A stylized graphic of a wheat leaf, rendered in shades of brown and green, positioned on the left side of the slide. The leaf is outlined in a vibrant green color.

# Variétés de blé et challenges de demain : enjeux et stratégies pour la génétique

David Gouache  
Rencontres céréalières

IdF

25/11/2014



# Remerciements !



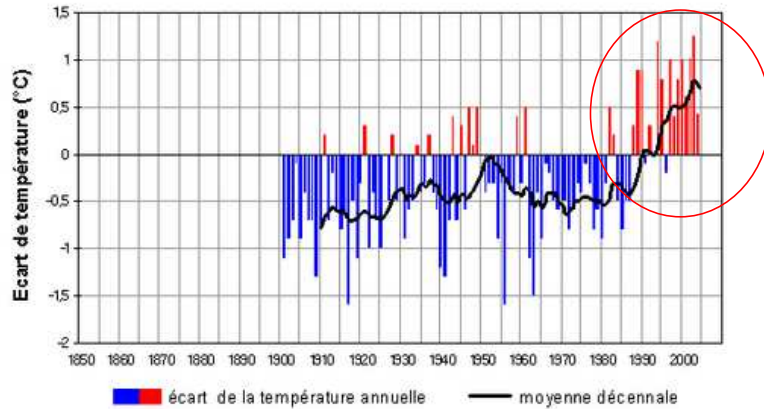
→ Equipe la communauté public-privé en génomique végétale avec les outils de pointe pour accélérer le progrès génétique

- Evaluation de la diversité mondiale du blé dur pour casser la relation négative rendement-protéines
- Mise au point de méthodologies de caractérisation des essais d'évaluation variétale
- Mise au point d'outils pour gérer l'interaction génotype-environnement



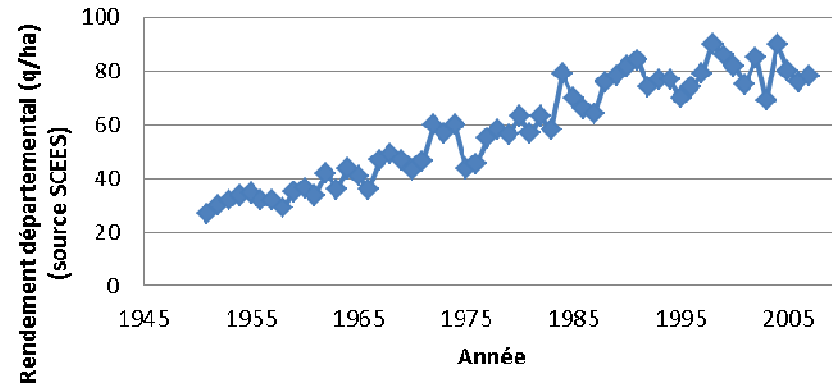
# Enjeux globaux

## Évolution des températures moyennes en France depuis 1901



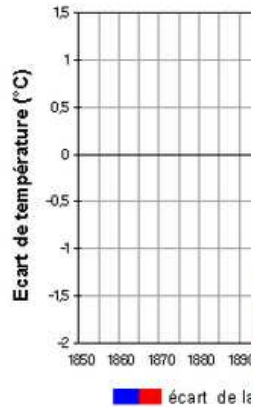
Source : Météo France – Normale 1971 - 2000

