



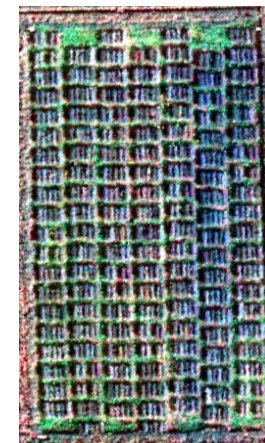
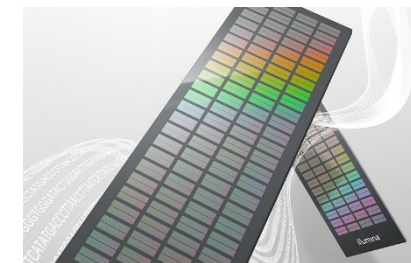
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR
Agroscope



GESEDON

Sélection génomique pour améliorer
la résistance à la Fusariose et
diminuer la teneur en DON dans le blé
panifiable,
mises à jour sur 3 ans



Dario Fossati, Flavio Foiada, Patrick Krähenbühl, Steven Yates, Andreas Hund
Journées Groupe Céréales INRAE, 2024, Bordeaux

Projet GESEDON – Les partenaires



**Groupe de recherche Amélioration des grandes cultures
et ressources génétiques**

*Fourniture du matériel génétique, 2x sites d'essai, production
et fourniture de l'inoculum, données marquage moléculaire*



Delley Semences et Plantes SA

*Coordination du projet, fourniture du matériel génétique, 1x site
d'essai, gestion semences et échantillons, analyse des données
phénotypiques*



Molecular plant breeding and crop phenotyping

*Prédictions génomiques, soutien statistique, (high-throughput
phenotyping)*

Fusariose sur épi: Importance de la thématique

Liste recommandée des variétés de blé d'automne pour la récolte 2023

Variété	TOP											I						II				Fourrager				Biscuit
	RUNAL	TITLIS	CH CLARO	CH NARA	PIZNAIR	AXEN ¹	DIAVEL ¹	MONTALBANO ¹	BONAVAU ¹	BARETTA	CADLIMO	ARINA	FOREL	SIMANO ¹	ALPVAL	HANSWIN	CAMPANILE	POSMEDA	LUDWIG	LEVIS	SPONTAN	PONCONE	CAMPESINO	SAILOR	MULAN	DILAGO
Année d'inscription	1995	1996	2009 (dem. année)	2010	2020	2022 (prov.)	2020	2018	2022 (prov.)	2018	2020	1981	2008	2012 (dem. année)	2022 (prov.)	2015	2021	2019	2004	1997	2017	2019	2022 (prov.)	2015	2007 (dem. année)	2019
Rendement (Extensio) ¹	-	-	-	+	+	+++	+	++	++	+(+)	++	Ø	Ø	+	++	++	+++	+++	+++	+	++++	++++	++++	++++	+++	+++
Rendement (PER) ²	-	-	+	-(-)	Ø	++(+)	+	+	Ø	+	+	-	+	Ø	++(+)	++(+)	++(+)	++(+)	++	++(+)	+++	++++	++++	++++	+++	+++(+)
Précocité à l'épiaison ¹	mt	t	mp	mt	mt	tp	tp	t	mt	t	t	t	mp	tp	t	mp	mt	mp	mt	mt	mt	t	mt	t	t	t
Hauteur des plantes ¹	m	ml	mc	tc	m	l	tl	m	c	ml	m	tl	m	c	m	m	m	tl	tl	c	m	l	c	ml	m	ml
Verse ^{1,2}	++(+)	++	+++	+++	+	++	++(+)	+++	+++	++	+	Ø	++	+++	+++	++(+)	++	+	+	+++	+++	+	+++	++(+)	++(+)	++
Résistance	Oïdium ¹	++(+)	Ø	+	++(+)	++(+)	Ø	++(+)	++	+	++(+)	++(+)	Ø	+	+	++(+)	Ø	+	+	Ø	++(+)	++(+)	++	++	+	Ø
	Rouille jaune ¹	+	++	-	+++	++	Ø	++(+)	+++	+	+++	++	Ø	Ø	+	++	+	Ø	+	+	Ø	++	+++	+	-	+
	Rouille brune ¹	-	-	Ø	Ø	+	++	+++	++	Ø	++(+)	++(+)	-(-)	-(-)	+	Ø	Ø	++	Ø	-	-	Ø	Ø	++	Ø	-(-)
	Septoria nodorum feuilles ^{1,3}	-	Ø	-	+	-	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	-	-	Ø	+	Ø	Ø	++	Ø	Ø	++	++	Ø	+	++
	Septoria nodorum épi ^{1,3}	Ø	Ø	-	Ø	+	++	Ø	++	+	++	+	++	Ø	-	+	+	Ø	++	++	-	++	++	++	+	++
	Septoria striata feuilles ^{1,3}	Ø	Ø	-	Ø	+	++	Ø	++	+	++	+	++	Ø	-	+	+	Ø	++	++	-	++	++	++	+	++
Fusariose épi ^{1,3}	Ø	+	-	-	Ø	Ø	Ø	++	Ø	+	Ø	++	-	Ø	Ø	-	Ø	-	Ø	-	++	-	+	Ø	Ø	+
Germination sur pied	++(+)	+	-	+	+	+	Ø	+	Ø	-	Ø	Ø	+	+	+	+	+	+	Ø	Ø	Ø	+	+	+	-	Ø
Teneur en protéines ¹	+++	++(+)	+++	+++	+++	+++	++(+)	+++	+++	++(+)	++(+)	++(+)	++(+)	++(+)	++(+)	++(+)	++	Ø	Ø	++	Ø	Ø	-	-(-)	-(-)	Qualité biscuit
Zélný ¹	++(+)	++	++	+++	++(+)	++	++(+)	++	++(+)	++	++(+)	Ø	++	++	++	+	++	Ø	Ø	++	-	Qualité fourragère				
Poids à l'hectolitre ¹	++	++	Ø	+++	++(+)	++	++	+	++	Ø	++(+)	+++	+++	++(+)	++	+++	+++	++(+)	++(+)	++	++(+)	++(+)	+	++(+)	-	+++
Poids de mille grains ¹	moyen	grand	petit	petit	petit	moyen	petit	grand	moyen	petit	très petit	moyen	très petit	moyen	grand	grand	moyen	très grand	très grand	moyen	moyen	très grand	petit	très grand	moyen	grand

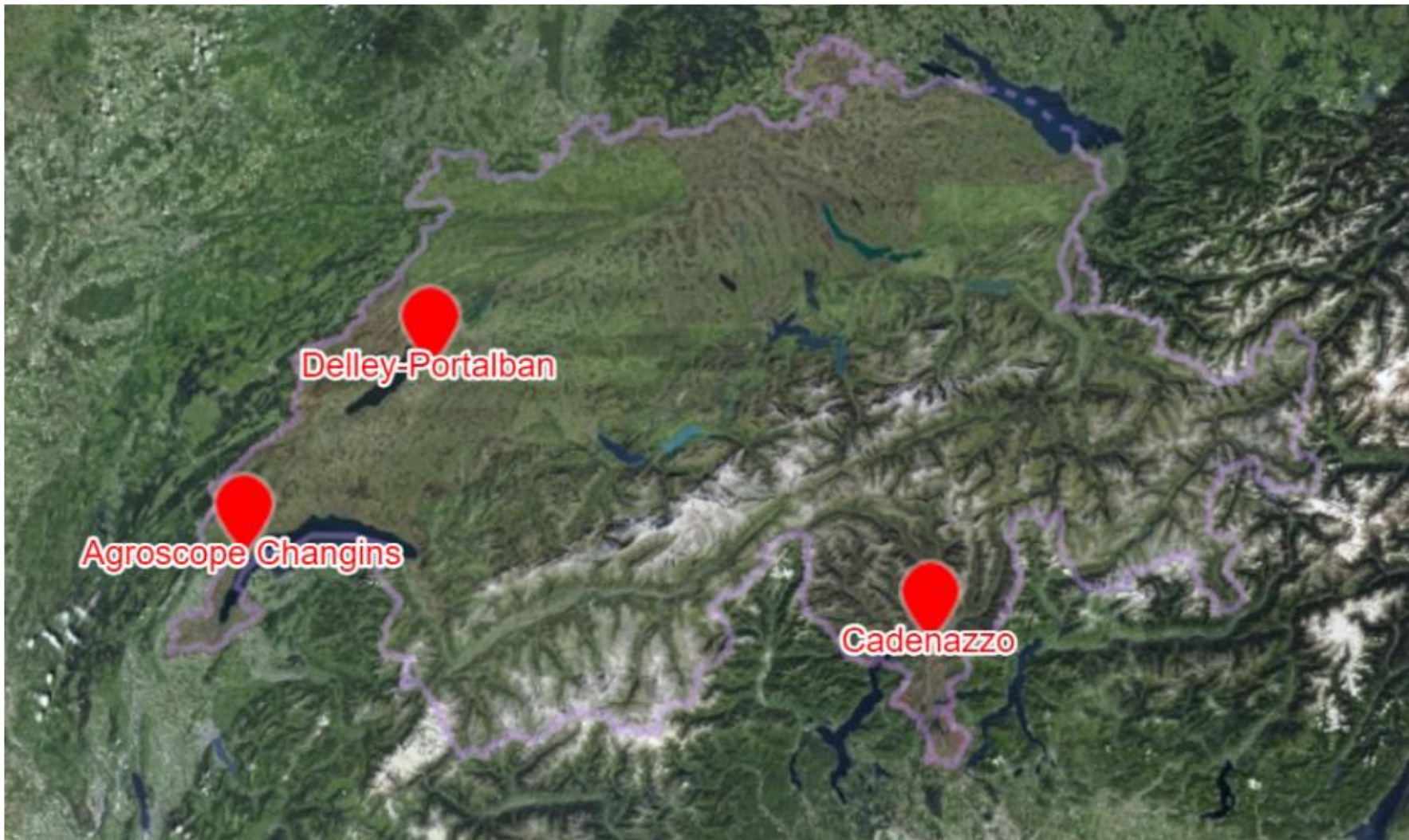
Teneurs maximales pour les mycotoxines (µg/kg) figurant dans l'Ordonnance du DFI sur les teneurs maximales en contaminants pour les produits finis

- Pain, pâtisseries, biscuits. Collations aux céréales et céréales pour le petit déjeuner 500 µg/kg
- Préparation à base de céréales et autres aliments pour bébés 200 µg/kg

But et structure du projet

- Profiter du génotypage et activités de sélection génomique (SG) déjà en cours chez Agroscope, pour mieux cibler la résistance à la Fusariose avec un phénotypage de haute qualité.
- 3 ans (2021 – 2023), 3 sites d'essai, 2 répétitions, inoculation artificielle, notations visuelles au champ des symptômes et de l'extrusion des anthères, **teneur en DON**.

