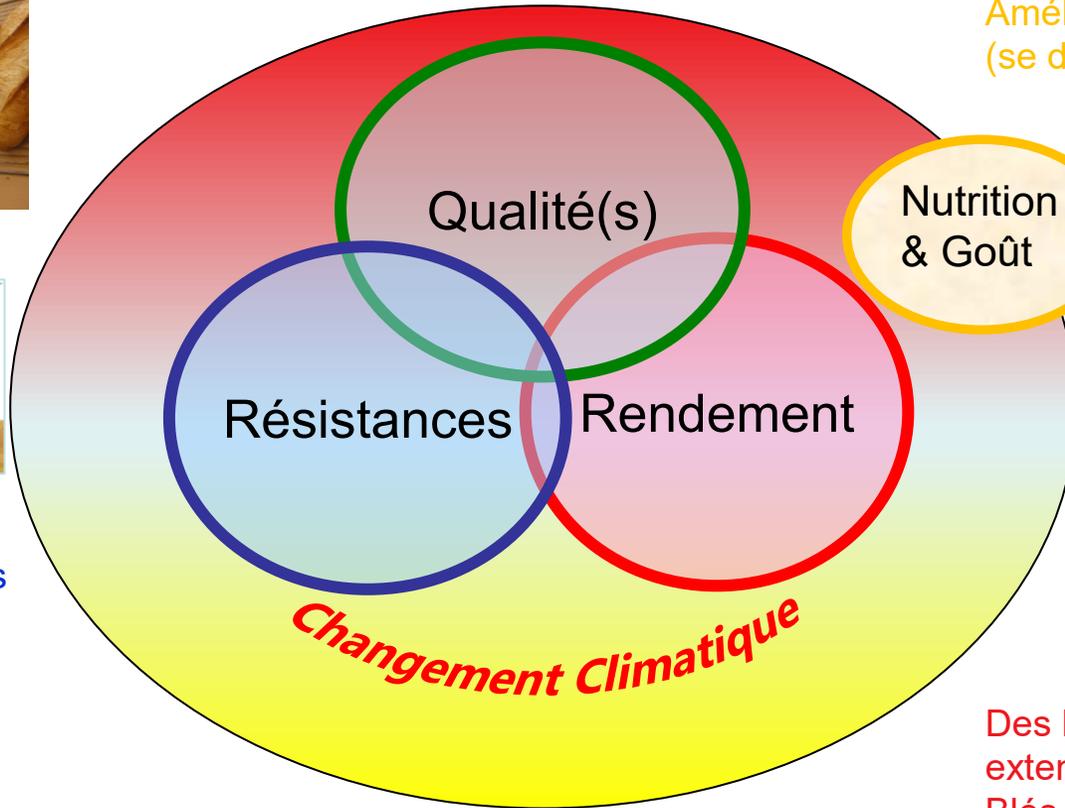
1. Définir des objectifs de sélection pertinents



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 (se démarquer sur cet aspect)



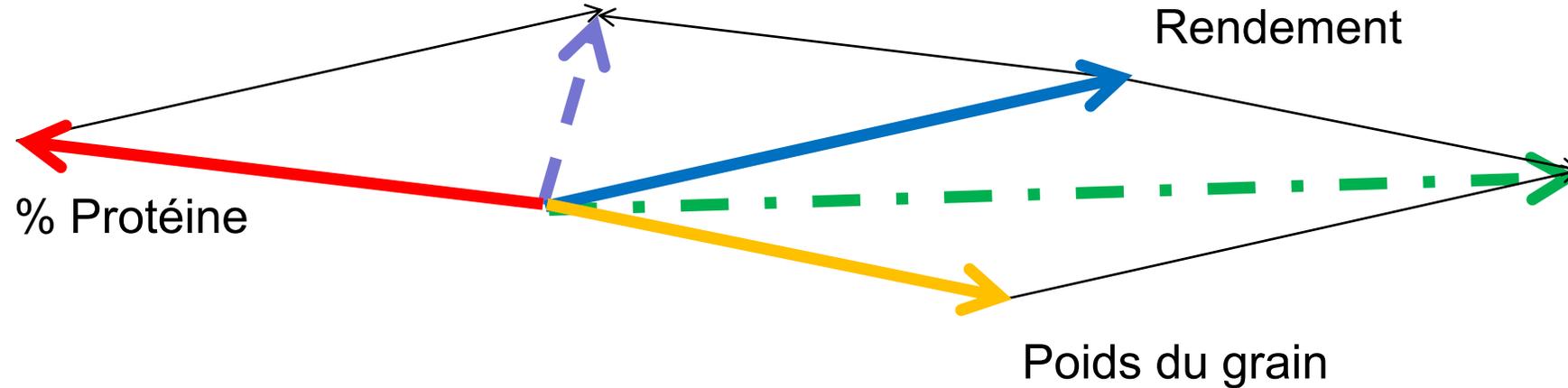
Des bons rendements même en extensif (~130 UN/ha)
Blés BNI?



- 1921 Fondation de la Fédération Suisse des Sélectionneurs, futur SWISSSEM (accès au marché)
- 1926 Mises sur le marché (inscription) des variétés **Mont-Calme 245** et **Mont-Calme 268**
- Ces 2 variétés seront les blés cultivés majoritairement lors du plan Wahlen (de 25 à 55% des besoins)
- 1927 Blé de printemps Huron (CND) (sécurité alimentaire)



