

Quelle sélection sur l'aptitude à la compétition vis-à-vis des adventices en agriculture biologique ?

Thomas BEZIAUD (M2 PVI Rennes) et Bernard Rolland

1

Leviers agro-génétiques pour une agriculture aux performances stables et multiples, fondée sur une diversification des cultures et des pratiques agricoles

Atelier scientifique **GIS GCHP2E** et **DIS BV**

INRA, 147 rue de l'Université **26 mars 2019**

- **Usage en hausse des pesticides de 14% entre 2011 et 2017 malgré le plan Ecophyto 1 qui prétendait réduire, SI POSSIBLE, de 50% leur usage**
- **L'impact négatif croissant des grandes cultures sur l'environnement : pollution des bassins versants, effondrement de la biodiversité (insectes et oiseaux)**
- **Moindre efficacité des herbicides dans des rotations céréalières de plus en plus courtes**

→ **Nécessité de revoir les pratiques**



Les adventices, problème majeur pour les systèmes agricoles

QSA (milliers de kg) – usages agricoles						
Fonction	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Herbicide	23 553	24 187	26 651	24 768	24 936	27 805
Fongicide	18 247	16 859	14 563	16 164	17 438	21 168
Insecticides (dont acaricides)	849	865	1 011	966	927	931
Substance de croissance	2 455	2 582	2 482	2 372	2 254	2 614
Nématicide	2 892	3 095	1 513	2 177	2 061	2 515
Autres (Molluscicides, rodenticides, activateur végétal, etc.)	2 975	2 986	2 660	2 888	3 172	3 861

Quantités de substances actives utilisées dans le domaine agricole en France au cours de ces dernières années (milliers de kg/an).

(Direction générale de l'alimentation du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2016)

Adventices : « plantes qui poussent dans un champ cultivé, sans y avoir été intentionnellement semées par l'agriculteur cette année-là » (Morlon, 2010)

→ Compétition directe avec la culture en place pour les différentes ressources du milieu : l'eau, les éléments minéraux, la lumière

→ Compétition indirecte pour les cultures suivantes : accroissement du stock grainier

Contexte très favorable à AB : 8% SAU en 2019, une production AB tirée par la demande

Campagne 2016-17 (source France Agrimer)

- 110 000 t utilisées par meunerie française (+15% par rapport à 2015-16)
- 89 000 tonnes de blé collectées en 2016 (-10%)
- **61 000 tonnes importées (+69%)**

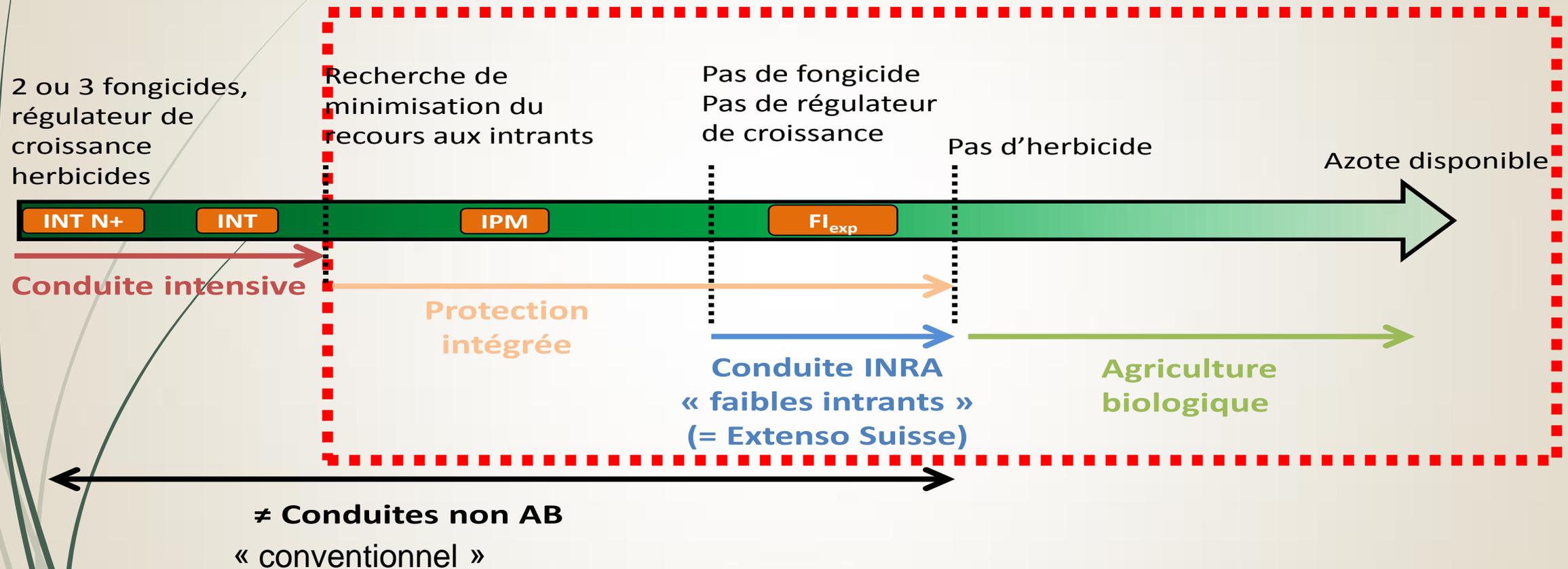
AB en France: (source Chambre d'agriculture)

- 6,7% SAU et 8% des fermes (+15%), **Bretagne 30% installations aidées en AB en 2017**
- Blé tendre 81 000 hectares 2016 + 45 000 ha associations céréales-légumineuses, **vague de conversions des céréaliers**
- **Ecart de prix avantageux** : 350-400 € en AB vs 175 € en conventionnel

Etats Généraux Alimentation :

- nouveau *plan Ambition bio 2022*.
- 15% SAU en AB en 2022 et **30% en 2030**.
- **Résorption des disparités entre filières** : seulement 2,5% céréales en AB.

Grande diversité des conduites de culture du blé tendre

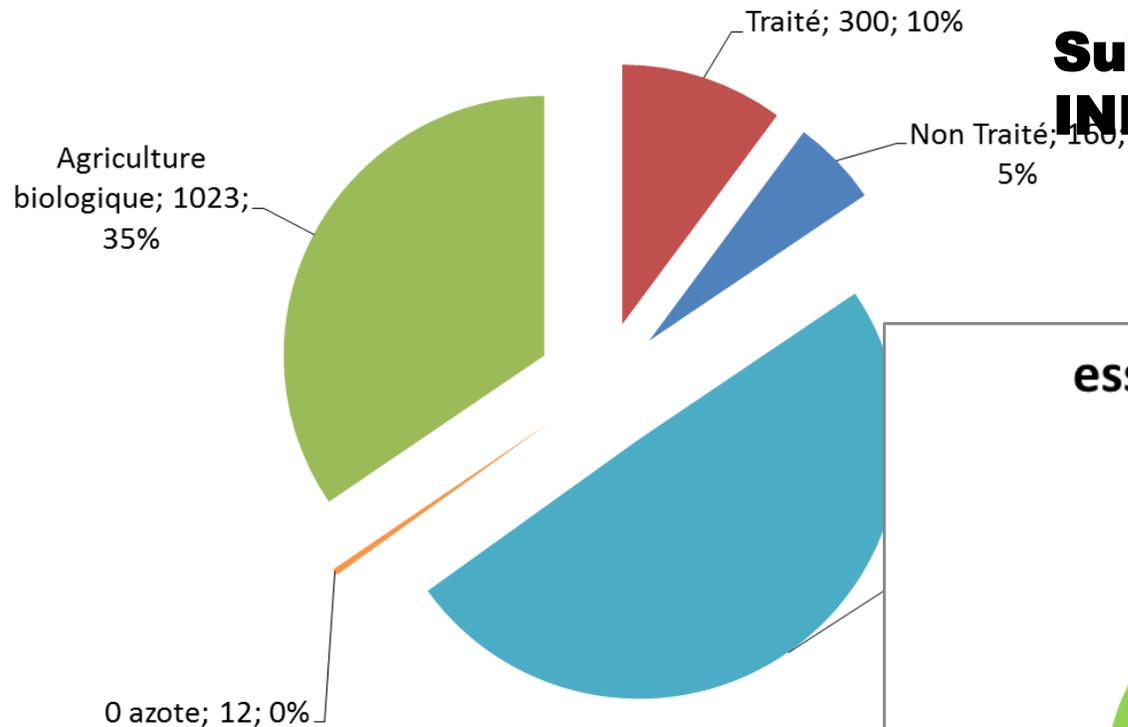


D'après Le Campion et al. : Courrier Environnement INRA 2016 + Organic Agriculture accepté avril 2019

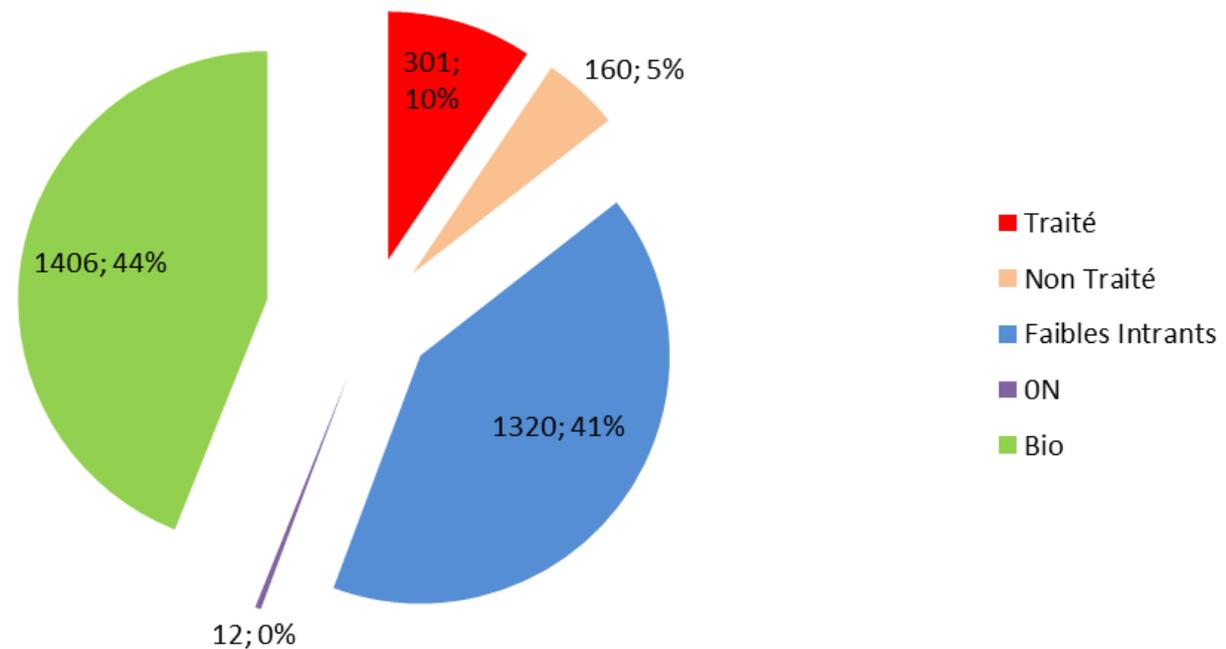
Répartition des microparcelles des essais rendement

Suivis par l'équipe MVI de l'UMR IGEPP à INRA Rennes

2963 parcelles essais MVI campagne 2016-17
(sans les 414 bordures)



essais rendement MVI 2019: nombre de microparcelles par modes de culture



La sélection variétale, un élément de lutte important

La variété, donc la **génétique**, est l'**UNE** des clés des **systems agricoles innovants** économes et productifs, dans une dynamique d'agronomie intégrale telle que définie par B. Chevassus-au-Louis et M. Griffon en 2008.

