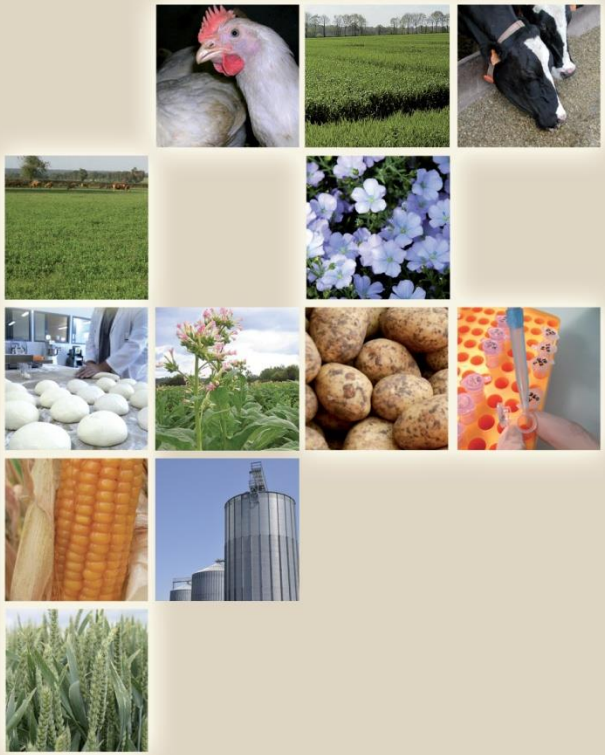


ARVALIS

Institut du végétal

Nouveaux outils de phénotypage au champ : vers quelles applications ?

David Gouache, Josiane Lorgeou

Journée ASF CàP & Maïs

13/05/2015

Ouzouer le marché

ARVALIS
Institut du végétal

Introduction

ARVALIS Institut du végétal

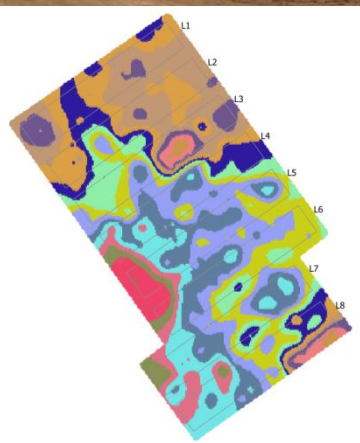
Breed wheat

PHENOME Réseau Français Phénomique végétale FPPN

aMaizing

€€€€€

Pour quoi faire ?

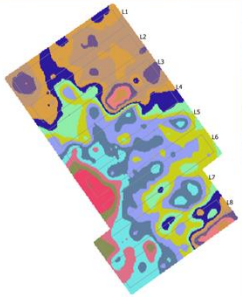


Introduction

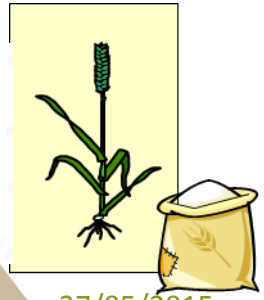
ARVALIS Institut du végétal

Breed wheat | PHENOME Réseau Français Phénomique végétale FPPN | amaizing

€€€€€



Pour quoi faire ?

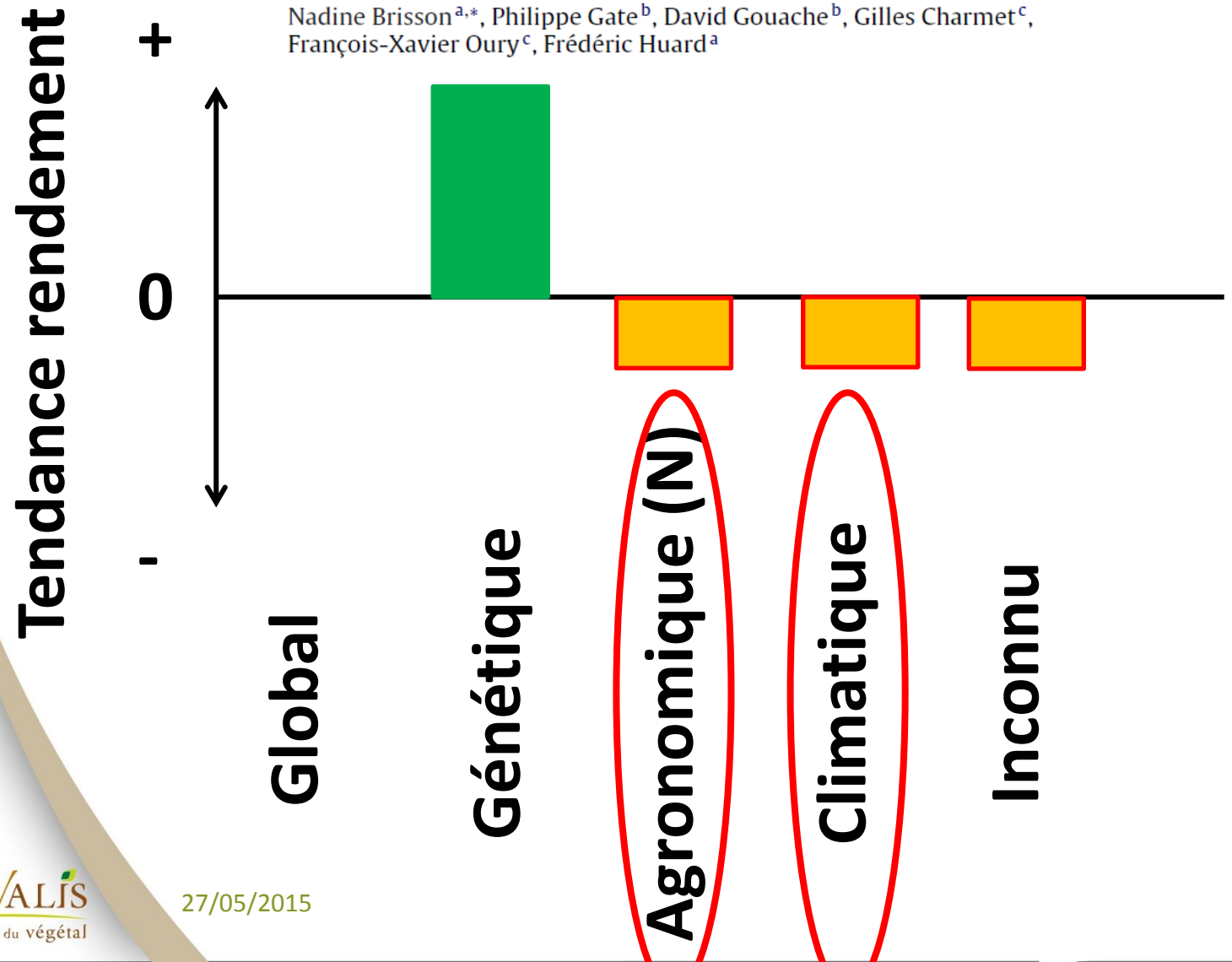


UNION FRANÇAISE DES SEMENCIERS

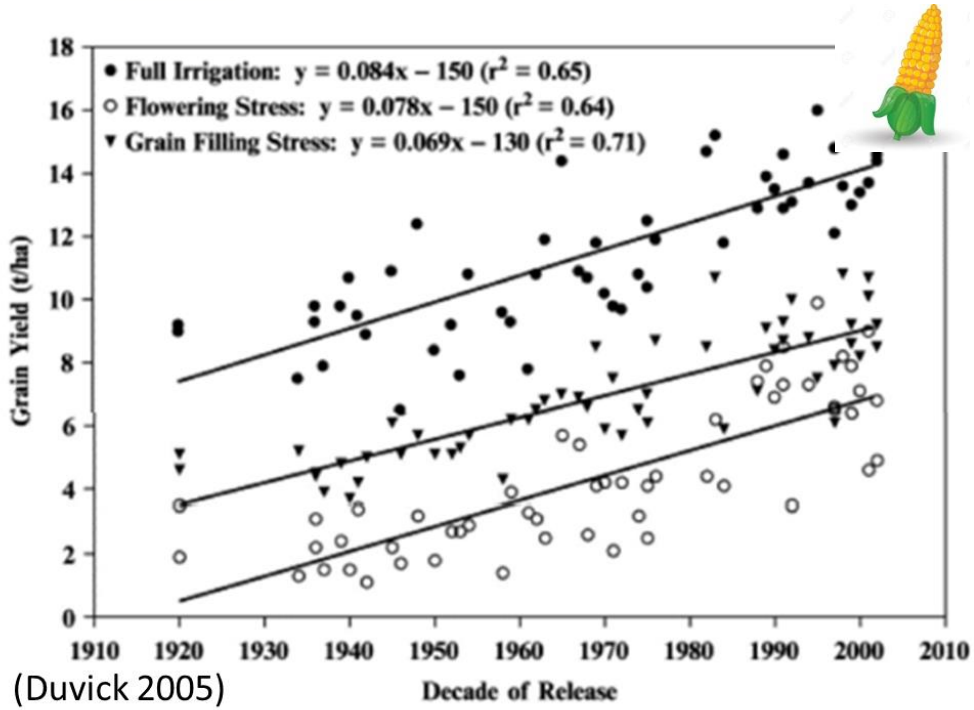
Enjeu : stress abiotiques

Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France

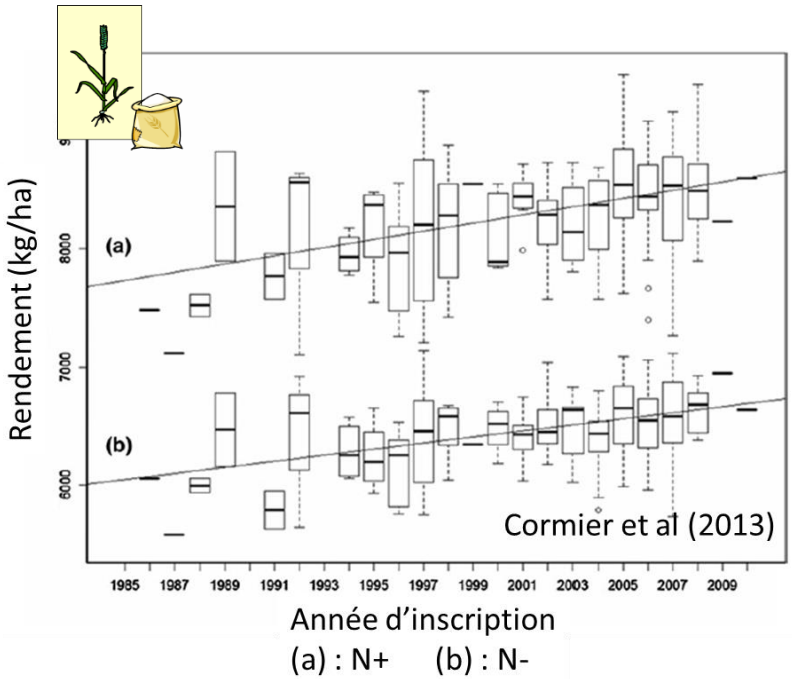
Nadine Brisson[a,*], Philippe Gate[b], David Gouache[b], Gilles Charmet[c], François-Xavier Oury[c], Frédéric Huard[a]