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



Trop de buts → peu de progrès

Décathlonien <> Spécialiste

1932 Lois fédérales sur le blé

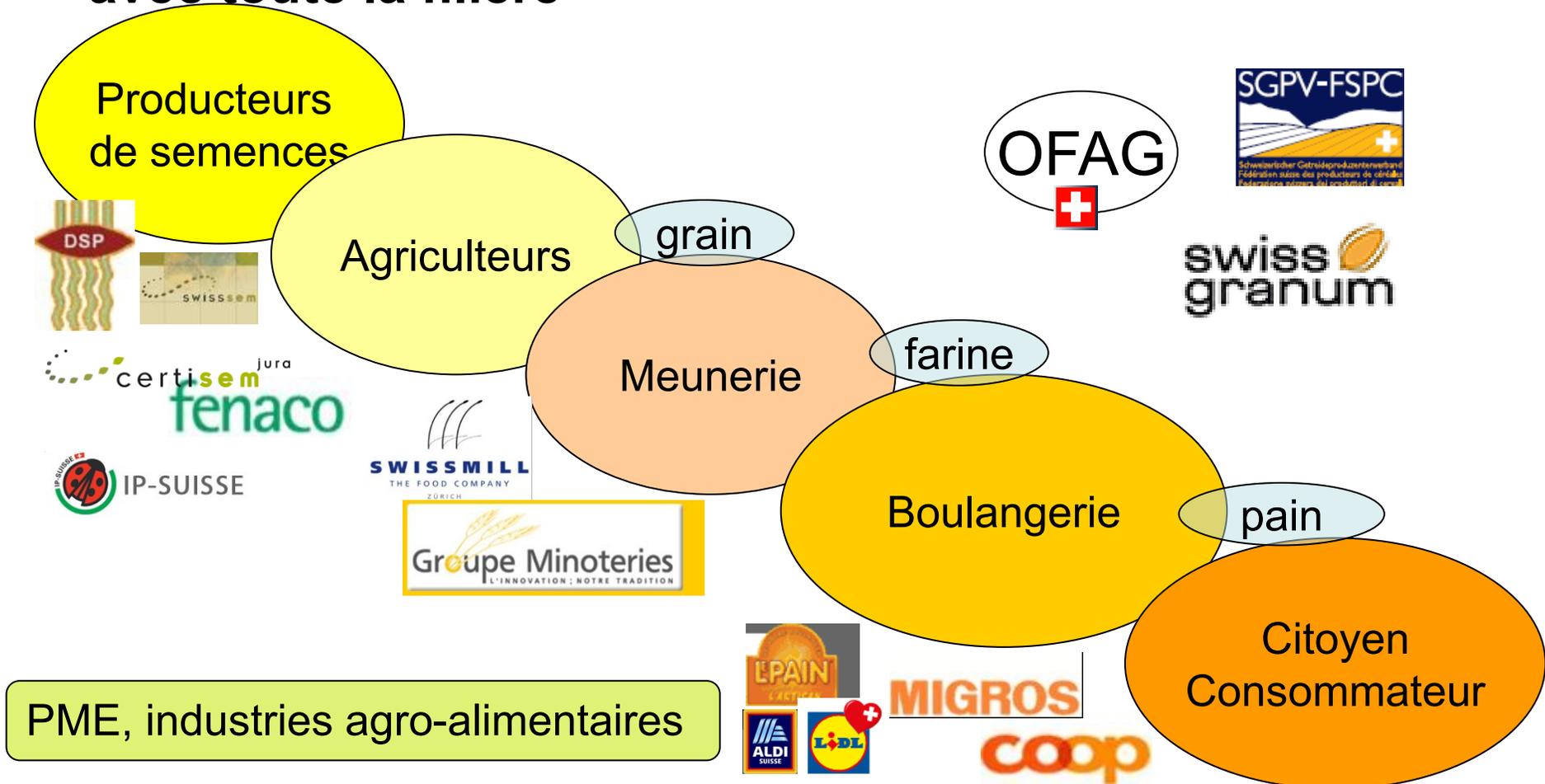
(soutien politique)

1948 PROBUS quasi monoculture en 1960 (90%) et encore 75% des ventes en Suisse en 1967
(manque de diversité) 



Les défis de la sélection

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



1951 Loi sur l'agriculture, régie fédérale du blé; ~début de la sélection du blé de printemps;
 gel 1956 (80% pertes) Stress abiotiques rares mais sévères

1956 Capelle (FRA) 1953 Lichti I (DEU) blé de printemps



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 ponctuelle par CRISPR/Cas9), par activation des transposons
- Par édition du génome (CRISPR/Cas9)

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)
- Re-chercher 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

1963	PROBELLE, VILRON , <u>Francest</u> (FRA)	1966	<u>Champlein</u> (FRA)	78%
1969	ZENITH (premier blé demi-nain), FERMO , <u>Funone</u> (ITA)			
1957	<u>Svenno</u> (SWE), KÄRTNER	1963	HINAL, RELIN	x%
1966	RONEGA	1964	<u>Arka</u> (AUT)	

Légende: **MAJ.**=Suisse, Souligné=étranger, *italique*=blé de printemps, **blanc**=variété dominante, part de marché



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 encore 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) (actuellement pas autorisé) ~2015
- Activation de transposons (au labo d'Etienne Bücher) ~2020

1974 Flinor (FRA)
1970 **GRANAT**

1978 Hardi (FRA), Valle d'Oro (YUG)
1972 **LITA, TANO**

1975 Kolibri (DEU)

77%



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



1979 ZENTA
1979 CALANDA

1980 EIGER, SARDONA
1980 Walter (SWE)

73%



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)

1981 **ARINA**, **MOLESON**, Carimulti (DEU), Partizanka (YUG)

1983 **BERNINA** 1985 **TAMBO** (blé muté), Asiago (ITA) 1986 **FORNO**, lena (FRA)