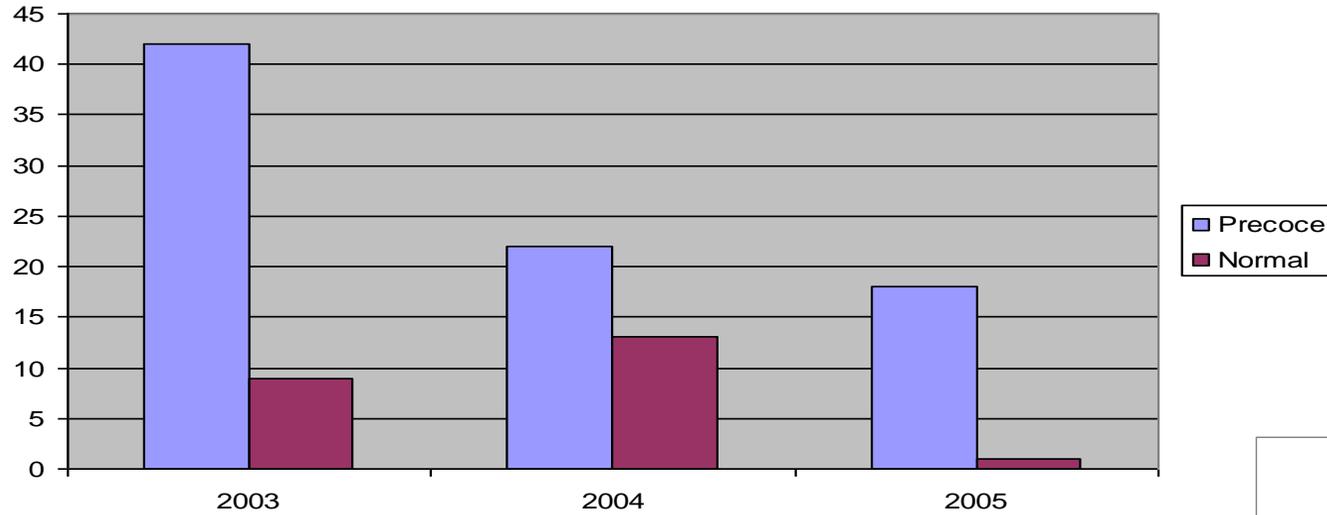
Deux caractères traduisant l'aptitude à la compétition :

- **Le pouvoir suppressif** : faculté à réduire le développement et la croissance d'un compétiteur
- **La tolérance** : faculté à tolérer la présence de compétiteurs voisins en limitant les pertes de rendement

→ l'aptitude à la compétition est propre à chaque variété



S'inspirer de « l'innovation en profondeur » (d'après B. Chevassus-au-Louis, 2008) : coupler variétés compétitives, rotations nettoyantes, semis plus tardifs et désherbage mécanique de précision



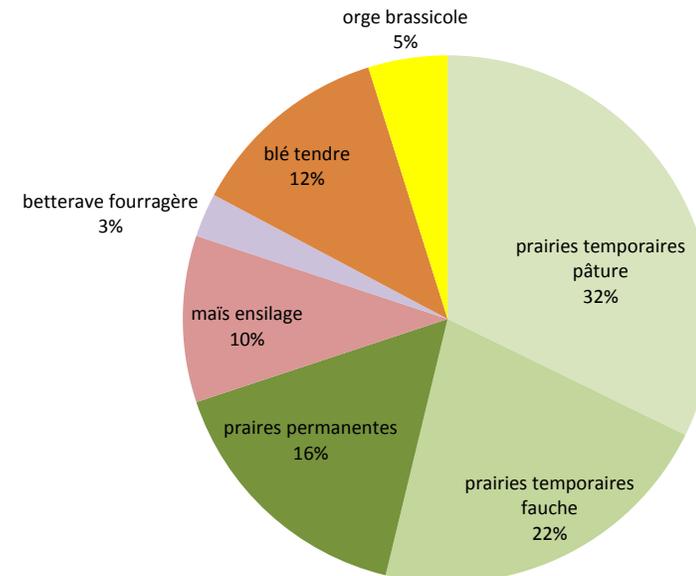
Précoce : semis jusqu'au 8 octobre

Normal : semis du 9 octobre au 1^{er} novembre

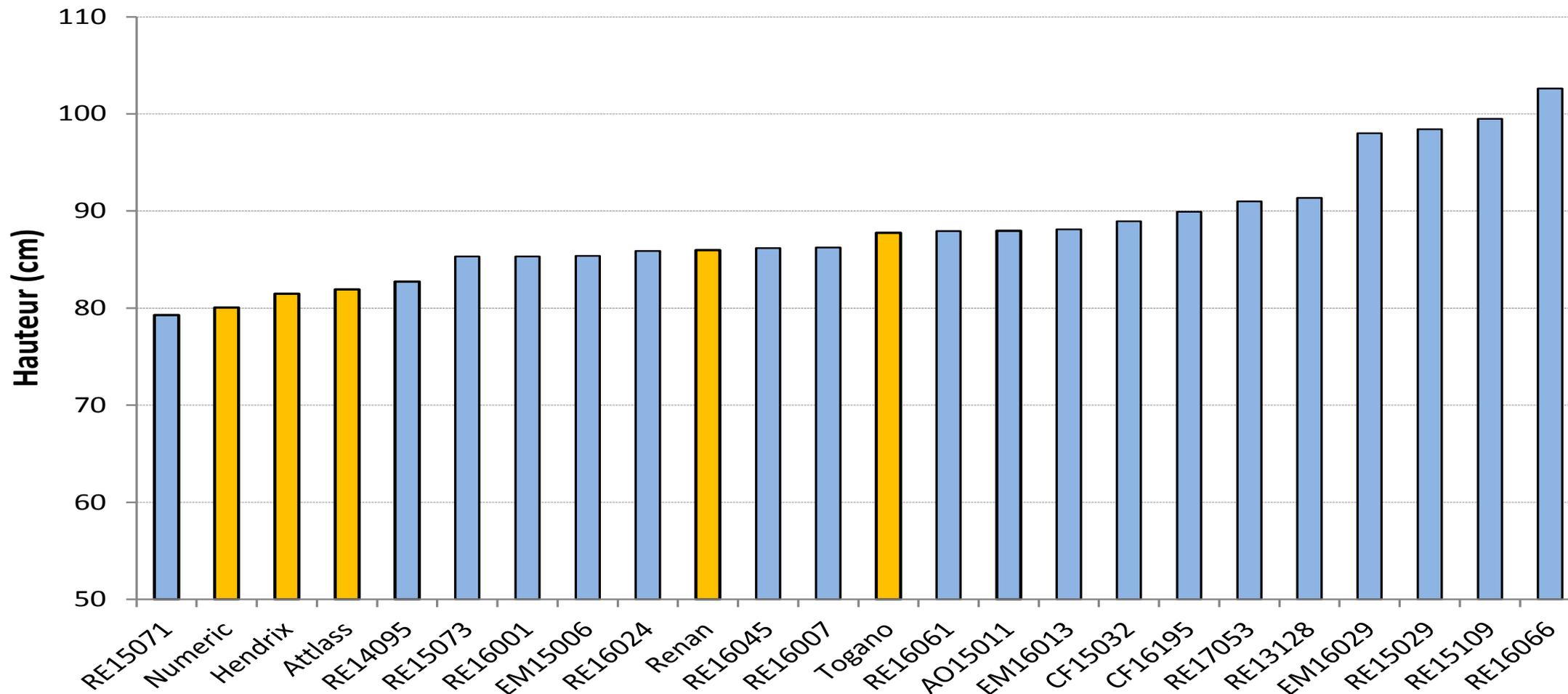
Données N. Munier-Jolain, INRA SPE Dijon



Assolement 2018 La Mandardière (93 ha)



Hauteurs moyennes 2018 (4 lieux - réseau coops)



60% lignées INRA en sélection pour l'agriculture biologique sont plus hautes que le témoin Togano

Inscriptions INRA blés tendres rustiques et blés avec mention **AB**

2001

1^e essais AB UMR APBV INRA Rennes au GAEC Mandardière

2008

Barok

2010

Flamenko, Folklor et Karillon

2011

Lyrik

Skerzzo et Hendrix 1^e inscriptions avec mention AB en France

2012

Grapeli

Début partenariat lignées avancées AB : Inra, Biocer, Cocebi, Corab + UB IOS

2018

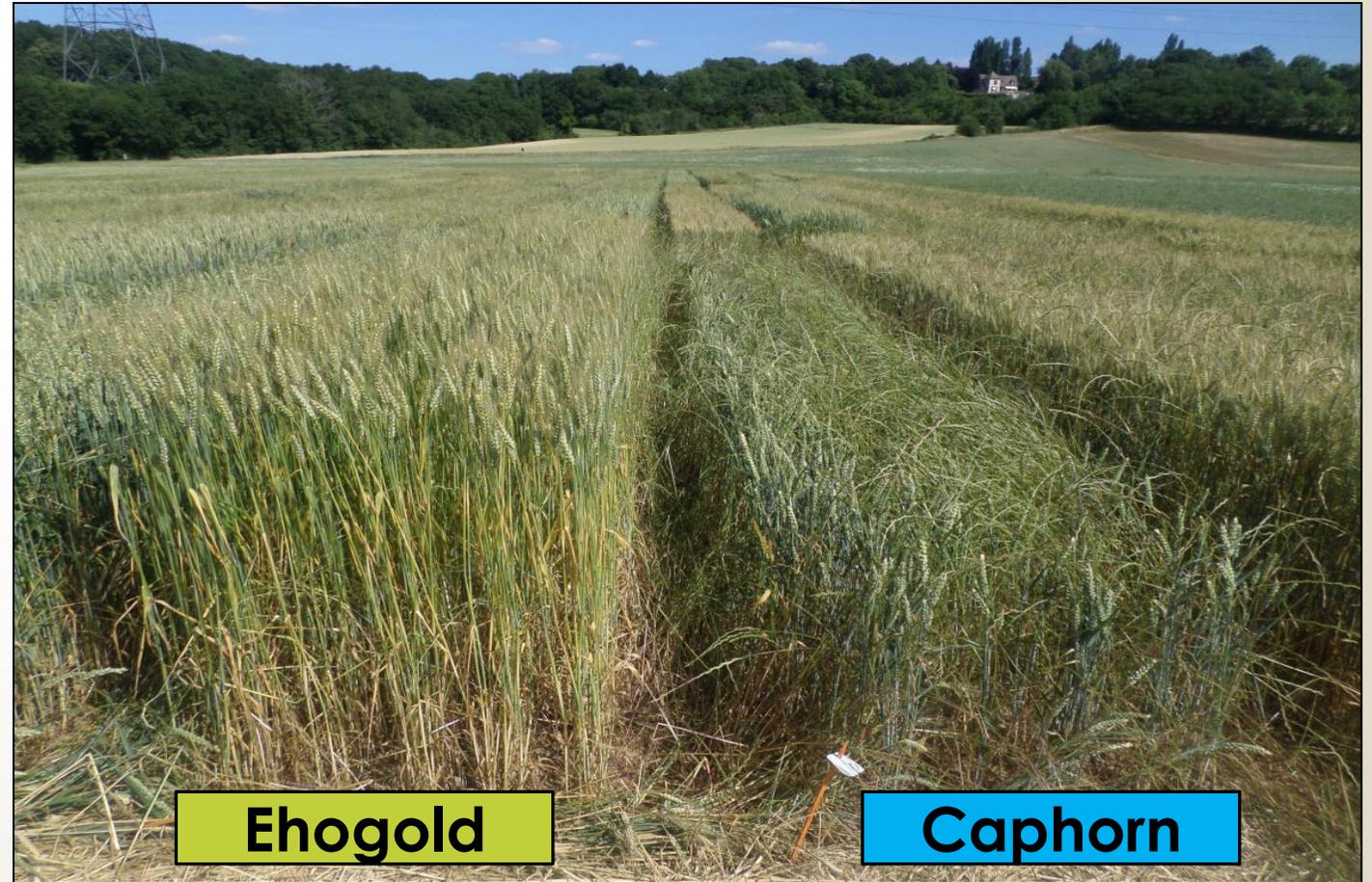
**Geny (CF11007), Grafik (RE12037), Gwastell (RE13093) inscrites avec mention AB
RE14060 passe en 2^e année CTPS AB**