Lieux d'essai



Source: map.geo.admin.ch, adapté par Pauline Bernard

Matériel génétique

- **Phase 1 «Calibration», 2 ans (2021 – 2022)**

Set de référence de 300 variétés et lignées avancées

→ Calibration du modèle de prédiction génomique

- **Phase 2 «Validation», 2023**

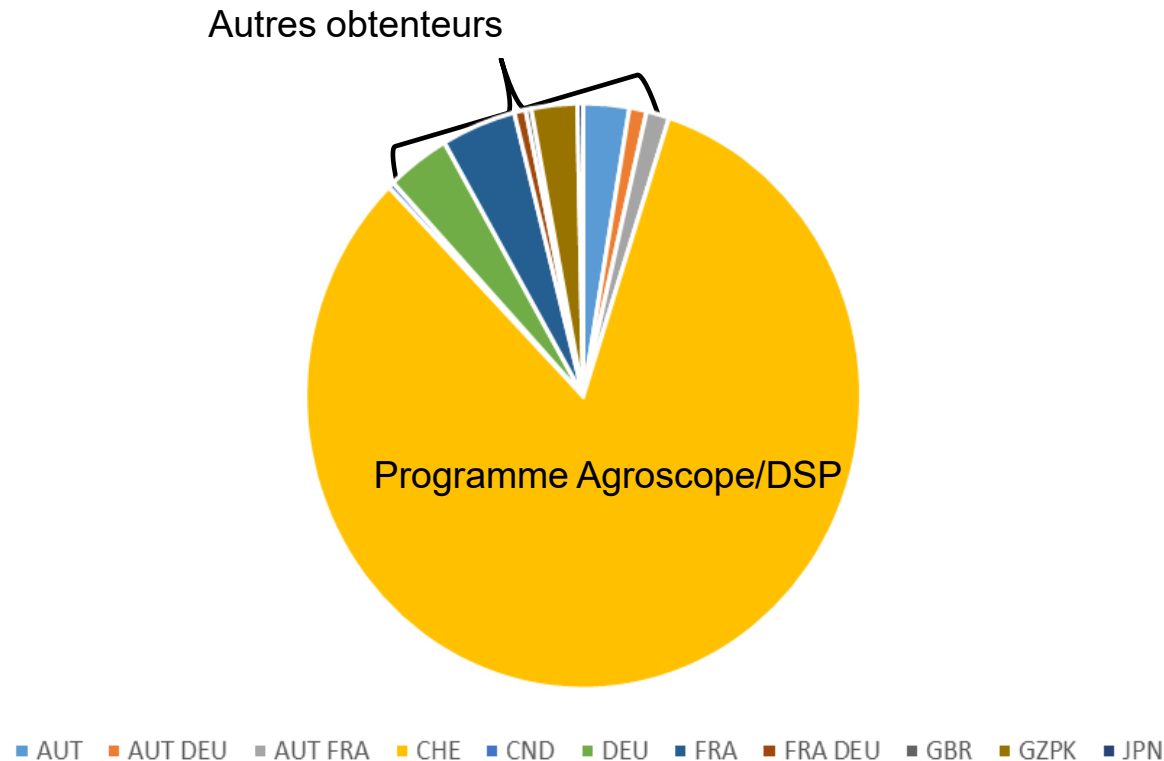
225 nouvelles lignées avancées, 75 variétés/lignées du set de référence

→ Extension du set de référence à 525 variétés/lignées

→ Validation de l'approche SG (modèle final)

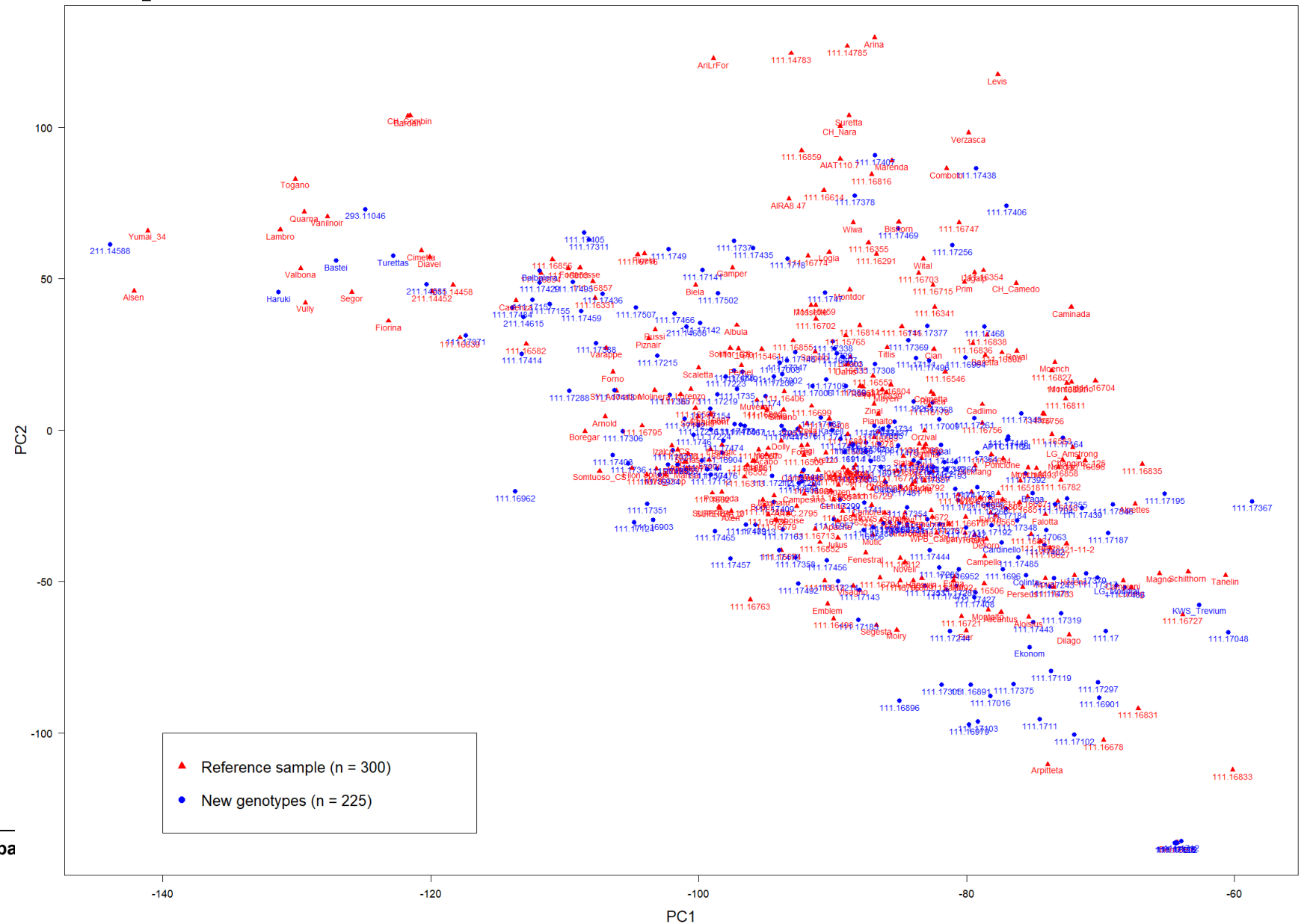
Matériel génétique

Origine des 300 génotypes du Set de référence:



- 283 blé d'automne
- 17 blé de printemps
- 22 dont la résistance est déjà connue Fus+
- 21 Fus moyen
- 13 Fus -
- 38 avec des variétés résistantes dans leur pedigree (Arina, Alsen,...)

Agroscope





Données phénotypiques

Trait	Abréviation	Unité / Échelle
Date d'épiaison	Heading	Jours après 1.1.
Hauteur des plantes	Height	cm
Extrusion des anthères note maximale de 3 – 4 passages	Anth Extr	Note 1 – 5 1 = pas d'extrusion 5 = max. extrusion
Fusariose sur épi AUDPC sur base de 3 à 4 passages de notation visuelle sur une échelle 1 - 9	Fus_AUDPC	-
Teneur en DON HPLC-MS/MS (Romerlabs, AT)	DON	µg / kg

Marquage moléculaire → 25k Illumina Infinium SNP Array (SGS, exTraitGenetics, DE)

Données phénotypiques



J-3

J-2

J-1

Jour J
Epiaison

J+1

J+2

+3 jours

Figure 19 : Notation de la date d'épiaison
Réalisé par Bernard P.



1

2

3

4

5

Figure 20 : Notation de l'extrusion des anthères
Réalisé par Bernard P.



1

Pas de
sympômes

2

Quelques
épillet (1-5)
sur la ligne

3

1-2 épillets par épis
sur plusieurs épis

4

Segment d'épi
sur plusieurs épis

5

Segment d'épis
sur nombreux épis

6

50% des épillets
sur nombreux épis

7

60% des épis
avec
segment contaminé

8

75-80% des épis touchés
souvent avec
de larges segments)

9

Presque tous les épis,
certains épis en entier

Résultats phénotypiques

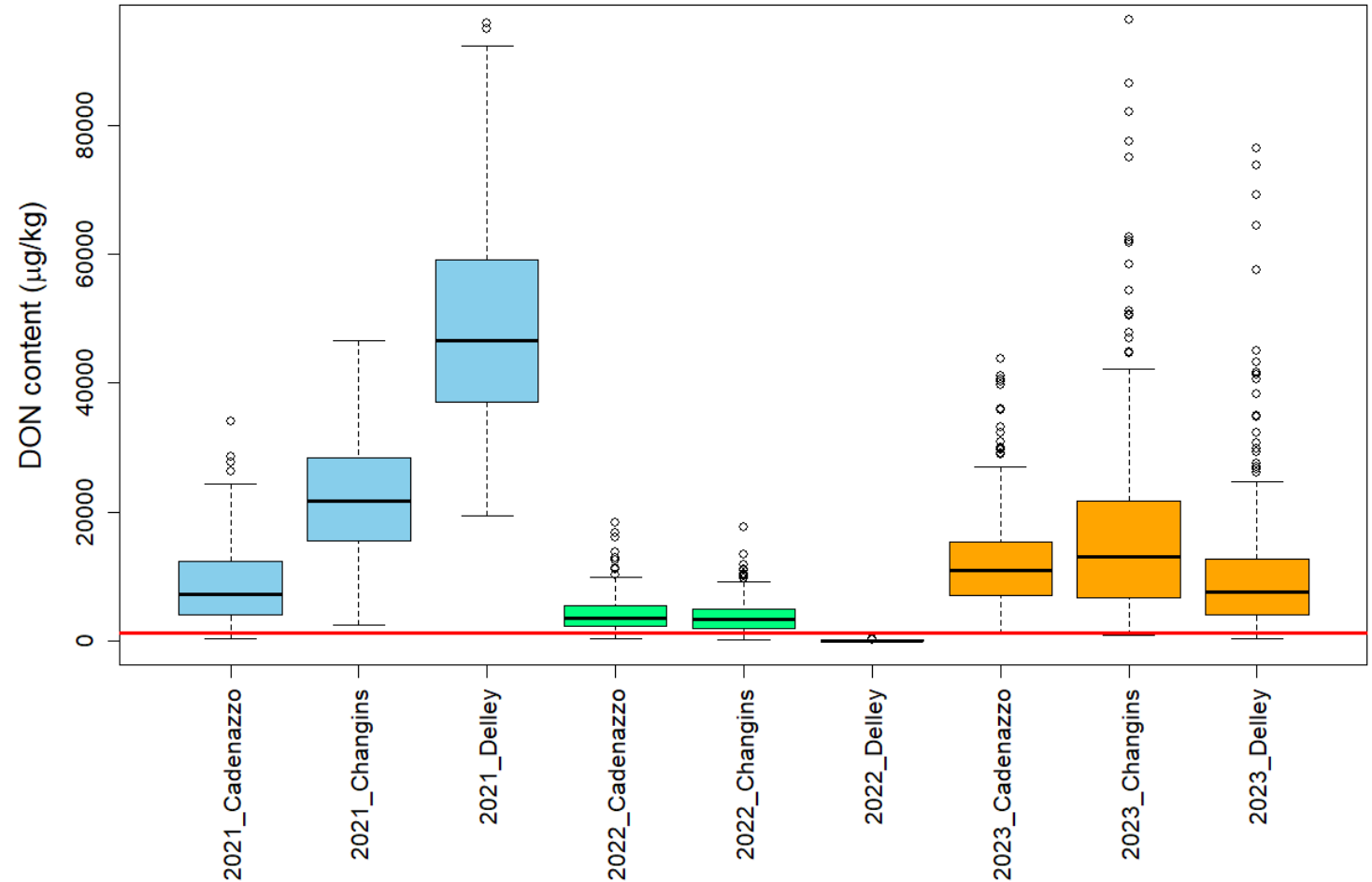
Moyennes sur 3 années (2021 – 2023) et 3 lieux, n = 525 génotypes