## Seine et Marne : année de stagnation 1992

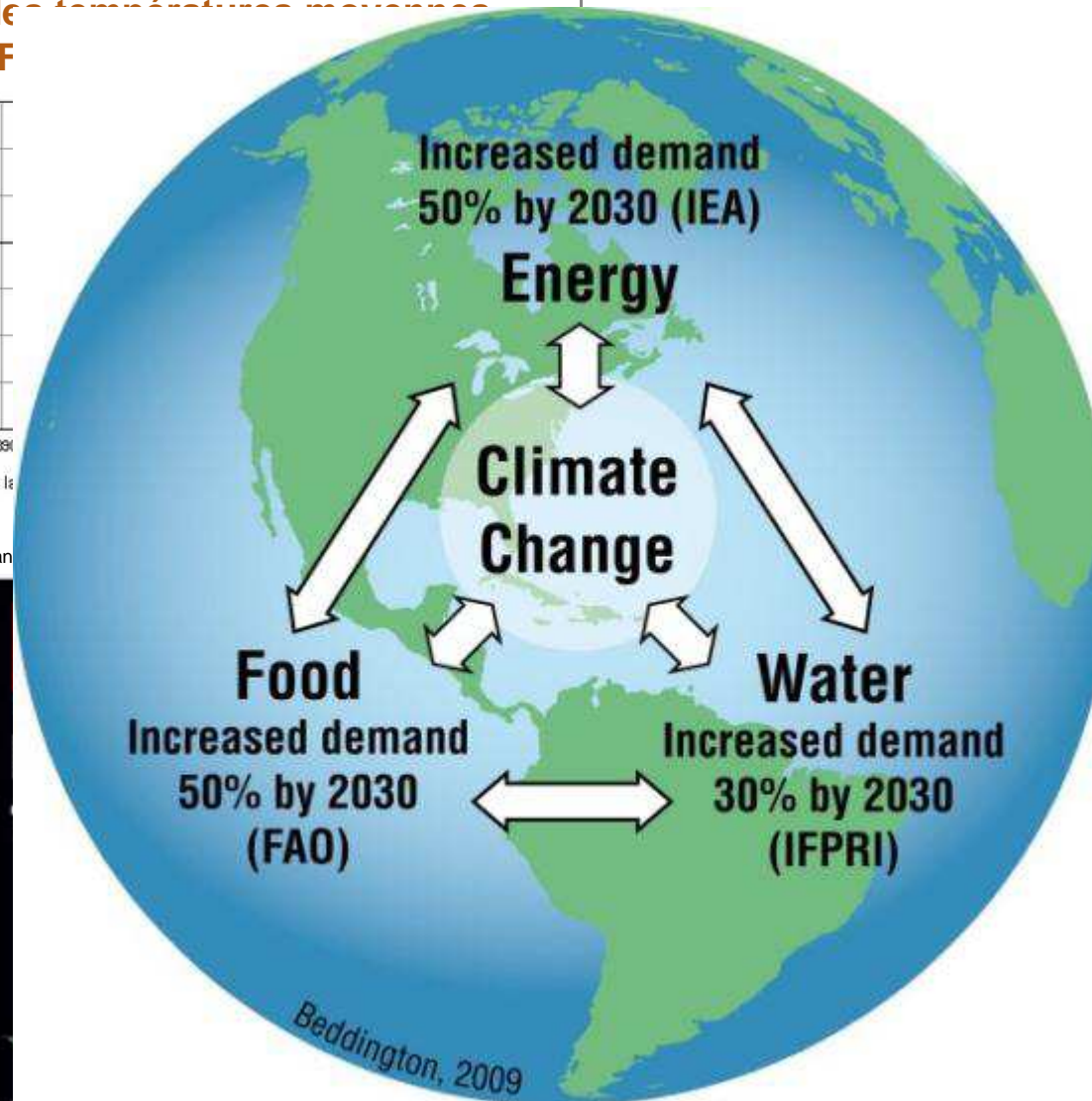
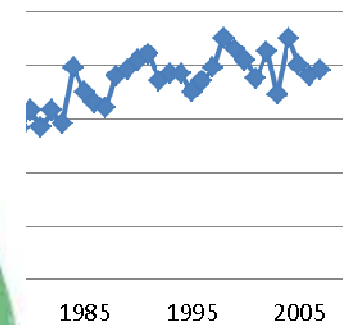