1982 **ORELLO**

1983 **ALBIS** 1984 **DADORA** 1986 **REMI**A



Les défis de la sélection

5. Trouver les meilleurs accès aux marchés

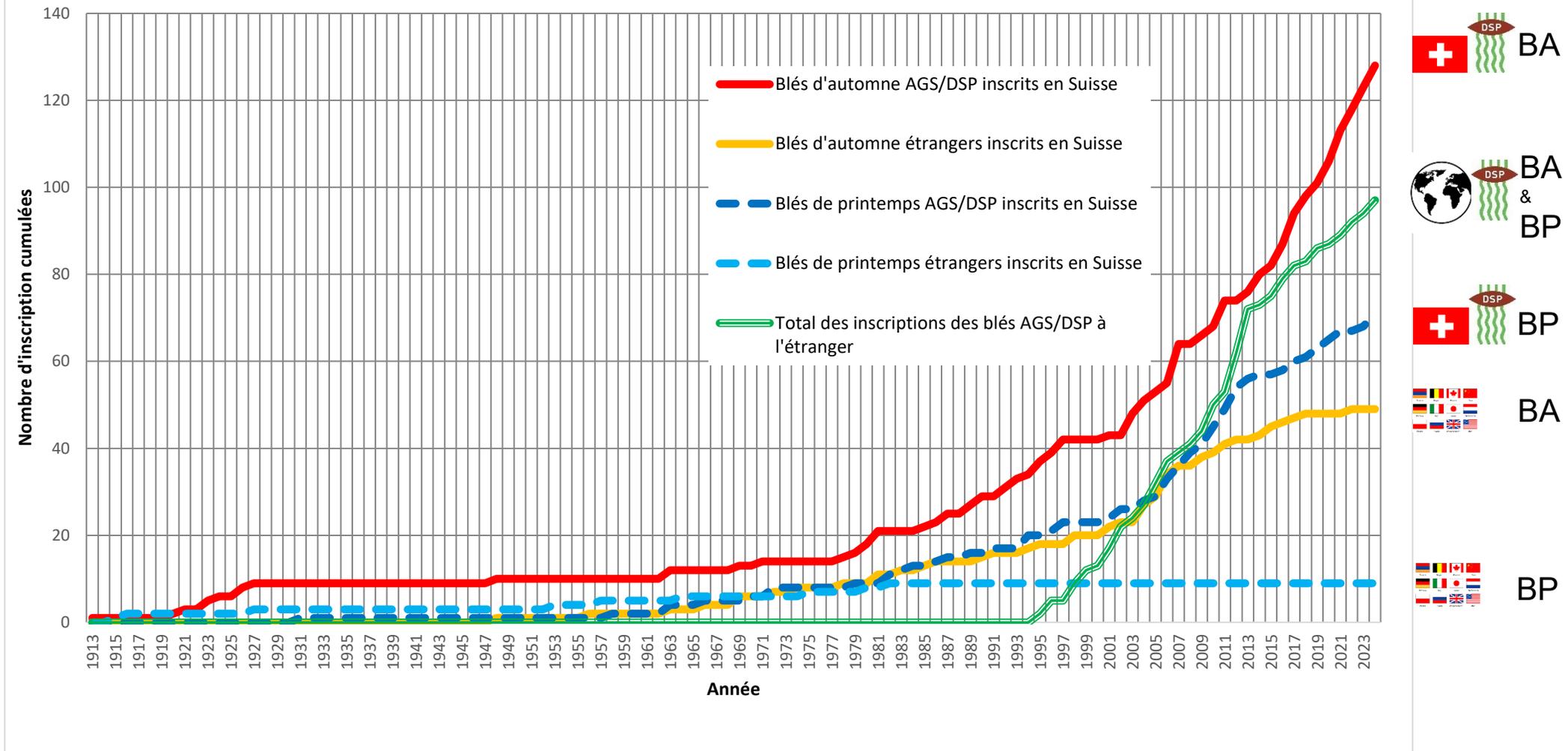
- Collaborer avec des développeurs en Suisse (DSP) et à l'étranger (via DSP, de nombreux partenaires)
- Intérêts communs entre sélectionneurs et partie commerciale, il faut échanger les informations
- Le sélectionneur doute, cherche les défauts <> le commerciale met en avant les qualités des variétés
- 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



1987	GARMIL	1989	RAMOSA	1990	BOVAL , <u>Obelisk</u> (NLD)
1991	<u>Galaxie</u> (FRA)	1992	TAMARO	1993	CAMINO
1987	FRISAL				
1991	LONA				



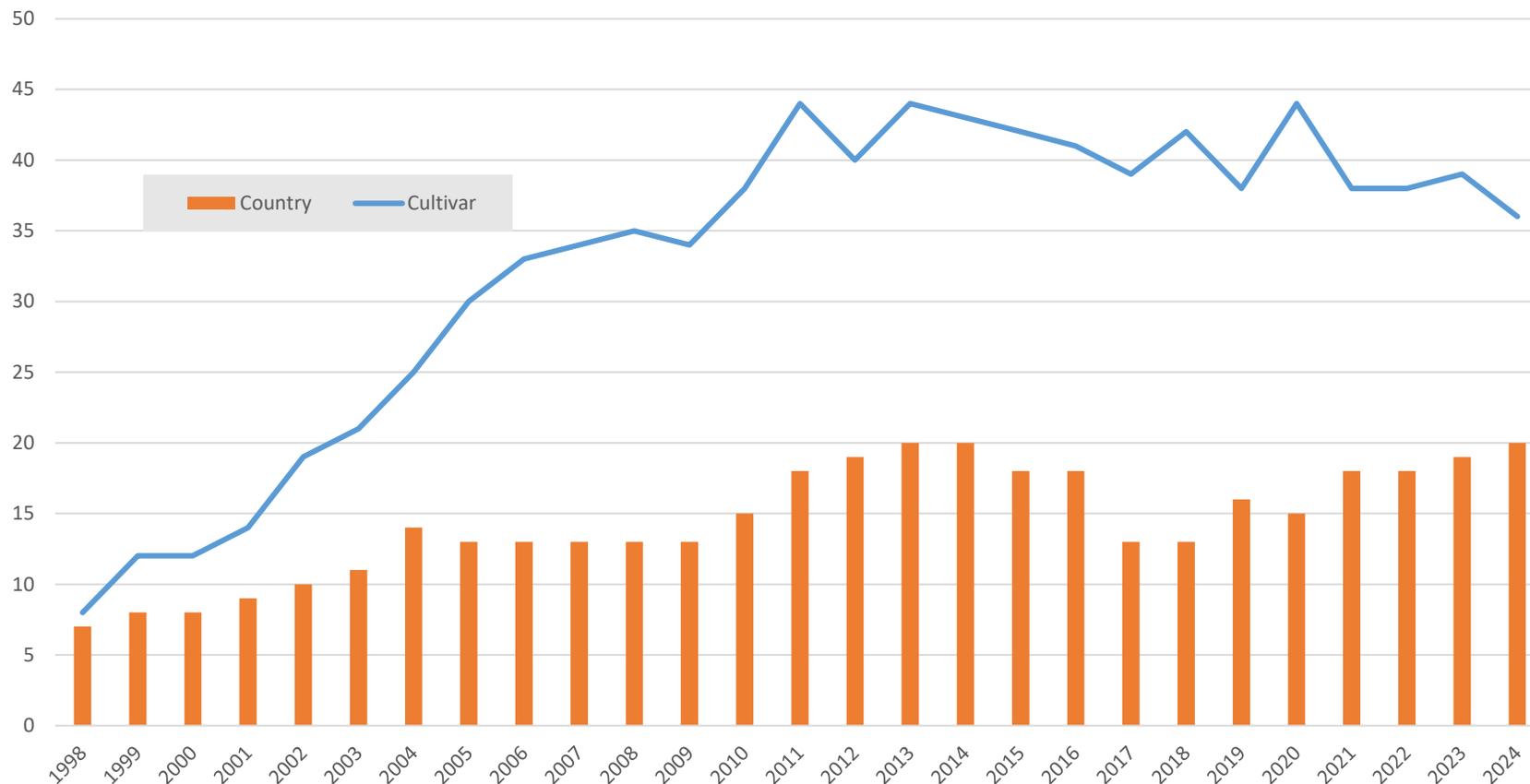
Nombre d'inscription des variétés en Suisse et des variétés Agroscope/DSP à l'étranger