Stress abiotiques & progrès génétique



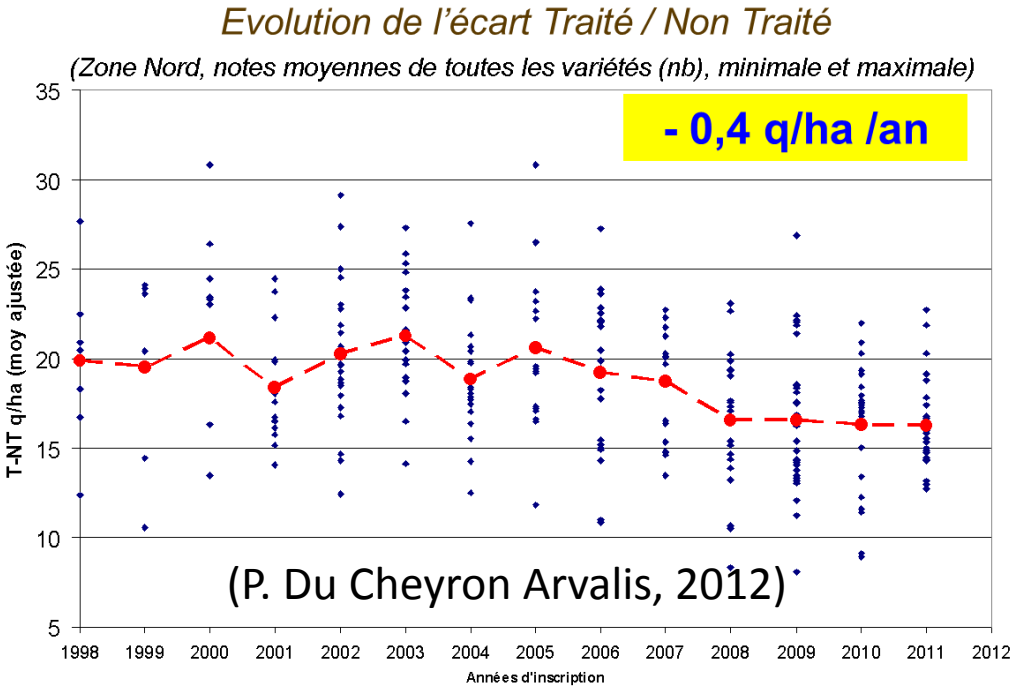
(Duvick 2005)



- Progrès génétique : stressé = non-stressé
- On n'est pas nuls ! Ces pentes sont notre référence/« benchmark» → toute nouvelle approche doit in fine y être comparée
- Mais on ne ferme pas l'écart → on ne va pas contrer la stagnation des rendements ☹

Stress abiotiques & progrès génétique

Progrès génétique : stressé > non-stressé ; possible ?



- Stress biotique blé tendre → OUI ! Pourquoi ?
- Héritabilité rendement stressé
- Sélection indirecte (symptômes maladies) efficace !

Stress abiotiques & progrès génétique

Nouvelles Technologies de phénotypage sur 2 fronts

Réduire l'écart d'héritabilité entre rendement stressé et non-stressé (« plus le stress augmente, plus h^2 diminue, donc autant sélectionner en non-stressé »)

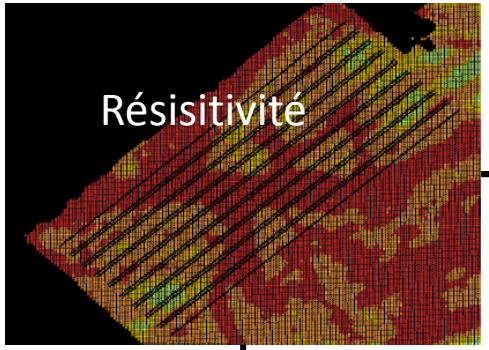
Implémenter des critères de sélection indirecte…

Réduire l'écart d'héritabilité

ARVALIS
Institut du végétal

Sciences du sol au secours de la génétique

Gréoux les bains 2014 : >200 variétés, 2 reps, Sec/Irrigué

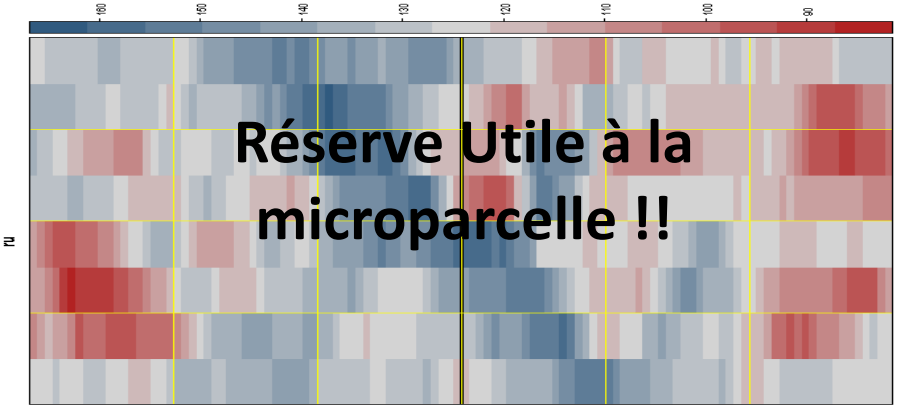


Echantillonage dirigé

>30 prélèvements tarrière
→ >30 points Réserve Utile

Réserve Utile spatialisée

Relevés GPS du dispositif

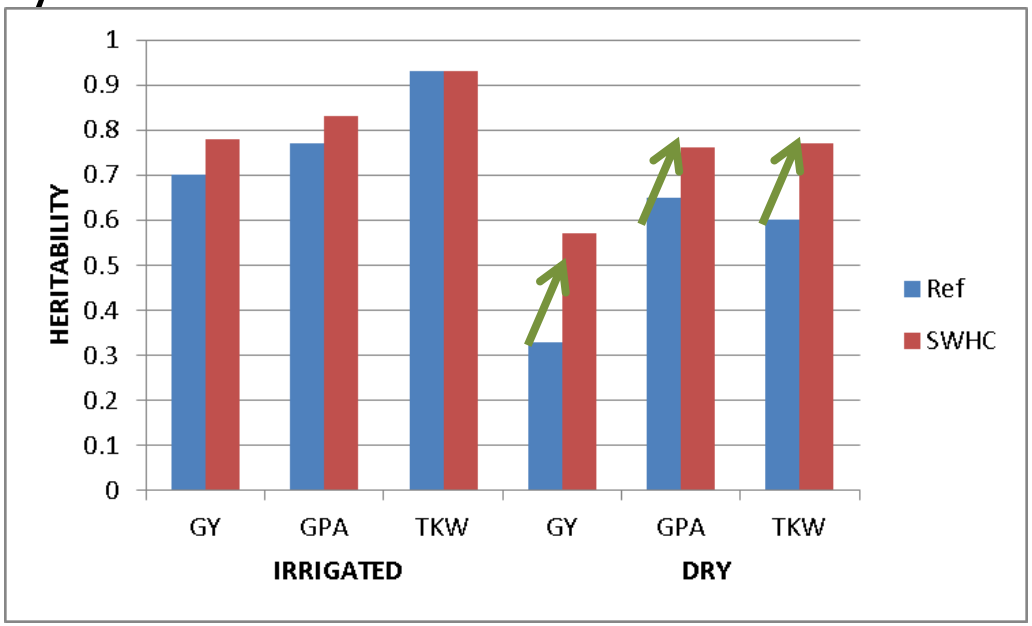


Réserve Utile à la microparcelle !!

Sciences du sol au secours de la génétique

Gréoux les bains 2014 : >200 variétés, 2 reps, Sec/Irrigué

- Ref = analyse statistique classique
- SWHC = analyse avec RU



- → +70% d'héritabilité du rendement en SEC : potentiel énorme d'amélioration de la sélection en SEC

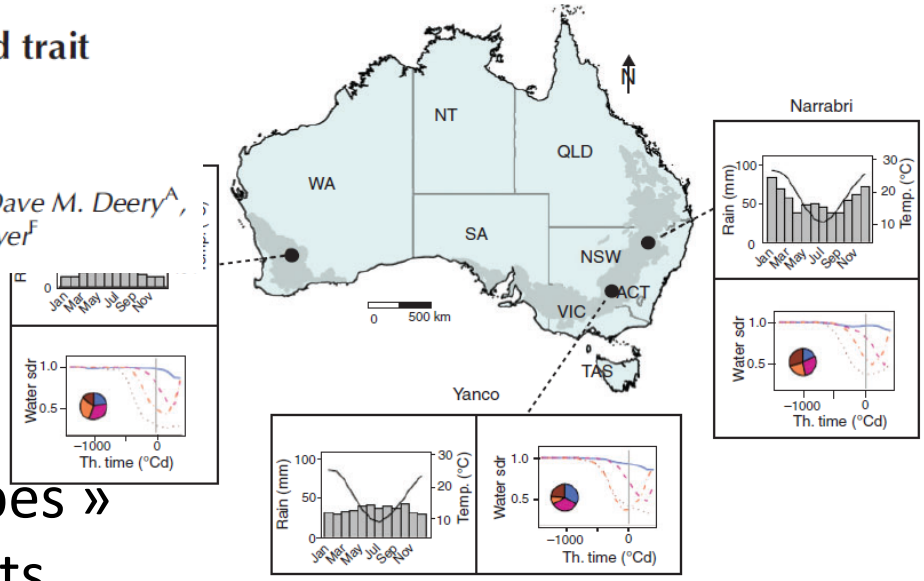
Implémentation en sélection

- Sur sites « haut potentiel » → intérêt limité (mais existant ?)
- Sur sites « stress hydrique » → intérêt majeur !
- Stress azoté → à tester mais plus compliqué
- Plusieurs niveaux d'implémentation :
  - « Changement minimum »
    - On garde « site principal » (1ers plots rendement) = « haut potentiel »
    - Quand on passe en multilocal (3-4 sites) on peut maintenant avoir un site fort stress aux données bcp plus fiables
  - « Changement maximum » : on investit dans un « site principal » à fort stress car on peut y avoir de bonnes héritabilités
  - « Changement collectif »…