	Heading [j. ap. 1.1]	Height [cm]	Anth_Extra [1 – 5]	Fus_AUDPC	DON [µg / kg]
Min.	130	66	1.4	916	1326
Moy.	144	93	3.3	3829	9456
Max.	151	121	4.5	13494	29144
No. Lieux / année	3	2 - 3	2	3	3 (p-rep)
h ²	0.94	0.93	0.64	0.84	0.77

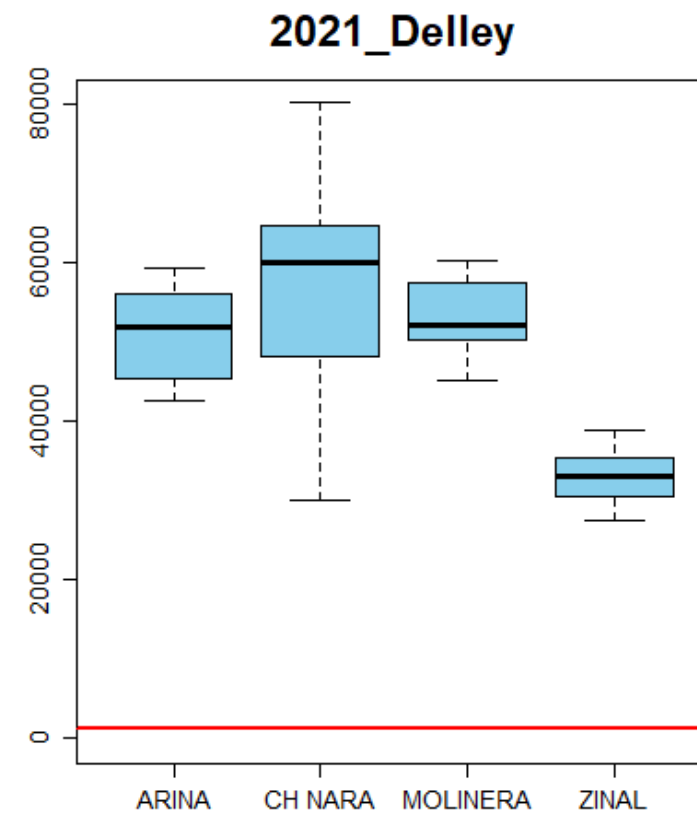
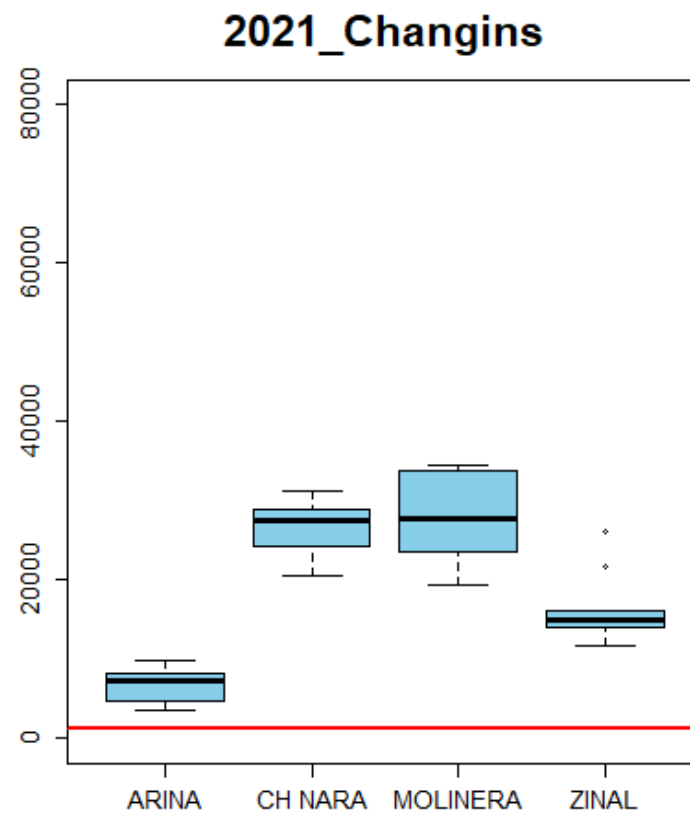
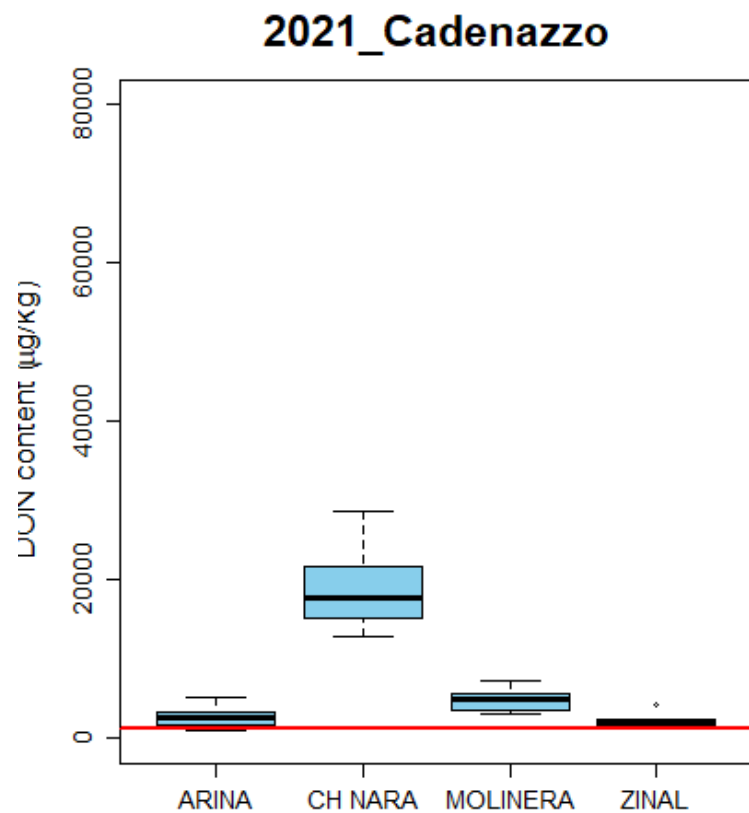
Résultats teneur en DON

Limite légale de teneur en DON en Suisse pour la consommation humaine : $1250\mu\text{g/kg}$ = ligne rouge

(Limite de teneur en DON, recommandées par l'UE, pour l'alimentation animale : de $900\mu\text{g/kg}$ à $5'000\mu\text{g/kg}$ selon les animaux)