# Enjeux globaux

Évolution de la température moyenne en France



de stagnation





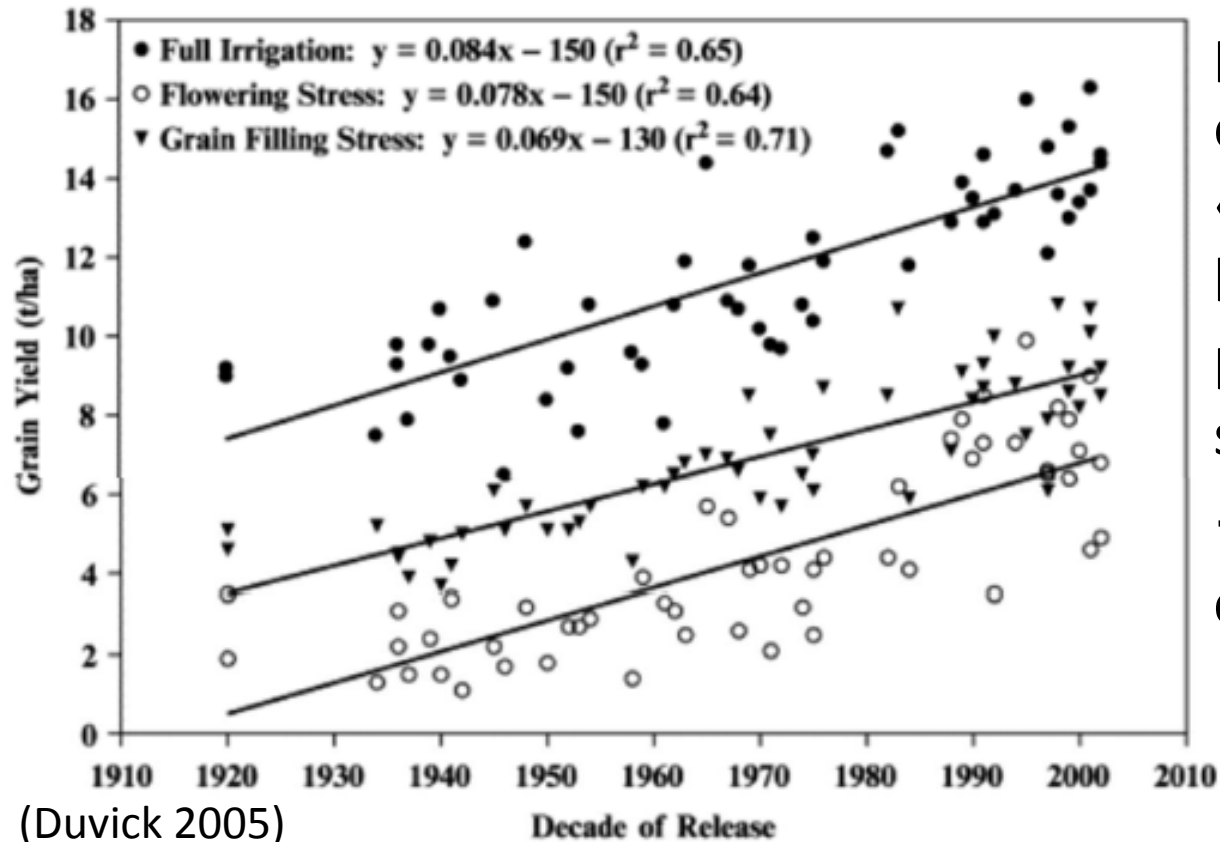
## Réponses de la génétique

- Que fait la génétique ?
- Que devra faire la génétique ?
- Des investissements majeurs
- Conditions et conséquences des investissements