Implémentation en sélection : collectif

A multisite managed environment facility for targeted trait and germplasm phenotyping

Greg J. Rebetzke[A,G], Karine Chenu[B], Ben Biddulph[C], Carina Moeller[D], Dave M. Deery[A], Allan R. Rattey[A], Dion Bennett[E], Ed G. Barrett-Lennard[C] and Jorge E. Mayer[F]



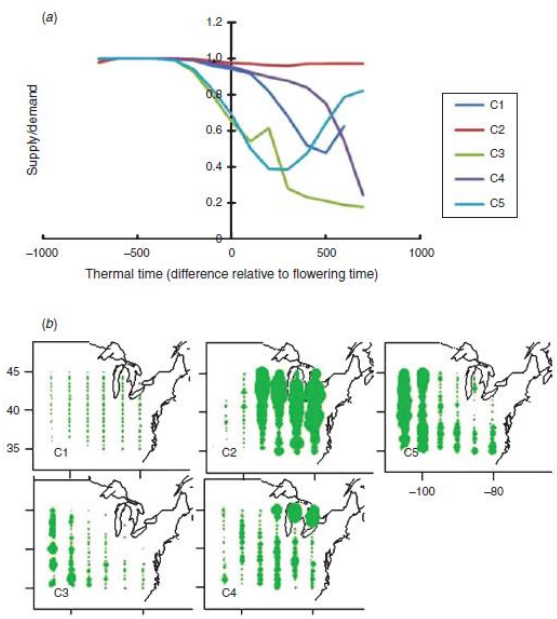
- 3 sites avec irrigation pilotée

→ apparition gérée des stress « types »

- Sites pour breeders → 10000 plots
- Hétérogénéité spatiale sol caractérisée

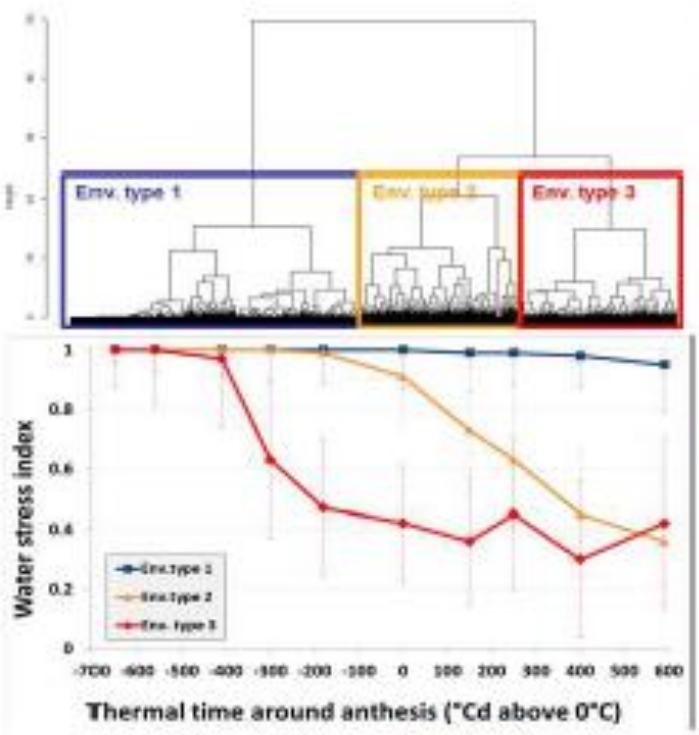
Predicting the future of plant breeding: complementing empirical evaluation with genetic prediction

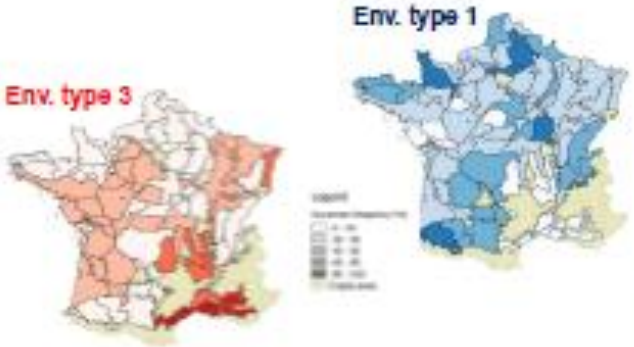
Mark Cooper[A,D], Carlos D. Messina[A], Dean Podlich[B], L. Radu Totir[B], Andrew Baumgarten[B], Neil J. Hausmann[B], Deanne Wright[B], and Geoffrey Graham[C]



Implémentation en sélection : collectif

- Vers un réseau français de quelques sites pérennes stress hydrique à finalité de breeding ?
- Blé : on a presque fini la partie « environnements »
- Chiche pour les étapes d'après…





(Deswarte et al., 2015)

Sélection indirecte

ARVALIS
Institut du végétal

Sélection indirecte : le grand challenge

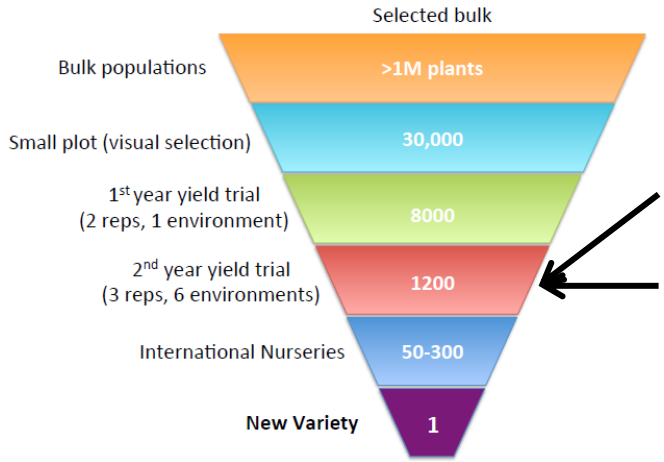
De l'art d'apporter une réponse correcte à une mauvaise question

Drought Tolerance in Maize: Indirect Selection through Secondary Traits versus Genomewide Selection

Cathrine Ziyomo and Rex Bernardo*

Le monde réel

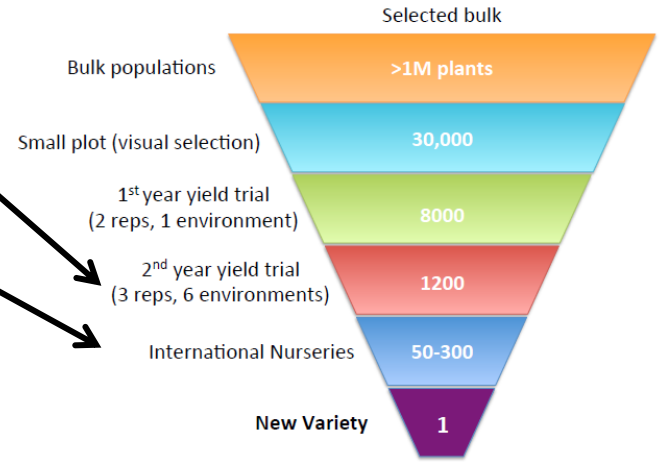
CIMMYT Wheat Breeding



Etape de sélection

Etape de validation

CIMMYT Wheat Breeding



Source : J Poland

Sélection indirecte : le grand challenge

Par contre

Drought Tolerance in Maize: Indirect Selection through Secondary Traits versus Genomewide Selection

Cathrine Ziyomo and Rex Bernardo*

- Notre environnement de sélection n'est pas forcément représentatif de nos environnements cibles (GxE & stress abiotiques !)
- Ne chercher QUE la corrélation avec le rendement (dans l'environnement de sélection) peut être une grosse erreur

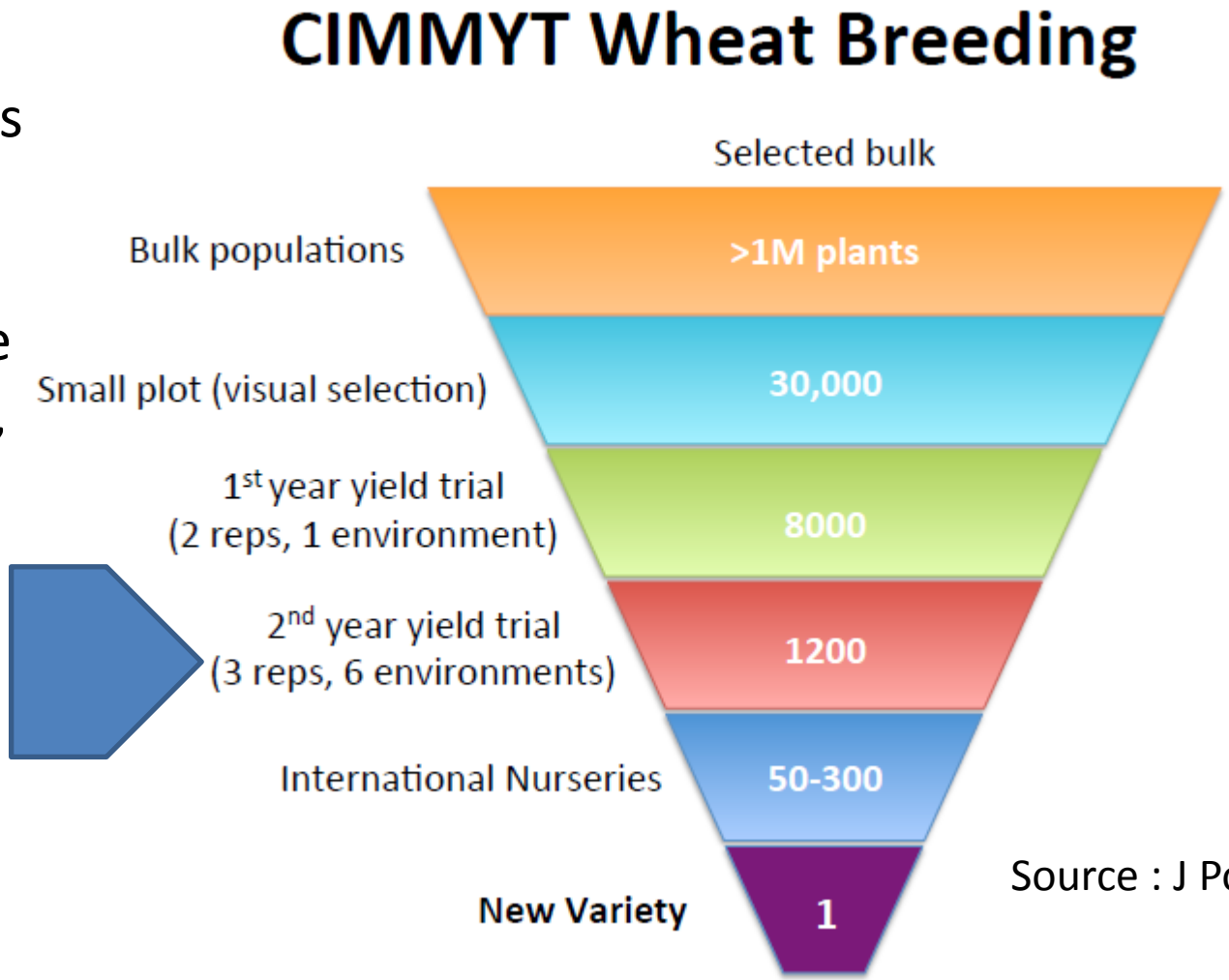
Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario

François Tardieu*

Sélection indirecte : le grand challenge

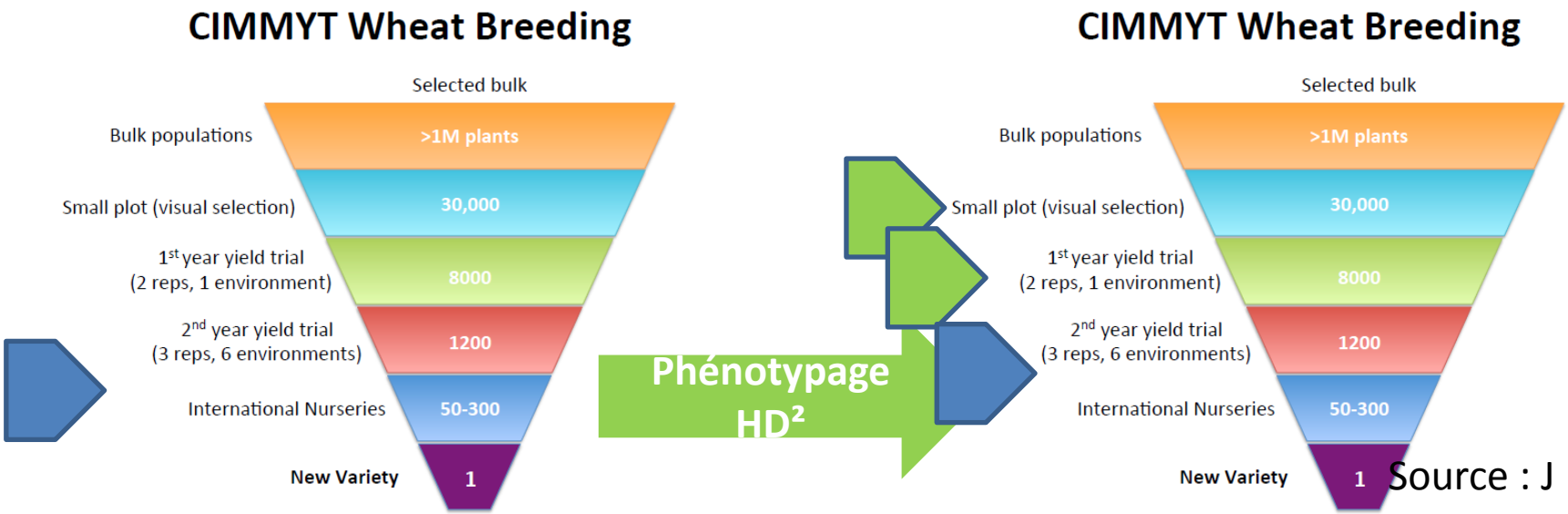
Réponse aux stress abiotiques :

On ne sélectionne qu'ici… et encore, de manière « aléatoire » en fonction de l'occurrence des stress recherchés



Source : J Poland

Sélection indirecte : le grand challenge



Source : J Poland

selection intensity

selection accuracy (?)

genetic variance

genetic gain over time

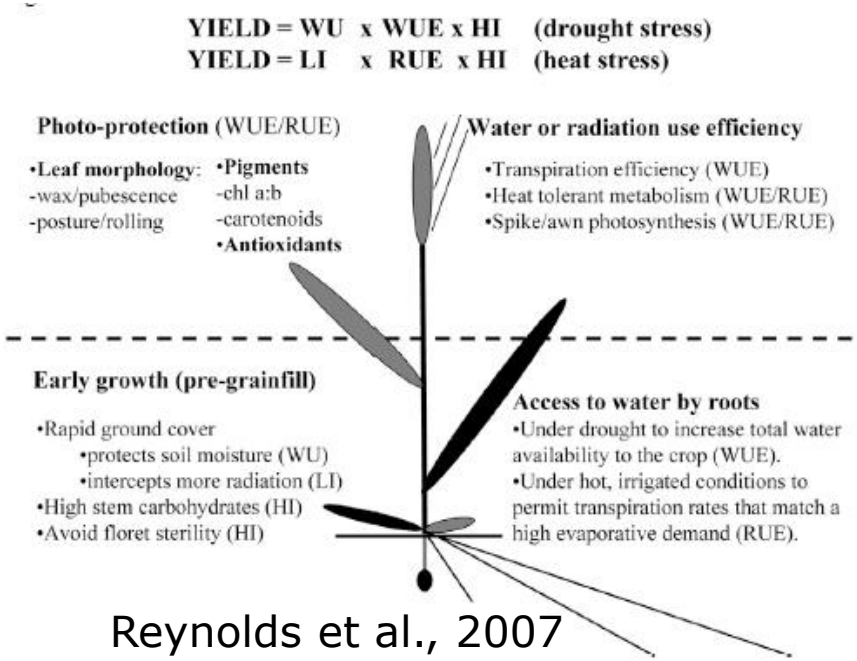
$$R_t = \frac{ir\sigma_A}{y}$$

years per cycle

Sélection indirecte : étape 1, écophysiologie

- Liste au père Noël des traits

- Méthodes de mesure



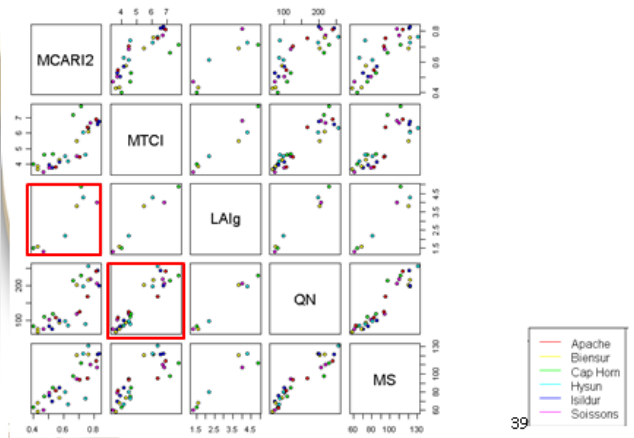
Reynolds et al., 2007

Sélection indirecte : étape 2, validation méthodologique

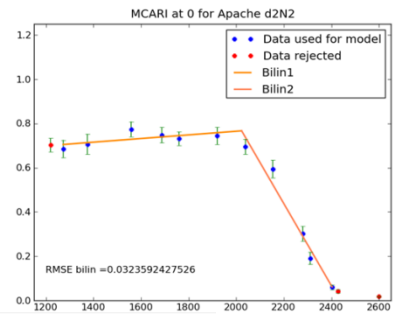
A semi-automatic system for high throughput phenotyping wheat cultivars in-field conditions: description and first results

Alexis Comar[A,B,E], Philippe Burger[C], Benoit de Solan[A,B], Frédéric Baret[B], Fabrice Daumard[C,D] and Jean-François Hanocq[B]

Measurements : IV – destructive comparisons



Description of dynamics



Correlation to crop performance

MCARI2(0°)	T_{12}	T_2	α_1	α_2	$VI(T_{12})$	I_1+I_2	I_1	I_2
Yield	0.394	0.586	-0.614	-0.496	0.843	0.899	0.902	0.75
AGDM	0.234	0.517	-0.721	-0.45	0.905	0.959	0.934	0.85
HI	0.459	0.301	0.151	-0.289	0.032	0.047	0.135	-0.106
QN_{grain}	0.286	0.56	-0.696	-0.426	0.884	0.941	0.922	0.83
QN_{total}	0.23	0.547	-0.73	-0.396	0.885	0.943	0.923	0.853
fN_{grain}	0.028	-0.482	0.706	0.001	-0.557	-0.691	-0.635	-0.694
CN_{grain}	0.134	0.548	-0.684	0.1	0.5	0.638	0.597	0.631
CN_{total}	0.403	0.698	-0.636	-0.034	0.503	0.638	0.654	0.541
MTCI(57°)	T_{12}	T_2	α_1	α_2	$VI(T_{12})$	I_1+I_2	I_1	I_2
Yield	-0.47	0.446	-0.056	-0.247	0.796	0.814	0.756	0.688
AGDM	-0.534	0.41	-0.211	-0.197	0.759	0.785	0.717	0.634
HI	0.061	0.103	0.355	-0.204	0.26	0.247	0.339	0.247
QN_{grain}	-0.541	0.435	-0.145	-0.238	0.834	0.854	0.77	0.695
QN_{total}	-0.59	0.432	-0.21	-0.197	0.808	0.83	0.731	0.679
fN_{grain}	0.444	-0.455	0.208	0.026	-0.53	-0.551	-0.468	-0.451
CN_{grain}	-0.502	0.577	-0.033	0.008	0.641	0.638	0.51	0.582
CN_{total}	-0.538	0.573	0.088	-0.116	0.812	0.806	0.629	0.715