épis ~ variété+bloc+placette+variété:bloc

Sermaise 2015		
Variété	épis RG/m ²	N&K
Caphorn	149	a
Hendrix	120	b
Atlass	95	c
Energo	70	d
Renan	60	d

Moyenne	98,67
ETR	19,60
CV	20%
Effet variété	
Pr (>F)	2,10E-13 ***

Sélectionner des variétés de blé plus compétitives vis-à-vis des adventices ?

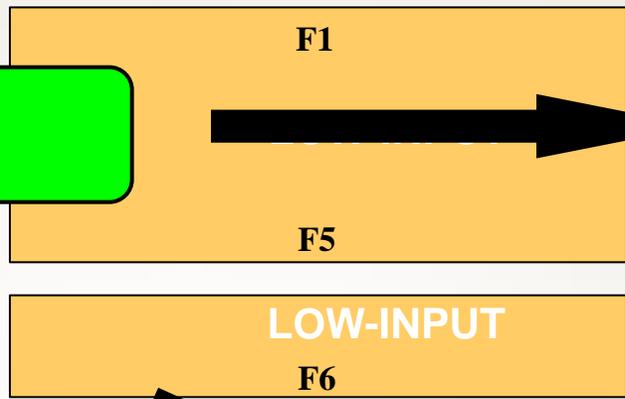


Variétés haute, Ehogold (à gauche), et courte, Caphorn (à droite) dans l'essai ITAB d'Agri-Obtentions à Sermaise (91) chez Franck Chevalier en 2014

Usual breeding under high-input conditions

year 1
year 2
year 3
year 4
year 5
year 6
year 7
year 8
year 9
year 10

« Sélection coopérative »

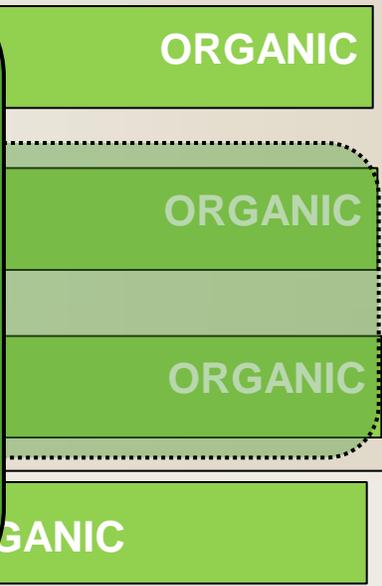


Partenariat étroit à l'écoute de filière, meilleure connexion avec attentes filière AB mises en débat ET délégation du travail de sélection.



Depuis 2012 dernières étapes du processus de sélection en AB en partenariat avec coopératives spécialisées en AB (connexion par réseau ITAB)

- Visites d'essais et pépinière INRA et coopératives
- 2 réunions annuelles en mai (point techno récolte n-1) et septembre (choix des lignées à poursuivre en sélection)
- Evolution dans les orientations et choix des caractères à sélectionner : adaptation régionale, gluten index, taux protéines vs valeur en panification, blés biscuitiers...
- Adaptation continue d'après retour d'expérience



Conclusions du programme FSOV « Caractérisation et sélection de variétés de blé tendre plus compétitives vis-à-vis des adventices »



La hauteur apparaît comme un facteur déterminant dans la compétition vis-à-vis des graminées

⇒ Intérêt particulier sur le critère « pouvoir suppressif » pour les résultats 2015 de deux essais AB où la flore adventices est dominée par le vulpin (Blet 2015, St-Léonard 2015)

⇒ Intérêt sur le critère « tolérance » avec les rendements Boigneville 2015

⇒ Questionnement sur les outils (NDVI, photographies ...)





	Green Seeker <i>ndvi</i>	APN <i>Analyse images</i>	Visu <i>recouvrement</i>
Temps / parcelle	21 sec	5 min	50 sec
CV fiabilité	4,3	6,12	13,8
Conditions prises	-	Météo dépendante	-
Surface	Totale	Placettes (2)	Totale
Coût	- 500€	+/- 1000€	-
Poids/ergonomie	*	***	-

Greenseeker → meilleur rapport temps passé / efficacité

D'après V. Falchetto INRA UE Dijon - Epoisses

→ L'aptitude à la compétition est propre à chaque variété

La sélection prend en compte plusieurs caractères :

- La hauteur
- La précocité
- la qualité de la levée
- L'inclinaison des feuilles
- La taille des feuilles
- La capacité de tallage

Fermeture du couvert

Pouvoir couvrant

→ Mais la capacité de compétition des variétés est également très liée aux facteurs environnementaux : interaction génotype x environnement

Dans ce contexte, comment améliorer les méthodes de sélection ?

→ Par de nouvelles méthodes d'évaluation :

Méthode **NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index (indice de végétation par différence normalisée = indice de Tucker)

Afin de sélectionner les variétés les plus compétitrices :

- Observer la dynamique de recouvrement du sol en AB mais aussi en conduite faibles intrants
- Comparer et caractériser les variétés les plus compétitives pour ces deux systèmes
- Comparer les résultats avec des essais similaires réalisés sur 4 sites
- Valider la méthode de mesure NDVI en la comparant à d'autres méthodes d'analyses

La sélection des génotypes INRA

→ Plusieurs objectifs :

- Résistance aux maladies d'importance économique (rouilles, septoriose...)
- Rendement en conduites faibles intrants et AB
- Qualité (taux de protéines, valeur boulangère, valeur biscuitière)
- Aspect morphologique pour l'AB (idéotypes hauts et couvrants)
- Fixité et stabilité

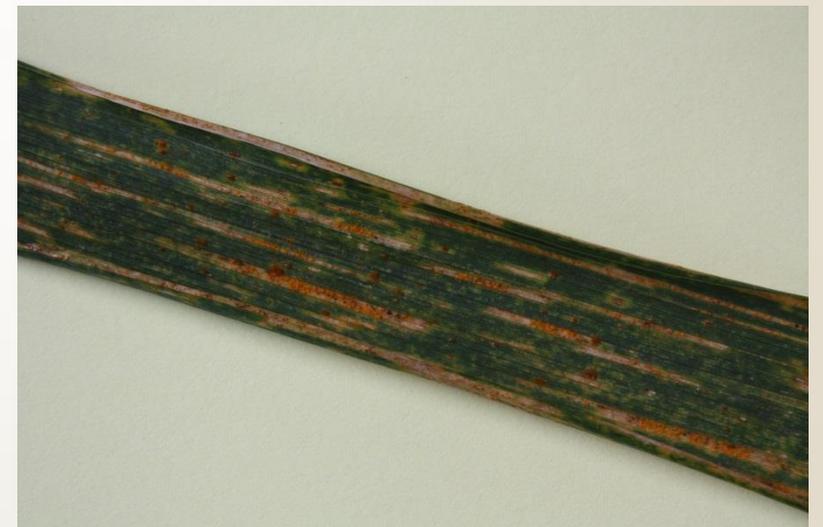
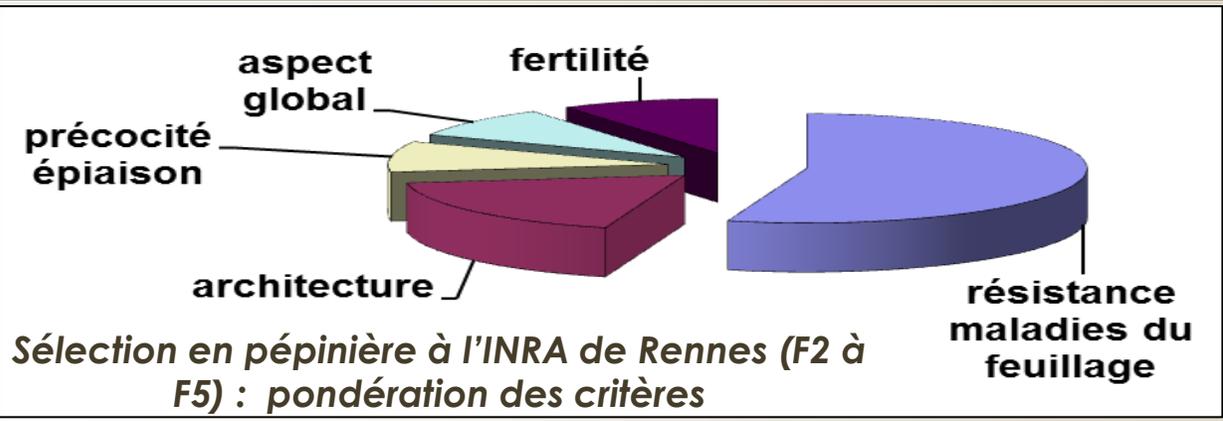
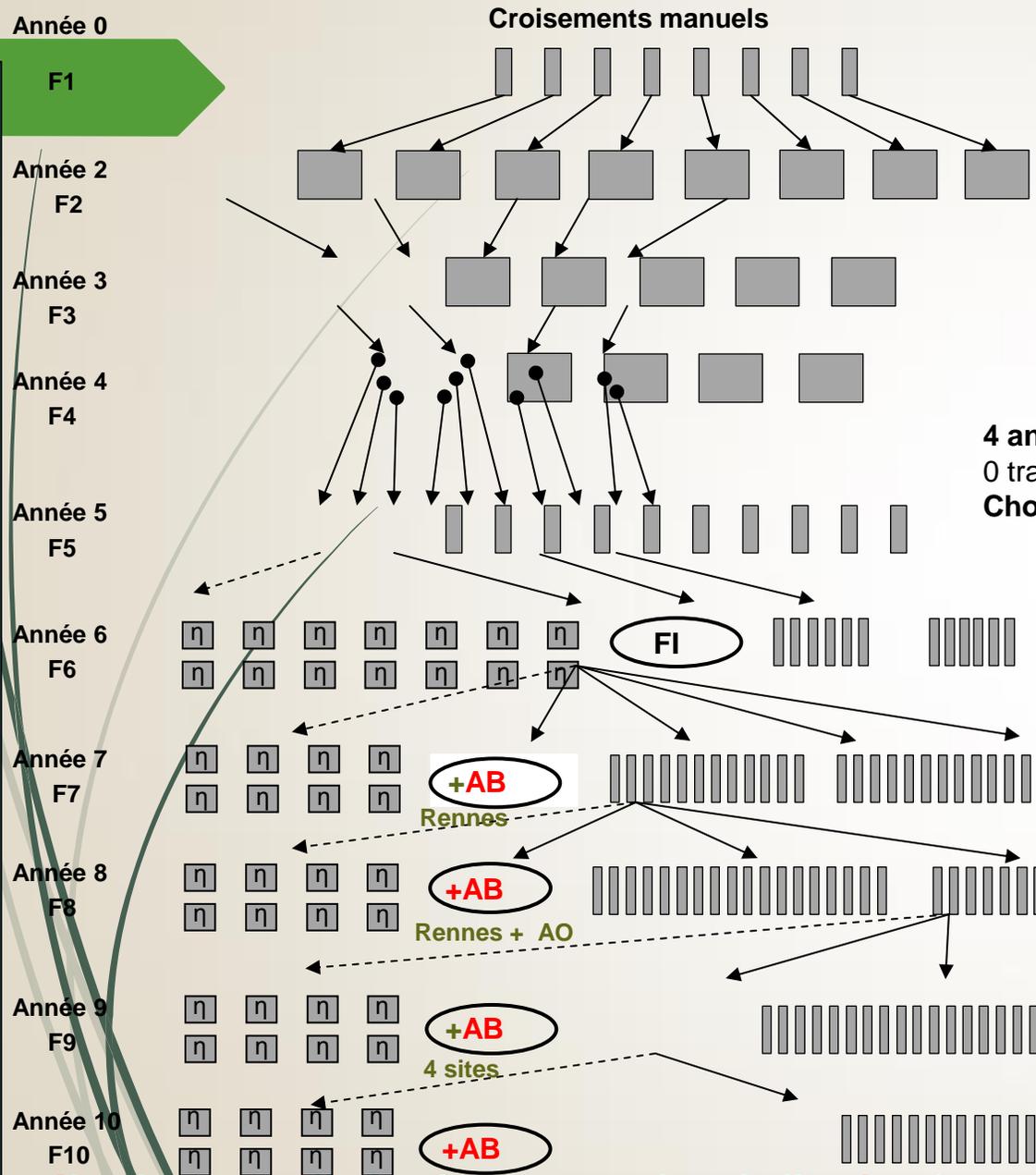


