



Le projet PESUMO: Etude de la perte de fertilité du blé lors de faibles rayonnements pendant la méiose. Résultats préliminaires

Dario Fossati

Journées céréales à paille INRAe Gembloux 2025





Contenu

- Historique d'un problème, peu fréquent (?) mais grave !
- Les hypothèses
- Le but du projet **PESUMO**,
- Les travaux et résultats préliminaires (2017-2024)





Historique du problème

1



- 1987 **PERNEL** (INRA) & **MOULIN** (PBI UK) en Grande Bretagne et en France
 - La variété Moulin rencontre un grand succès au début des années 80' surtout en France, en Belgique puis en Grande-Bretagne (GB)
 - Son inscription avait été retardée en GB à cause d'une trop grande hétérogénéité lors des tests DHS (probablement trop de «out-cross»)
 - Elle montre en 1985 des baisses de rendement (-8%) par rapport à l'année précédente
 - En 1987 elle subit de graves stérilité de l'épi alors qu'elle est cultivée sur plus de 40'000 ha en Grande-Bretagne et encore plus en France
 - 40, 50% voire jusqu'à plus de 70% de perte de rendement en Grande-Bretagne
 - En France, la variété Pernel rencontre les mêmes problèmes (-70, -80% de pertes de rendement dans certaines régions)
 - Procès des agriculteurs contre les obtenteurs



Historique du problème

2



- 1997 Divers variétés en Ecosse (Aberdeen, Kelso)
 - 30-50% de grains manquants dans les variétés Caxton, Equinox ou Pentium
- 1998 cv. «Jing He No3» (Chine)
 - stérilités partielles
- 2009 cv. Runal (France) ?
 - Récolte catastrophique chez un multiplicateur de la variété, les épis sont pratiquement vides (plusieurs hypothèses, pas d'explications convaincantes)
- 2016-17 Observations de pertes de fertilité sur plusieurs variétés annoncées en France. Le phénomène est aussi observé sur l'orge d'automne en France



Historique du problème

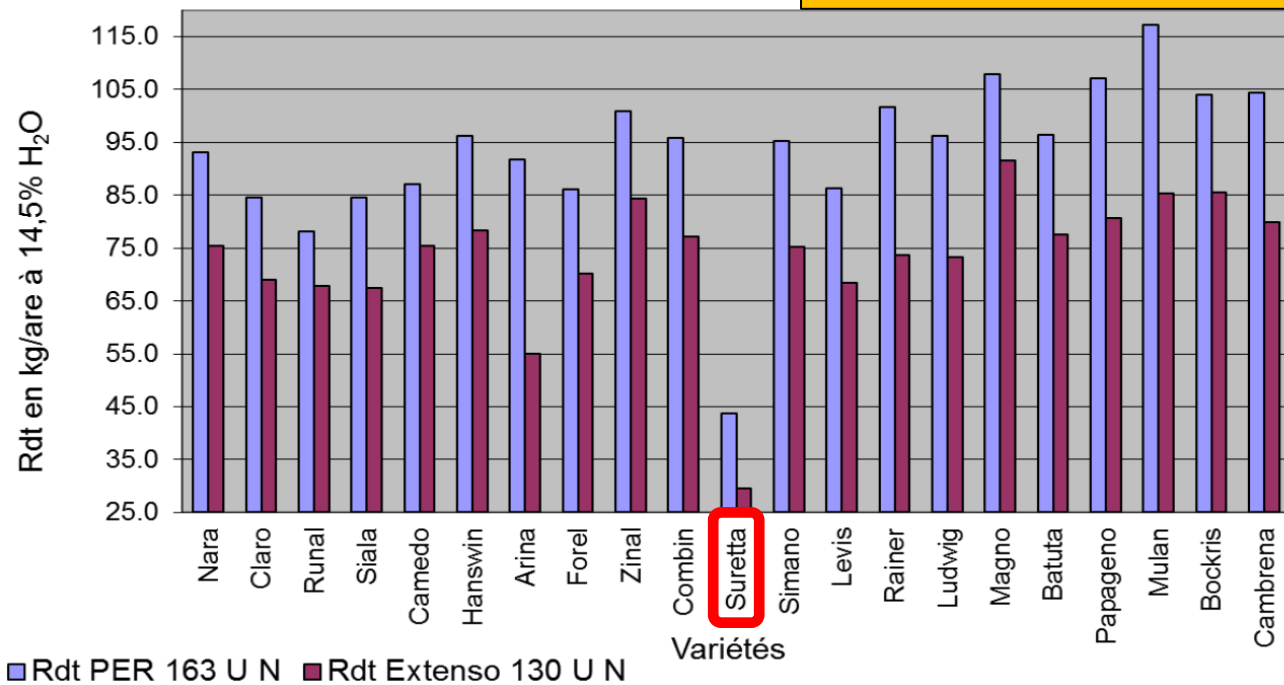
3



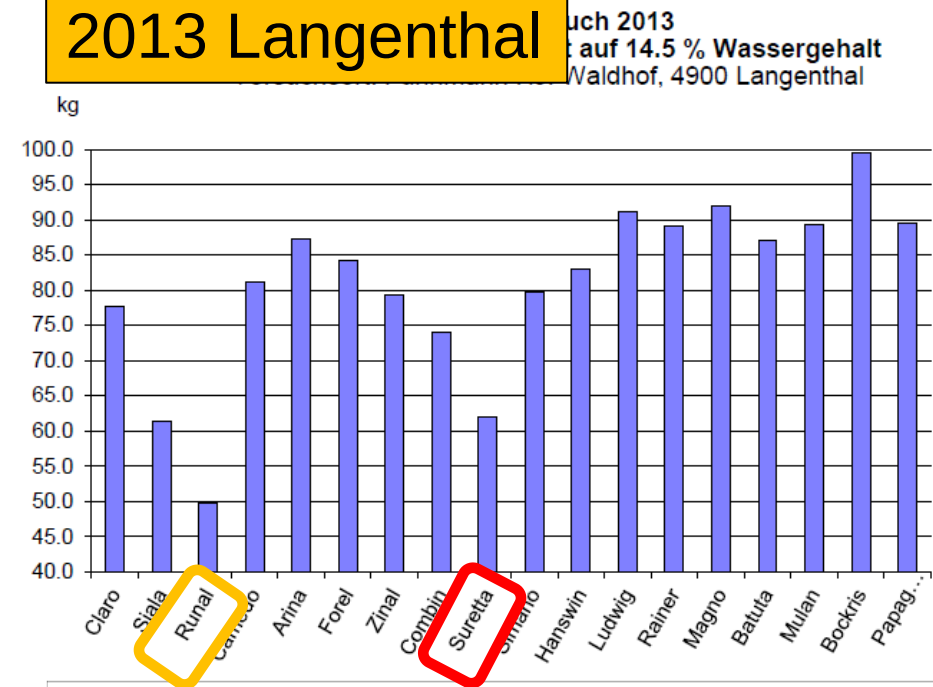
- 2013 SURETTA (Suisse)
 - Diminution des rendements jusqu'à 50%, épis partiellement stériles, paille rose, les épis se «salissent» vite à maturité
 - Selon la date de semis, chez le même agriculteur (VD), récolte normale ou pertes
 - Différence entre épis près des voies de passage et en densité normale
 - Malgré l'attrait de cette variété (à cause de sa forte teneur en gluten humide), Suretta disparaît rapidement de l'assortiment variétale (2% en 2012 → 0.2 % en 2014).
 - Résultats 2012 – 2013 d'essais en bandes Fenaco – Landi:

Rendements en extenso et en PER

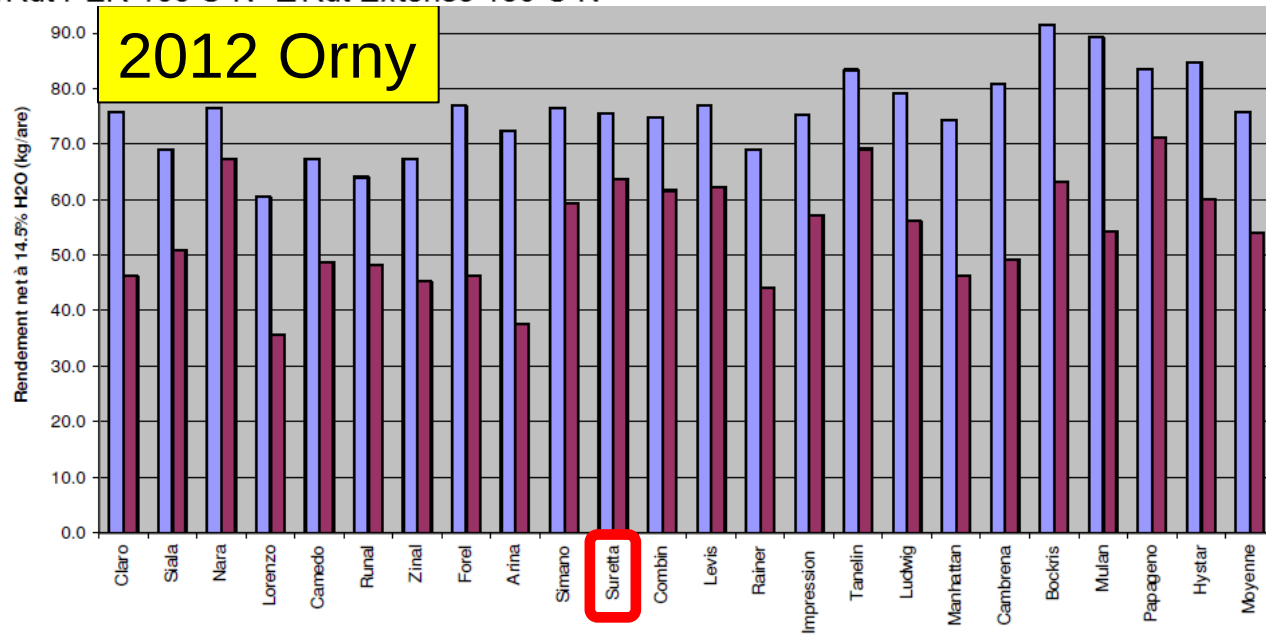
2013 Pampigny



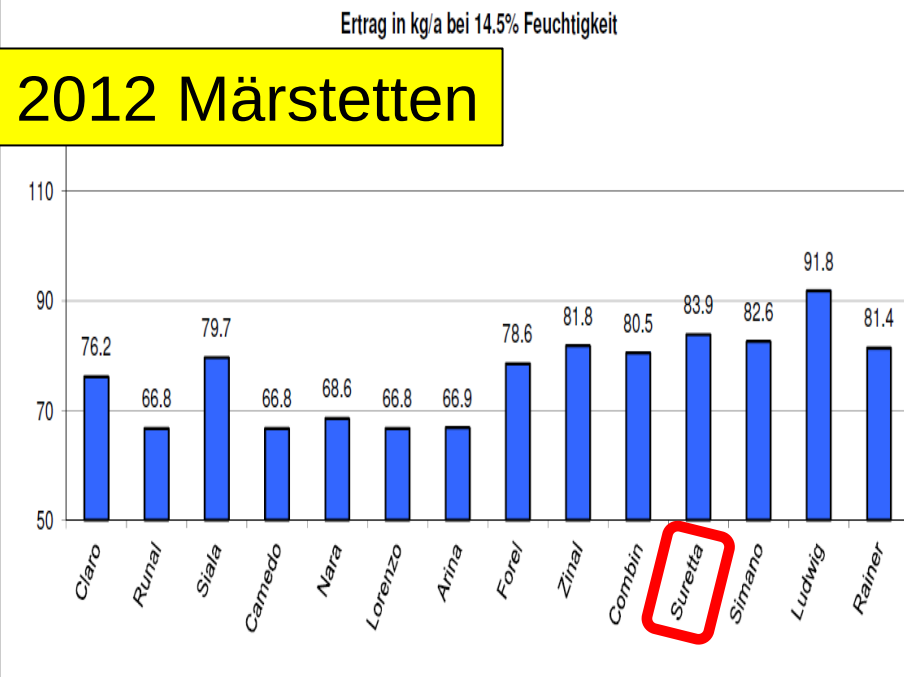
2013 Langenthal



2012 Orny



2012 Märstetten



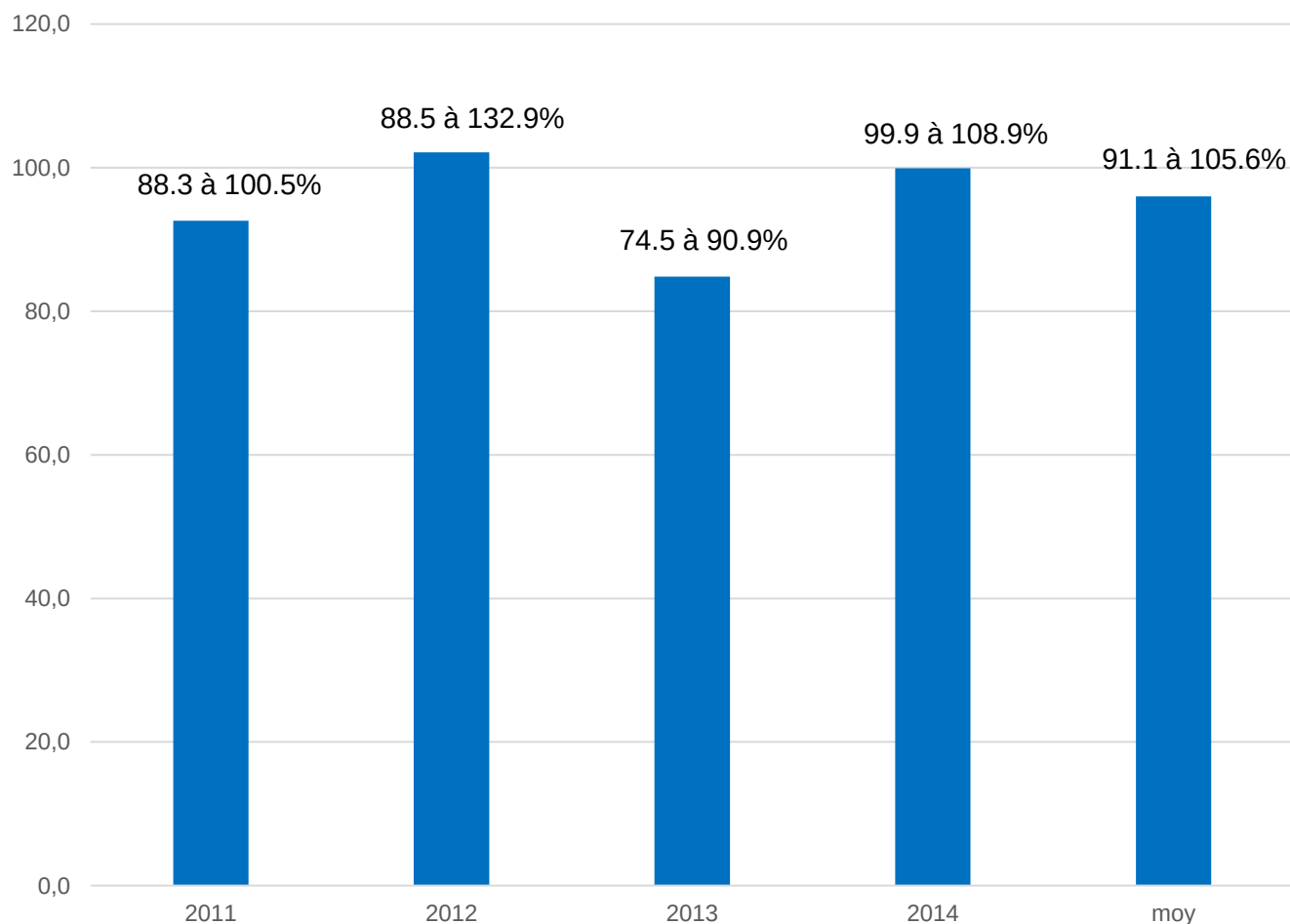


Historique du problème

5



Rendement relatif à la moyenne d'essai (3lieux) de Suretta



Dans nos essais, Suretta a un rendement relatif (à la moyenne d'essai) de **84.8%** en 2013 alors qu'elle était en moyenne des années 2011, 2012, 2014 de 98.2%.

CH Nara, Levis, Runal et Simano ont aussi des rendements plus faibles cette année là.



▪ 2013 SURETTA (Suisse)

Le printemps 2013 a été le moins avec le moins ensoleillé depuis **au moins 55 ans**

«En 2013, la température moyenne annuelle a correspondu exactement à la norme 1981-2010. Les précipitations annuelles se sont également situées dans le domaine de la norme 1981-2010.

L'année 2013 s'est caractérisée par des conditions hivernales persistantes jusqu'à fin avril **et un record négatif d'ensoleillement de janvier à mai**. Un été extrêmement ensoleillé a contrebalancé le manque de soleil du début de l'année. De janvier à mai, le temps a été inhabituellement peu ensoleillé. **Dans la région de Bale à St-Gall en passant par Zurich, ce fut la période de janvier à mai la moins ensoleillée des séries de mesures vérifiées depuis 1959, dans la longue série de mesures zurichoise même depuis le début des mesures en 1883.»**

...

«Les sommes des heures de soleil des mois de mars à mai ont oscillé entre 264 et 387 heures. Dans ces régions, les valeurs de référence 1981-2010 se situent entre 430 et 530 heures.»