Heritability

MTCI	GDVI	σ_g	σ_e	σ_{gx}	σ_{ex}	σ_r
	HI	72.27	3.27	0.13	16.47	3.27
MCARI2(0°) T_{12}		55.34	14.37	1.28	8.30	9.51
MCARI2(0°) α_2		44.81	15.07	3.42	18.89	13.82
MTCI(57°) α_1		25.21	44.21	2.10	8.30	13.58
	Yield	26.83	63.83	0.75	2.87	1.84
MCARI2(0°) I_2		25.35	65.27	0.25	9.06	5.91
MCARI2(0°) (T_{12})		22.92	39.24	2.61	11.32	5.71
	CN_{grain}	21.31	75.69	0.27	2.83	1.58
	fN_{grain}	19.93	60.93	0.00	11.50	7.74
MCARI2(0°) α_1		17.87	70.69	0.04	8.75	2.58
	AGDM	16.11	77.22	0.52	5.97	2.88
MTCI(57°) I_1		14.43	62.45	0.91	13.47	6.73
MTCI(57°) (T_{12})		12.81	81.35	0.16	5.44	2.34
MCARI2(0°) I_1		10.30	82.77	1.62	2.93	2.13
MTCI(57°) I_1+I_2		7.34	85.62	0.82	2.34	2.97
MCARI2(0°) I_1+I_2		7.59	88.14	1.22	2.15	1.85
	CN_{grain}	4.13	92.99	0.87	1.43	1.55
	QN_{grain}	2.28	94.39	0.12	2.07	0.84
	QN_{grain}	1.58	95.83	0.87	2.14	0.34

Sélection indirecte : étape 2, validation méthodologique

A semi-automatic system for high throughput phenotyping wheat cultivars in-field conditions: description and first results

Alexis Comar[A,B,E], Philippe Burger[C], Benoit de Solan[A,B], Frédéric Baret[B], Fabrice Daumard[C,D] and Jean-François Hanocq[B]

- Validation des corrélations entre indices de végétation et caractères cibles type biomasse, Nabs, rendement
- Validation de leur répétabilité
- Intérêt fort de les intégrer en cinétique
- Choix des indices de végétation
  - NDVI : seulement à indices foliaires faibles → début de croissance (vigueur précoce) ou sénescence avancée (stress hydrique)
  - MTCI & MCARI2 : plus adaptés aux contextes Ouest Europe à indices foliaires élevés

Sélection indirecte : étape 3, validation pratique

Sélection indirecte : étape 4, pertinence

Resiliences to water deficit in a phenotyping platform and in the field: How related are they in maize?

R. Chapuis[a], C. Delluc[b], R. Debeuf[b], F. Tardieu[a], C. Welcker[a,*]

La pertinence ne peut et ne doit s'évaluer que sur un réseau (MET) suffisamment représentatif !!

A Common Genetic Determinism for Sensitivities to Soil Water Deficit and Evaporative Demand: Meta-Analysis of Quantitative Trait Loci and Introgression Lines of Maize[1][W][OA]

Claude Welcker, Walid Sadok[2], Grégoire Dignat, Morgan Renault, Silvio Salvi, Alain Charcosset, and François Tardieu*

Ouf, y a de la variabilité génétique à travailler !

Sélection indirecte : étape 4, pertinence

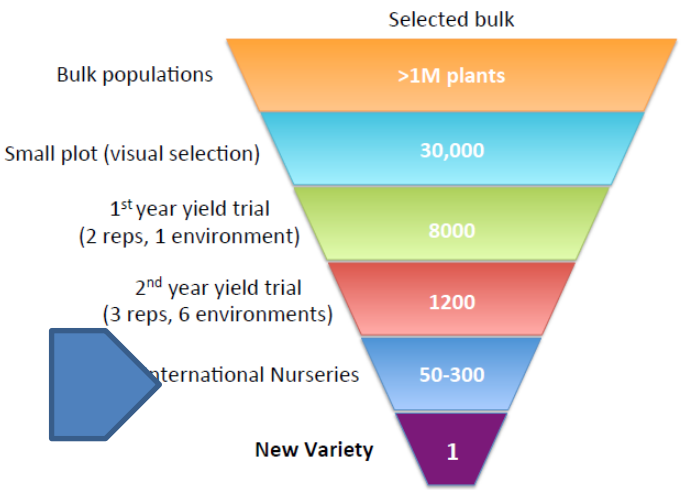
Resiliences to water deficit in a phenotyping platform and in the field: How related are they in maize?

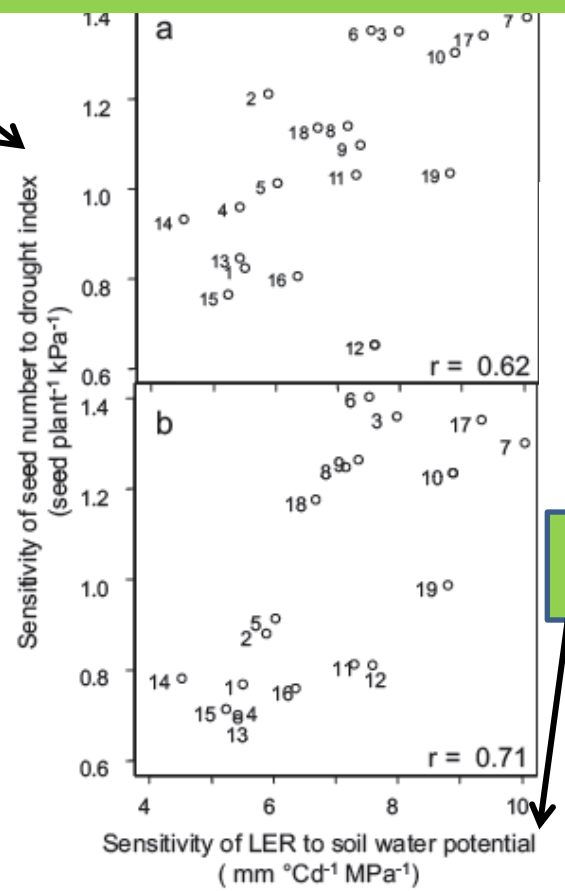
R. Chapuis[a], C. Delluc[b], R. Debeuf[b], F. Tardieu[a], C. Welcker[a,*]

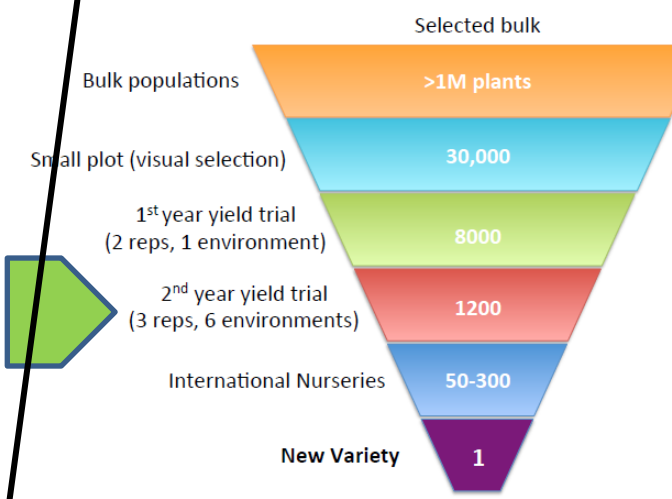
Phénotypage HD²

Approche actuelle

Phénotypage HD²



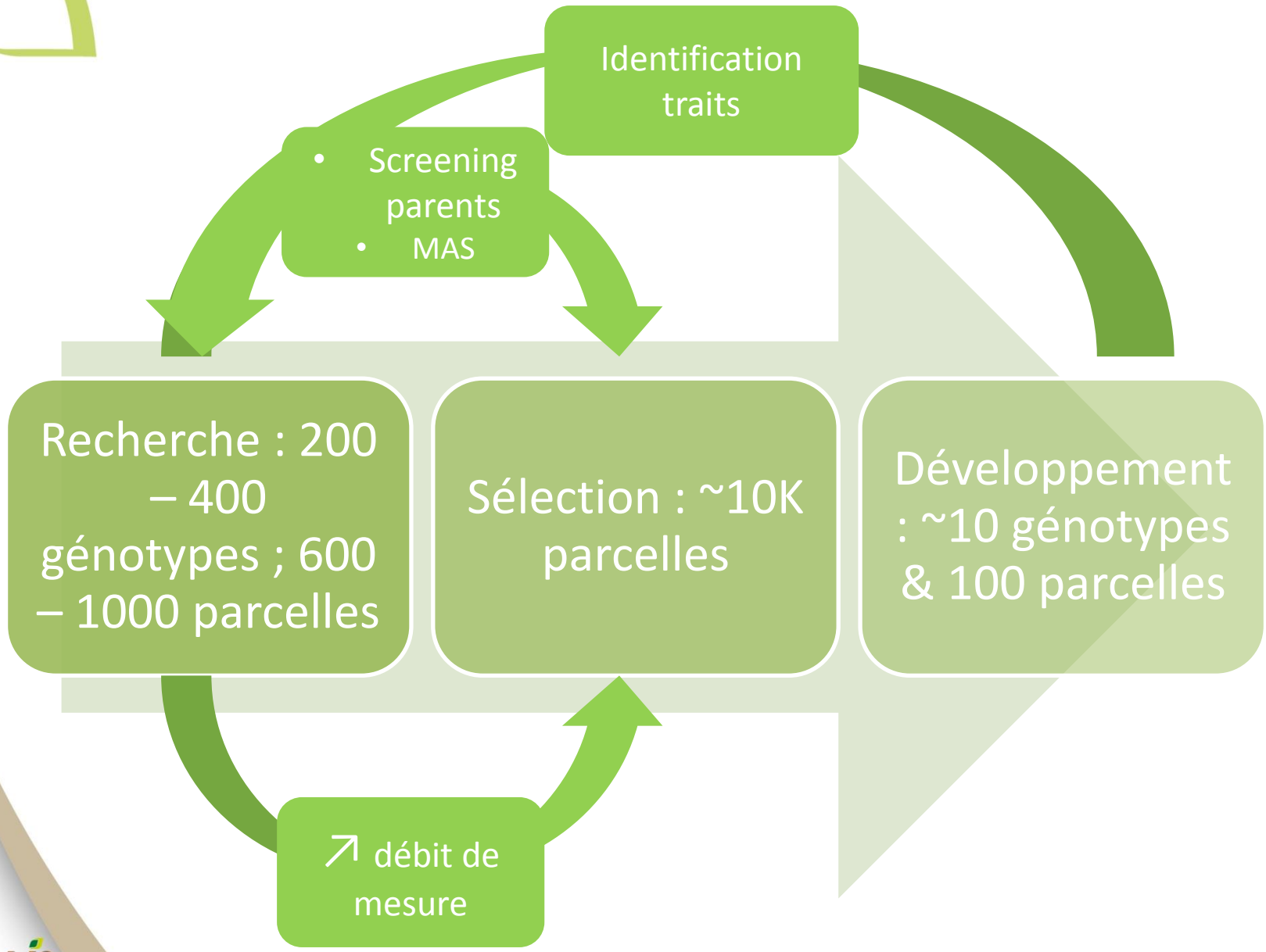




Sélection indirecte : phénotypage HD² au champ, où en est on ?