Schéma de sélection généalogique INRA de lignées pures faibles intrants et AB

FAIBLES INTRANTS



4 années (F2 à F5) de sélection en pépinière en **très faibles intrants** (herbicides + 50-70 kg N, 0 traitement semences, 0 fongicide, 0 régulateur, 0 insecticide)
Choix de plantes puis lignées selon nouvel « idéotype » AB

1^{ère} évaluation **rendement** en faibles intrants (400-600 lignées)

2^{ème} année d'essai (120 lignées sur 3 lieux) + % protéines et W

3^{ème} année d'essai (7 lieux nord, 3 lieux sud, conduites : T, NT, FI) + tests qualité, panification

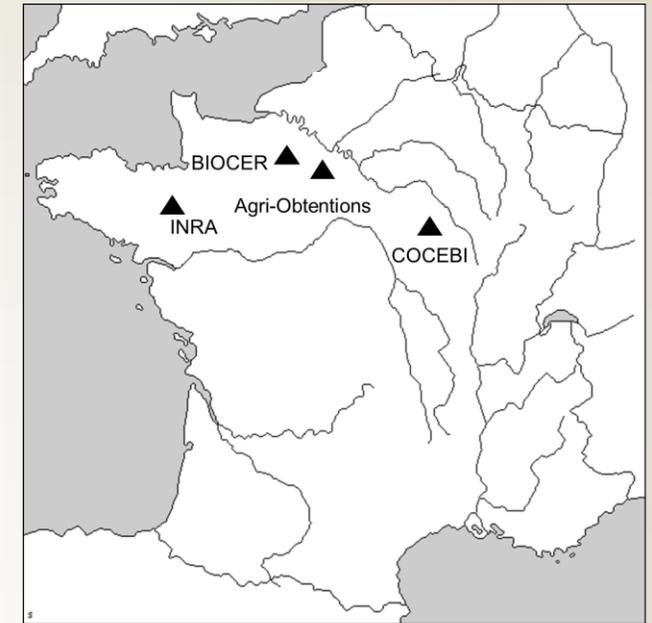
4^{ème} année d'essai (7 lieux nord, 3 lieux sud, conduites : T, NT, FI) + tests qualité, panification

1 à 3 lignées avant épreuves d'inscription (VATE) en AB (si lignée fixée)

Le sélectionneur élimine beaucoup plus de lignées (entre 95 et 100 %) qu'il n'en conserve !

AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Conduites	AB	FI
Nombre d'essais	5	7
Nombre de génotypes	140	122



- ❑ 1 essai CTPS en AB en première année de 5 témoins et 3 lignées avancées.
- ❑ 1 essai ITAB de 32 variétés
- ❑ 1 essai de sélection multi locale (essai « Coops ») en partenariat avec des coopératives spécialisées en AB sur 4 sites, de 20 lignées avancées en sélection de F8 à F11 et 5 témoins.
- ❑ 2 essais lignées F7 conduits en AB et 7 conduits en FI (30 U N/ha, herbicide). Ces essais comptent 48 lignées en sélection communes aux deux conduites.

Mesures et notations

L'analyse du pouvoir couvrant des variétés plusieurs observations et mesures :

- ❑ hauteur de la culture
- ❑ note de port ou inclinaison des feuilles
- ❑ note de fermeture du couvert
- ❑ NDVI
- ❑ analyse de photographies numériques

Corrélation
avec une
note de
salissement

→ Comparaison des trois mesures en rouge entre elles afin de valider l'utilité de la méthode par NDVI

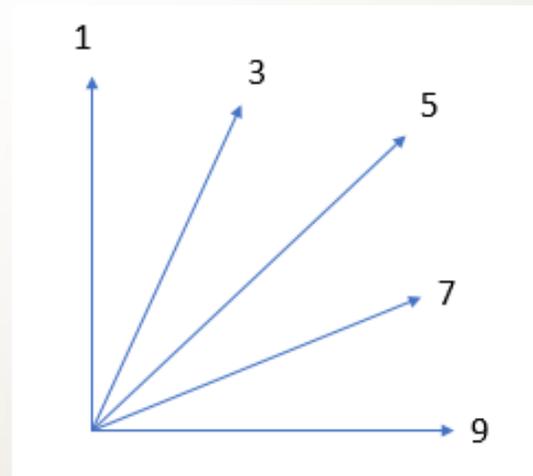
→ Mesures réalisées aux stades épi 1 cm, 2 nœuds, gonflement et épiaison

❑ **La note de salissement** : notation visuelle (échelle de 1 à 9)

- 1 : aucune adventice présente sur la parcelle, seul sont visibles la culture et le sol
- 9 : la parcelle est recouverte d'adventices, le sol n'est plus visible

❑ **La hauteur** : mesurée avec un herbomètre à ultrasons puis avec une toise sur 2 placettes par microparcelle

❑ **Le port des feuilles** : notation visuelle (échelle ITAB de 1 à 9)



Guide pour la notation visuelle du port des feuilles d'une culture (Cauwel et al., 2000)

□ **La note de fermeture du couvert** : notation visuelle (échelle de 1 à 9)

- 1 : Inter rang nu, pas de couverture du sol hors de la ligne de semis
- 9 : Inter rang complètement fermé par la végétation, couverture complète du sol

Renan



Rebelde



❑ **La méthode NDVI** : réalisée avec le Greenseeker

Indice de végétation calculé entre deux bandes spectrales : le rouge et le proche infrarouge

- Estimation de la biomasse/densité de la culture et donc de la fermeture du couvert par la culture
- Un couvert dense va être caractérisé par des fortes valeurs de NDVI

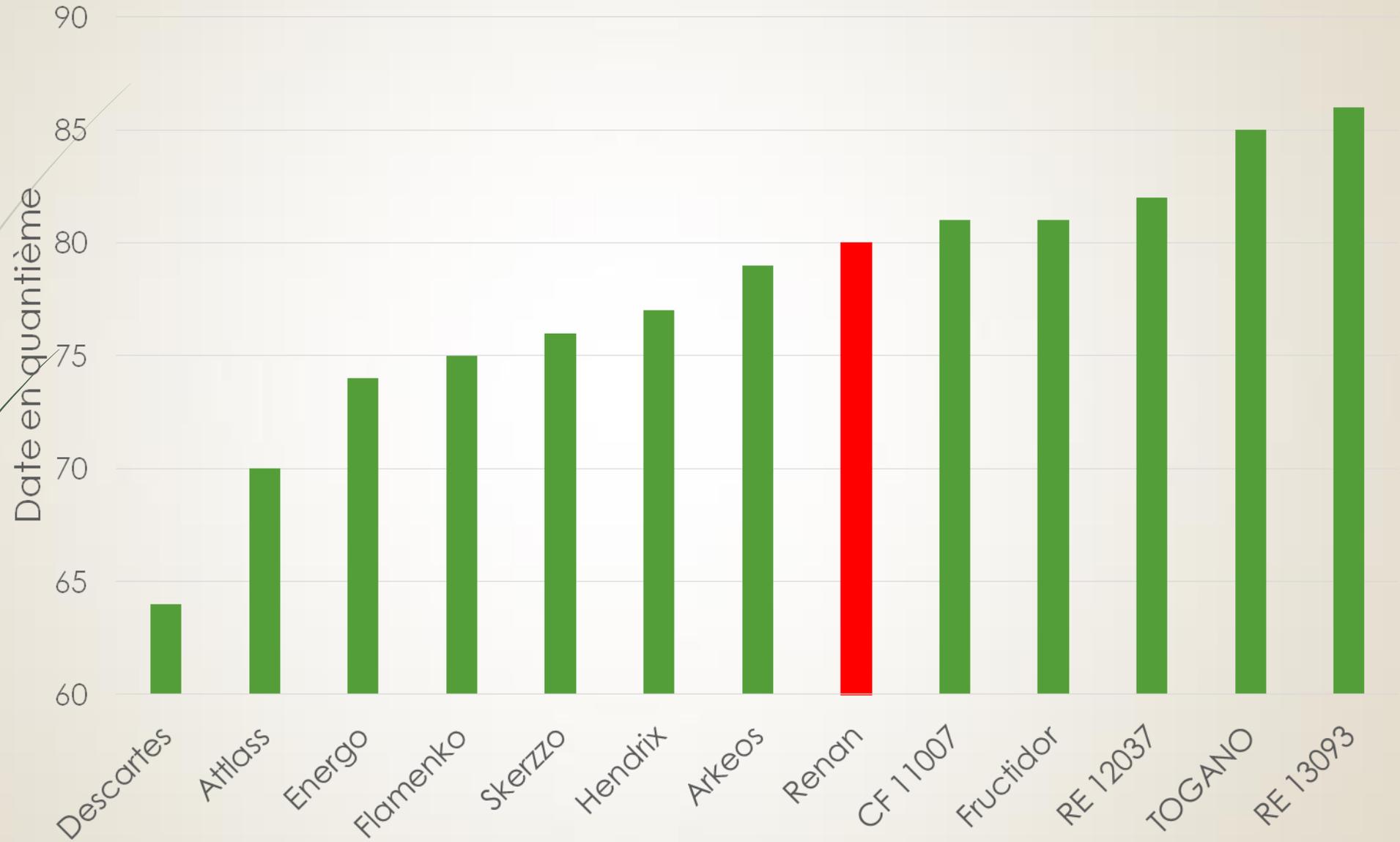
Ordre de grandeur :