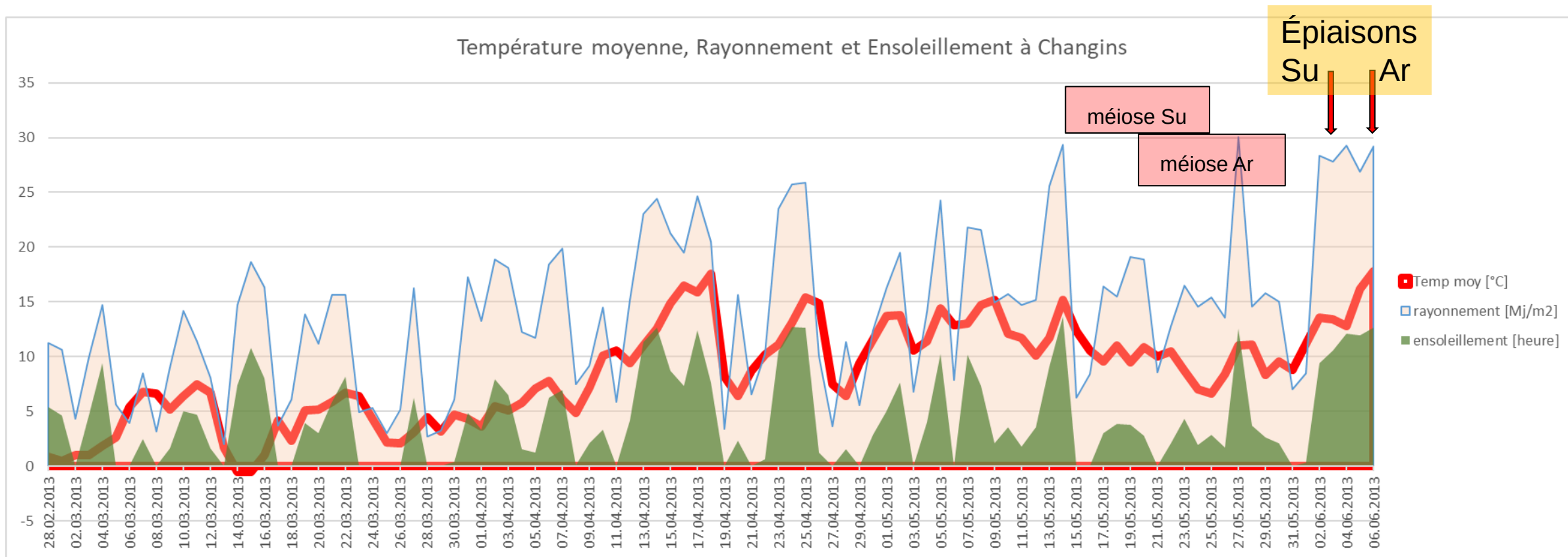
Rapport climatologique 2013, Office fédéral de météorologie et de climatologie, MétéoSuisse, Département climat



Historique du problème

7

- 2013 SURETTA (Suisse)
- Estimation de la méiose = $\sim$ épiaison -85 à $-190^{\circ}\text{C.j}^{-1}$
- Epiaison de Suretta le 2 juin, d'Arina le 6 juin





Les hypothèses Travaux scientifiques

1

Des recherches conduites en France (*Demotes-Mainard, Doussinault et Meynard, 1995*) concluaient que le stress prédominant était de **faibles luminosités pendant et surtout au début de la méiose** et écartaient les températures basses.





Les hypothèses

2

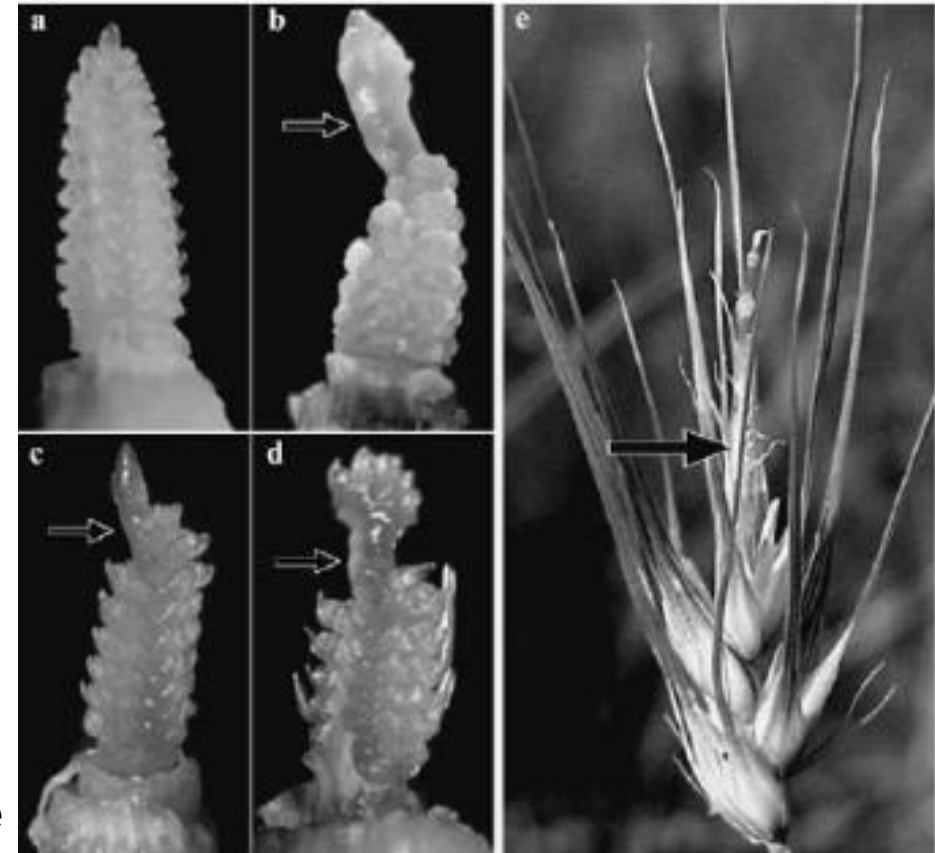
Selon C.N. Law d'autres causes peuvent aussi provoquer des pertes de fertilité

(Research Review No. 44, Sterility in winter wheat: review of occurrence in different varieties and possible causes, C.N. Law) :

- Des carences en Bore

- Cas observés au Bangladesh, en Inde, en Chine (Yunnan), au Vietnam.
- Différences variétales: le cv. Inia 66 est sensible, le cv. Sonora 64 est moins sensible

symptômes sur orge





Les hypothèses

3

- De forte température et la sécheresse. L'image typique est alors une pointe d'épi vide

Sécheresse (ou
froid ?)

cv. Diavel,
parcelle 3, 2018





Les hypothèses

4

- Le **gel**. Des segments de l'épi sont sans fleurs
- Un **froid** plus **modéré** peut provoquer des épillets supplémentaires et rendre difficile la sortie des épis de la gaine





Les hypothèses

5

- **L'anoxie** (inondation) pendant la méiose
- Le rôle possibles des **gènes de nanismes** (*Rht1* et *Rht2* de *Norin10*) avait été évoqué, car les variétés sensible Pernel et Moulin sont porteurs de ces gènes
- Law (1999) considère encore la **combinaison du froid** (<10°C plusieurs jours de suite) **et de faible rayonnement pendant la méiose**





Les buts du projet PESUMO (PErnel-SUretta-MOulin)

- Maîtriser la reproduction du stress pour effectuer le «screening»
Recherche
Test variétal
- Identifier un ou des gènes de susceptibilité au manque de luminosité lors de la méiose
Recherche
- Identifier des marqueurs pour ce(s) gène(s)
 - Pour la description de la sensibilité potentielle des variétés
Test variétal
 - Pour le choix des géniteurs
Sélection
 - Pour la sélection génomique ou assistée par marqueurs
Sélection



Travaux préliminaires 2017-2018

1

- Dépôt d'un Projet FSOV avec Florimont-Desprez (porteur de projet), Agroscope, Arvalis, NIAB.
 - *Refus (problème jugé comme relativement peu fréquent, coût, projet 2ans+3ans)*
- Analyse des sols dans lesquels le problème avec Suretta est apparu en 2013
 - 7 échantillons de sols prélevés (Agroscope, Landi-Fenaco)
 - Analyses en 2019 → valeurs normales, pas de carences
- Analyse de la proximité génétique entre les variétés sensibles
 - Ascendances
 - Pucés SNP
- Test d'ombrage au champ avec Suretta