Développement commerciale ... marchés étrangers

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



1994 Fondation de DSP

(accès aux marchés)

1994 **ARBOLA**, Greif (DEU)

1995 **RUNAL**, **ARLAS**, **DANIS**, Génial (FRA)

1996 **TERZA**, **TITLIS**

1997 **LEVIS**, **ORSINO**, **TANEDA**

1994 **GREINA**, **BALMI**, **GOLIN**

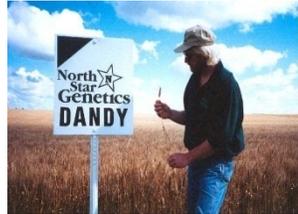
1995 +3 inscriptions à l'international

1996 **TORONIT**, **MOLERA**, **PIZOL** +3 inscriptions à l'international

82%



A l'étranger



Quarna



BAKKER
SPRING WHEAT



Fin de la régie fédérale des blés, création de Swiss granum, Catalogue UE & reconnaissance bilatérale CN, concentration de la sélection céréale à Changins (concurrence internationale, accès au marchés)

1998 Habicht (DEU), Pegassos (DEU), +1

1999 +1 inscription à l'international

1998 +3 inscriptions à l'international

1999 +2 inscriptions à l'international

83%

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
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

	1999	Concentration de la sélection des céréales à Changins	
2001	<u>Asketis</u> (DEU), <u>Semper</u> (NLD), +1	2002	TIRONE , <u>Drifter</u> (DEU)
2001	FIORINA , +3	2002	NADRO , +4



Principes de la GS

2

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

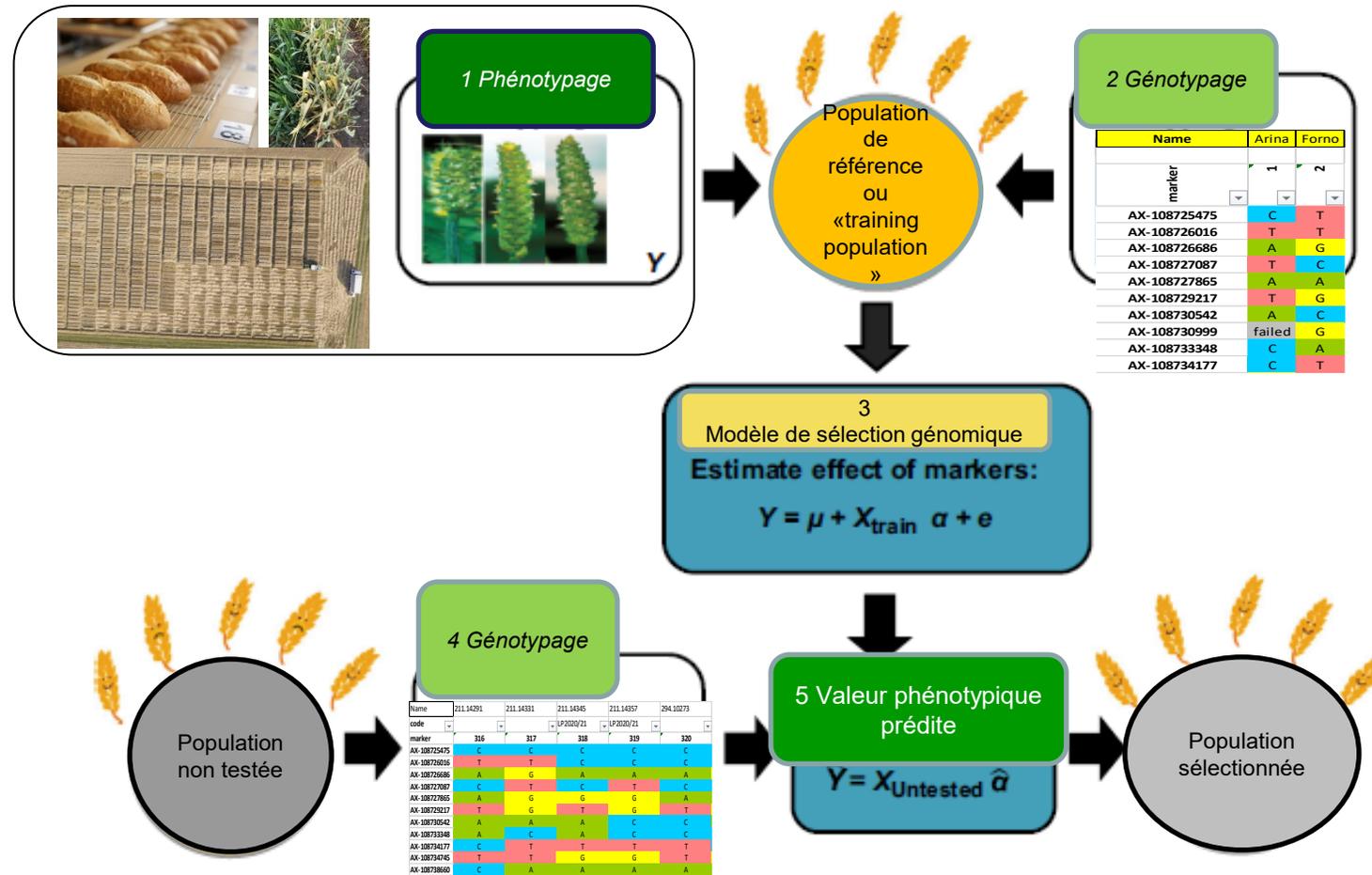


Fig. 1: Principle of genomic selection. Genomic selection follows a two-step process. First, phenotypic and genotypic data are collected in a training population and effects are estimated for all molecular markers on this basis (top). Second, members of untested populations are solely genotyped and then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

2003 AROLLA, PIOTTA, SÄNTIS, SEGOR, ZINAL

2004 ALLALIN, MUVERAN, RIGI

84%

2003 BAKKER GOLD, MOLERA, +2 2004 ALETSCH, PROFIT, TOGANO, TURELLI, VALBONA, +3

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 !)
 - La GS (comme l'IA) exploite les données du passé mais ne découvrent rien

Développement des blés fourragers

2005 **SCALETTA, SIALA, TÜNGISCH** (au KAZ)