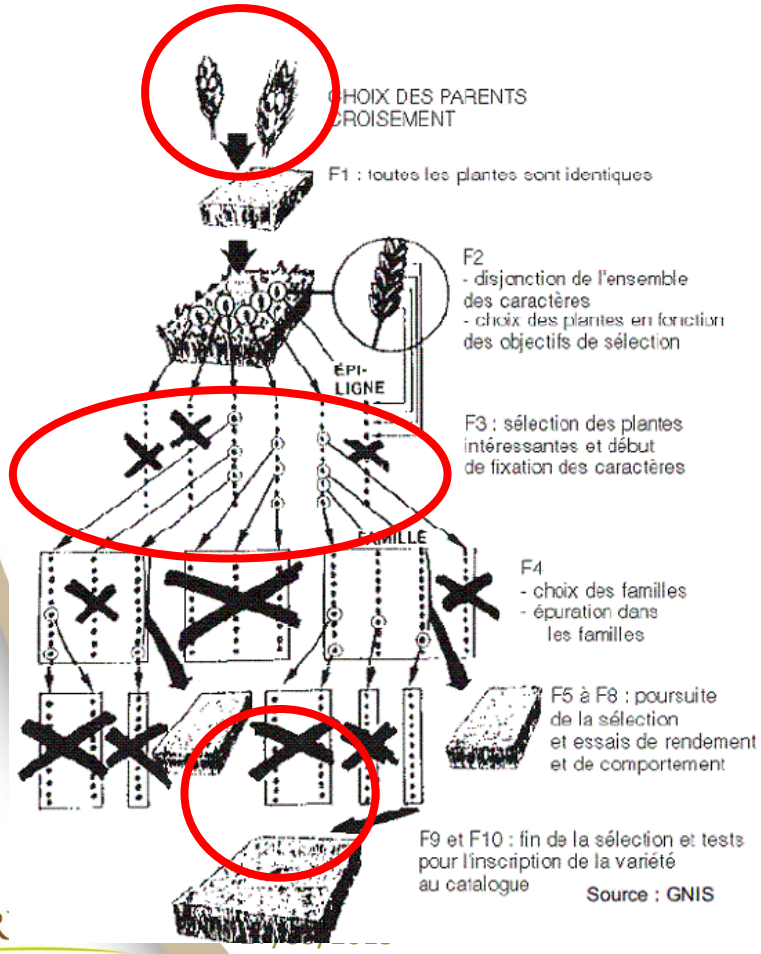
Cibles	1	2	3	4	Traits à faire
	X (mais jamais fini)	Croissance expansive du couvert ; proxies de Nabs ; fiPAR ; RUE	Croissance expansive du couvert ; proxies de Nabs ; fiPAR ; RUE		Biomasse, architecture, WUE, T° de canopée, fluorescence Chl, sensibilité de la croissance et de la RUE au stress
, N	X (mais jamais fini)			En cours, PhénoBlé + BreedWheat (super MET !)	
	X (mais jamais fini)	On démarre			

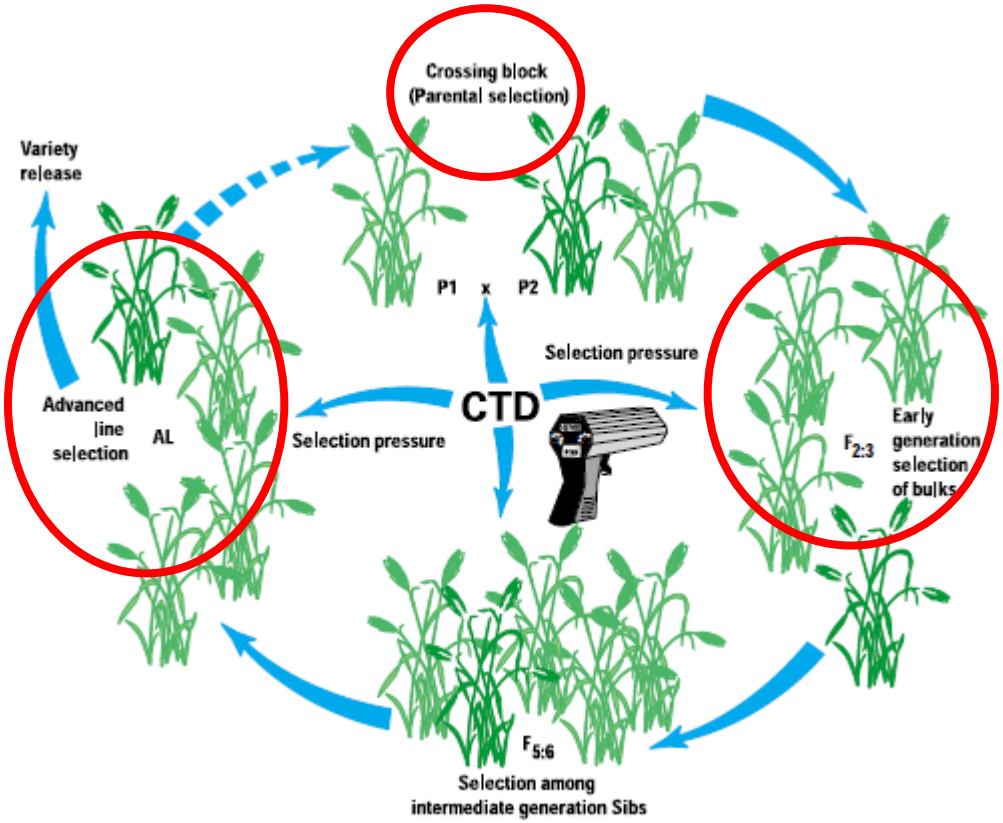
Sélection indirecte : implémentation



Sélection indirecte : position dans un programme

- Traits phénotypage HD² au champ = échelle couvert → sélection sur parcelles (1-10 m²)



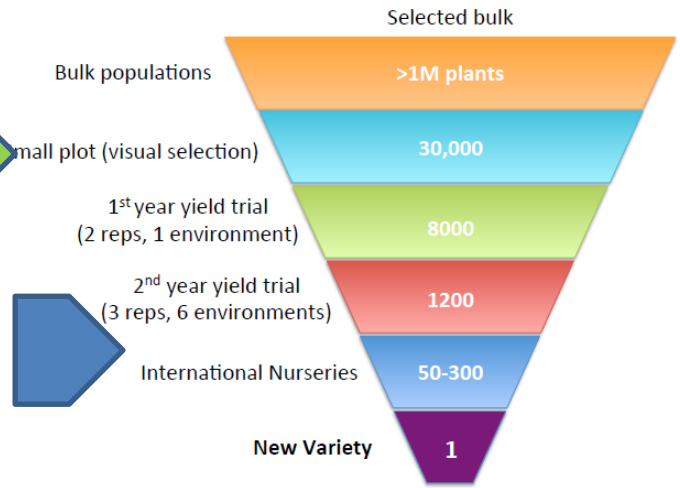


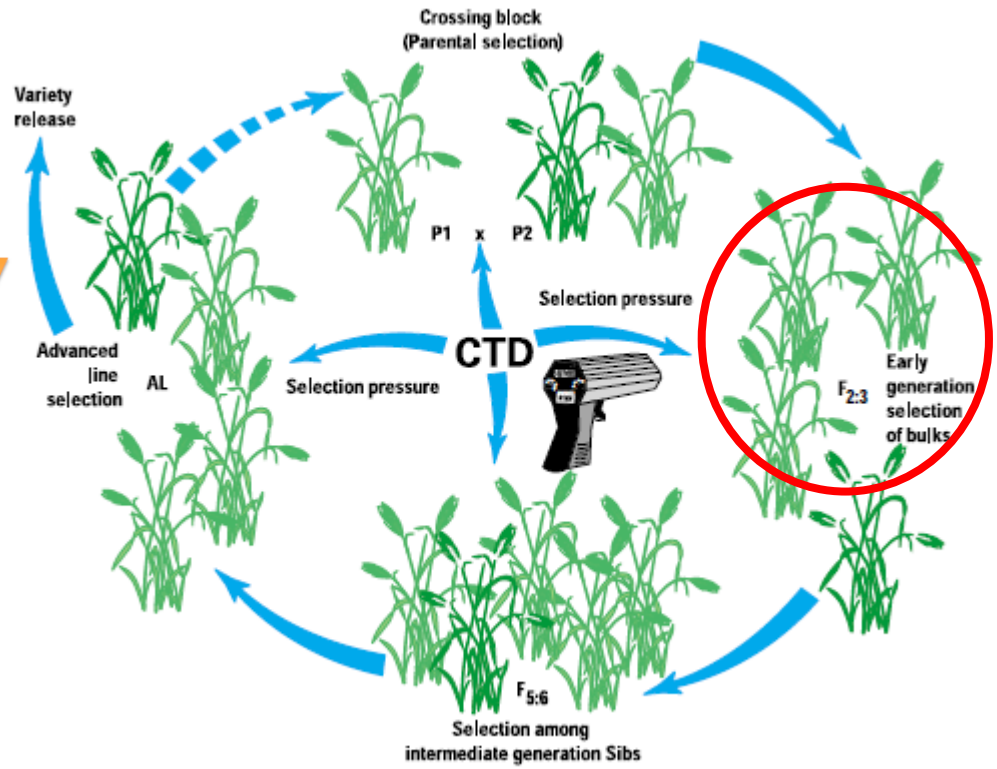
Reynolds et al., 2001

Sélection indirecte : position dans un programme

- Traits phénotypage HD² au champ = échelle couvert → sélection sur parcelles (1-10 m²)