Proximité selon les ascendances

1. Pernel=US 6043/PRIEUR//81-12/3/VPM/MOISSON

PRIEUR = 90/ETOILE DE CHOISY//342/3/CAPPELLE

VPM = AE. VENTRICOSA 10/T.PERSICUM//MARNE

MOISSON= 80-3/ETOILE DE CHOISY (lignée 293-1-6 non commercialisée)/CAPPELLE

2. Moulin=CB306Y70//MARIS WIDGEON/MARIS HOBBIT

=Yecora/Ciano 67//MARIS WIDGEON/MARIS HOBBIT

MARIS HOBBIT = PROFESSEUR MARCHAL//MARNE DESPREZ/VG9144/3/TJB16

Yecora = Ciano bis/3/Sonora 64/Klein Redidor//Siete Cerros 66

Klein Redidor = Klein 33/Sinvolocha

Ciano 67 = Pitic 62/Chris/Sonora 64

3. Suretta= MD 552862(USA)/4*ARINA/7/H79R31/6/PROBUS/NORD//WEIQUE/3/CHAMPLEIN/4/PROBELLE/FRONTEIRA/5/EIGER

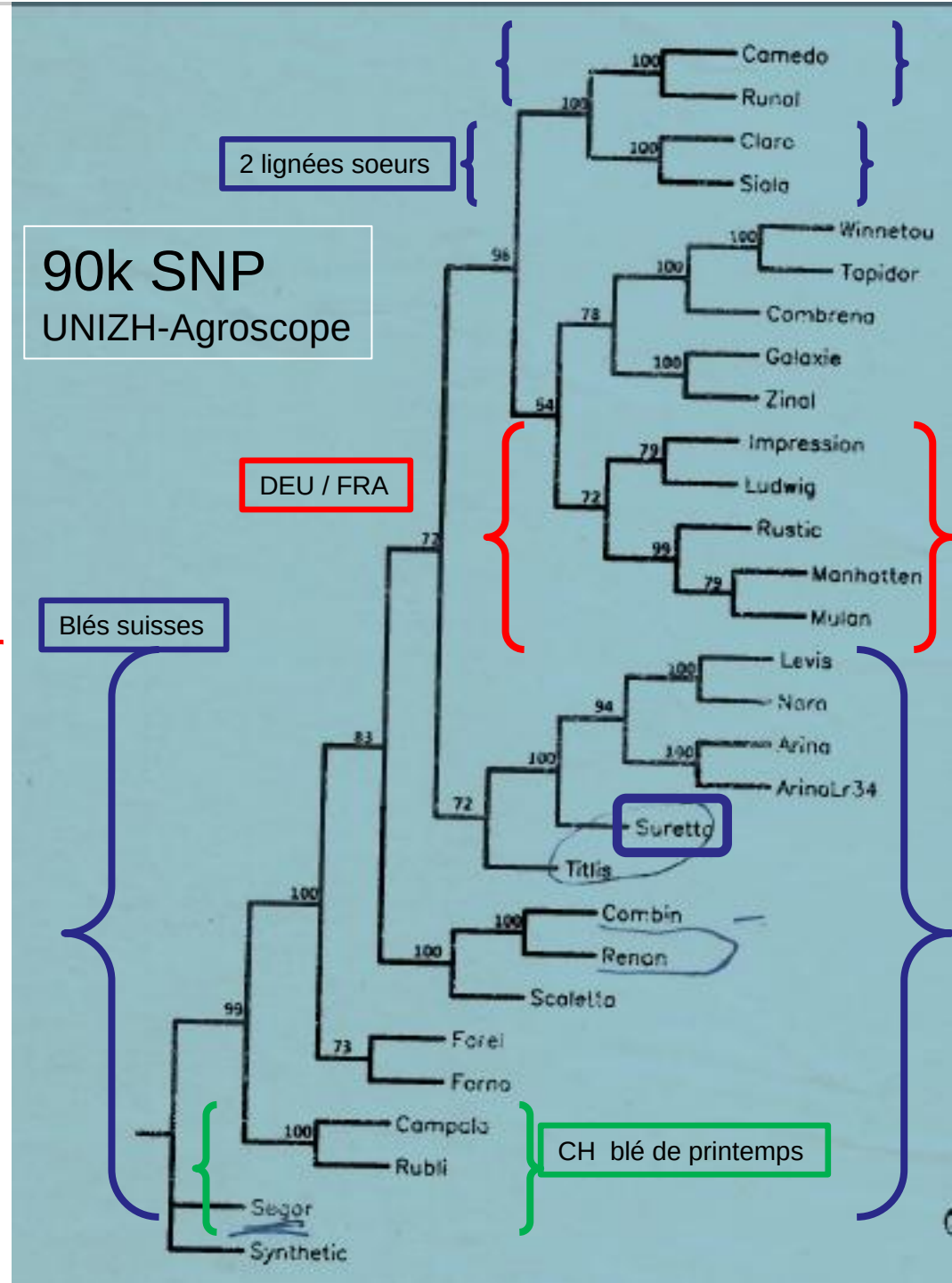
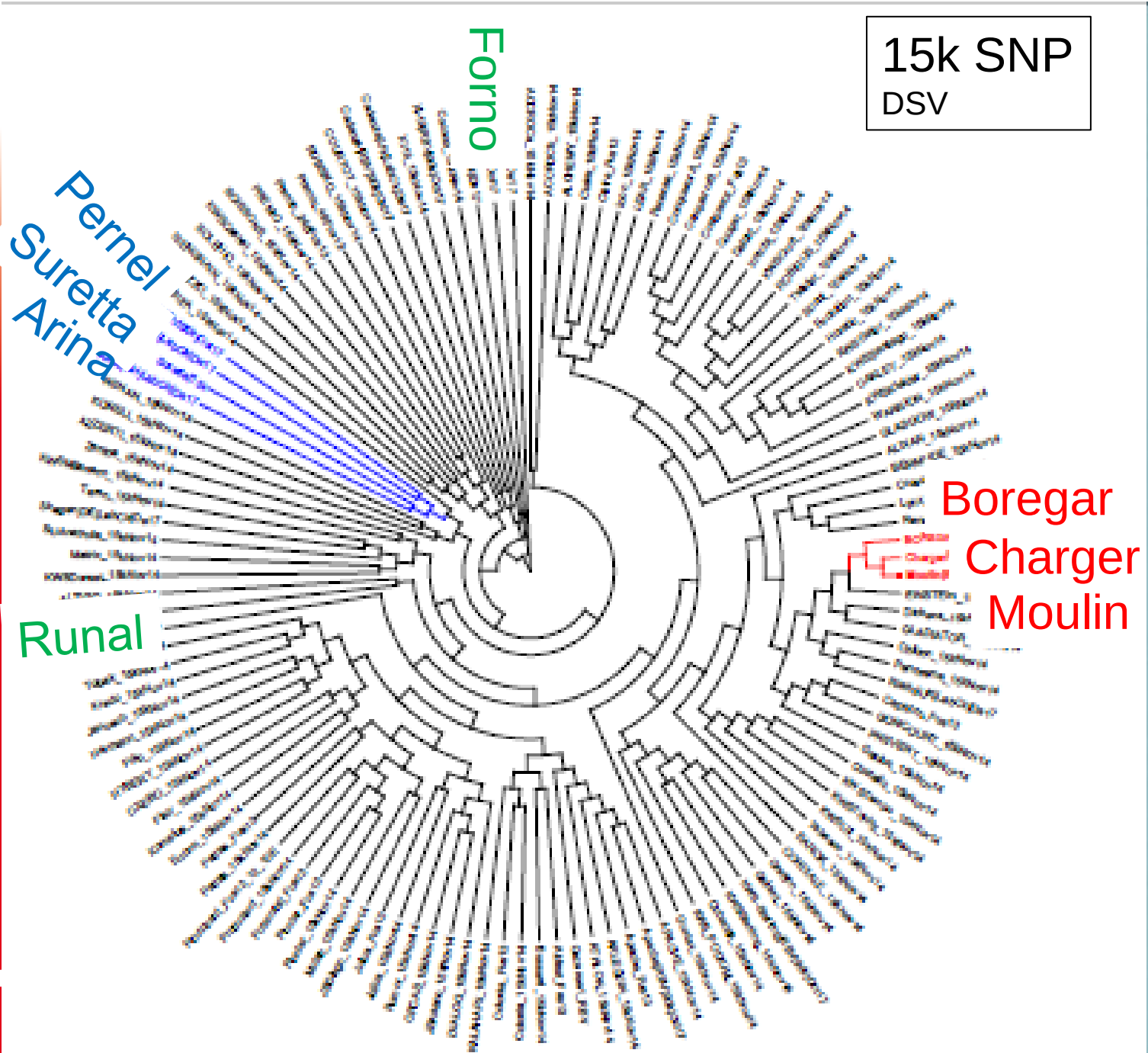
ARINA = MOISSON//CAN3842-3663/HEINES VII