# Progrès génétique et tolérance au stress

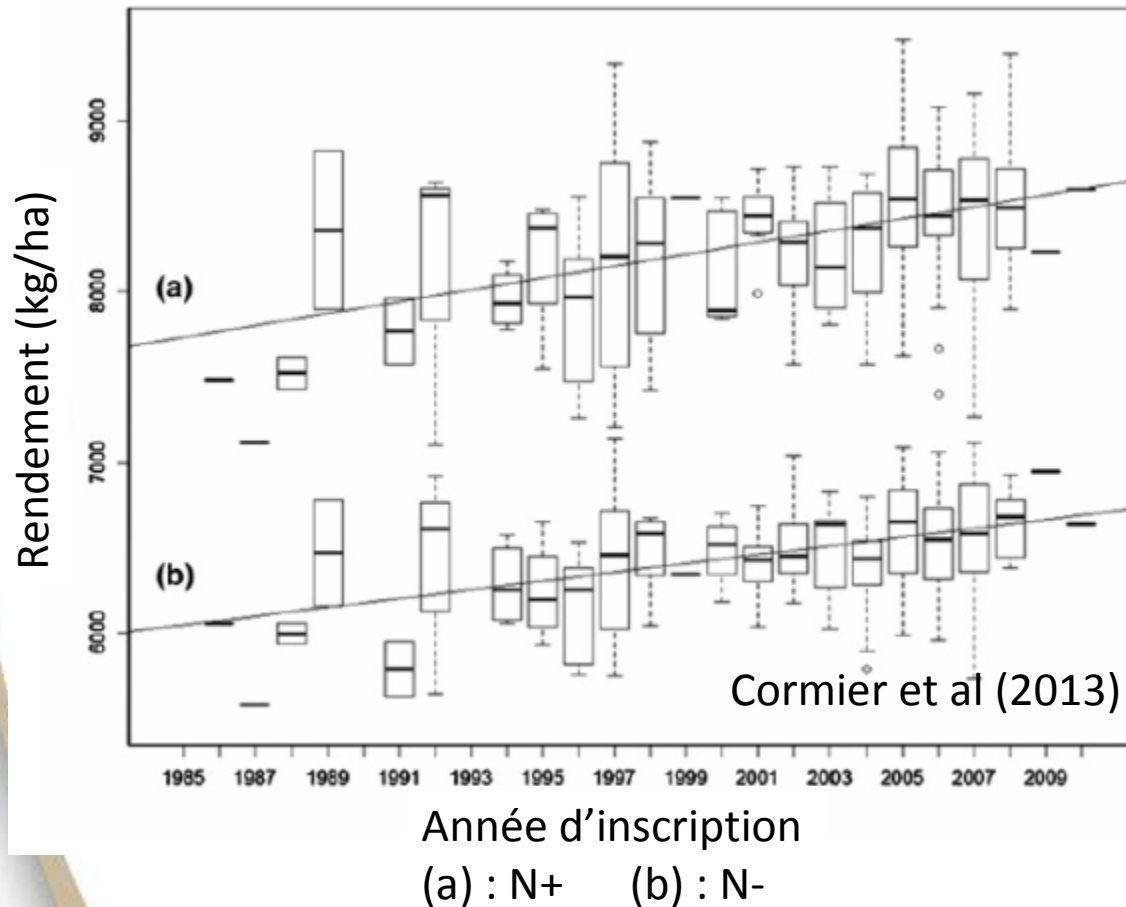
Mais, Corn Belt, Etats-Unis



Idée à bannir : le progrès génétique en conditions « optimales » rend les variétés récentes plus sensibles aux stress

→ c'est tout le contraire !!

# Progrès génétique et tolérance au stress



4 essais (80, 80, 91, 51)

N+ = dose X

N- = dose X-100

225 variétés

(Projet ANR ProtNBlé ;

INRA, Arvalis,

Biogemma)

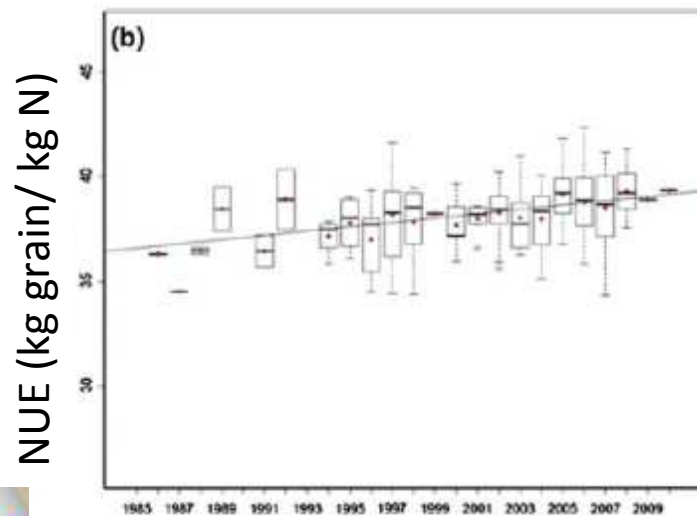
→ Progrès génétique N+ bénéficie au progrès  
N-



# Progrès génétique et tolérance au stress

Progrès génétique	Condition	Rendement en q/ha/an	Protéines en %/an
225 variétés européennes (1985-2010) comparées dans essais du projet ANR ProtNblé Cormier et al (2013)	Fort N	+0.35	-0.0200
	Faible N	+0.26	-0.0100

Mécaniquement l'augmentation de RDT aurait dû entraîner une baisse de % protéines, on ne le constate pas → amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote (NUE)



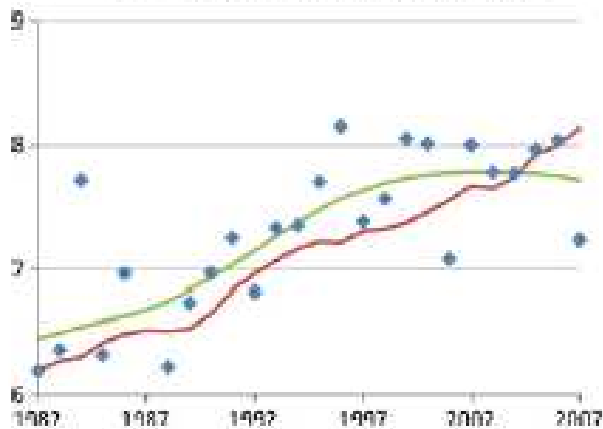
Progrès = 0.13 kg grain / kg N / an

→ 6.1-7.9 kg N/ha gagnés en 10 ans...  
→ Ne permet de compenser qu'1/3 des effets de l'optimisation économique de l'N due à la volatilité du rapport de prix N:blé