2006 **FLUELA, LOGIA**

2005 **CARASSO, +5**

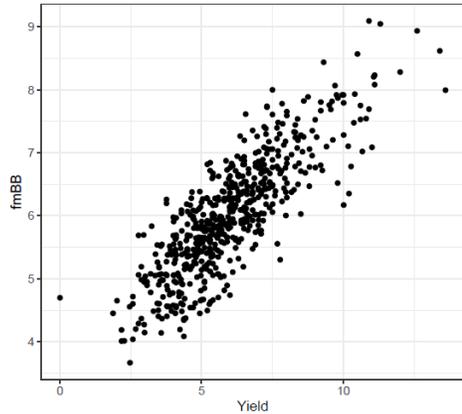
2006 **CASANA, CORNERA, SCALIN, TURELLI, +6**

70%

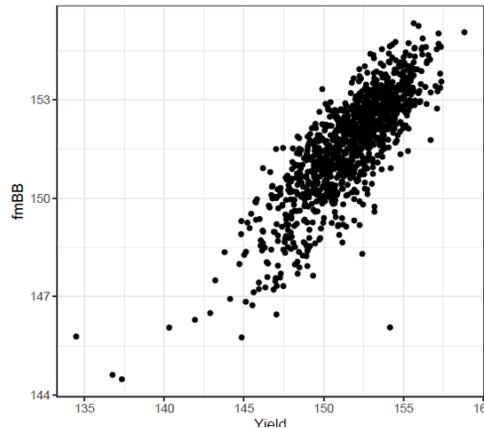


GS 2021 - 2022

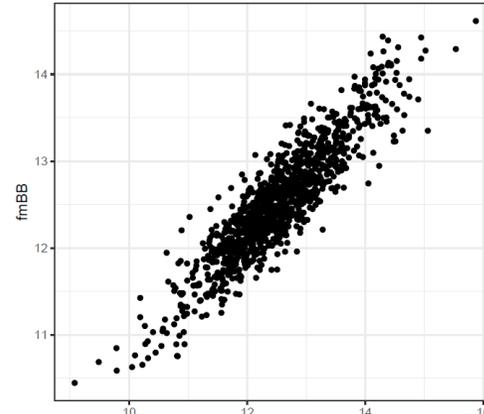
Résistance de la pâte
cor.=0.835 n=582



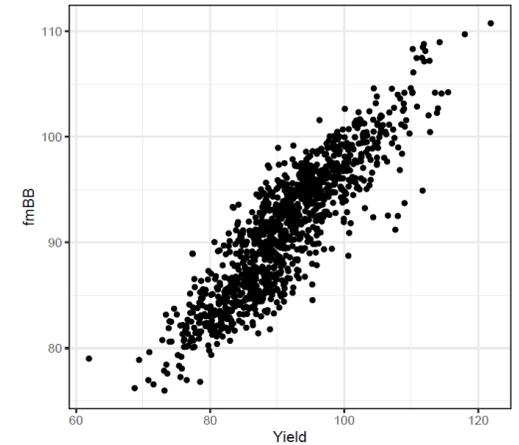
Epiation cor.=0.821
n=1135



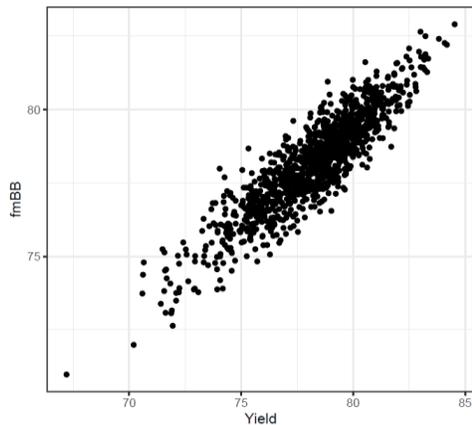
Protéine % cor.=0.906
n=1135



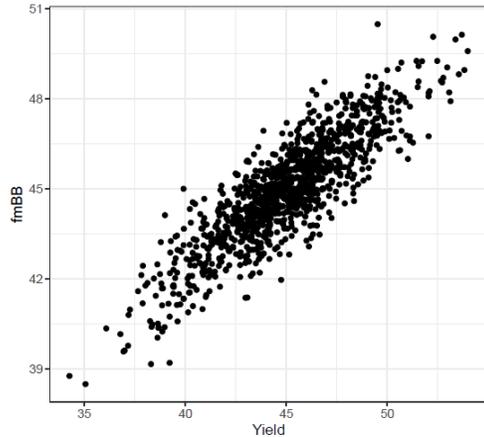
Hauteur de plante
cor.=0.883 n=1135



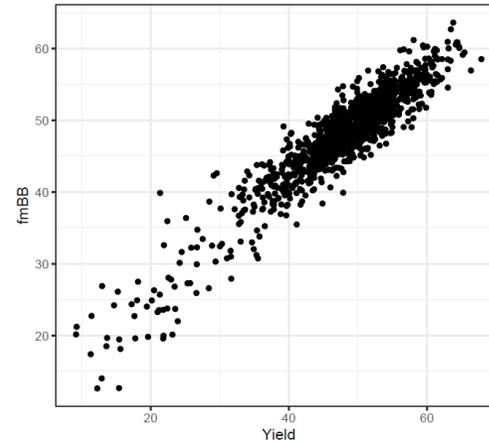
PHL cor.=0.897 n=1135



PMG cor.=0.870 n=1135

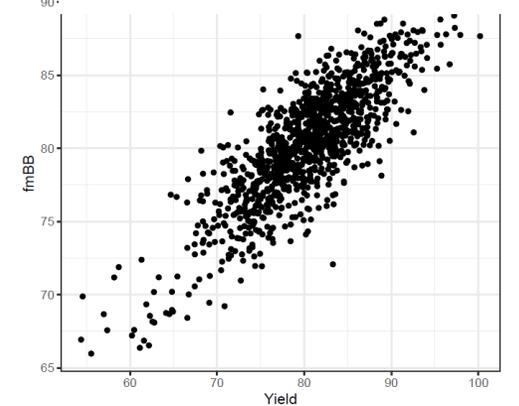


Zéleny cor.=0.937 n=1135



Abs_Yield

Rendement cor.=0.830 n=1135



2007 à 2011 PNR59 "Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées, Essais à Pully»