H79R31 = VPM/MOISSON//US60 (?)/PRIEUR

PROBUS = TRUBILO/PLANTAHOF

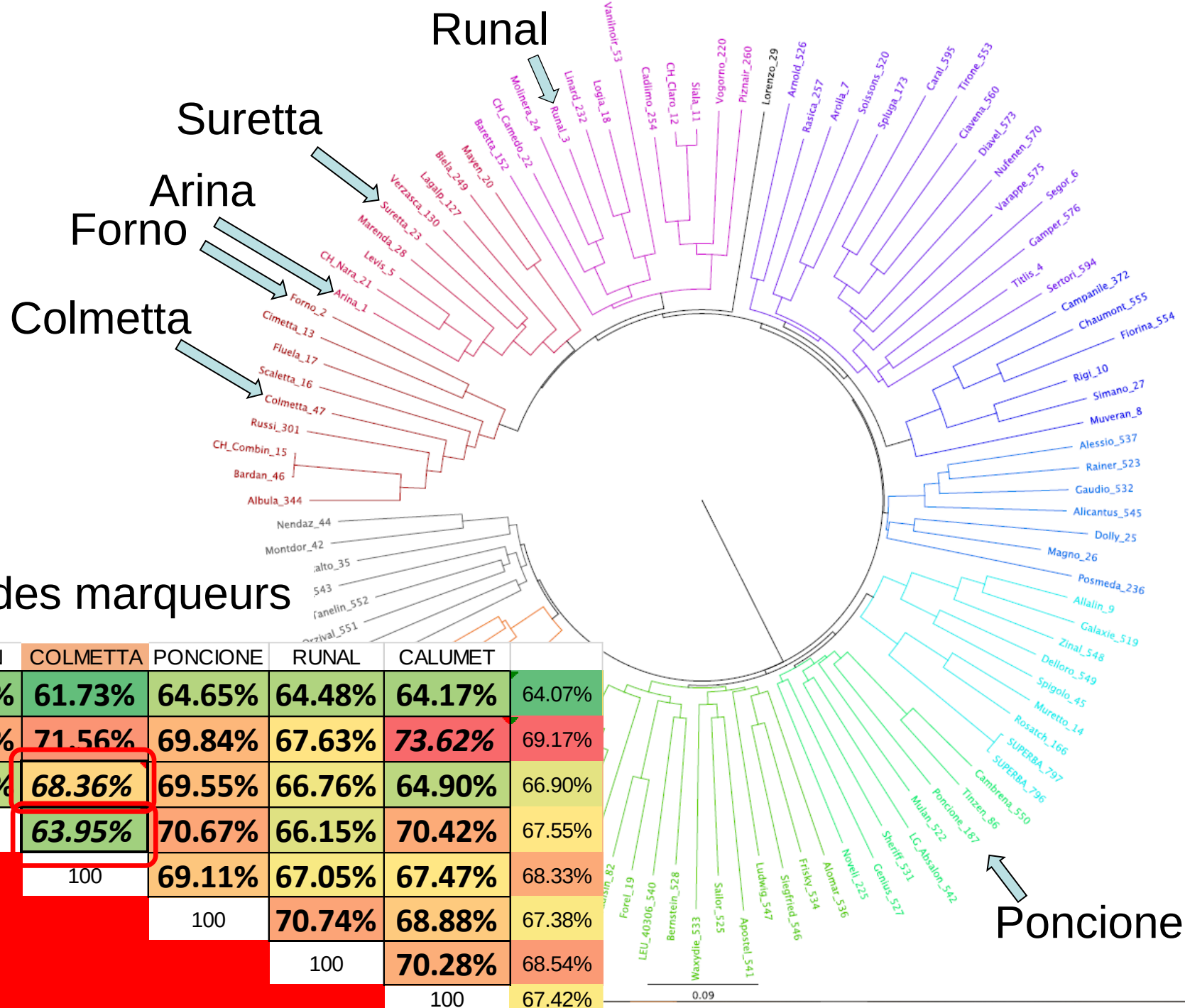
EIGER = BEZOSTAYA1//CAN3842/HEINES VII

PROBELLE = CAPPELLE DESPREZ/PROBUS





25k SNP
Agroscope



Pourcentage de similarité des marqueurs

	PERNEL	HIPSTER	SURETTA	MOULIN	COLMETTA	PONCIONE	RUNAL	CALUMET	
PERNEL	100	63.67%	66.61%	63.21%	61.73%	64.65%	64.48%	64.17%	64.07%
HIPSTER		100	64.39%	70.54%	71.56%	69.84%	67.63%	73.62%	69.17%
SURETTA			100	64.95%	68.36%	69.55%	66.76%	64.90%	66.90%
MOULIN				100	63.95%	70.67%	66.15%	70.42%	67.55%
COLMETTA					100	69.11%	67.05%	67.47%	68.33%
PONCIONE						100	70.74%	68.88%	67.38%
RUNAL							100	70.28%	68.54%
CALUMET								100	67.42%

Poncione

Travaux préliminaires 2017-2018

Premier test avec la variété Suretta, préparation du screening au champ



Cage -45%

Intérieur de
la cage



Cage -80%

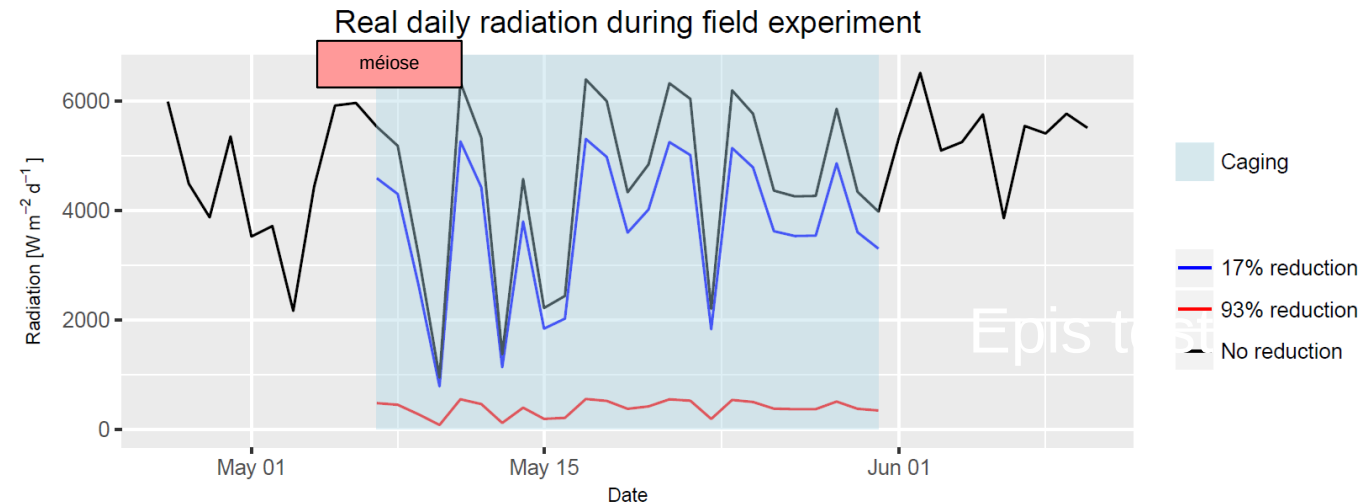
Mesure de
luminosité





Travaux préliminaires 2017-2018

- Epiation de Suretta le 17 mai; estimation de la méiose: du **4 au 11 mai 2018** Filets posés du **7 au 31 mai 2018** (limite ou un peu tard);
- Diminution de la lumière plus forte que prévue
 - -48 à -55% au lieu de -40%
 - -92 à -95% au lieu de -80%



- Récolte:
 - de 50 épis par procédé
 - + 5 épis de maître-brin
 - + 5 épis de talles secondaires



Travaux préliminaires 2017-2018

■ Taux de fertilité



Lumière	% de fleurs fécondées (estimation)			Nombre de graines/épi		
	Tout épis	Maître-brin	Talles secondaires	Tout épis	Maître-brin	Talles secondaires
100%	78			35.4		
60% (45-52%)	98	96	86	46.8	39.6	45.7
20% (5-8%)	62	54	57	26.5	19.8	28.2

- Le nombre de grain par épi est très diminué à faible luminosité
- Le nombre de grain par épi est plus diminué sur la talle principale (maître-brin)
- Mais à ~-50% de lumière, le nombre de grain par épi a été plus élevé qu'à l'air libre
- La pureté de Suretta était mauvaise



Travaux préliminaires 2017-2018

Croisements:

1. Les 3 variétés sensibles x une variété élite (prévu : Poncione puis remplacé par Colmetta)
2. Les 3 variétés x avec une variété élite de même précocité

	Parent A	Parent B		
DH par FD	SURETTA	<u>COLMETTA</u>	PONCIONE ()	
	MOULIN	COLMETTA		<u>CALUMET</u> ()
	PERNEL	COLMETTA ()	PONCIONE ()	<u>HIPSTER</u>

DH par AGROSCOPE, Odile Moullet

- 2 variétés sensibles mais génétiquement éloignées (Suretta & Moulin) x même élite (Colmetta)
- 2 variétés sensibles et proches génétiquement (Suretta & Pernel) x 2 élites (Colmetta & Hipster) (proximité inconnue)



Travaux préliminaires 2018-2019

- Création des populations HD (2019-2020)
 - Envoi des graines issues des croisements
 - Production des HD par Florimont-Desprez
 - Colmetta x Suretta : 58 HD
 - Colmetta x Moulin : 231 HD
 - Production des HD à Agroscope par Odile Moullet
 - Pernel x Hipster : >350 HD
- Essai de screening au champ (épis récoltés, travail de semestre et bachelor en 2020)
 - ~40 cultivars testés, pose des filets trop précoce, effet trop fort de l'ombrage 80%, oïdium fort sur certaines variétés, temps pour couvrir les épis (>3ho x 3heures x 4dates)
- Multiplication des variétés (faible quantités disponibles)