- 0,90 : très forte densité
- 0,40 : très faible densité

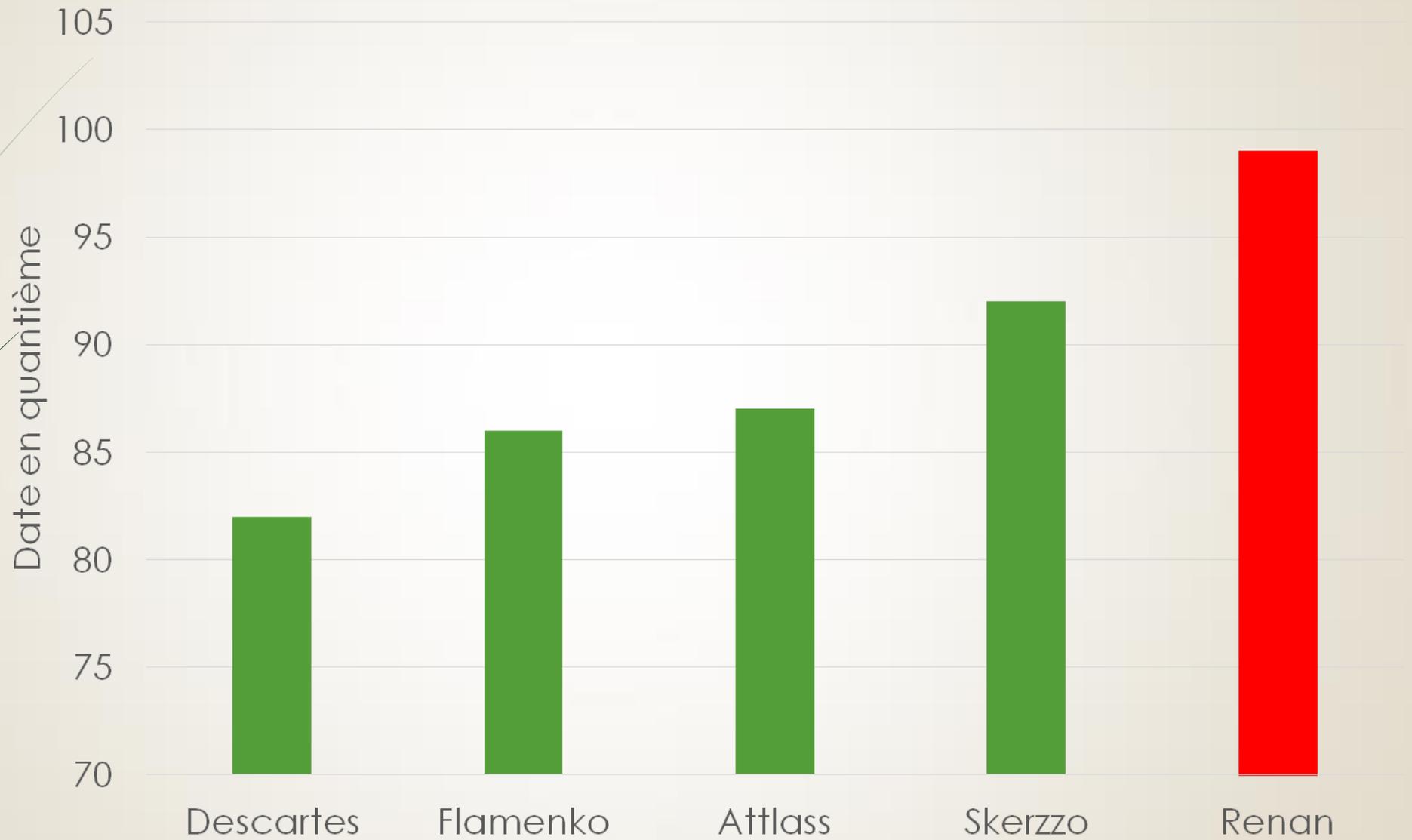


(Trimble Navigation Limited, 2012)

Précocité au stade épi 1 cm en AB



Précocité au stade 2 noeuds en AB

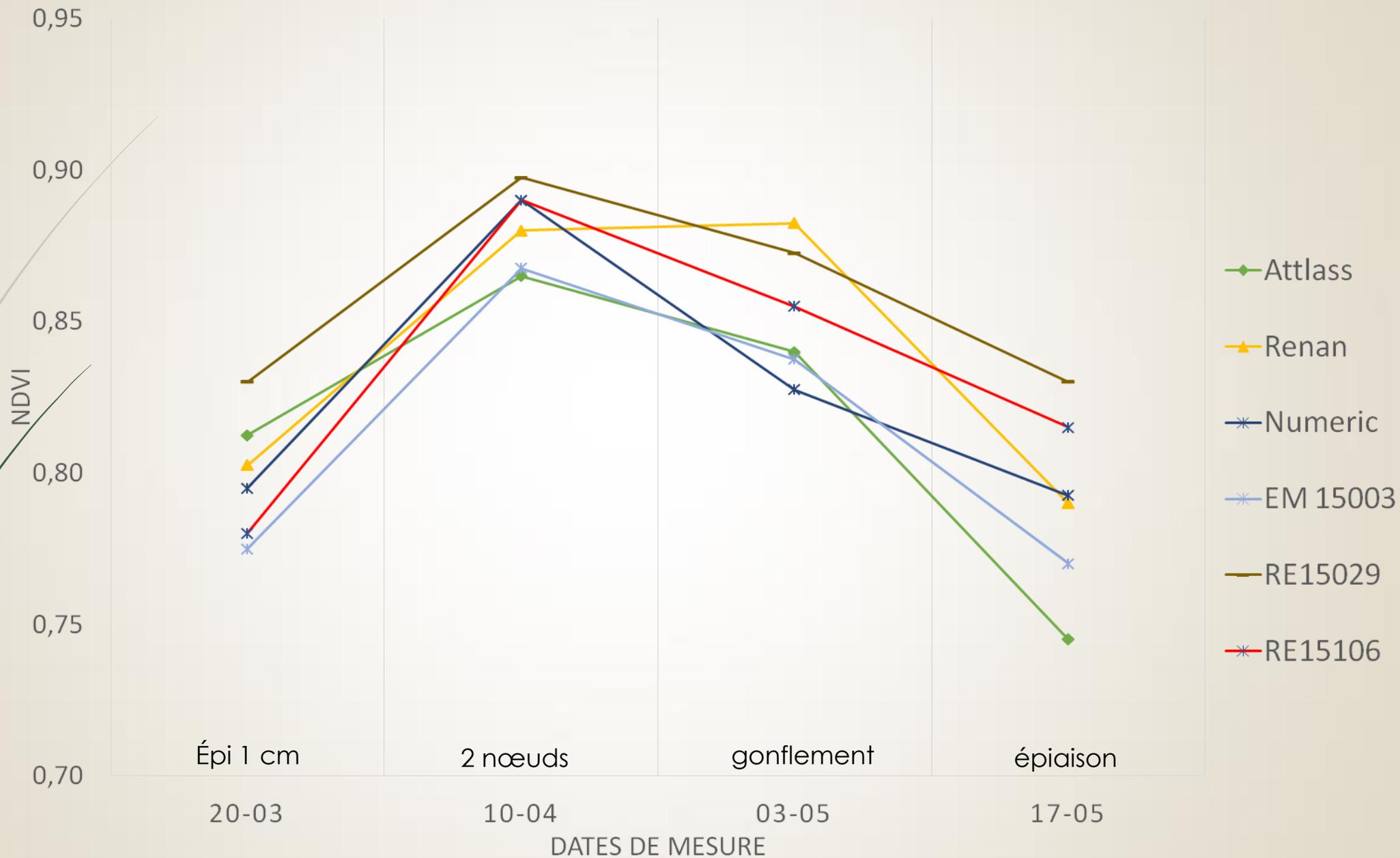


Précocité au stade épiaison en AB



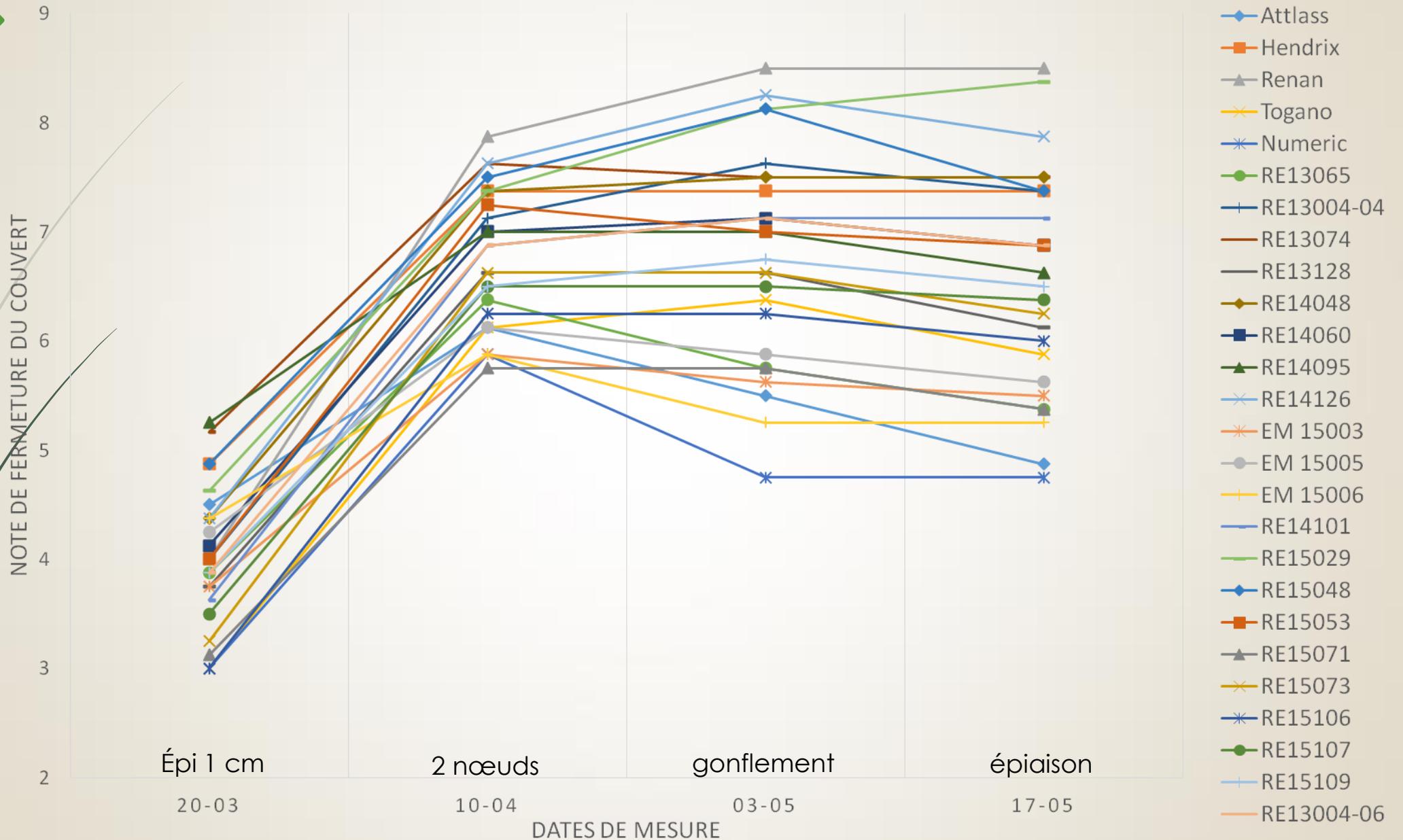
NDVI montaison : 5 types variétaux dans l'essai « Coops » de Rennes