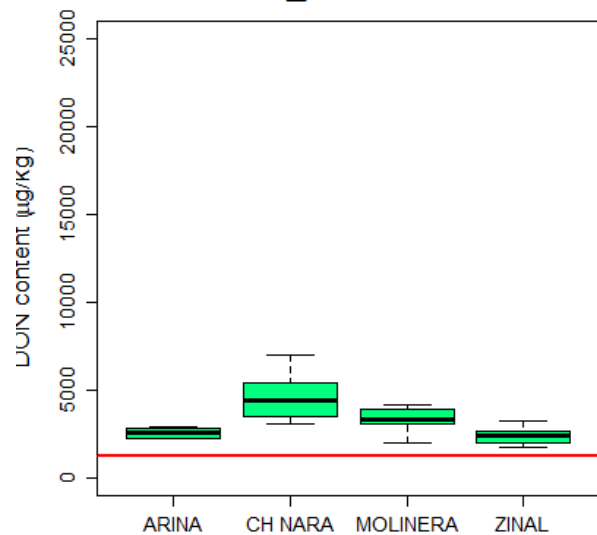
Résultats teneur en DON



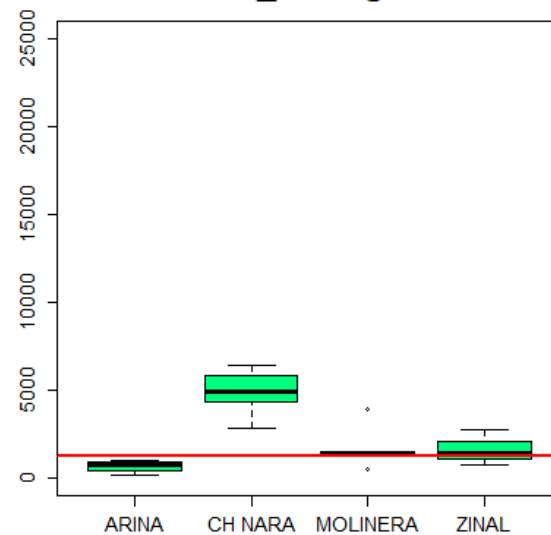


Résultats teneur en DON

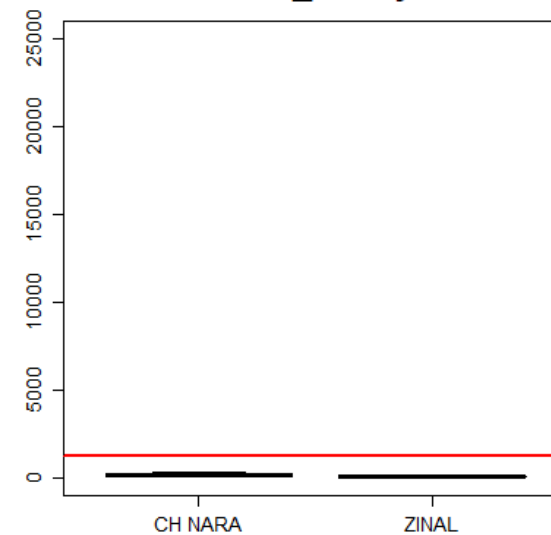
2022_Cadenazzo



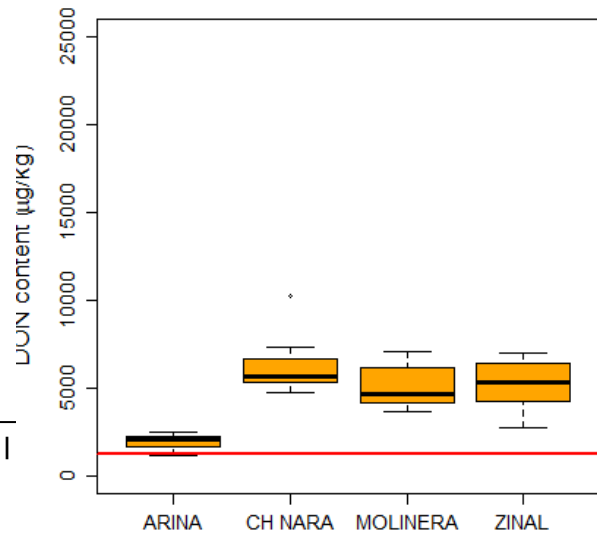
2022_Changins



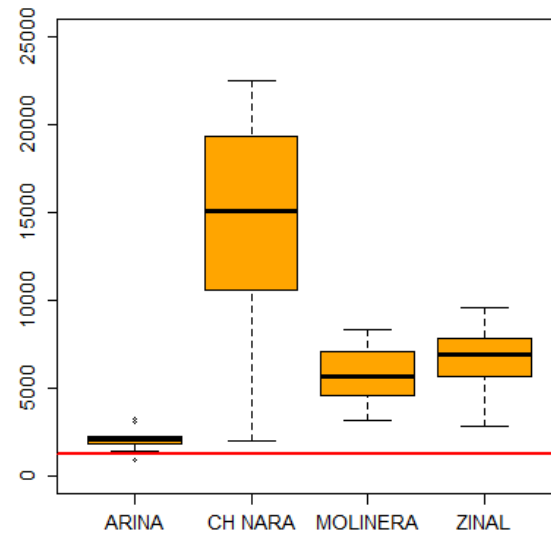
2022_Delley



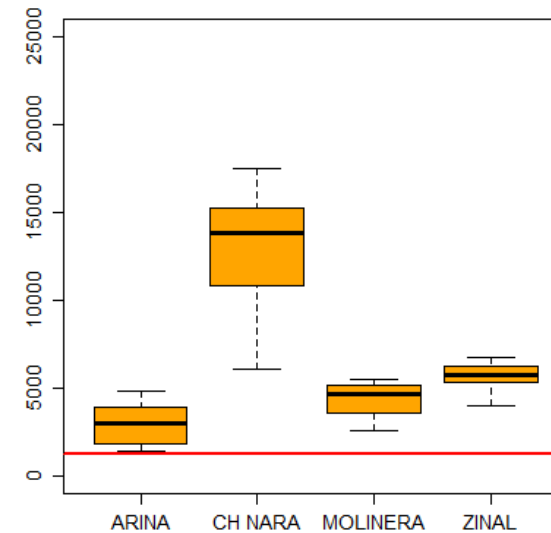
2023_Cadenazzo



2023_Changins



2023_Delley

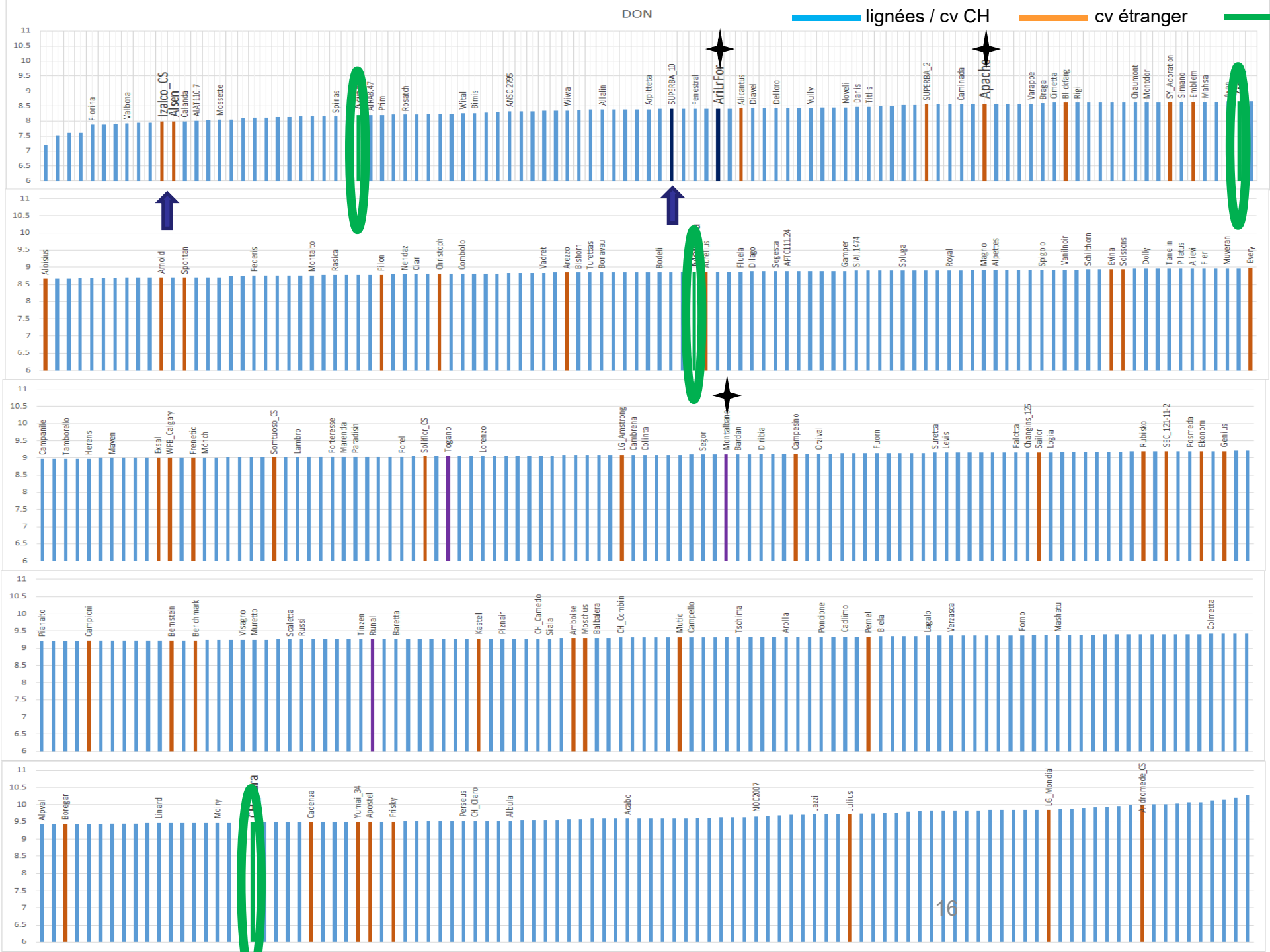


GESEDON |
D. Fossati

Résultats phénotypiques

Coefficients de corrélation de Pearson (r) entre traits 2021 – 2023, n = 525 génotypes:

	Heading	Height	Anth_Extra	Fus_AUDPC	DON
Heading					
Height	- 0.02 ns				
Anth_Extra	- 0.33 ***	+ 0.22 ***			
Fus_AUDPC	- 0.24 ***	- 0.36 ***	- 0.32 ***		
DON	+ 0.39 ***	- 0.30 ***	- 0.55 ***	+ 0.54 ***	