2007 CH CAMEDO, CH CLARO, CH COMBIN, CH NARA, CIMETTA, DELLORO, FOREL, MAYEN

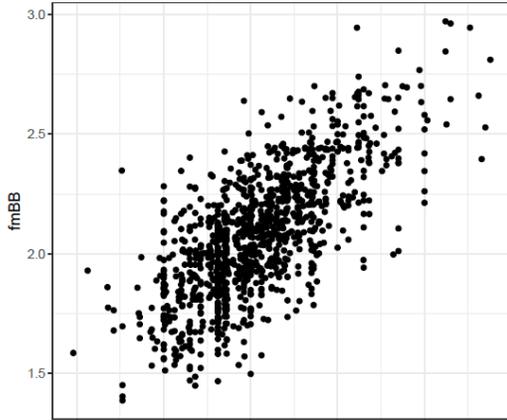
2007 CH RUBLI, SELLA, VALBONA, +2

71%

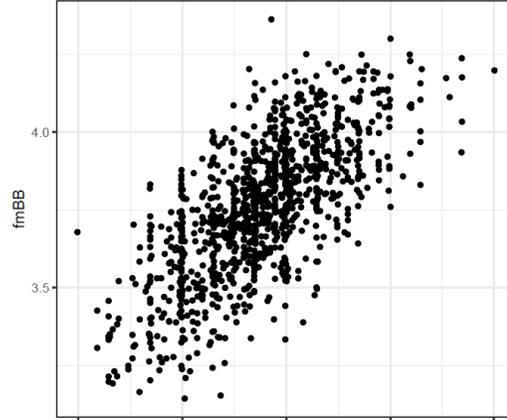


GS 2021 - 2022

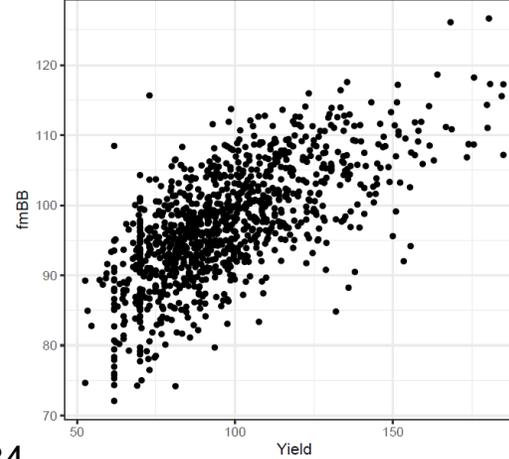
Note Fusariose cor.=0.711
n=1079



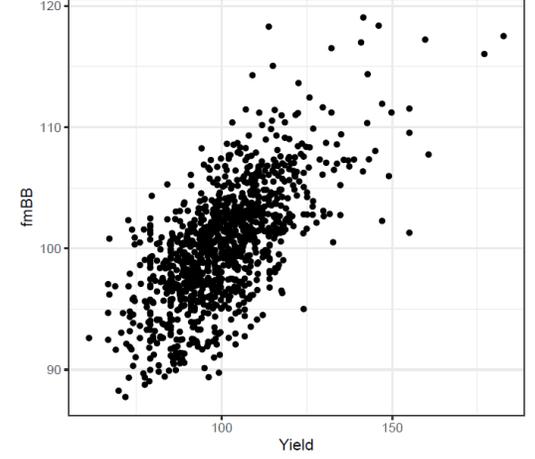
Note Oïdium cor.=0.696
n=1081



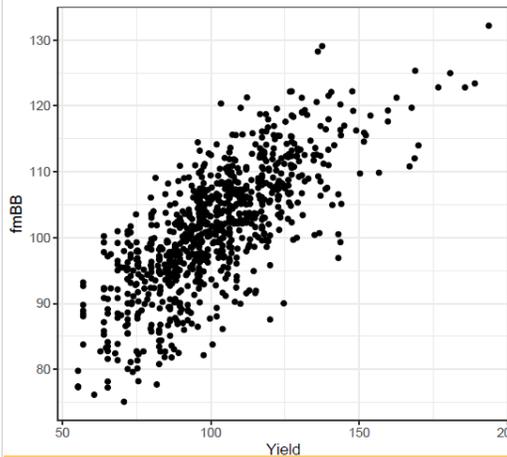
Septoriose épi cor.=0.678
n=1065



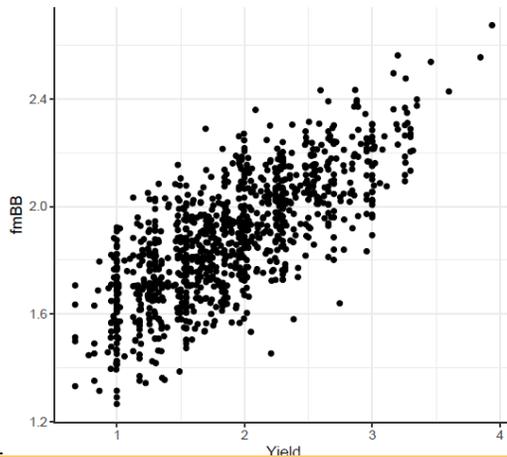
Septoriose feuille
cor.=0.668 n=1072



Septoria tritici cor.=0.743 n=864



Rouille jaune cor.=0.748 n=1034



Améliorer la qualité et le nombre phénotypages, p.ex. projet GESEDON sur la teneur en DON de 525 cultivars (2021-2023)