Phénotypage HD²





Reynolds et al., 2001

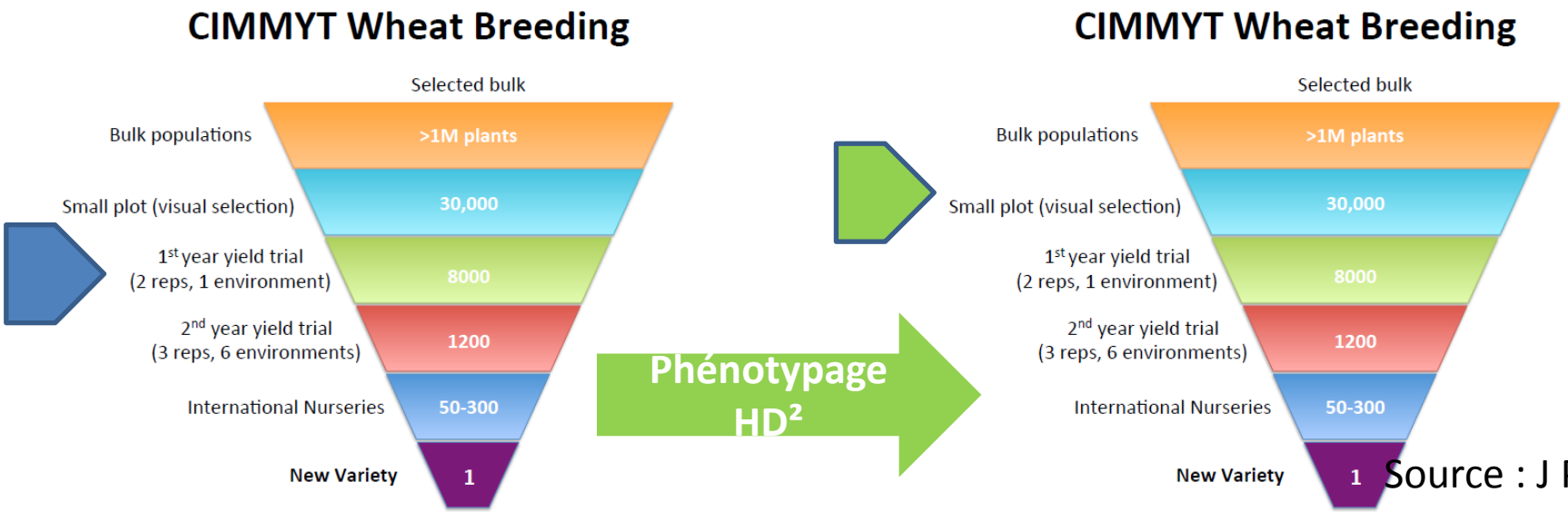
Sélection indirecte : position dans un programme

- Méthode phénotypage adaptable à sélection
  - Early Generation Selection
  - Programmes HD ?
- Méthode non adaptable
  - MAS (GS) sur marqueurs issus des manips R&D
- Choix de parents & traits : lien avec le développement
  - Variétés à succès dans réseau multilocal → décortiquage des causes et intégration prioritaire comme critère
  - « Histoire » à marketer

Sélection indirecte : pre-breeding

- Screening de diversité
  - Pas pertinent sur rendement
  - Difficulté de facteurs confondants hauteur/précocité
- Croisements ciblés pour introgresser/combiner des traits
  - Ne pas chercher à remplacer la sélection pour le rendement (phéno ou géno !)
  - Chercher à garder le trait ciblé (via phénotypage ou MAS)

Sélection indirecte : et pourquoi pas le rendement ?



Source : J Poland

- Evaluation rendement dès F2:3 ou HD1 ?
- Sélection génomique sur 30K individus → problème de coût
- Intégration d'un trait indirect dès cette étape ?
- Enjeu = coût !

Bilan

ARVALIS
Institut du végétal

Pistes de réflexion proposées

- « Tri » parmi les traits → Phenome, PIAs, projets ponctuels (FSOV) apporteront des réponses
- Implémentation routine sélection reste à faire
  - Saut/adaptation technologique = **l'énorme enjeu** pour passer des essais R&D aux essais sélection
  - Ou MAS/GS quand la technologie ne permet pas
- Alimenter le choix de parents : pre-breeding et aussi renforcement lien développement – recherche
- Evaluer tous ces outils correctement :
  - Benchmark = le gain génétique actuel
  - A évaluer sur les étapes successives d'un programme (désolé Pr. Bernardo)

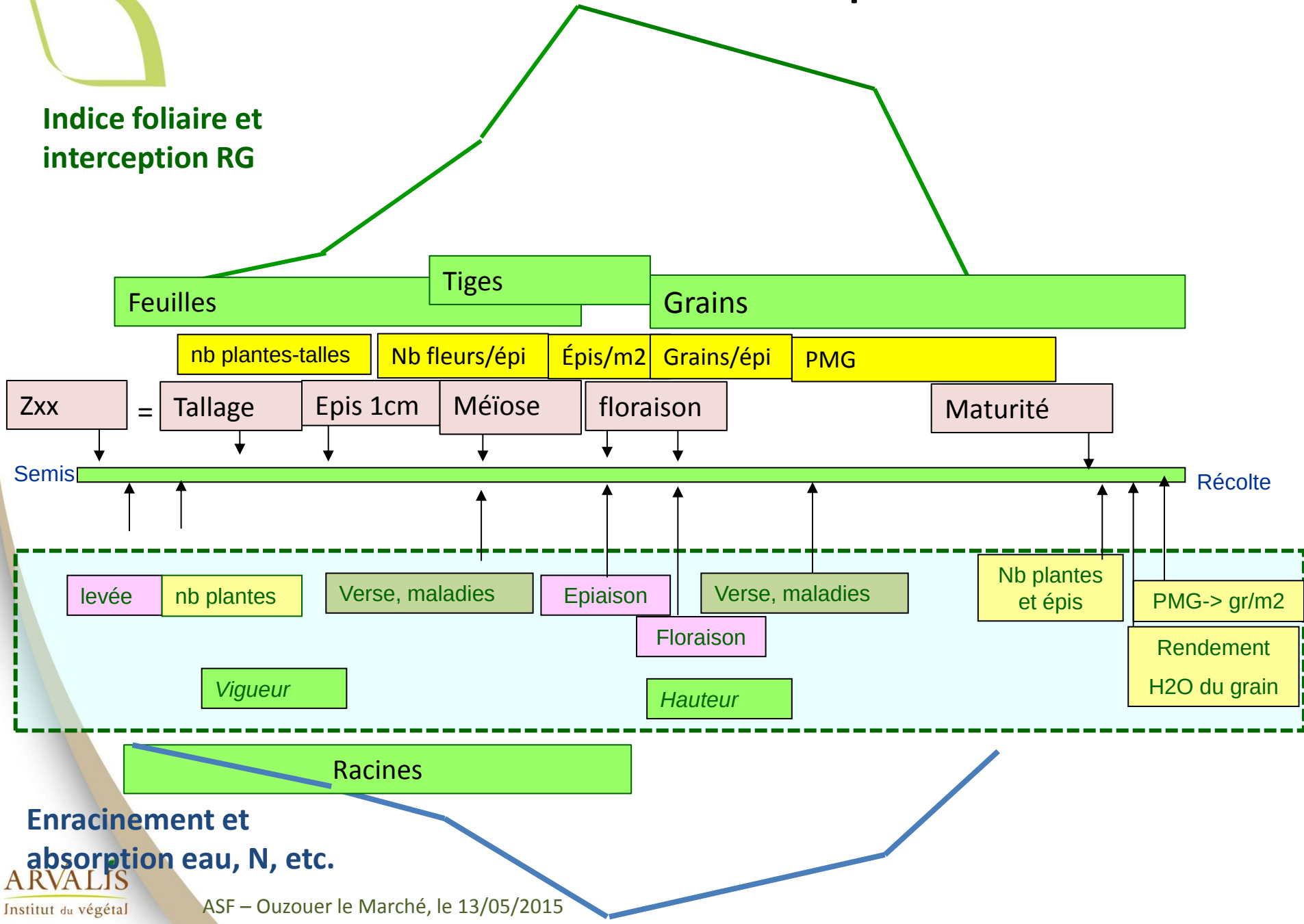
Remerciements

- P Giraudeau, S Praud, A Murigneux, F Tardieu pour discussions
- Expert Working Group Phenotyping Wheat Initiative pour discussions
- Contributeurs : A Bouthier, J Landrieau, G Meloux, équipe régionale Gréoux, K Beauchene, A Fournier, L Guerreiro, S Thomas, B de Solan, A Comar, F Baret, JC Deswarte, G Arjaure, équipe régionale Chalons, G Touzy
- Soutiens : Phenome, BreedWheat, aMaizing, FSOV, FranceAgriMer

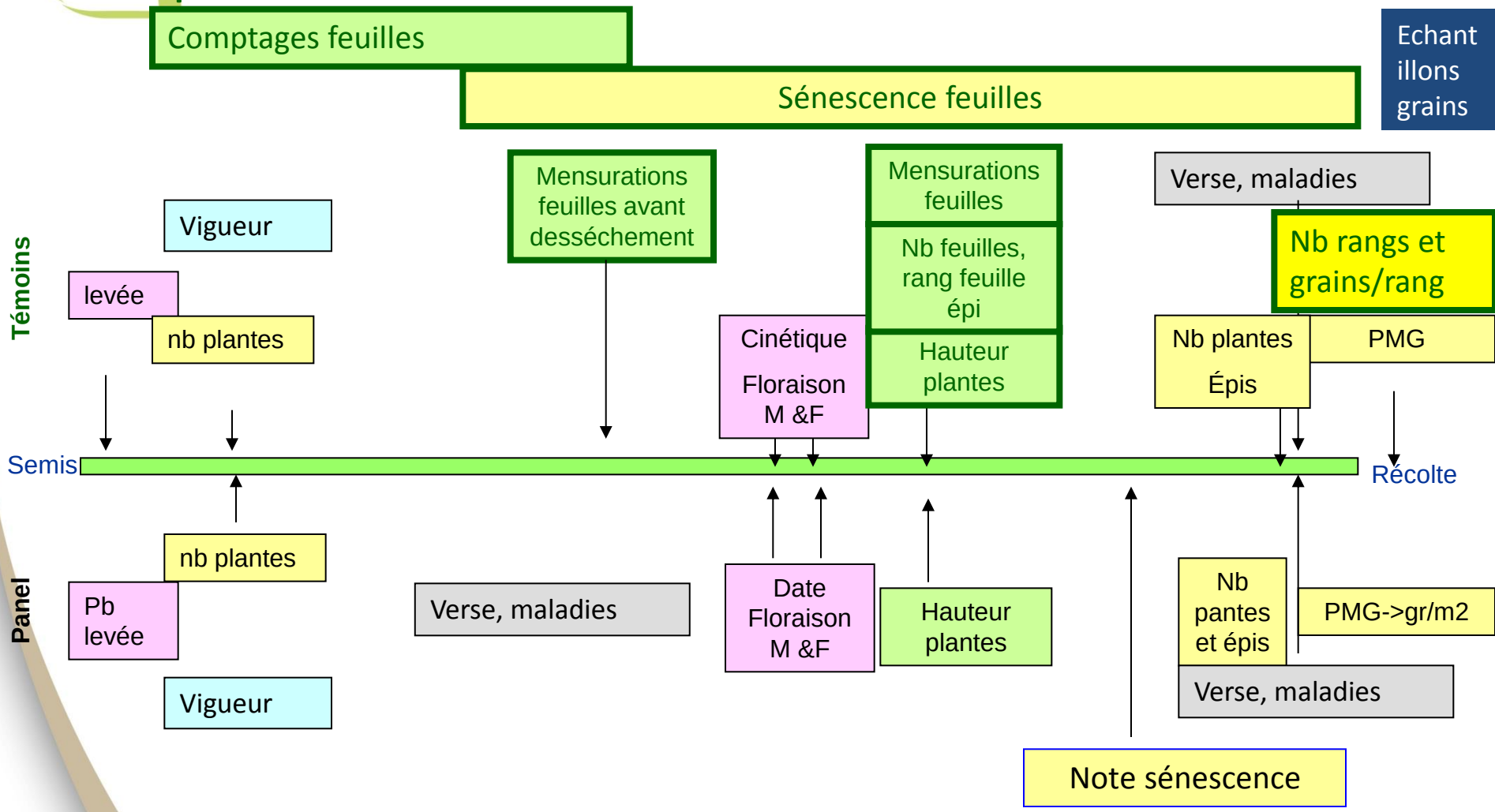
Accès à des variables de cinétique de croissance