Travaux préliminaires 2018-2019

■ Screening de variétés

- Les **3 variétés** connues pour être sensibles: *Suretta, Moulin, Pernel* (via DSP & coll.)
- Des variétés **sensibles en 1997** : *Pentium, Equinox, Caxton* (via coll.)
- Des **descendants** de Suretta : 5 lignées (via DSP)
- Des **ancêtres** des variétés sensibles : *Yecora 70, Ciano 67* (grand-parents de Moulin, tous deux d'origine CIMMYT); *Rendezvous* (parent de *Pentium*), *Partizanka* (via coll.)
- Des **variétés proches/suspectes** : *Arina, Titlis, Levis, Poncione, Runal, Terza*
- Les variétés «**normales**» à priori : *Colmetta, Simano, CH Combin, Zinal, Campanile, Cadlimo, Piznair, Diavel, Montalto, Rosatch, Baretta, Montalbano, Molinera, CH Claro, CH Camedo, Rasica, Hanswin, Posmeda, Forel*
- Les variétés pour croisements : *Hipster, Calumet*
- Les variétés **proches de Moulin** : *Charger, Boregar*

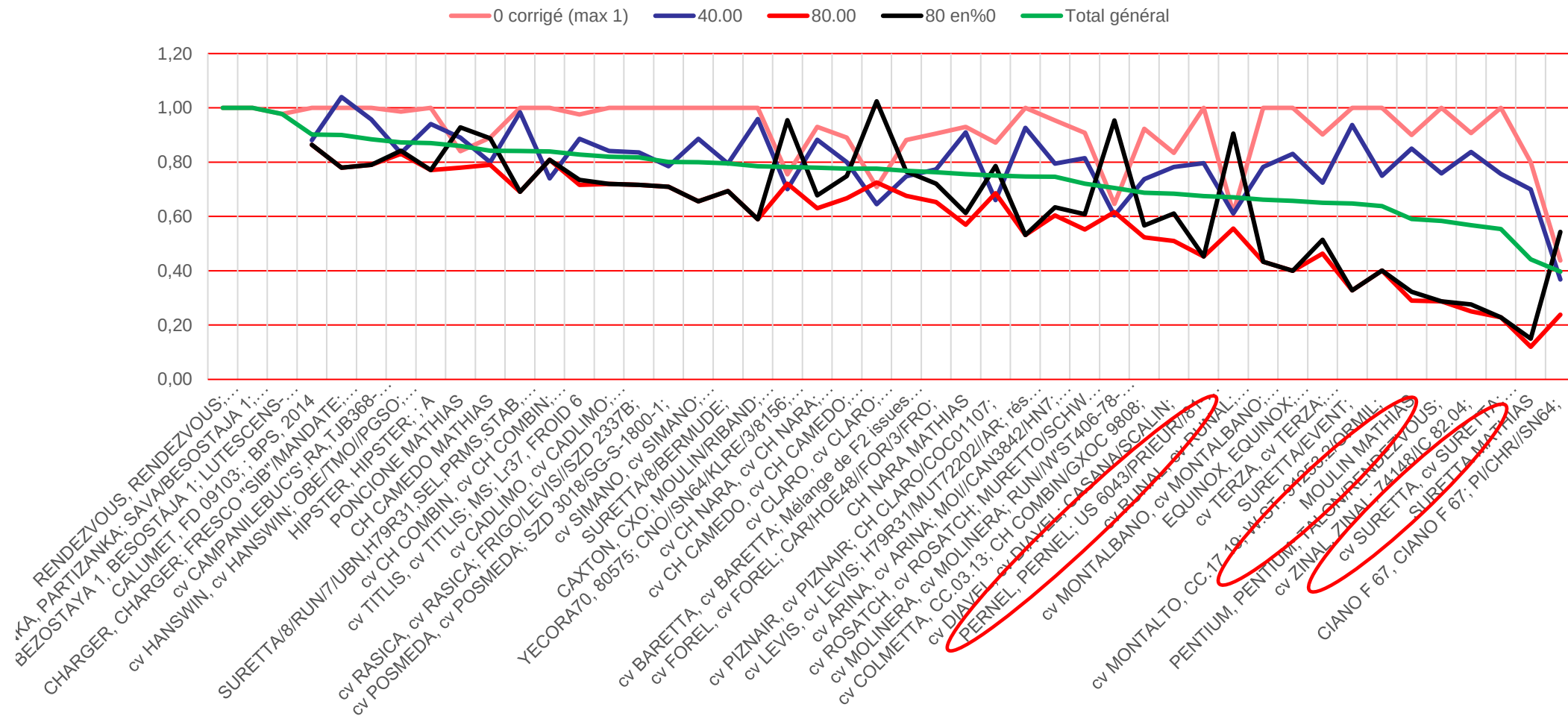


Preliminary studies

2018-2019

2

Fertility estimation





Travaux préliminaires 2019-2020

- Multiplication des HD (population Agroscope au champ)

- Test sur le «timing» de l'ombrage
 - 3 cv: Suretta, Pernel, Colmetta
 - 3 niveau de lumière (2 tunnels)
 - 4 procédés prévus :

■ 10j trop précoce - précoce	T1 & T2
■ 10j précoce - moyen	T2 & T3
■ 10j moyen - tardif	T3 & T4
■ 15j long	T2 & T3 & T4

- Amélioration de la méthode d'estimation de la fertilité



3 Battage individuelle des épis

4 comptage du nb de grains par épi
Poids du grain, PMG par épi; PHL (1x)

1 Photographie des épis

2 Taille de l'épi, comptage des épillets, nb épillets
avortés (base stérile), estimation du nb fleurs par
épillets





Travaux préliminaires 2019-2020

- ❖ Baisse de fertilité notable seulement avec l'ombrage maximum
- ❖ Classement +/- respecté
- ❖ Fertilité diminuée si l'épi est encapuchonné (Suretta et Moulin) mais pas pour Poncione (?)

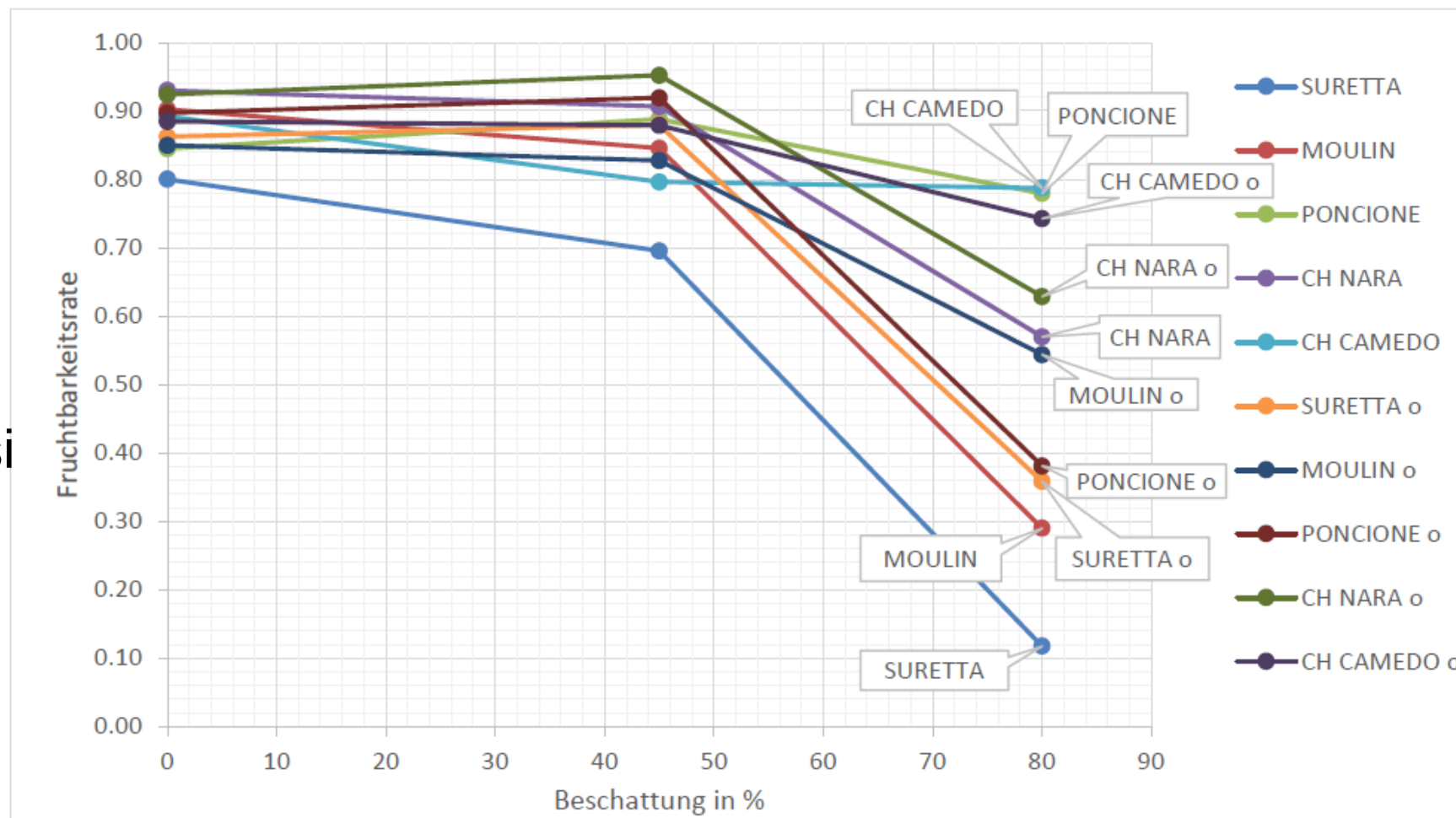


Abbildung 7: Mittelwert (n=20) der Fruchtbarkeit aufgrund der Beschattung nach Sorte, mit und ohne Fremdbestäuberschutz