2008

CH CAMPALA, TORETTA, TROVAT, +2

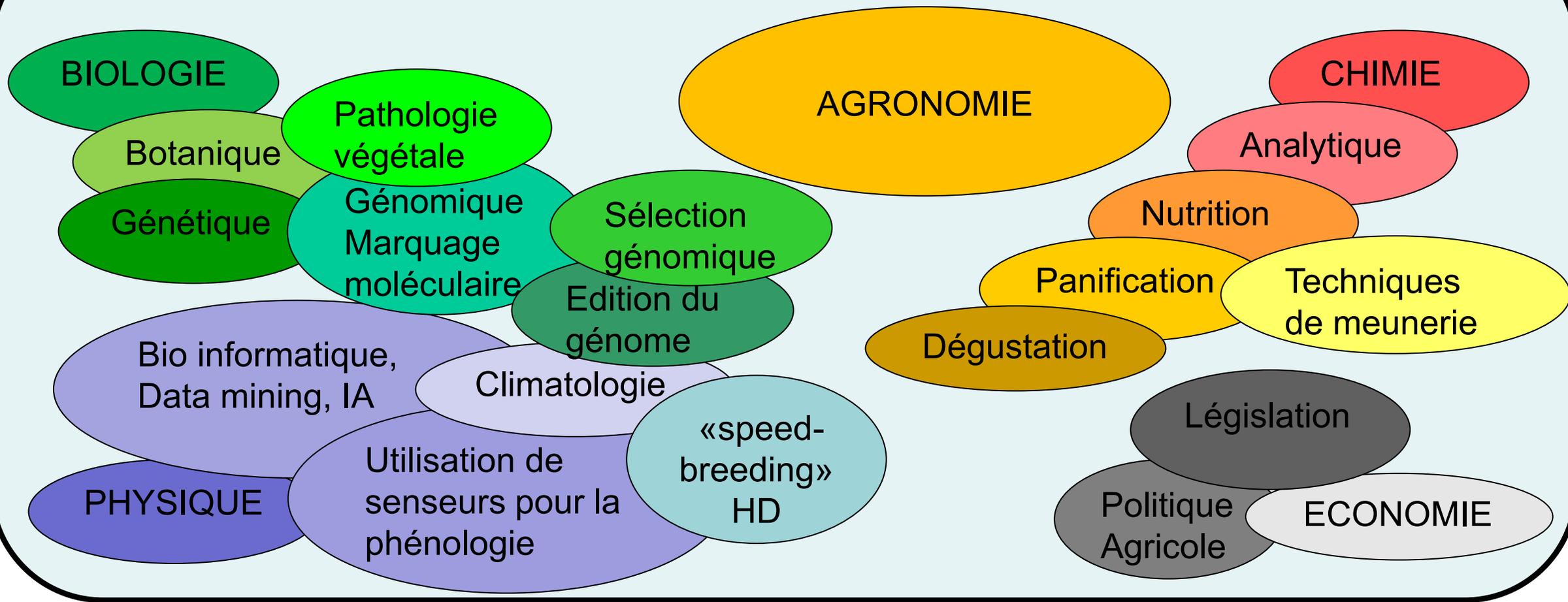
2009
2009

CAMBRENA, SURETTA, +1
CH MATRO, SERTORI, +3

76%

Les défis de la sélection

Le sélectionneur est un intégrateur de connaissances et de techniques:



2010 MOLINERA, ORZIVAL, +1 2011 CAMPIONI, JAZZI, LORENZO, MAGNO, SIMANO, TANELIN
2010 ALTARE, CAMPANIN, SOLIAT, TERRI, +5 2011 CERVINO, DIGANA, PROSA, STANGA, +2

80%

2012	+1		2013 HANSWIN, MOIRY	
2012	CAMADRA, CHASSERAL, CHAUMONT, CORBETTA, VULLY, +9		2013 CIAVENA, LAMBRO, +9	
2014	BARDAN, MONTALTO, NENDAZ, VANILNOIR (grains pourpres)		2015 COLMETTA, MONTDOR, +1	
2014	CARAL, +1		2015 +2	80%
2016	BARETTA (bio), CAMPELLO, LAGALP, MONTALBANO (actuel No1), PARADISIN, +1			
2016	LAMOTTA, +3			80%
2017	DILAGO, LINARD, PONCIONE (1 ^{er} blé fourrager), POSMEDA, ROSATCH, SPIGOLO, SPLUGA, +1			
2017	GLARUNA, TENCA, +2			
2018	CADLIMO, DIAVEL (alt.), PIZNAIR, VARAPPE, +1		2019 CAMPANILE (alt.), RUSSI, TINZEN	
2018	NUFENEN		2019 CASSAGNO, GAGNONE, +2	75%
2020	ALPVAL, AXEN, BONAVAL, FALOTTA, TAMBORELLO, +1			
2020	FORTERESSE, MOSSETTE, +1			75%
2021	ALIEVI, BIMIS, BISHORN, BODELI, COLINTA, SCHILTHORN, +2			45.3% BIO
2021	ARPILLE, GIBLOUX			78%
2022	CAMINADA, DIRIBIA, FEDERIS, PILATUS, <u>SU HYMONTA</u> (1 parent de l'hybride F1)			53.6% BIO
2022	+1			80.9%
2023	MASHATU, PIANALTO; les mélanges DUMIDI & MISCHABEL, +1			
2023	SPINAS, +2			65.1% BIO
2024	ACABO, BALBALERA, CHANGINS 125, FUORN, VADRET			
2024	GRAMMONT, OMETTO, TURETTAS, +2			



Les objectifs en détail : Qualité

Nutrition
& Goût

Qualité(s)

Diversité de la qualité :

- ❖ Des qualités rhéologiques différentes, même pour les produits traditionnels: buns, pain de mie, pains sur sole, «croissant surgelé», brioche, tresse, biscuit «petit beurre», pizza, ... **Labo qualité**
- ❖ Amélioration des composantes favorable à la santé : Antioxydants des grains colorés (p.ex. Vanilnoir), luteine des farines jaunes (p.ex. Toronit, Simano), fibres (AX) (premier candidat en essais officiel), teneurs en minéraux, en vitamines (Marqueurs identifiés) **Analytique, M**
- ❖ Nouveaux produits / usages : nouilles asiatiques (Udon wheat) ?, pains complets mais aspect de pain blanc (Hard White Wheat) ?, Waxy wheat ?, ...
- ❖ Sources : base classique mais aussi via *T. sphaerococcum*, blés synthétiques
- ❖ Goût / arôme (p.ex. Population GUSTO, Population «La Liberté», «La dynamique», calibration du nez artificiel)
- ❖ Qualité des protéines: HMWG 5+10 mais aussi 2+12 & 7^{OE} (p.ex. Vanilnoir, plusieurs variétés en développement) **électrophorèses**
- ❖ Teneur en protéine élevé <> Protéines de qualité **NIRS, M & GS**



Les objectifs en détail : Résistances

Résistances

Prioriser les pathogènes :

- ❖ Fusariose : **GS** et pyramidisation des gènes (Fhb1,5 & 7,...)
- ❖ Rouille jaune : **marqueurs**, pyramidisation Yr5-10-15, Lr57
- ❖ Rouille brune : **marqueurs**, continuer les pyramidisations avec Lr22a, Lr57 et...
- ❖ Septorioses : **GS** et cumul de Stb, explorer nos lignées Lr24+
- ❖ (Oïdium : **maintient** de nos résistances horizontales)
- ❖ Viroses : BYDV, **marqueurs** en développement, WDV, explorer la source Mironovskaia 808, **marqueurs**
- ❖ Insectes : OWB, **marqueurs**
suivre les risques de nouveaux insectes (Sun pest, Geomyza, ...)
- ❖ Maladies de semences : alternatives physiques des traitements, (gènes), ...
- ❖ Maladies du pied : **marqueurs** Pch1, autres ...