ARVALIS
Institut du végétal

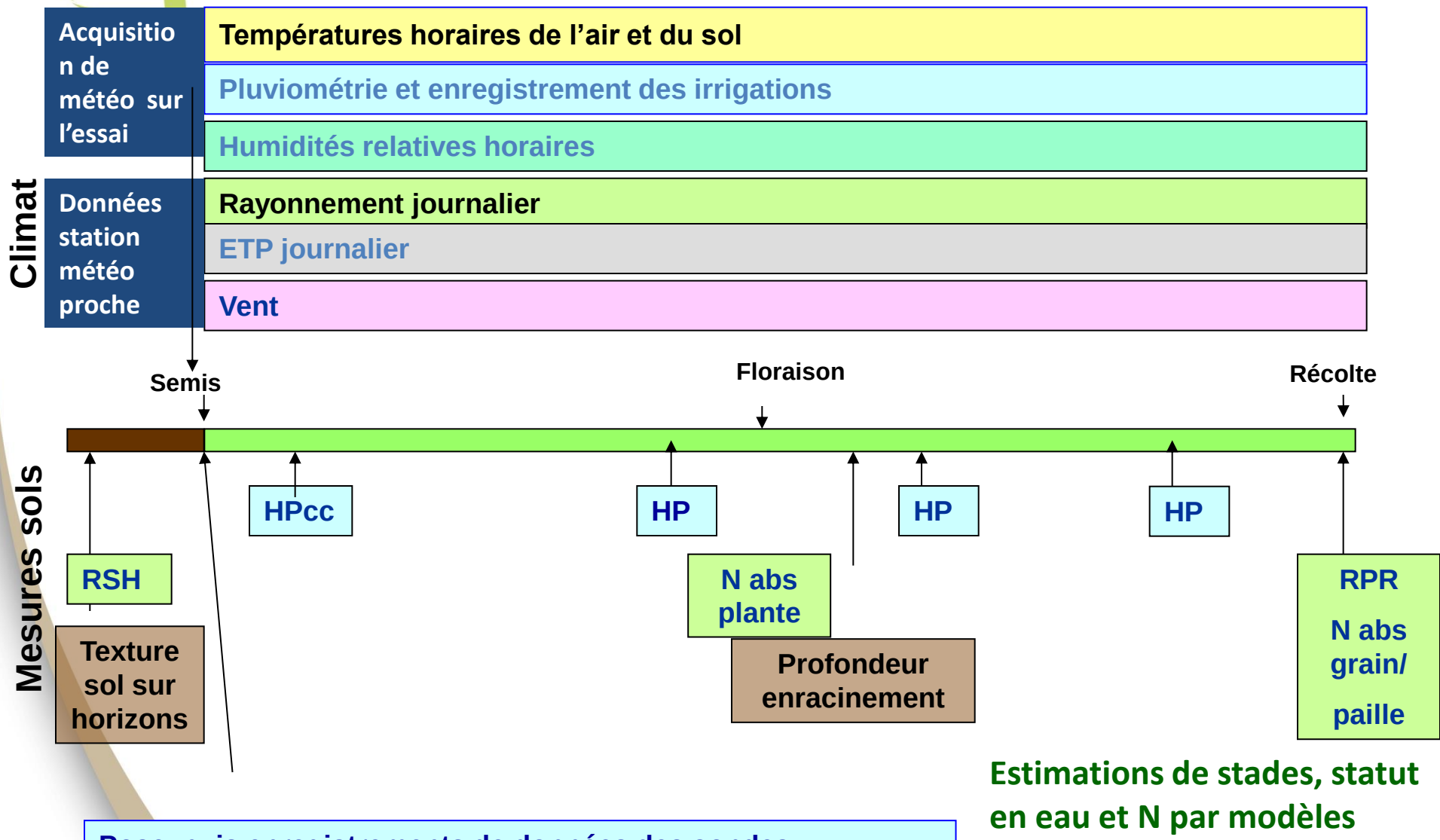
Les variables mesurées en essais variétés parmi les mesurables



Notations et mesures (maïs) complétées par suivi de plusieurs variables intermédiaires d'un témoin



Plus de Mesures environnementales de caractérisation essai

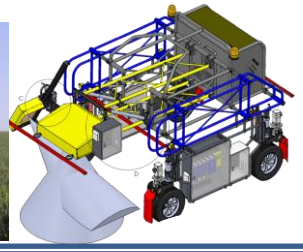


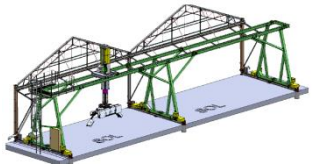
Estimations de stades, statut en eau et N par modèles

Pose, puis enregistrements de données des sondes tensiométriques ou capacitives

Le phénotypage HD : résultante offre capteurs – besoins de variables de cinétique de croissance non destructives

Vecteur des capteurs





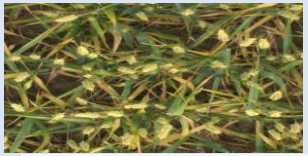
Capteurs

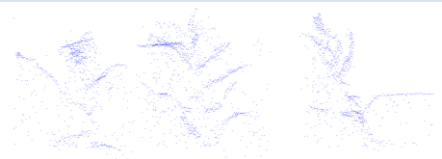
Caméra RGB

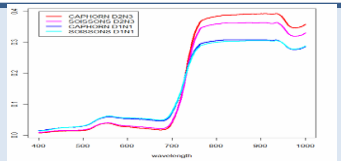
Laser 2D

Spectro-Radiomètre

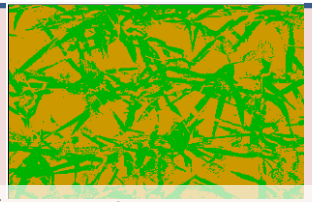
Mesures brutes

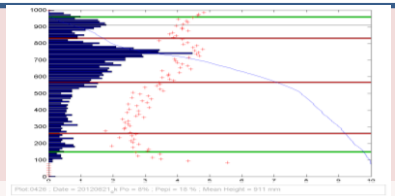

Images RGB

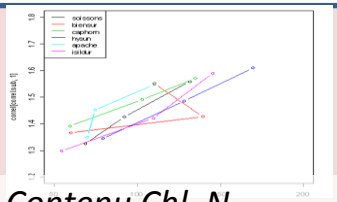

Mesures de distance


Réflectance

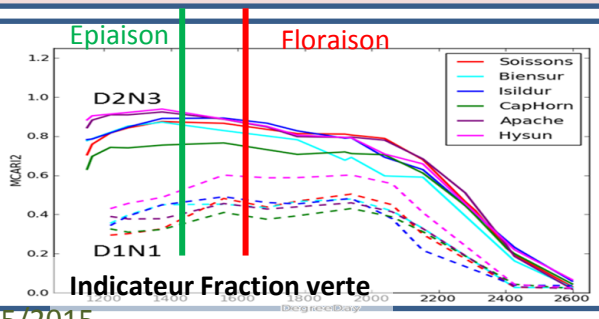
Données traitées

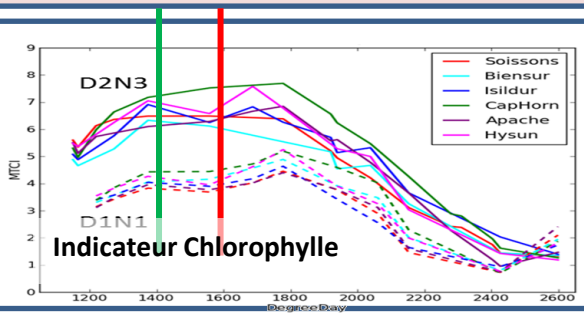

% couverture


Hauteur, interception PAR


Contenu Chl, N

Analyse du fonctionnement des variétés





Variables (exemple d'essais maïs)	Essais de « base »	Phénotypage manuel	capteurs
Date de levée	X	X	
Nombre plantes à 6 FV	X	X	RGB
Vigueur à plusieurs stades	X	X	NDVI par spectro
Nombre et N° de feuilles FV, FL et Sénescentes		X	
Nombre final de feuilles, rang de la feuille de l'épi		X	
Longueur et largeur des feuilles déployées, mesurées en 2 fois les 1ères avant dessèchement, puis les autres après floraison		X	
cinétique d'épiaison, floraisons mâle et femelle	Date	cinétique	(laser ?)
température du couvert			Sonde infrarouge
port des feuilles		X	laser
Hauteurs plante dernière feuille, totale, épis,		X	Laser+RGB
Fluorescence		Tém. révélateur	fluorimètre
Reconstitution d'indices foliaires et RG intercepté à différents stades avec nb FV, FL, FS, avec L*l		X	Spectro :-> proxi LAI NDVI, MCARI2
Notes de sénescence		X	
Biomasse à 3 stades, INN		Tém. Révélateur	
Nb de plantes à récolte	X	X	
Notations avant récolte (verse, pyrale …)	X	X	
Nb épis	?	X	
Rendement grain	X	X	
% humidité grain	X	X	NIRS
PMG	X	X	optomachine
Nb rangs/épi et grains/rang	Rdt/PMG	X	imagerie
Protéines	X	X	NIRS

ARVALIS Institut du végétal