Deux méthodes d'évaluation du stade «méiose»:

- a) Epiaison - Somme de température
- b) Morphologie de la tige

a) Sommes de températures (selon P. Gate)

	1'200	1'300	1'400	1'500	1'600	1'700	1'800
Durée semis-épiaison							
Durée méiose-épiaison	85	100	120	130	140	150	180
Durée semis-méiose	1'115	1'200	1'280	1'370	1'460	1'550	1'620

b) morphologie

La méthode b) prédit une méiose plus précoce que la méthode a)

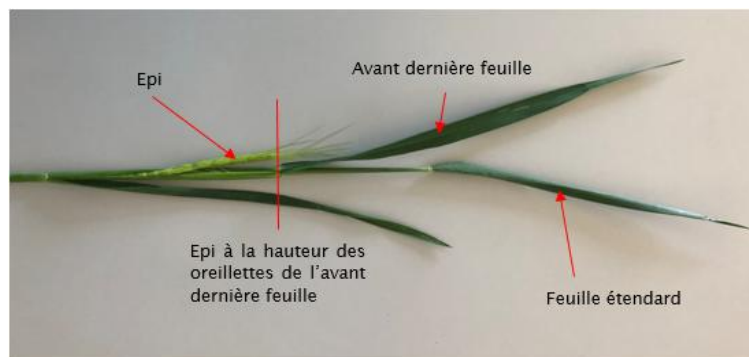


Figure 21 : Stade méiose du blé lorsque le sommet de l'épi est à la hauteur de la base de l'avant dernière feuille.

Stades et conditions météo
relevées pour Suretta :

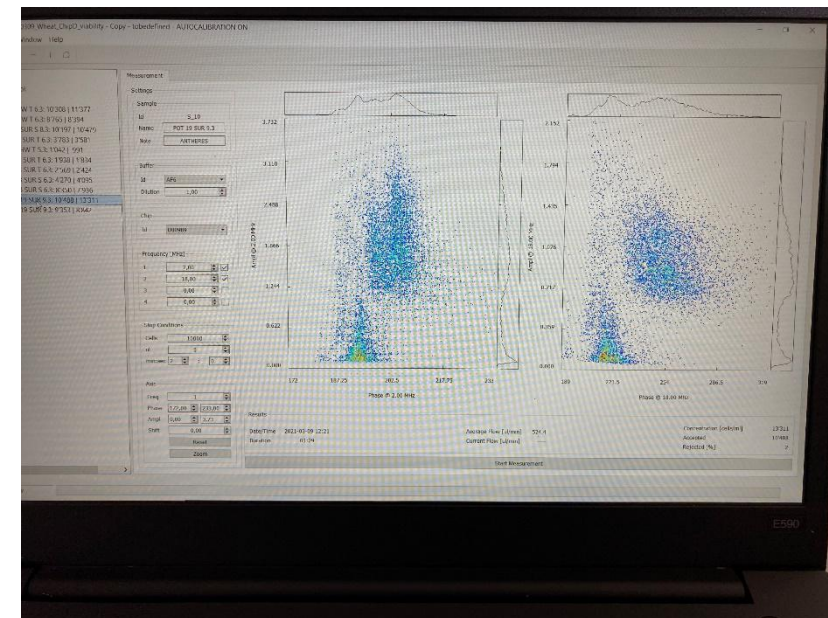
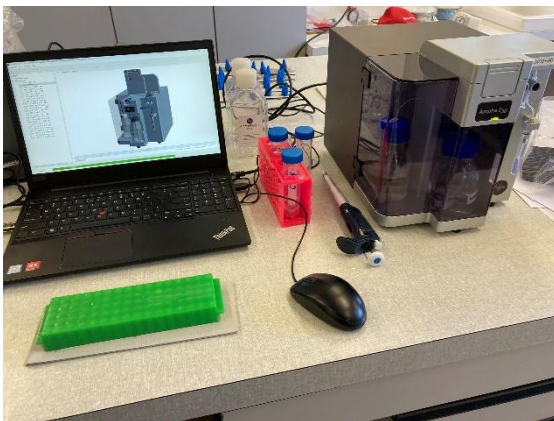
Tage ab BBCH 55	Suretta 2020				Suretta 2019				Suretta 2018				Suretta 2013			
	Temperatur °C Tagesmittel	Strahlung MJ/m2/Tag	Temp. Summe ab Ährenschieben	Beschattungsphase A	Beschattungsphase B	Beschattungsphase C	Beschattungsphase D	Temperatur °C Tagesmittel	Strahlung MJ/m2/Tag	Temp. Summe ab Ährenschieben	Beschattungsphase A	Beschattungsphase B	Temperatur °C Tagesmittel	Strahlung MJ/m2/Tag	Temp. Summe ab Ährenschieben	Beschattungsphase A
-24	15.9	20.2						10.2	8.8				17.6	25.4		
-23	12.9	10.0						10.7	23.5				17.8	25.1		
-22	14.8	25.8						7.6	9.9				18.0	24.4		
-21	15.9	25.1						5.3	27.1				15.8	13.0		
-20	15.9	15.6						7.4	28.8				15.2	26.0		
-19	15.6	11.9						9.1	26.0				17.4	18.2		
-18	14.0	12.1						9.8	2.1				13.7	23.5		
-17	13.8	23.9						9.7	9.0				14.9	26.8		
-16	12.0	6.7						13.3	19.8				16.5	19.5		
-15	11.4	19.3	212					11.4	13.7				14.7	16.8		
-14	10.0	3.1	200					10.6	24.1	192			11.2	23.9		
-13	10.0	6.7	190					10.9	29.6	181			9.9	15.3		
-12	11.7	8.0	180					11.3	28.0	171			11.2	15.9	191	
-11	12.2	18.4	168					9.7	29.8	159			12.5	9.6	180	
-10	15.9	28.2	156					11.2	29.4	150			16.4	19.3	167	
-9	14.5	11.1	140					10.5	13.0	138			18.1	26.2	151	
-8	13.9	21.6	126					12.1	16.9	128			18.9	26.6	133	
-7	14.2	28.3	112					12.7	9.4	116			17.9	24.8	114	
-6	17.6	25.4	98					12.4	5.3	103			16.6	23.0	96	
-5	18.3	26.4	80					13.9	20.0	91			14.7	13.9	79	
-4	17.4	21.4	62					14.7	30.2	77			12.8	4.1	65	
-3	13.1	7.5	44					15.6	29.7	62			14.4	28.4	52	
-2	8.3	19.2	31					16.1	22.6	46			16.7	23.5	37	
-1	10.7	8.6	23					15.0	15.3	30			10.1	5.7	21	
0	12.3	18.0	12					15.3	21.3	15			10.6	20.1	11	
1	11.6	6.5						16.9	27.0				11.0	9.2		
2	14.1	28.8						11.8	8.0				10.9	10.4		
3	16.7	30.2						11.9	15.6				13.9	29.0		
4	17.4	29.6						14.5	29.5				15.2	26.3		
								17.1	30.8				14.8	19.6		
								18.7	29.6				14.0	21.3		
								20.3	30.8				16.5	28.4		
								20.9	25.8				17.0	26.6		
								15.2	9.9				17.3	27.7		
								19.0	25.3				19.5	19.4		
								18.8	18.5				18.8	18.5		
								18.0	18.9				17.9	26.2		
								17.1	19.0				15.9	17.5		

2013 & 2019 étaient 2 années stressantes même sans ombrage.



Travaux préliminaires 2020-2021

Comptage du nombre de grains de pollen viable avec l'appareil d'Amphasys



- ❖ 2 variétés en «speed-breeding»
→ Impact sur le fitness des variétés
- ❖ Forte variation entre parties de l'épi et même entre les fleurs 1 & 2 d'un épillet
- ❖ Les anthères de Suretta sont plus petites, molles, parfois une des anthère jaune-pale, vide et restée au niveau de l'ovaire.
→ Une ou deux mesures par épis ne peuvent pas rendre compte de l'état générale de l'épi.