Fusariose sur épi: Importance de la thématique

Liste recommandée des variétés de blé d'automne pour la récolte 2023

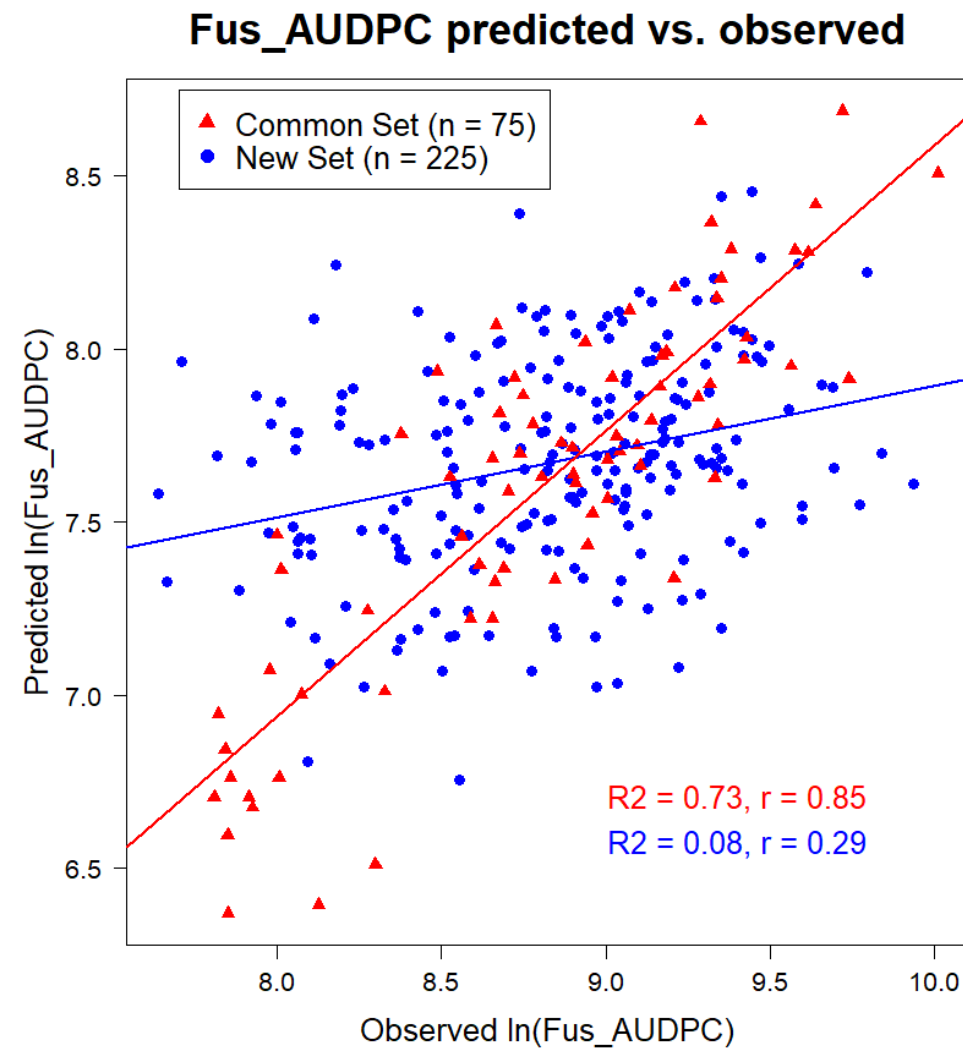
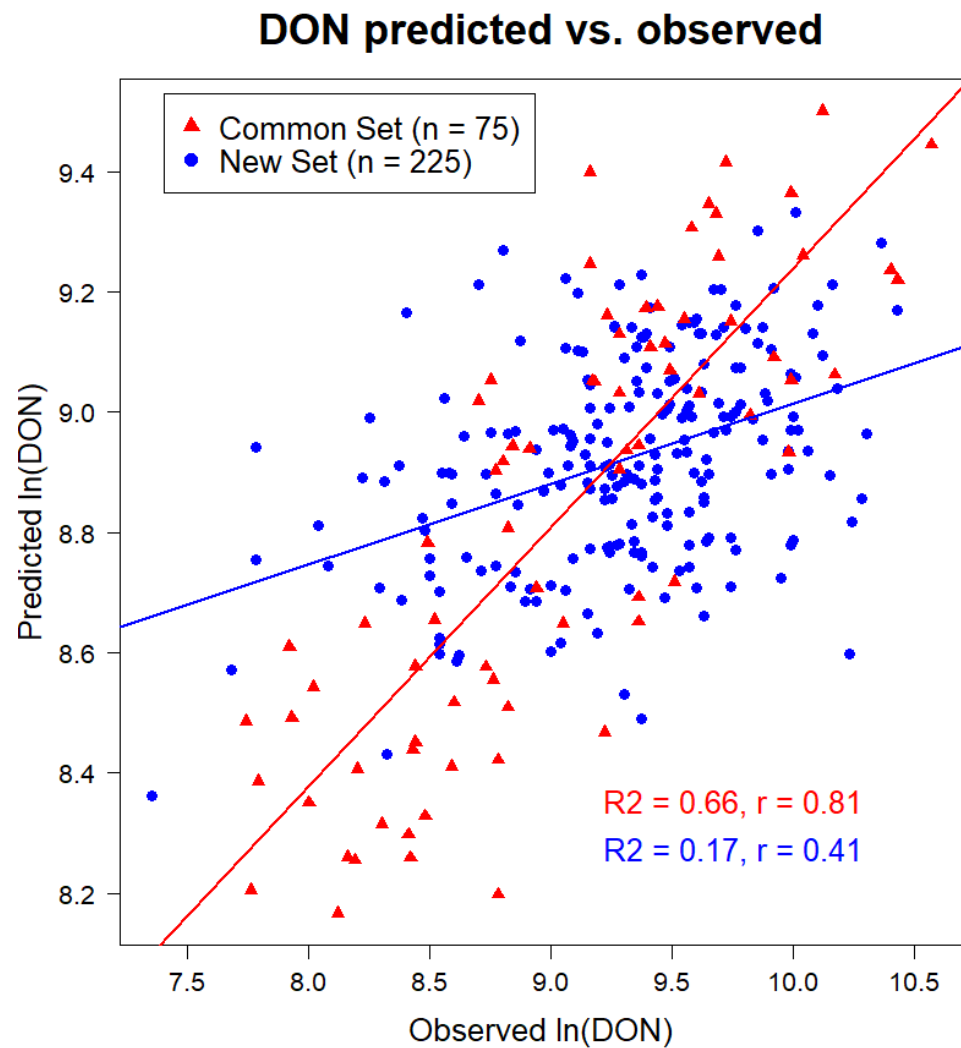
Variété	TOP											I						II				Fourrager				Biscuit
	RUNAL	TITLIS	CH CLARO	CH NARA	PIZNAIR	AXEN ^L	DIAVEL [*]	MONTALBANO ^L	BONAVAU ^L	BARETTA	CADLIMO	ARINA	FOREL	SIMANO ^L	ALPVAL	HANSWIN	CAMPANILE	POSMEDA	LUDWIG	LEVIS	SPONTAN	PONCIONE	CAMPESINO	SAILOR	MULAN	DILAGO
Année d'inscription	1995	1996	2009 (dem. année)	2010	2020	2022 (prov.)	2020	2018	2022 (prov.)	2018	2020	1981	2008	2012 (dem. année)	2022 (prov.)	2015	2021	2019	2004	1997	2017	2019	2022 (prov.)	2015	2007 (dem. année)	2019
Rendement (Extensio) ¹	-	-	-	+	+	+++	+	++	++	+(+)	++	Ø	Ø	+	++	++	+++	+++	+++	+	++++	++++	++++	++++	+++	+++
Rendement (PER) ²	-	-	+	-(-)	Ø	+(+)	+	+	Ø	+	+	-	+	Ø	+(+)	+(+)	+(+)	++(+)	++	+(+)	++(+)	++++	++++	++++	+++	++(+)
Précocité à l'épiaison ¹	mt	t	mp	mt	mt	tp	tp	t	mt	t	t	t	mp	tp	t	mp	mt	mp	mt	mt	mt	t	mt	t	t	t
Hauteur des plantes ¹	m	ml	mc	tc	m	l	tl	m	c	ml	m	tl	m	c	m	m	m	tl	tl	c	m	l	c	ml	m	ml
Verse ^{1,2}	++(+)	++	+++	+++	+	++	++(+)	+++	+++	++	+	Ø	++	+++	+++	++(+)	++	+	+++	+++	+	+++	+++	++(+)	++(+)	++
Résistance	Oïdium ¹	++(+)	Ø	+	++(+)	++(+)	Ø	++(+)	++	+	++(+)	++(+)	Ø	+	+	++(+)	Ø	+	+	Ø	++(+)	++(+)	++	++	+	Ø
	Rouille jaune ¹	+	++	-	+++	++	Ø	++(+)	+++	+	+++	++	Ø	Ø	+	++	+	++	Ø	+	+	Ø	++	+++	+	-
	Rouille brune ¹	-	-	Ø	Ø	+	++	+++	++	Ø	++(+)	++(+)	-(-)	-(-)	+	Ø	Ø	++	Ø	-	-	Ø	Ø	++	Ø	-(-)
	Septoria nodorum feuilles ^{1,3}	-	Ø	-	+	-	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	-	-	Ø	+	Ø	Ø	++	Ø	Ø	++	++	++	Ø	+	++
	Septoria nodorum épi ^{1,3}	Ø	Ø	-	Ø	+	++	Ø	++	+	++	+	++	Ø	-	+	+	Ø	++	++	-	++	++	++	+	++
	Septoria tritici feuilles ^{1,3}	-	Ø	-	+	+	++	Ø	++	+	++	+	++	Ø	-	+	+	Ø	++	++	-	++	++	++	+	++
Fusariose épi ^{1,3}	Ø	+	-	-	Ø	Ø	Ø	++	Ø	+	Ø	++	-	Ø	Ø	-	Ø	-	Ø	-	++	-	+	Ø	Ø	+
DON	9.3	8.5	9.5	9.5	9.3	8.7	8.4	9.1	8.8	9.3	9.3	8.2	9.0	8.6	9.4	9.2	9.0	9.2	9.2	9.2	8.7	9.3	9.1	9.2		8.9
Poids à l'hectolitre ¹	++	++	Ø	+++	++(+)	++	++	+	++	Ø	++(+)	+++	+++	++(+)	++	+++	+++	++(+)	++(+)	++	++(+)	++(+)	+	++(+)	-	+++
Poids de mille grains ¹	moyen	grand	petit	petit	petit	moyen	petit	grand	moyen	petit	très petit	moyen	très petit	moyen	grand	grand	moyen	très grand	très grand	moyen	moyen	très grand	petit	très grand	moyen	grand

Mise à jour des descriptions variétales, publication des résultats DON

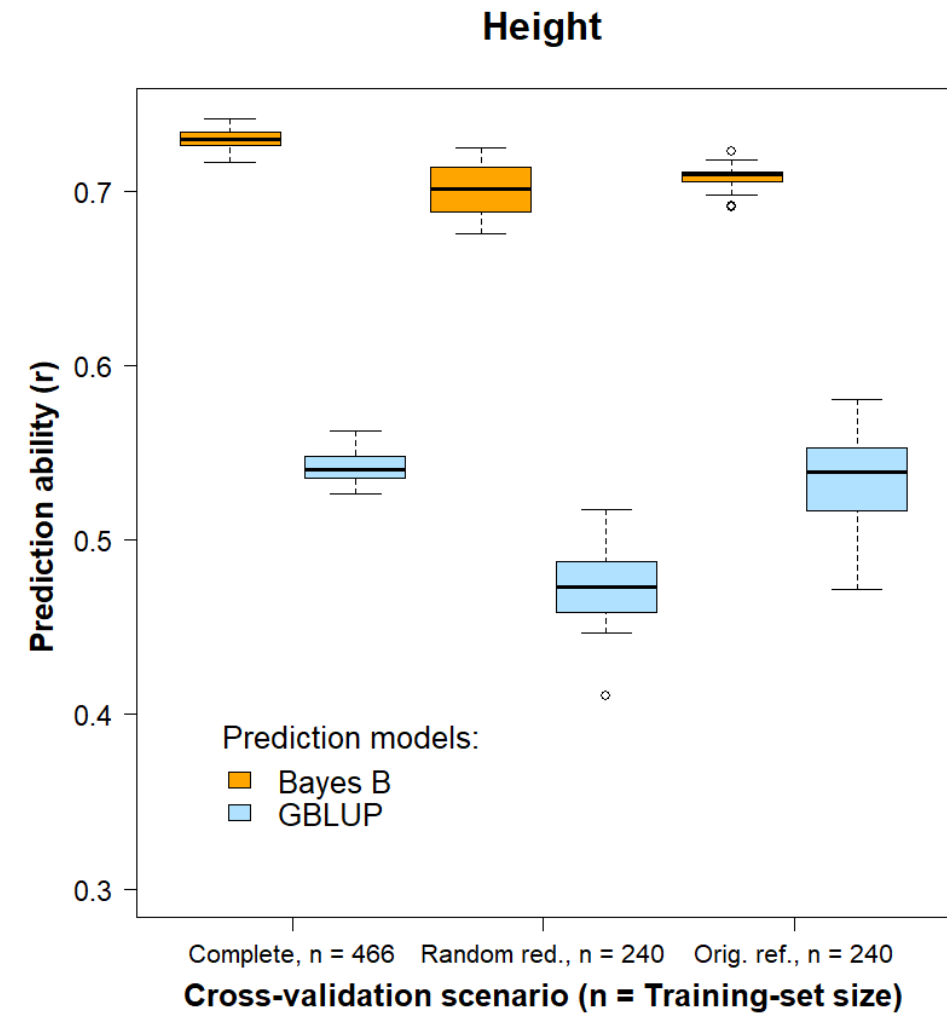
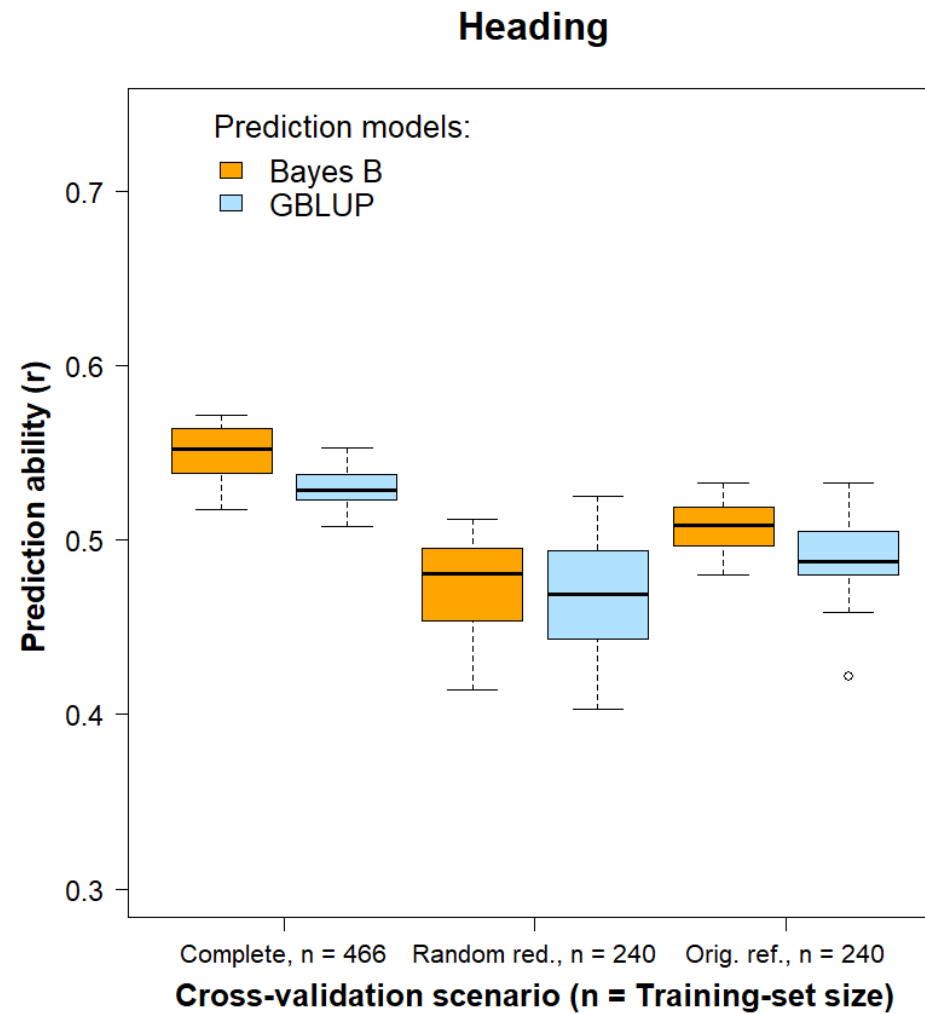
Mesures DON en routine pour les cv de la liste recommandée ?