28

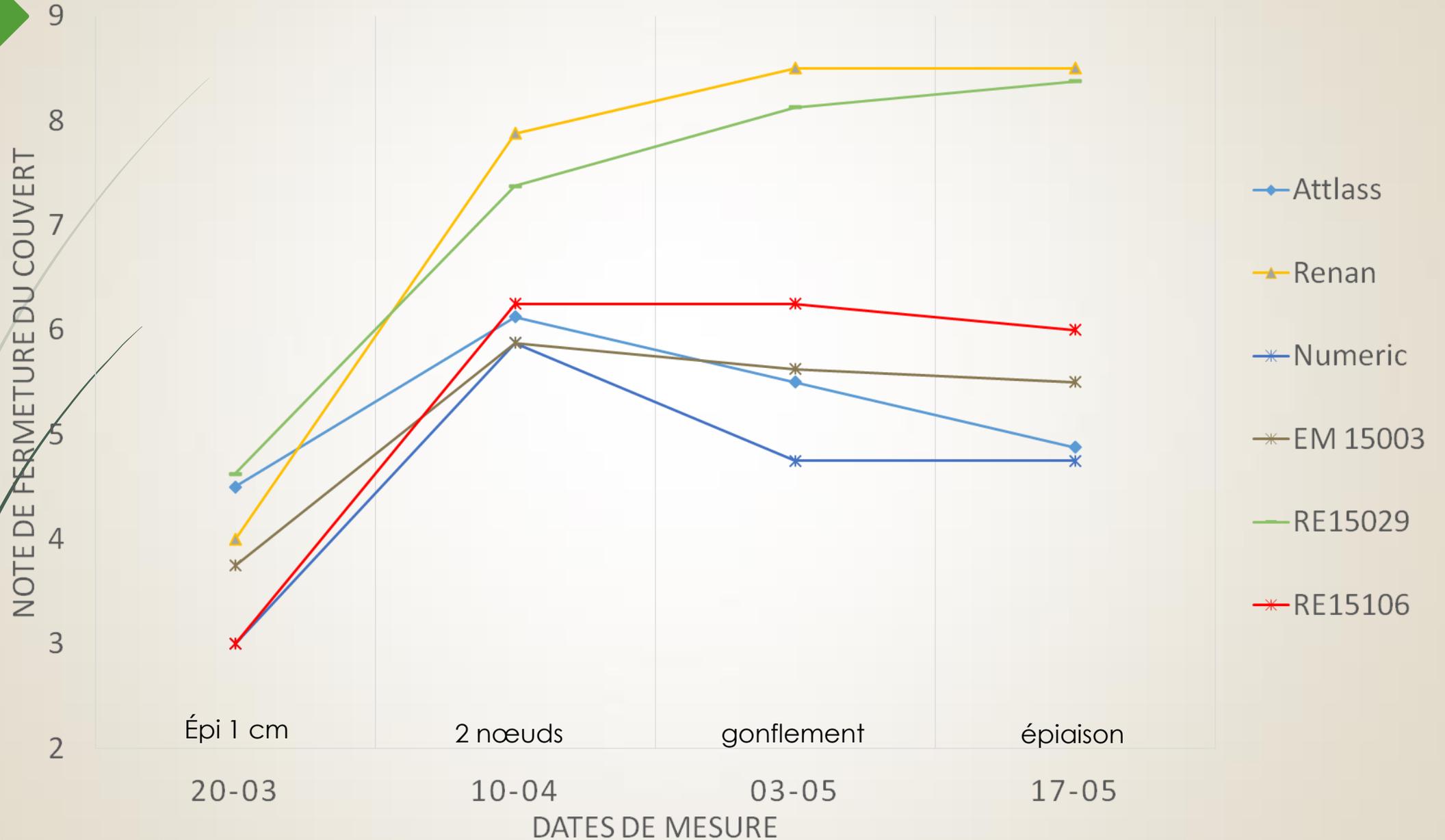


Notes de fermeture du couvert au cours de la montaison : essai AB « Coops » Rennes

29



Notes de fermeture du couvert au cours de la montaison : essai AB « Coops » Rennes



Corrélations entre NDVI et fermeture du couvert

31

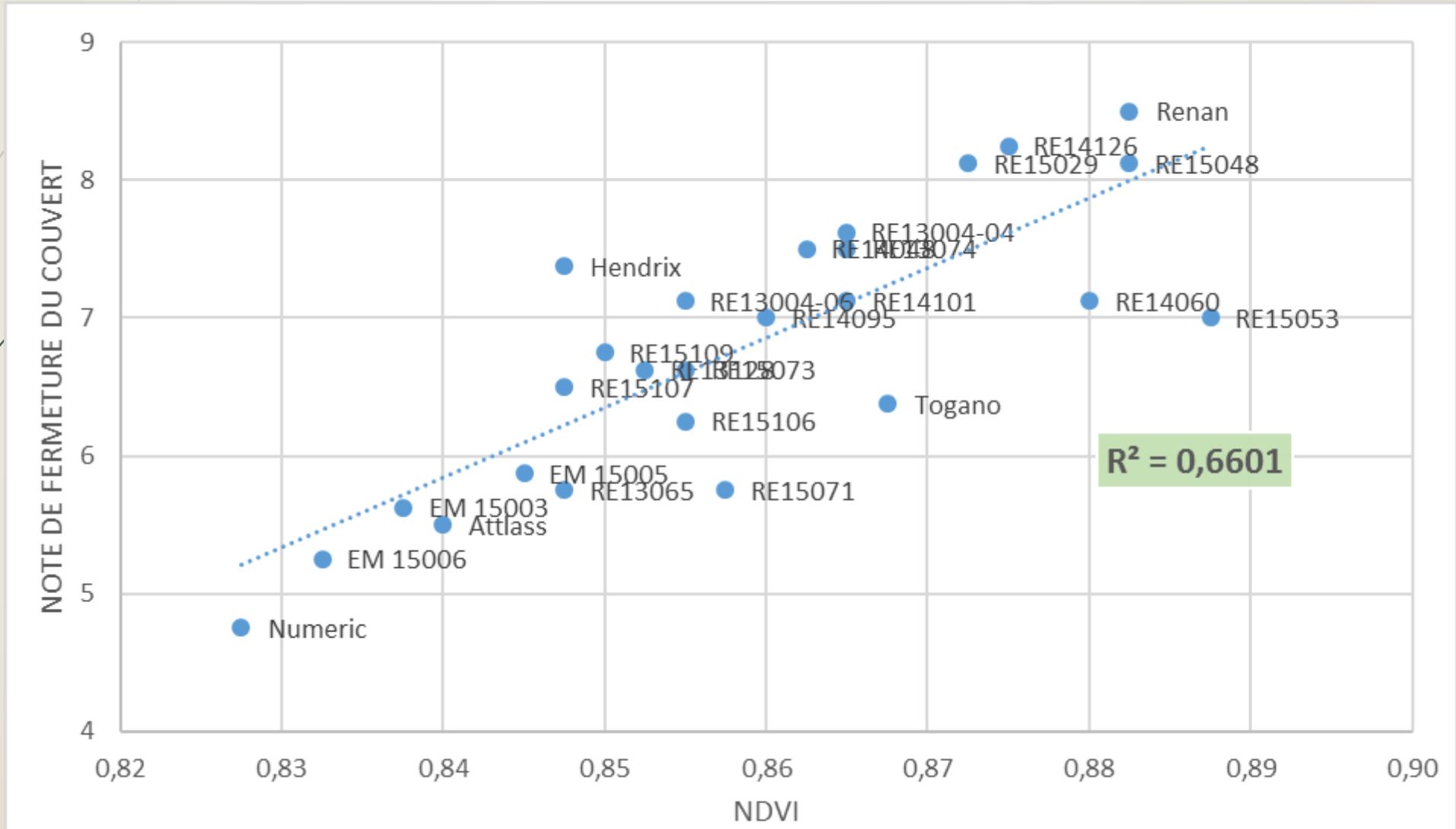
→ significatives à certains stades

			Coefficient de Pearson		Coefficient de Spearman	
	Essais	Conduite	R ²	P value	Rs	P value
Épi 1cm	CTPS	AB	0,82	7.5e-13	0.79	2.4e-11
	ITAB	AB	0,74	< 2.2e-16	0.73	< 2.2e-16
	"Coops"	AB	0,79	< 2.2e-16	0.79	2.2e-16
	Lignées F7	AB	0,75	< 2.2e-16	0.76	< 2.2e-16
FI		0,89	< 2.2e-16	0.91	< 2.2e-16	
2 nœuds	CTPS	AB	0,30	0.041	0.26	0.069
	ITAB	AB	0,16	0.063	0.15	0.10
	"Coops"	AB	0,45	7.1e-08	0.46	4.1e-08
	Lignées F7	AB	0,64	7.1e-13	0.66	7.9e-14
FI		0,85	< 2.2e-16	0.85	< 2.2e-16	
Gonflement	CTPS	AB	0,59	1,0e-05	0.57	2.1e-05
	ITAB	AB	0,38	1.3e-05	0.34	6.9e-05
	"Coops"	AB	0,64	8.1e-16	0.65	< 2.2e-16
	Lignées F7	AB	0,68	5.3e-15	0.64	4.1e-13
FI		0,66	< 2.2e-16	0.69	< 2.2e-16	
Épiaison	CTPS	AB	0,52	1,6e-04	0.52	1.8e-04
	ITAB	AB	0,12	0.19	0.089	0.32
	"Coops"	AB	0,18	0.042	0.18	0.048
	Lignées F7	AB	0,48	2.8e-07	0.43	6.1e-06
		FI	0,51	1.1e-09	0.47	1.5e-08

Résultats

32

Relation entre NDVI et fermeture du couvert au stade gonflement : essai AB « Coops » Rennes
(moyennes des 4 répétitions)