Phénotypage 2022

200 HD de la population Pernel x Hipster
et 5 standards (Hipster, Colmetta, Pernel, Suretta, Moulin)

2 procédé : ombrage fort, lumière naturelle
1 ligne/HD, 3 répétition, 15 épis / ligne observés



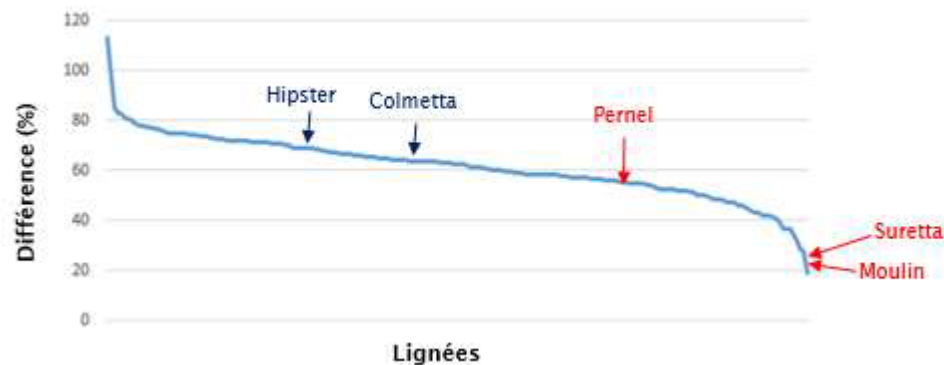
Impact moyen de l'ombrage:

- | | |
|--|-------------|
| • Diminution du nombre de fleur/épi | -15.7 |
| • Diminution du nombre de grains/épi | -15.0 |
| • Diminution du nombre de grains par épillet | -0.79 |
| • Diminution du Poids spécifique | -39.8 kg/hl |
| • Diminution de la taille des épis | -4.15 cm |
| • PMG stable | -0.36 g |
| • Diminution du taux d'épillets fertiles | -10.4 % |

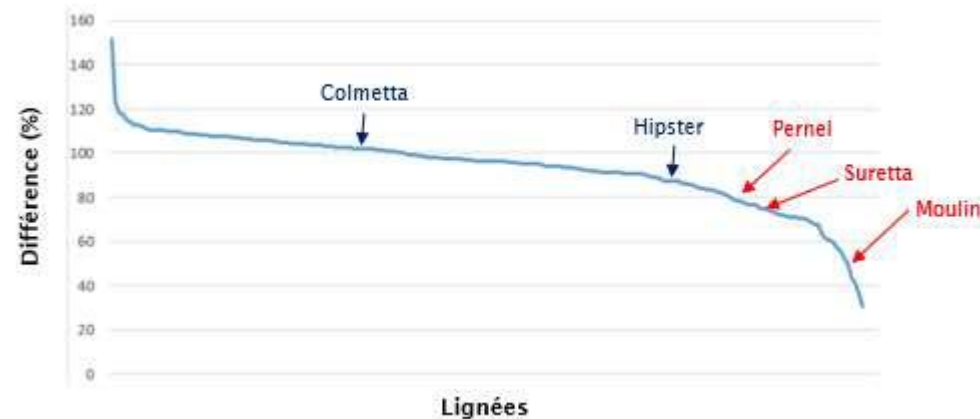


Phénotypage 2022

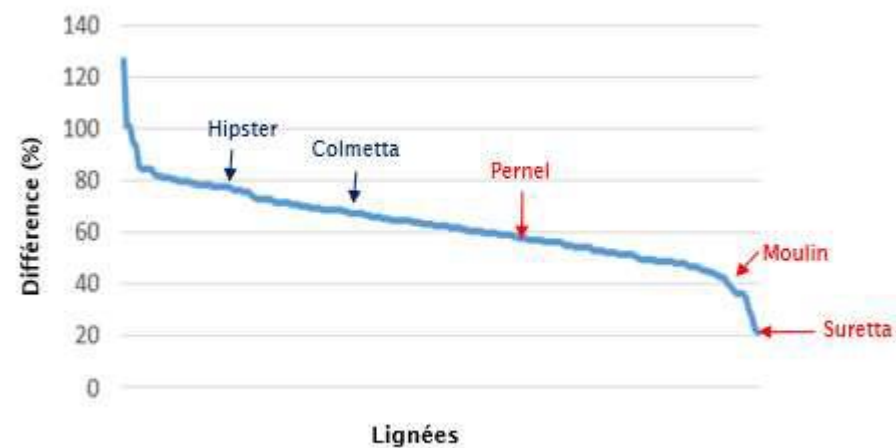
Différence (%) du nombre de grains par épi



Différence (%) du taux de fécondité



Différence (%) de PHL

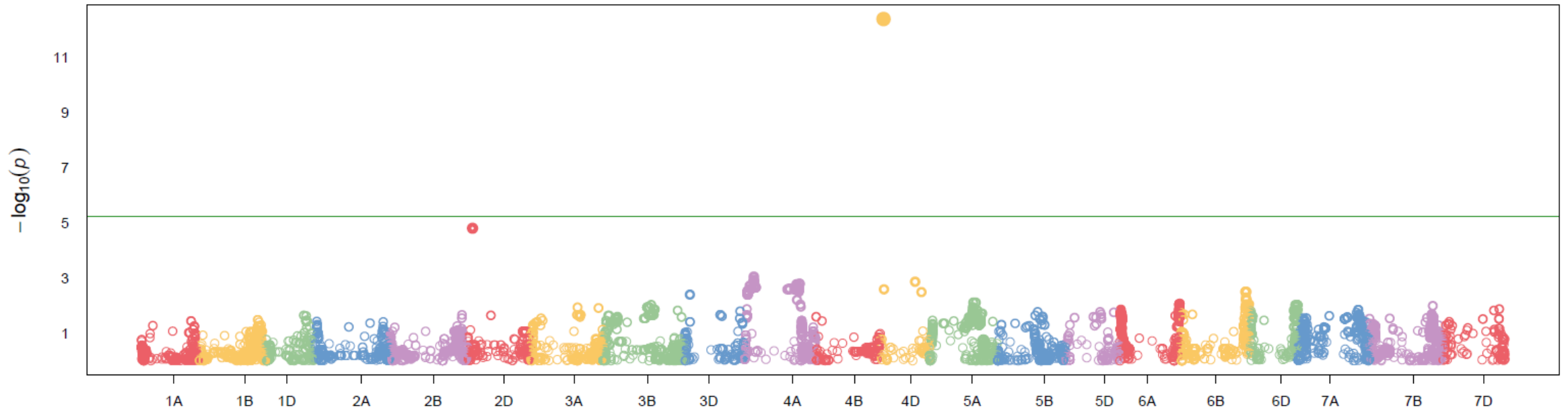


Suretta et Moulin sont plus sensible que Pernel



GWAS 2022 (à confirmer)

BLINK.taux_fecondite



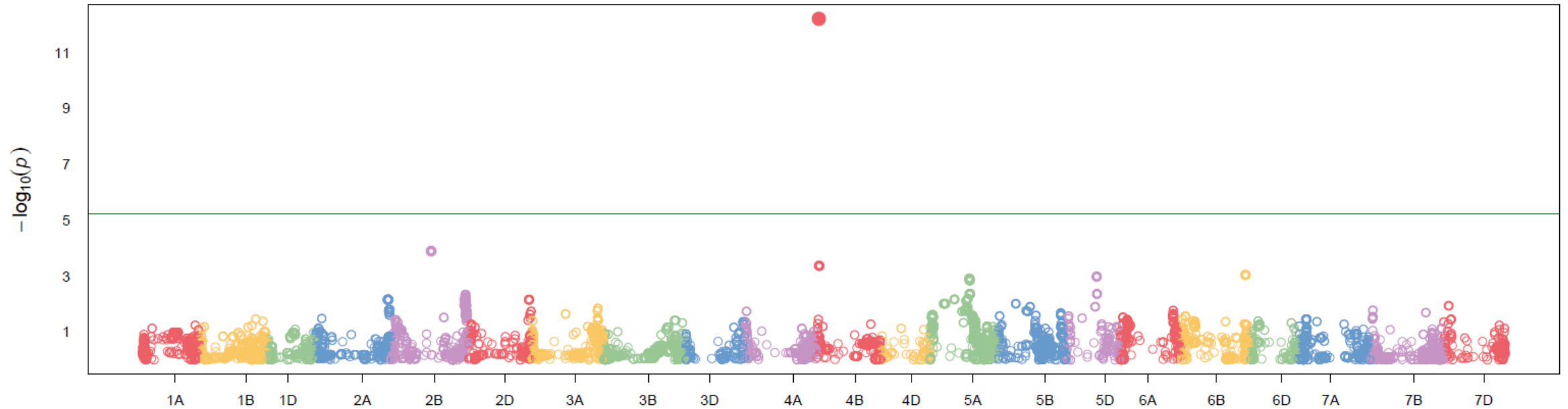
AX-108847275

32%



GWAS 2022 (à confirmer)

BLINK.taux_epillet_fertile



RAC875_c400_1271
19.4 %

AX-158537145
14.3 %



Essai 2024

Semis de toutes les HD des 3 populations
(dont les 200 HD de l'essai 2022)

1 ligne / HD

25 épis / ligne

2 procédé : ombrage fort, lumière naturelle
(au total ~1000 x 25 épis)



...

Conditions peu lumineuses et froides lors de la méiose,
peut-être que le procédé sous lumière naturelle a aussi été stressé

Phénotypage en cours, comparaison d'une partie (T/NT) avant la
poursuite des mesures ...,



Remerciements aux étudiants et aux techniciens

Etudiants

- **Simon Treier**
- **Mathias Christen**
- **Alexandre Meyer**

Techniciens

- **Mélanie Cordier**
- **Raphael Debeer**
- **Camille Broquet**
- **Ibrahim Bassel**

Merci pour votre attention

Dario Fossati

dario.fossati@netplus.ch

Agroscope good food, healthy environment
www.agroscope.admin.ch