Les objectifs en détail : Rendement

Rendement

Facteurs du rendement et rendement:

- ❖ Tallage : mesure du nombre d'épis/m² (LITERAL ?) → **GS** et marqueurs ...
- ❖ Fertilité des épis : **GS** et marqueurs, recherche de gènes associés à la fertilité à travers le projet PESUMO
- ❖ PMG : taille du grain par marqueurs et **GS**, utilisation de la source UK
- ❖ PHL : garder une exigence élevée sur ce trait, **GS**

- ❖ Rendement : **GS** et marqueurs spécifiques de gènes associés au rendement

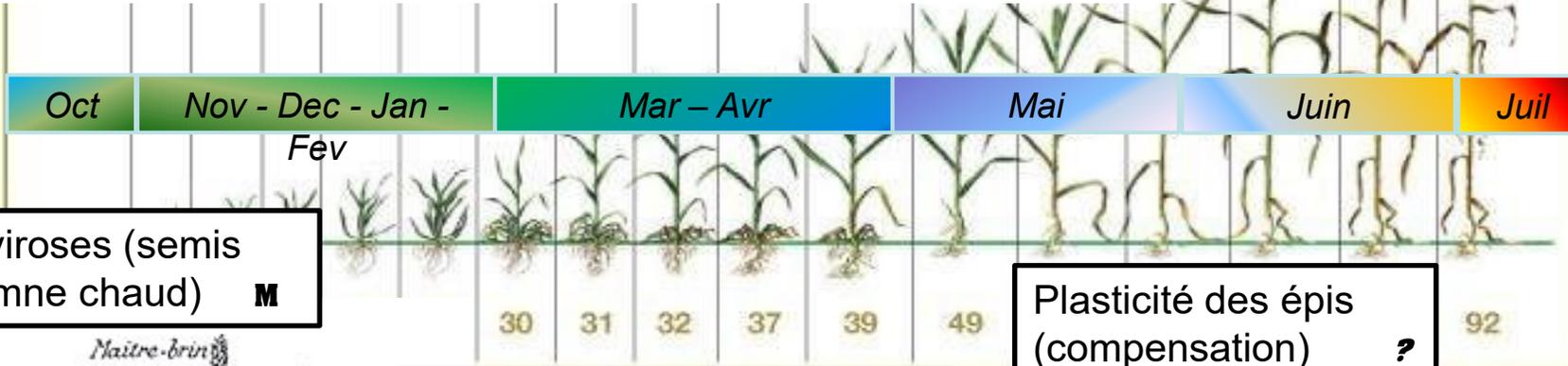
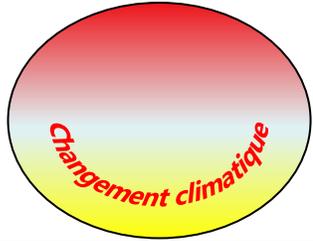
MAIS attention aux compensation dans le blé, p.ex.:

- Nombres de grains par épis <> PMG
- Précocité à montaison <> Tallage
- Rendement <> Protéines





Les objectifs de détail : Climat

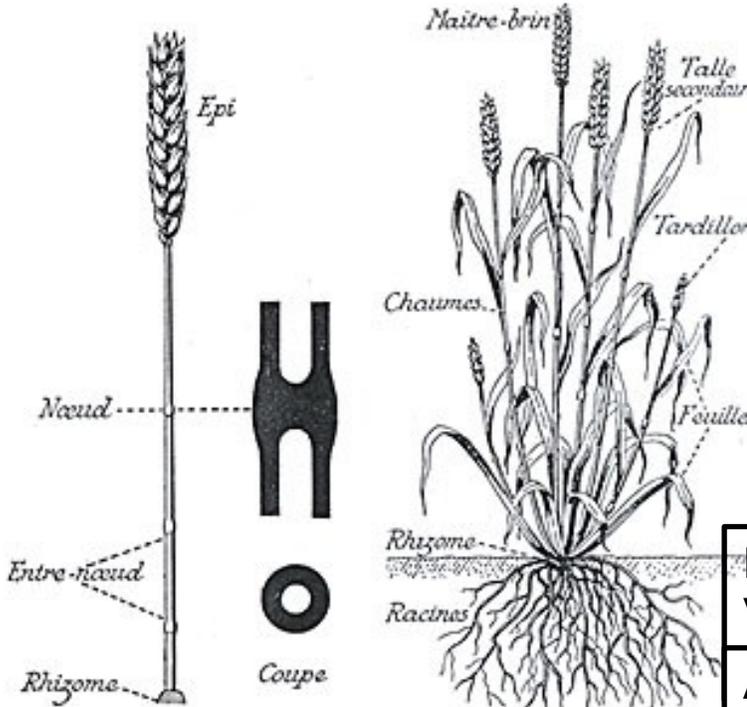


Résistance aux viroses (semis précoces & automne chaud) **M**

Plasticité des épis (compensation) **?**

Résistance à la germination sur pied (QTL dormance) **M & GS**

Gros grains <> fertilité d'épi et Nombre de grains/m² élevé **M & GS**



Résistance au froid après dés endurissement **M & GS**

corrélé avec la résistance au froid nu ?

Faible sensibilité au manque de lumière à la méiose **M & GS**

Résistance au chaud et au sec **M & GS ?**

Sélection de l'efficacité des stomates ?

Bon potentiel de tallage (compensation), <> avortement rapide des talles superflues ! **?**

Type hiver – printemps, sensibilité à la photopériode, précoce à l'épiaison **M**

Résistance à l'anoxie **?**
Vigueur de levée (gros grains **M**)

Semis plus profond ? Coléoptile long ?
Plateau de tallage plus profond ?

Angle racinaire étroit **M** (blé printemps)
Quels stress hydrique ?

Racines efficaces (absorption H₂O efficace) **?**

Résistance à la verse, tige pleine, gènes de nanismes autres que Rht1 et 2, rigidité ou souplesse ? **M & GS**

En Conclusion

- ❖ Les défis de la sélection restent les mêmes ...
mais nous avons de biens meilleurs outils pour y répondre qu'autrefois !
- ❖ Il y a une plus grande urgence, une plus grande impatience
changements climatiques, milieux dégradés (eau, sol),
démographie mondiale
- ❖ Et d'avantages d'exigences, parfois contradictoires, de la part de la
société (encouragées parfois par des promesses exagérées des «BBB, les «blabla breeders»)
qualité nutritionnelle, environnement, proximité, coûts, méthodes
de sélection utilisées, ...



Merci pour votre attention

Dario Fossati

dario.fossati@agroscope.admin.ch

Agroscope good food, healthy environment

www.agroscope.admin.ch