Résultats GS (Steven Yates)

Prédiction basée sur le
modèle GS 2021-2022
(300 génotypes de
base, 2 ans)

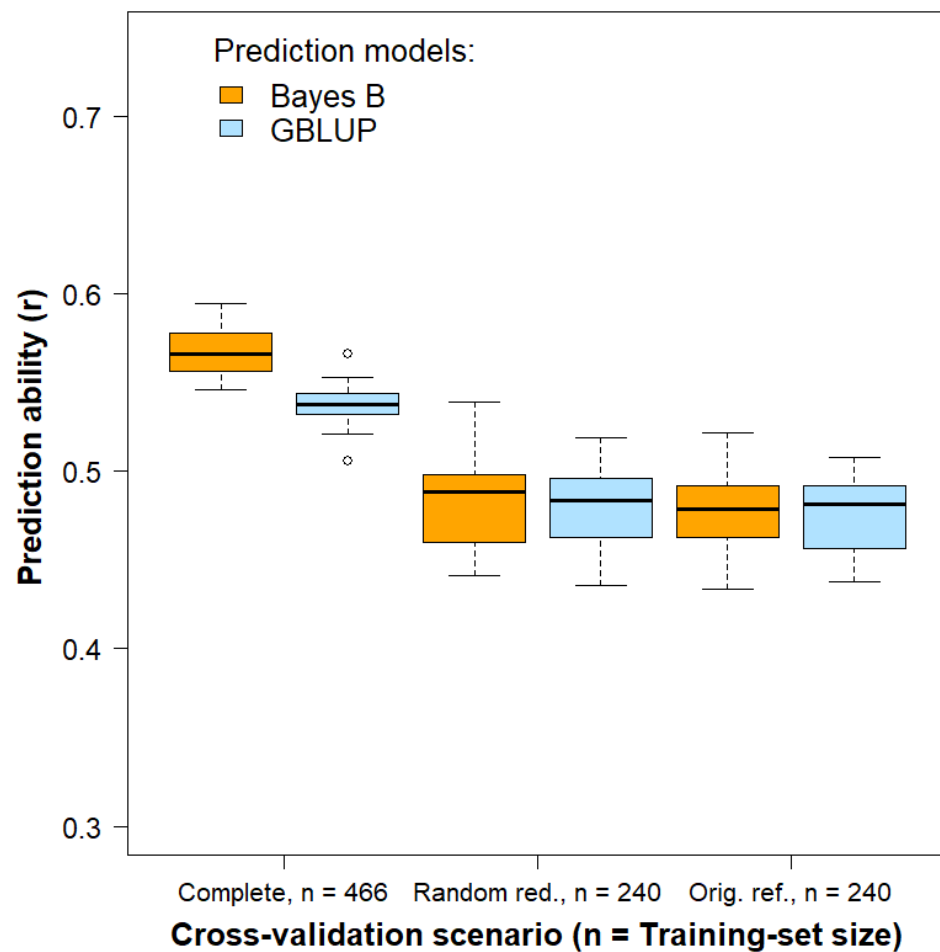


Résultats GS (Flavio Foiada)