NDVI et port des feuilles

33

→ Corrélations significatives mais faibles aux stades 2 nœuds et gonflement

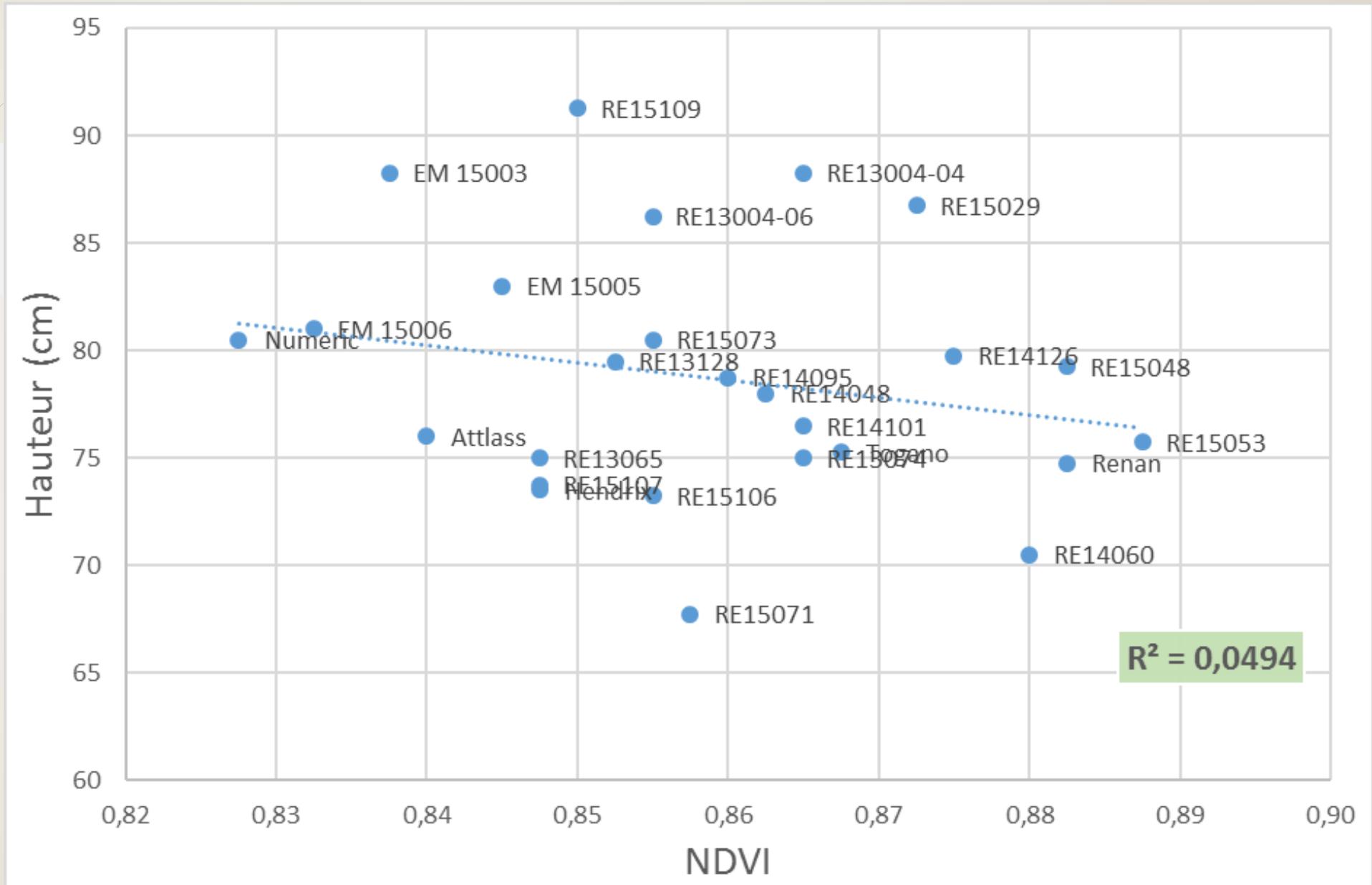
			Coefficient de Pearson		Coefficient de Spearman	
	Essais	Conduite	R ²	P value	Rs	P value
2 nœuds	CTPS	AB	0,47	8,5e-04	0.46	1,0e-03
	ITAB	AB	0,31	3,7e-04	0.29	7,6e-04
	"Coops"	AB	0,18	0.045	0.23	7,7e-03
	Lignées F7	AB	0,37	1,2e-04	0.41	1.9e-05
		FI	0,66	< 2.2e-16	0.69	< 2.2e-16
Gonflement	CTPS	AB	0,47	6,9e-04	0.48	5,1e-04
	ITAB	AB	0,47	1.9e-08	0.49	5.1e-09
	"Coops"	AB	0,57	3.4e-12	0.56	5,0e-12
	Lignées F7	AB	0,61	1.5e-11	0.58	1.9e-10
		FI	0,54	7.2e-11	0.56	9.8e-12
Épiaison	CTPS	AB	0,12	0.43	0.056	0.70
	ITAB	AB	0,08	0.36	0.016	0.86
	"Coops"	AB	0,06	0.51	0.12	0.19
	Lignées F7	AB	0,21	0.033	0.22	0.024
		FI	0,34	1,0e-04	0.30	6,6e-04

Résultats

Relation entre NDVI et hauteur au stade gonflement : essai AB « Coops » Rennes

34

→ Pas de relation observée entre NDVI et hauteur



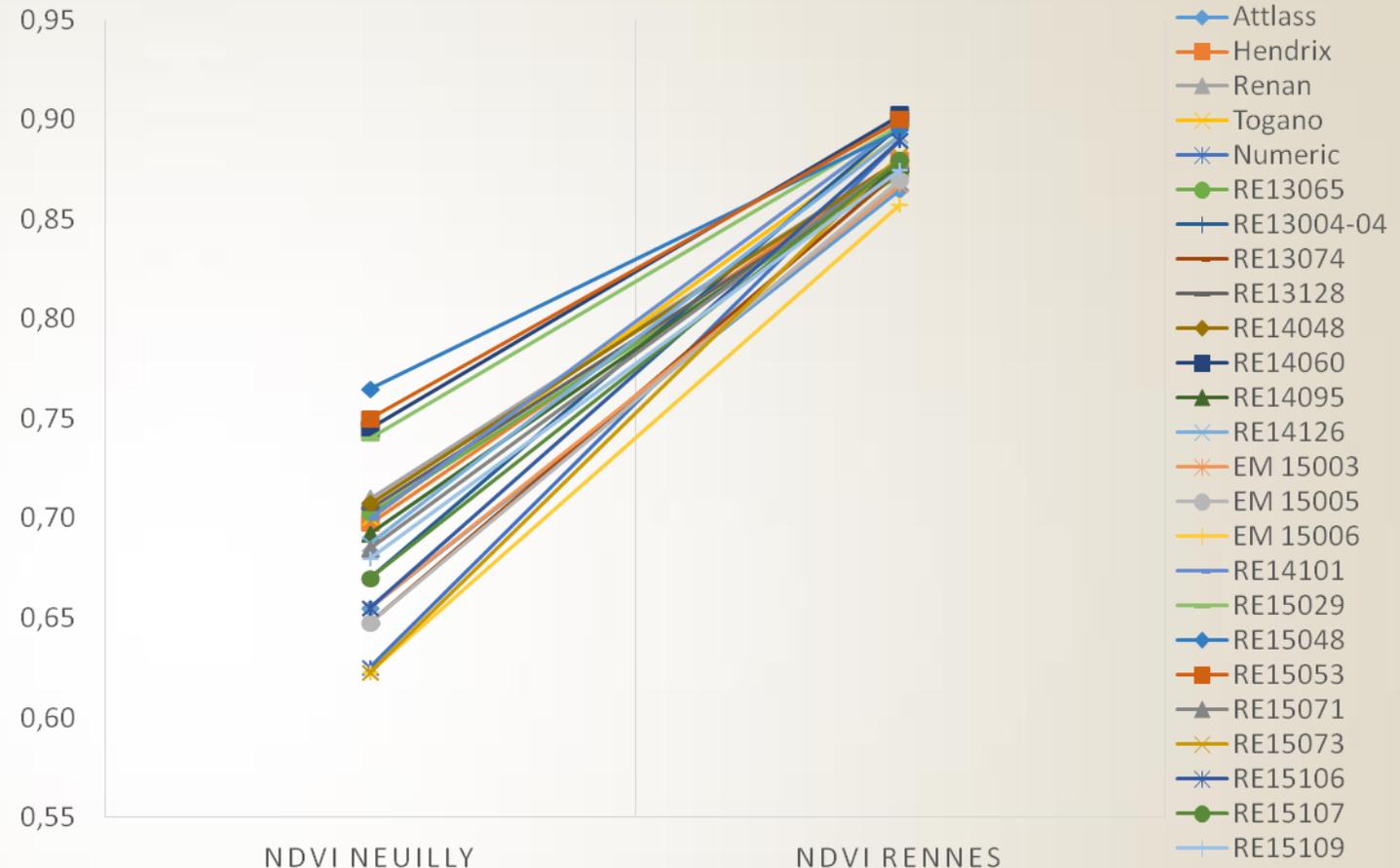
Résultats

35

Analyses du NDVI dans deux environnements différents au stade 2 nœuds

- Effet du milieu
- La relation NDVI / biomasse explique les différences observées entre les milieux
- Corrélations toujours présentes entre les variables

NDVI des essais « Coops » de Neuilly et de Rennes au stade 2 nœuds



Essais	NDVI et fermeture du couvert				NDVI et port des feuilles			
	Coefficient de Pearson		Coefficient de Spearman		Coefficient de Pearson		Coefficient de Spearman	
	R ²	P value	Rs	P value	R ²	P value	Rs	P value
"Coops" de Neuilly	0,65	2,5e-13	0,62	5,6e-12	0,46	1,5e-06	0,43	9,0e-06
"Coops" de Rennes	0,45	7.1e-08	0.46	4.1e-08	0,18	0.045	0.23	7,7e-03



Relation entre note de salissement, NDVI et fermeture du couvert

			Fermeture du couvert et salissement			
	Essais	Conduite	R ²	P value	Rs	P value
Épi 1cm	CTPS	AB	-0,61	3.4e-06	-0.61	3.8e-06
	ITAB	AB	-0,37	2.1e-05	-0.33	1,2e-04
	« Coops »	AB	-0,36	3.4e-05	-0.31	3,3e-04
	Lignées F7	AB	0,09	0.39	0.098	0.33
2 nœuds	CTPS	AB	-0,46	9,1e-04	-0.44	0.0016
	ITAB	AB	-0,55	2.5e-11	-0.47	1.8e-08
	« Coops »	AB	-0,43	4.1e-07	-0.21	0.018
	Lignées F7	AB	-0,12	0.23	-0.099	0.32
Épiaison	CTPS	AB	-0,40	0.0051	-0.38	0.0082
	ITAB	AB	-0,45	1.0e-07	-0.42	7.6e-07
	« Coops »	AB	-0,50	1.7e-09	-0.33	1,1e-04
	Lignées F7	AB	-0,39	4.6e-05	-0.38	7.9e-05

			NDVI et note de salissement			
	Essais	Conduite	R ²	P value	Rs	P value
Épi 1cm	CTPS	AB	-0,43	0.0026	-0.42	0.0027
	ITAB	AB	-0,07	0.47	-0.09	0.31
	« Coops »	AB	-0,35	6.1e-05	-0.26	0.0026
	Lignées F7	AB	0,03	0.78	0.022	0.83
2 nœuds	CTPS	AB	0,14	0.33	0.070	0.64
	ITAB	AB	0,30	5,3e-04	0.30	6,1e-04
	« Coops »	AB	0,02	0.81	0.15	0.096
	Lignées F7	AB	0,03	0.74	0.037	0.71
Épiaison	CTPS	AB	-0,02	0.88	-0.033	0.82
	ITAB	AB	0,26	0.0036	0.22	0.013
	« Coops »	AB	-0,07	0.99	0.054	0.55
	Lignées F7	AB	-0,04	0.70	0.025	0.81