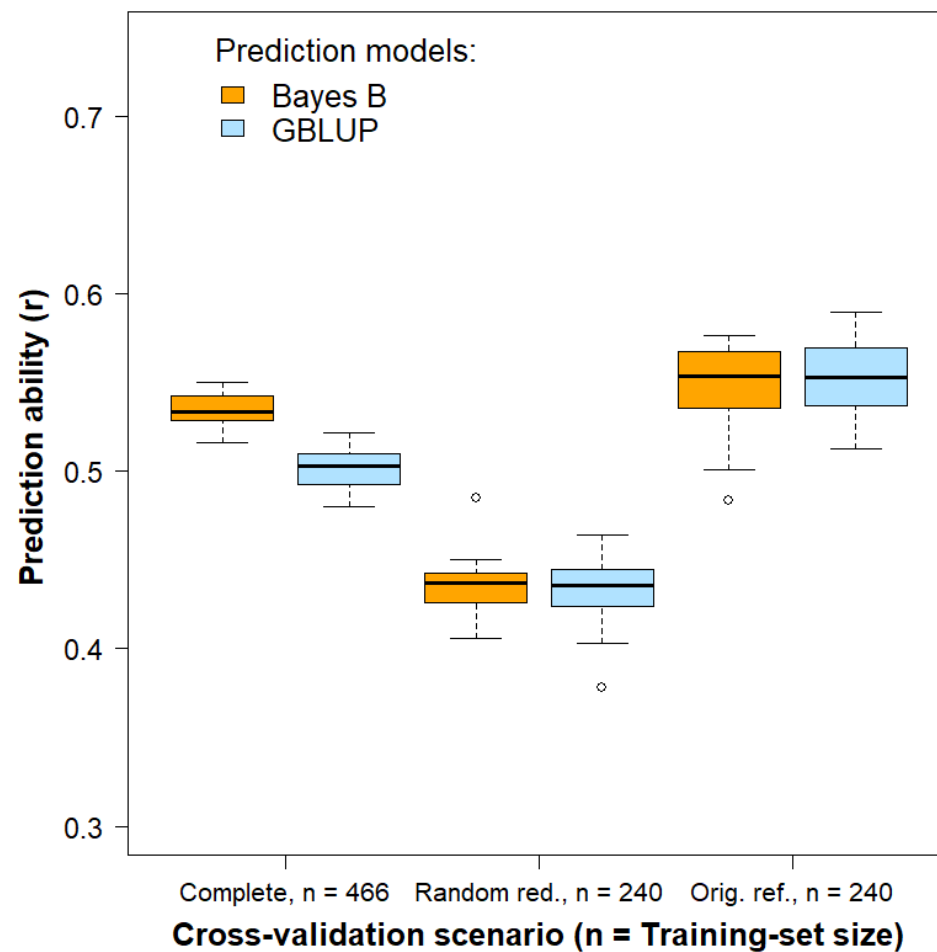


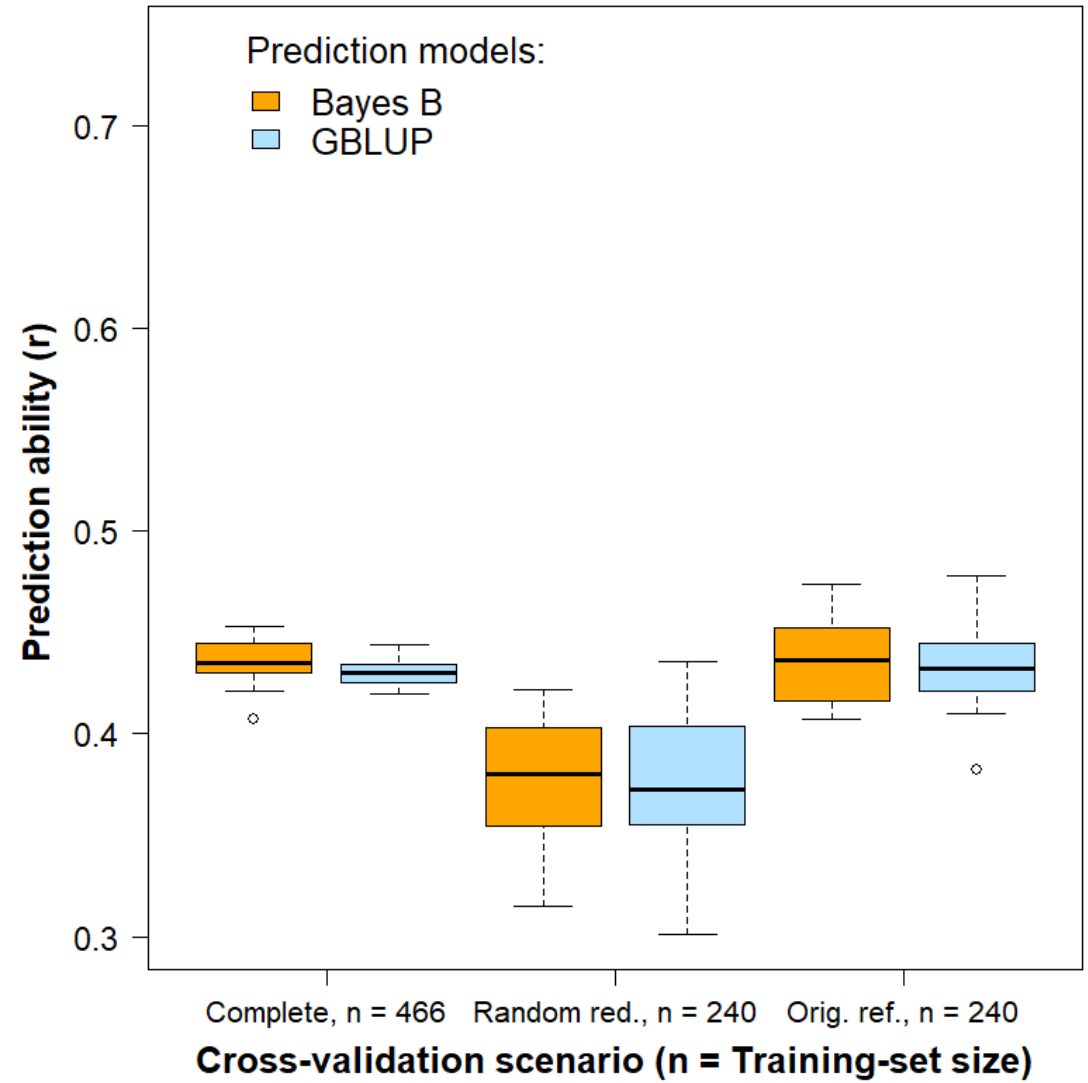
Résultats GS

DON

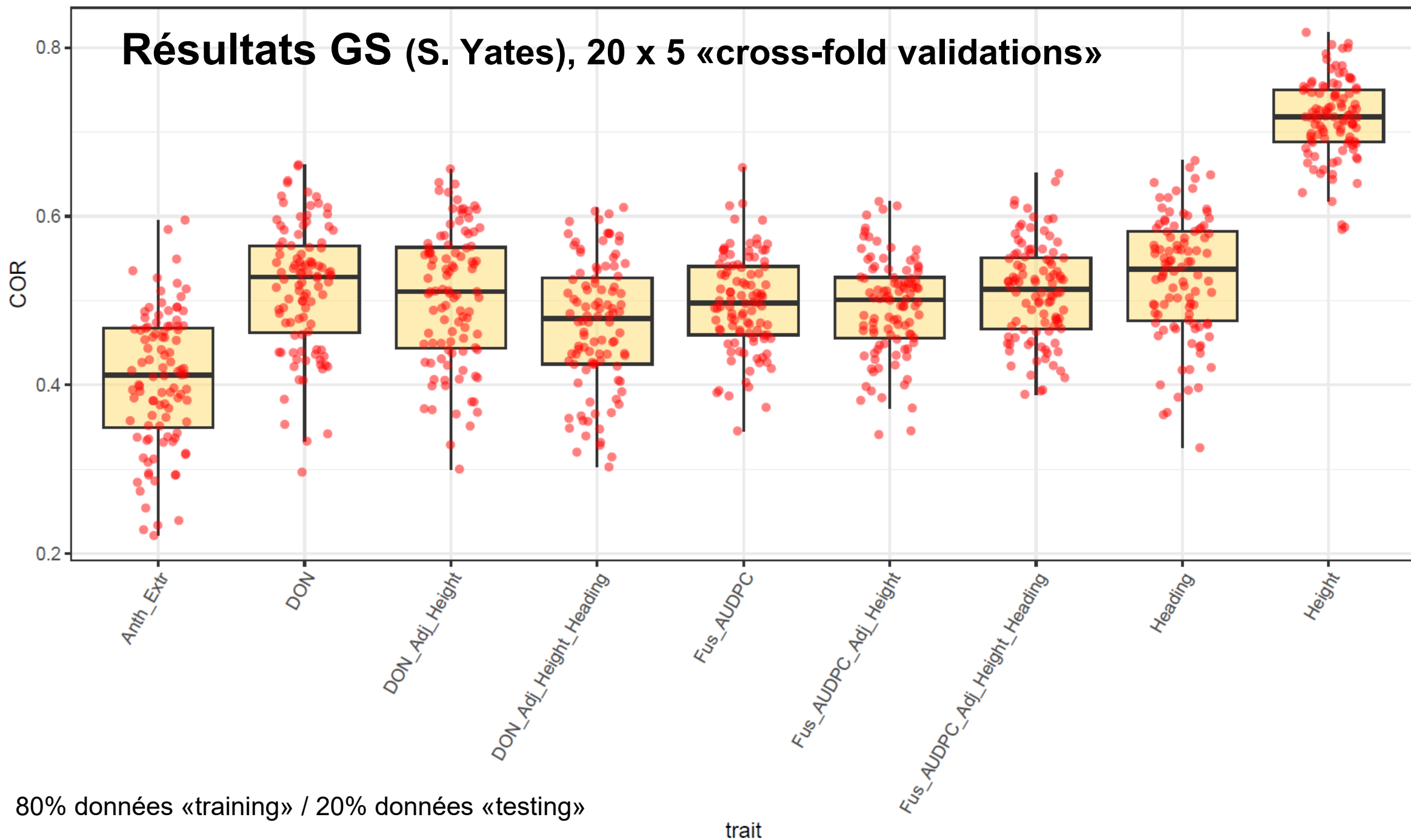


Fus_AUDPC





Résultats GS (S. Yates), 20 x 5 «cross-fold validations»

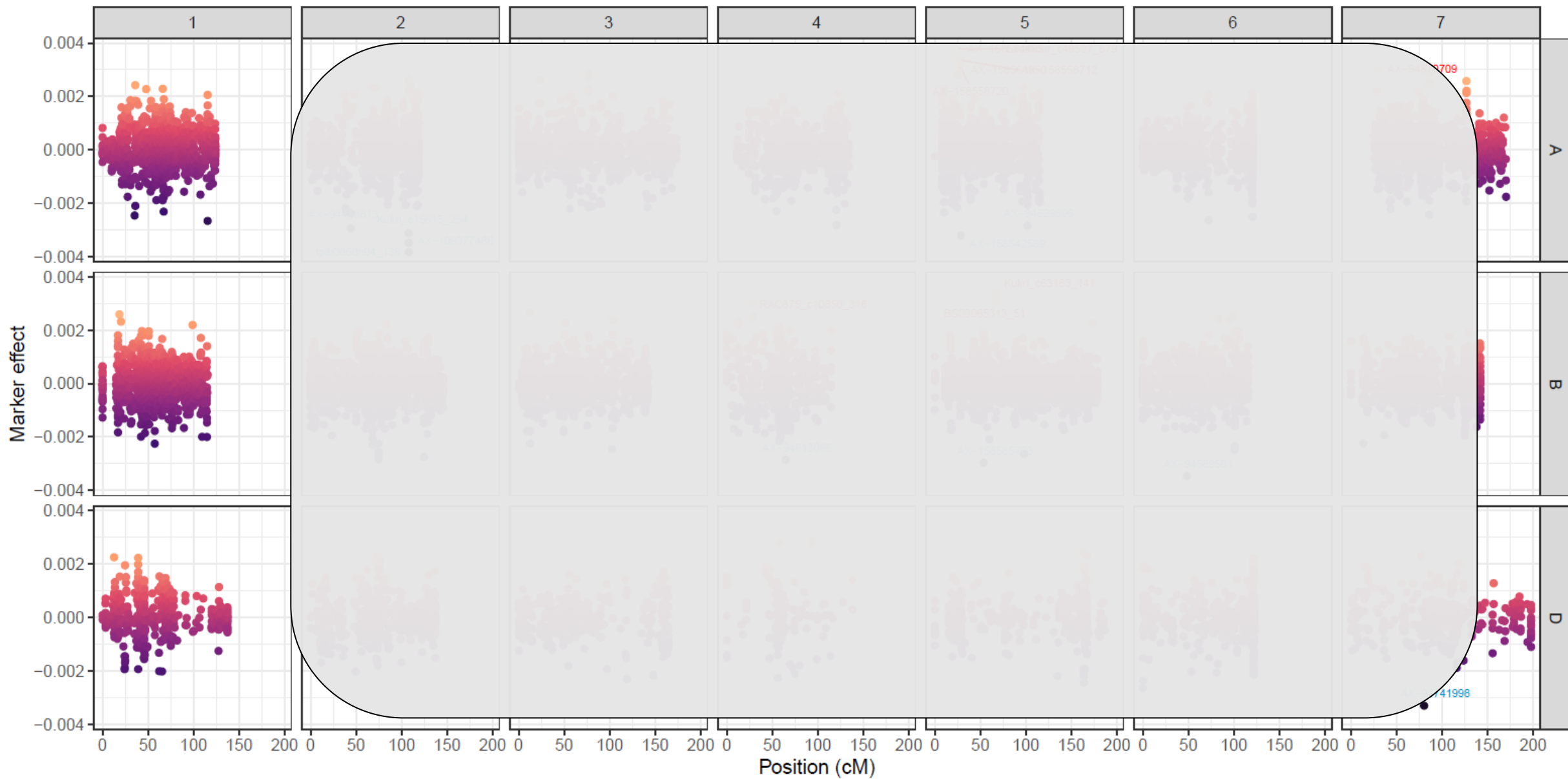


80% données «training» / 20% données «testing»