→ Limite de la mesure NDVI par rapport au salissement des parcelles

→ Pas d'influence du salissement sur le comportement des génotypes

Avantages de la mesure :

- ❑ Facilité d'utilisation
- ❑ Rapidité des mesures
- ❑ Efficacité et précision des mesures
- ❑ Pas d'influence des conditions d'éclairage
- ❑ Pas d'influence de l'opérateur dans la réalisation des mesures
- Informe également sur la capacité de couverture du sol en début de montaison (Ex : Atlass) et sur l'envahissement probable par les adventices.
- Limite de la mesure au stade épiaison

Obstacle principal : **le taux d'enherbement des parcelles**

Conclusion

40

→ Elaboration d'un **indice du pouvoir couvrant (IPC)** afin d'intégrer plus facilement la concurrence vis-à-vis des adventices dans la sélection :

- ❑ IPC 1 = NDVI en début de montaison (stade épi 1 cm)
- ❑ IPC 2 = NDVI * H milieu et fin de montaison (stades 2 nœuds, gonflement)

NDVI : mesure NDVI
H : Hauteur

→ Intégrer également la précocité des variétés

**Nécessaires hautes performances
agronomiques, économiques et environnementales
MAIS...**

**Nécessaire investissement en génie agroécologique
(formation et recherche) et rééquilibrage par rapport au
génie génétique**

Vanloqueren, G., Baret, P.V., How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. Res. Policy (2009)

**Grandes avancées attendues dans un domaine quasi orphelin de
recherches (rapport TYFA de l'IDDRI)**

**INRA UMR IGEPP Rennes : recrutement IR en 2019 sélectionneur
en AB et agroécologie, démarrage thèse sur sélection pour
compétition adventices en 2020**

Merci pour votre attention

Références bibliographiques

43

- Abécassis** J., 2016 : Construire un système alimentaire durable. Alter Agri, n°136, mars-avril 2016.
- Agreste**, 2015 : Indicateurs de fréquence des traitements (IFT) grandes cultures en 2011, Enquête sur les pratiques phytosanitaires en grandes cultures 2011. www.agreste.agriculture.gouv.fr
- Agreste**, 2016 : Indicateurs de fréquence des traitements (IFT) grandes cultures en 2014, Enquête sur les pratiques phytosanitaires en grandes cultures 2014. www.agreste.agriculture.gouv.fr
- Agreste**, 2017 : SAA (Statistiques Agricoles Annuelles) résultats 2015 définitifs et 2016 provisoires. www.agreste.agriculture.gouv.fr
- Agreste-Agence Bio**, 2017 : données départementales par espèce (2011-2015). www.agencebio.org
- ANR** (Analyse National Recherche), 2015 : Plan Ecophyto 2. Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 20 octobre 2015. www.agence-nationale-recherche.fr
- Aquassys**, 2008 : Dossier du sous-sol, BSS000XPAJ. InfoTerre. www.ficheinfoterre.brgm.fr
- Asif M., M. Iqbal, H. Randhawa, D. Spaner**, 2014 : Managing and Breeding Wheat for Organic Systems : Enhancing Competitiveness Against Weeds. Springer Briefs in Agriculture.
- Bertholdsson** N.O., 2005 : Early vigour and allelopathy – two useful traits for enhanced barley and wheat competitiveness against weeds. Weed Research, 45, 94–102.
- Bonjean** A. et E. Picard, 1990 : Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword/ITM, 1990.
- Cauwel** B., N. Verjux et G. Bonin, 2000 : Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite biologique : observations et mesures. ITAB, Commission technique grandes cultures, janvier 2000.
- Chevassus-au-Louis** B., M. Griffon, 2008 : La nouvelle modernité : une agriculture productive à haute valeur écologique. Déméter, 2008.
- CNRTL**, 2017 : Centre Nationale de Ressources Textuelles et Lexicales. www.cnrtl.fr
- De Solan** B., 2009 : Mode opératoire référent : Suivi de la sénescence global par photos numériques. Arvalis-Institut du végétal, novembre 2009.
- Direction générale de l'alimentation du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt**, 2016 : Note de suivi 2015, Tendances du recours aux produits phytopharmaceutiques de 2009 à 2014. Ecophyto, réduire et améliorer l'utilisation des phytos.
- Drews** S., D. Neuhoff, U. Köpke, 2009 : Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. Weed Research, 49, 526–533.
- Du Cheyron** P., A. Streiff, 2017 : Inscriptions 2017, les nouveautés frappent à la porte. Perspectives agricoles, n°444, mai 2017, Variétés de blé tendre : partir du bon pied.
- Du Cheyron** P., 2017 : Renouvelez et diversifiez votre panel variétal. Perspectives agricoles, n°444, mai 2017, Variétés de blé tendre : partir du bon pied.
- EnvCAL**, 2017 : Espace pédagogiques interactifs de l'Université Virtuelle Environnement et Développement (UVED). www.e-cours.univ-paris1.fr
- Fernier** A., L. Fontaine, M. Conseil, 2015 : Avis et attentes d'agriculteurs bio en 2015 sur les variétés en grandes cultures biologiques, ITAB.
- Goswami** S., J.A. Gamon, S. Vargas, C.E. Tweedie, 2015 : Relationships of NDVI, Biomass and Leaf Area Index (LAI) for six key plant species in Barrow, Alaska. PeerJ PrePrints, CC-BY 4.0.
- Korres** N.E., R.J. Froud-Williams, 2002 : Effects of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora. Weed Research (2002), 42, 417–428.
- Le Champion** A., Bernicots M.H, Bonin L., Du Cheyron P., Dehay G., Falchetto L., Fontaine L., Gapin J.C, Lein V., Maillard A., Moreau D., Morlais J.Y, Moulin V., Prieur L., Quirin T., Rolland B., Vidal R., 2016 : Caractérisation et sélection de variétés de blé tendre plus compétitives vis-à-vis des adventices. INRA-ITAB programme FSOV 2013-2015.
- Le Champion** A., F.X. Oury, J.Y. Morlais, P. Walczak, O. Gardet, S. Gilles, A. Pichard, B. Rolland, 2013 : Quelle(s) sélection(s) du blé tendre pour l'agriculture biologique ? Résultats et perspectives d'un comparatif avec les performances variétales en conduite "faibles intrants". Innovations Agronomiques, INRA, 2013, 32, pp.443-554.
- Lemerle** D., B. Verbeek, B. Orchard, 2000 : Ranking the ability of wheat varieties to compete with *Lolium rigidum*. Weed Research, 2001, 41, 197-209.

Références bibliographiques

44

- Löschenberger** F., A. Fleck, H. Grausgruber, H. Hetzendorfer, G. Hof, J. Lafferty, M. Marn, A. Neumayer, G. Pfaffinger, J. Birschtzky, 2008. Breeding for organic agriculture: example for winter wheat in Austria. *Euphytica* 163, 469-480.
- Lövenstein** H., E.A. Lantinga, R. Rabbinge, H. Keulen : Principles of production ecology. Wageningen : Agricultural University of Wageningen, 1995.
- Marti** J., J. Bortz, G.A. Slafer, J.L. Arauz : Can wheat yield be assessed by early measurements of Normalized Difference Vegetation Index ? *Annals of Applied Biology*, 150 (2007), 253-257.
- Mason** H.E., D. Spaner, 2005 : Competitive ability of wheat in conventional and organic management systems: A review of the literature. *Canadian Journal of Plant Science*.
- Massot** H., R. Vidal, A. Le Campion, L. Fontaine, M.H. Bernicot et B. Rolland, 2014 : Guide de notation de la couverture du sol par le blé tendre. INRA-ITAB, décembre 2014.
- Mélix** F., 2017 : Céréales bio : des prix en hausses. *La France agricole*, n°3703, juillet 2017.
- Metais** P., 2016 : La récolte des menues pailles : un levier complémentaire de gestion des adventices à moyen terme. Arvalis-Institut du végétal, juin 2016.
- Météo-France**, 2017 : Juin 2017 : 2^e plus chaud depuis 1900, bilan définitif, Juillet 2017. www.meteofrance.fr
- Millennium Ecosystem Assessment**, 2005 : Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis, World Resources Institute, Washington, D.C.
- Morlon** P., 2010 : Adventice, 19 mars 2010. Les mots de l'agronomie.
- Murphy** K.M., J.C. Dawson, S.S. Jones, 2007 : Relationship among phenotypic growth traits, yield and weed suppression in spring wheat landraces and modern cultivars. *Field Crops Research* (2008), 105, 107-115.
- Noël** V., 2017 : Le bio se prépare à changer d'échelle. *Réussir Grandes Cultures*, n°314, juin 2017.
- Olsen** J., L. Kristensen J. Weiner, 2006 : Influence of sowing density and spatial pattern of spring wheat (*Triticum aestivum*) on the suppression of different weed species. *Weed Biology and Management* (2006), 6, 165-173.
- Przystalski** M., A. Osman, E.M. Thiemt, B. Rolland, L. Ericson, H. Ostergard, L. Levy, M. Wolfe, A. Buechse, H.P. Piepho, P. Krajewski, 2008 : Comparing the performance of cereal varieties in organic and non-organic cropping systems in different European countries. *Euphytica* 163, 417-433.
- Rivry-Fournier**, 2016 : Qualité des blés bio, la protéine sort du pétrin. *Biofil*, n°106, juillet-août 2016.
- Rolland** B., A. Le Campion, F.X. Oury, 2012 : Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°62, décembre 2012.
- Rolland** B., 2017 : Evaluation de variétés et de lignées de blé tendre en agriculture biologique campagne 2015-2016. Résultats de l'essai 2016 INRA-ITAB.
- Ruisi** P. B. Frangipane, G. Amato, A.S. Frenda, A. Plaia, D. Giambalvo, S. Saia, 2015 : Nitrogen uptake and nitrogen fertilizer recovery in old and modern wheat genotypes grown in the presence or absence of interspecific competition. *Frontiers in Plant Science*, 6, 185.
- Schneider** A., 2016 : Revaloriser le rôle des légumineuses. *Perspectives Agricoles*, n°437 octobre 2016.
- Sicard** H., J. Arino, C. Aubert, L. Bonin, L. Fontaine, J. Gall, C. Glachant, G. Johan, P. Ménétrier, C. Vacher, C. Zaganiacz, L. Prieur, A. Rodriguez, Y. Evenat, C. Rolland, R. Lemoine, D. Alamome, 2012 : Connaître les adventices pour les maîtriser en grandes cultures sans herbicide. Edition août 2012, projet CASDAR (2009/2011) « optimiser et promouvoir le désherbage mécanique »
- Streit** B., S.B. Rieger, P. Stamp, W. Richner, 2002 : Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Research* (2003), 43, 20-32.
- Trimble Navigation Limited**, 2012 : Capteur de biomasse portatif GreenSeeker, Carte de référence rapide. Trimble, version 1.00 rév. C.
- Weiner** J., H.W. Griepentrog, L. Kristensen, 2001 : Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology*, 38, 784-790.
- Wojciechowski** T., M.J. Gooding, L. Ramsay, P.J. Gregory, 2009 : The effects of dwarfing genes on seedling root growth of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2565-2573.
- Wu** H., J. Pratley, D. Lemerle, T. Haig, 2001 : Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). *Annals Applied Biology* (2001), 139, 1-9.