trait



Suite en cours I - Recherches de marqueurs



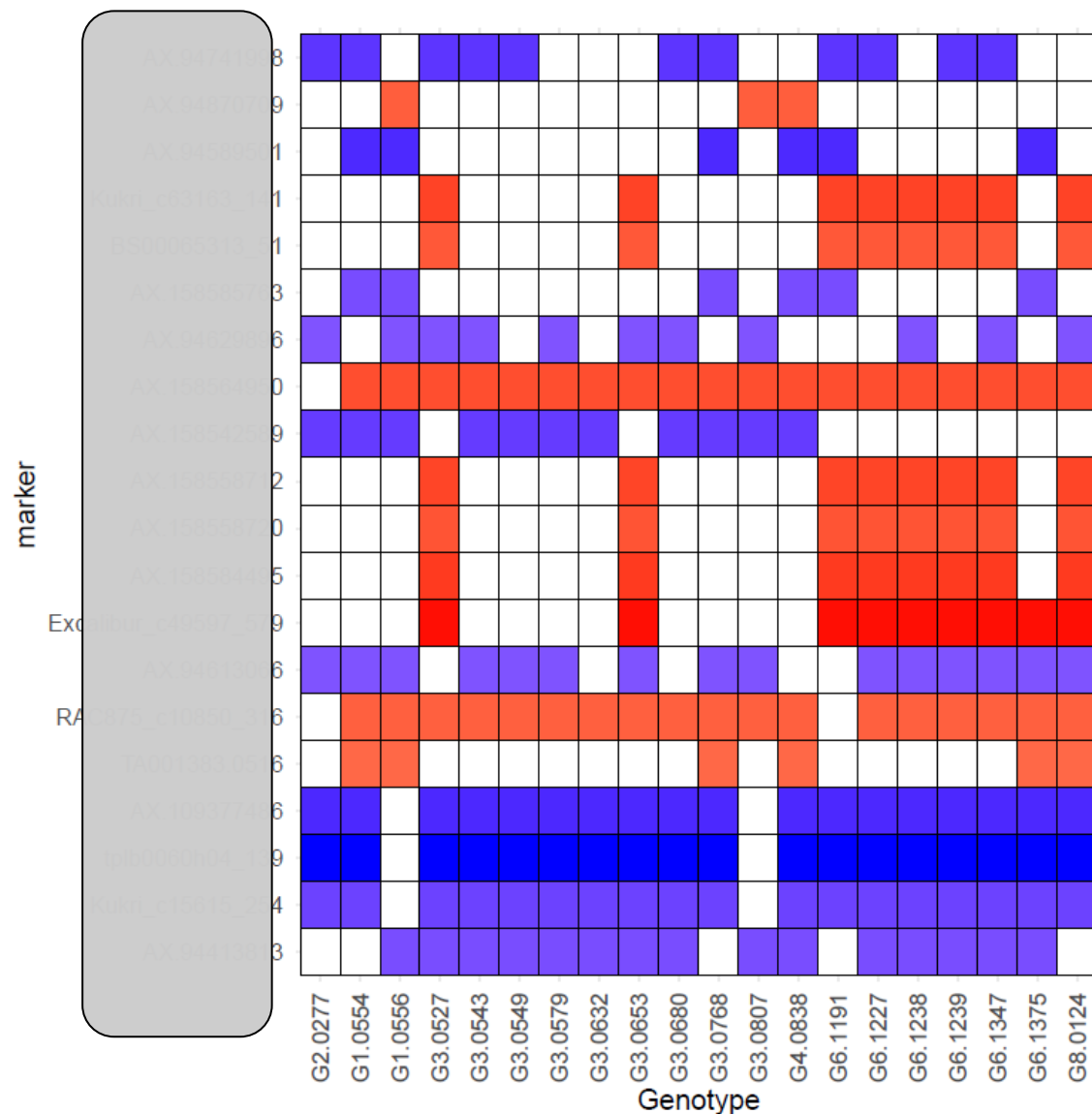


Suite en cours I - Recherches de marqueurs

Les 10 marqueurs les plus positifs
et les plus négatifs

Marker name	Genome	Position	Marker effect
AX-9474199	7D	30.28	-0.0033
AX-9470709	7A	30.94	0.0030
AX-9589501	6B	48.31	-0.0035
Kukri_63163_141	5B	67.07	0.0034
BS006533_51	5B	66.91	0.0031
AX-18585763	5B	53.63	-0.0030
AX-9629896	5A	101.59	-0.0028
AX-18564950	5A	29.46	0.0032
AX-18542589	5A	28.59	-0.0032
AX-18558712	5A	27.89	0.0034
AX-18558720	5A	27.46	0.0032
AX-18584495	5A	25.46	0.0035
Excalibur_c49597_579	5A	24.64	0.0038
AX-9613066	4B	64.76	-0.0029
RAC85_c10850_316	4B	29.19	0.0030
TA00183-0516	3A	76.42	0.0029
AX-189377486	2A	107.83	-0.0035
tplb0010h04_139	2A	107.83	-0.0038
Kukri_15615_254	2A	107.75	-0.0031
AX-94415813	2A	44.23	-0.0029

Les 20 géotypes avec la teneur en DON la plus basse





Suite en cours – Utilisation en sélection

- Utilisation pour la sélection (nouveaux scores des ~5'000 génotypes)
- Aide
 - Au choix des géniteurs
 - À la sélection en pépinière (F6-F7)
 - À la sélection en essais de rendement (F8 – inscription)
 - Pour le projet F2xF2

Et les autres Toxines ?

Analyses de 14 Toxines par HPLC-QQQ MS technic (Attila Berényi, GK GabonaKutató)

		<u>champignon</u>	<u>limite CH µg/kg</u>
DON	Déoxynivalénol, Trichothécènes B	Fusarium	200 (bébé) / 750 (adulte) / 1250 (brut)
NIV	Nivalénol, Trichothécènes B	Fusarium	-
T-2, HT-2	, Trichothécènes A	Fusarium	-
DAS	Diacétoxyscirpénol, Trichotécène	Fusarium	-
FB1, FB2	Fumonisines B1, B2	Fusarium	200 (bébé) / 800 (adulte)
ZEA	Zéaralénone	Fusarium	20 (bébé) / 75 (adulte) / 100 (brut)
STC	Stérigmatocystine	Aspergillus	-
AB1,AB2,AG1,AG2	Aflatoxine B1, B2, G1, G2	Aspergillus	AB1: 0.1 (bébé) / 2 (adulte); (AB1) / 4 (Σ)
OTA	Ochratoxine A	Aspergillus, Penicillium	0.5 (bébé) / 5 (adulte)

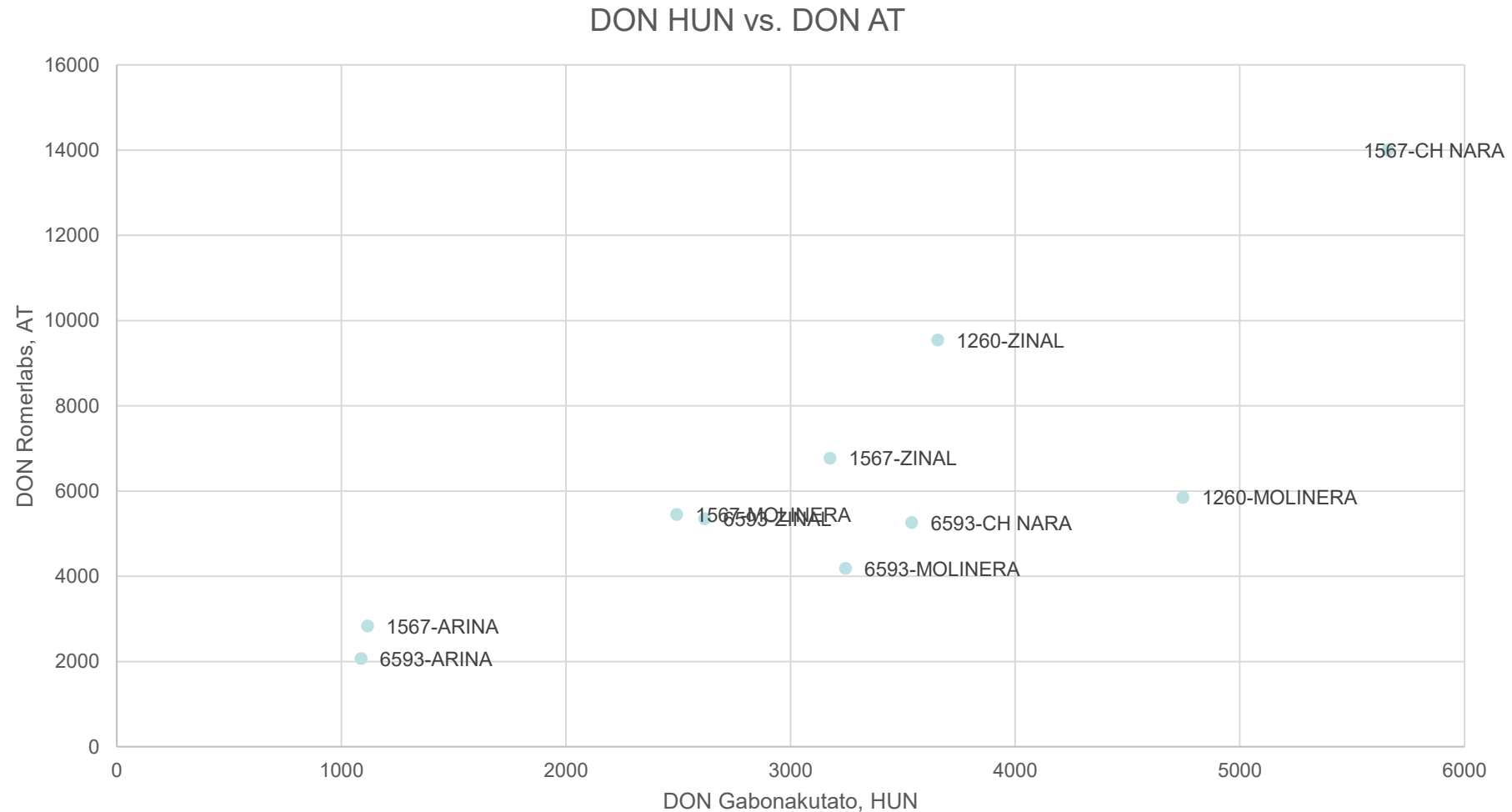
En gras, toxines détectées sur les échantillons envoyés en Hongrie

Mesures sur des échantillons GESEDON et «normaux»

Loc-Variety	Origin	DON	HT-2	T-2	ZEA	STC
1260-ARINA	GESEDON	922.03	23.38	3.09	70.89	0.35
1260-CH NARA	GESEDON	7172.47	34.80	5.46	105.77	0.37
1260-MOLINERA	GESEDON	4745.96	54.68	2.30	134.15	0.18
1260-ZINAL	GESEDON	3655.04	44.00	3.45	41.80	0.36
1567-ARINA	GESEDON	1116.16	48.98	4.12	89.61	0.43
1567-CH NARA	GESEDON	5658.56	0.00	0.00	150.14	0.32
1567-MOLINERA	GESEDON	2492.13	45.48	3.82	90.64	0.22
1567-ZINAL	GESEDON	3175.87	20.07	2.22	138.18	0.54
6593-ARINA	GESEDON	1088.19	16.75	0.93	123.96	0.30
6593-CH NARA	GESEDON	3539.22	25.04	2.83	147.17	0.51
6593-MOLINERA	GESEDON	3244.22	39.22	2.83	170.24	0.45
6593-ZINAL	GESEDON	2617.76	45.66	3.63	98.40	0.29
1567-ARINA	LP01 - Control	34.58	23.75	5.73	96.40	0.31
1567-CH NARA	LP01 - Control	42.68	36.09	3.26	106.48	0.42

*En gras,
valeurs limites
dépassées*

Comparaison des résultats de DON entre HUN & AUT



Corrélés 😊 mais les valeurs absolues sont ~2 x plus élevées en Autriche 😞 qu'en Hongrie

Remerciements



Camille Broquet, Pauline Bernard, Emeline Fournier, Romina Morisoli, Samuele Peduzzi, Alain Handley, Mauro Jermini, Susanne Vogelgsang, Fabio Mascher, Kevin Gauthier



Alfred Zbären, Amélie Volery, François Bardet, Sylvie Daidié, Yogesh Kumar Reddy Ramireddy, Valère Chappuis, Karl-Heinz Camp



Daniel Ariza, Tonghui Li, Bruno Studer



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
Office fédéral de l'agriculture OFAG
Ufficio federale dell'agricoltura UFAG
Uffizi federal d'agricoltura UFAG

Markus Hardegger, Paul Mewes



Merci pour votre attention!



État actuel et suite du projet

Extrait du Set de validation de 225 nouvelles lignées avancées avec prédictions génomiques (préliminaires!). Phénotypage du Set dans les 3 lieux en 2023.

No.	Code Lignée	DON [µg/kg]	ln(DON)	DON (corrigé hauteur)	ln(DON) (corrigé hauteur)	Fus_1	Fus_2
1	291.14042	9896	8.70	-2796	-0.420	1.4	2.9
2	111.17496	10353	8.96	-3440	-0.313	1.4	2.5
3	111.17180	8694	8.82	-3326	-0.312	1.2	2.4
4	111.17493	9991	8.89	-2499	-0.267	1.4	2.7
5	111.17224	9988	8.89	-2637	-0.258	1.5	2.7
.....							
136	111.17410	16118	9.43	650	0.038	1.6	3.1
137	111.17266	14483	9.37	123	0.039	1.4	2.7
138	111.17385	14609	9.29	856	0.039	1.5	3.1
139	111.17431	15832	9.36	1531	0.042	1.5	2.9
140	111.17124	14633	9.27	1323	0.044	1.5	3.0
.....							
221	111.17119	15790	9.45	2929	0.261	1.4	2.7
222	111.17051	17226	9.50	3400	0.263	1.5	3.0
223	111.17369	17275	9.55	3405	0.277	1.6	3.3
224	111.17427	16548	9.54	3183	0.298	1.5	2.9
225	191.11861	17689	9.64	2841	0.303	1.6	3.0