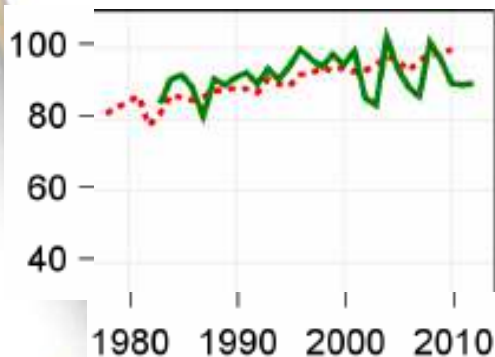
# Progrès génétique et tolérance au stress

Grain yield (t/ha) winter wheat



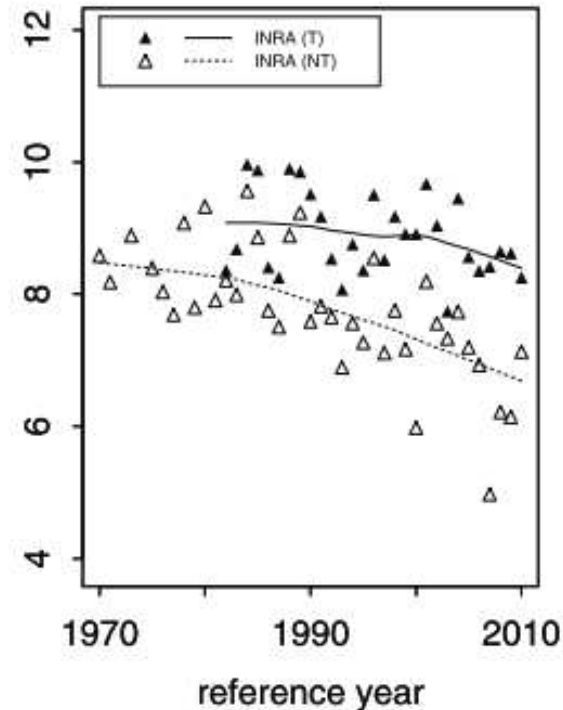
(source : Mackay, 2011) Angleterre

- Rendement national (observation)
- Composantes génétique
- Rendement national (tendance)



(source : Piepho, 2014) Allemagne

mean corrected yield of all the genotypes (t/ha)



(source : Oury et al., 2012) France

Tendance corrigée du progrès génétique

Partout

- Une stagnation du progrès agronomique (sur les rendements), une tendance négative franche du climat
- La génétique arrive tout juste à compenser<sup>9</sup>



## Progrès génétique et tolérance au stress

- Heureusement, du progrès significatif existe !
- Mais la cadence actuelle ne permet pas de répondre aux défis :
  - Alimentaires
  - Economiques
  - Energétiques



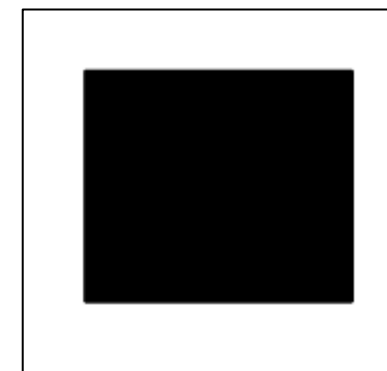
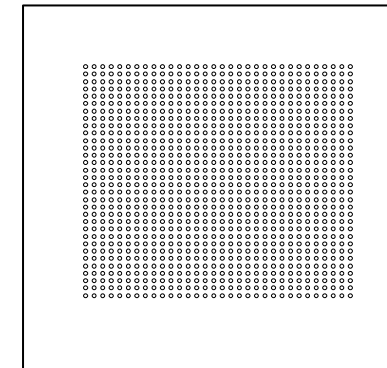
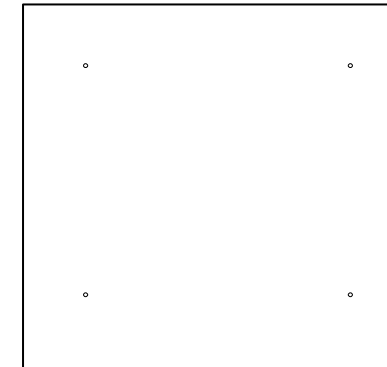
## Que doit faire la génétique ?

- Viser grand
- Viser juste
- Viser vite
- → Beaucoup d'investissements



## Viser grand : la génétique est une affaire de grands nombres

- 2 gènes : grand/petit ; noir/jaune  
→ 1 individu sur 4 avec la combinaison qui me convient
- 10 gènes : → 1/1024
- 20 gènes → 1/1048576

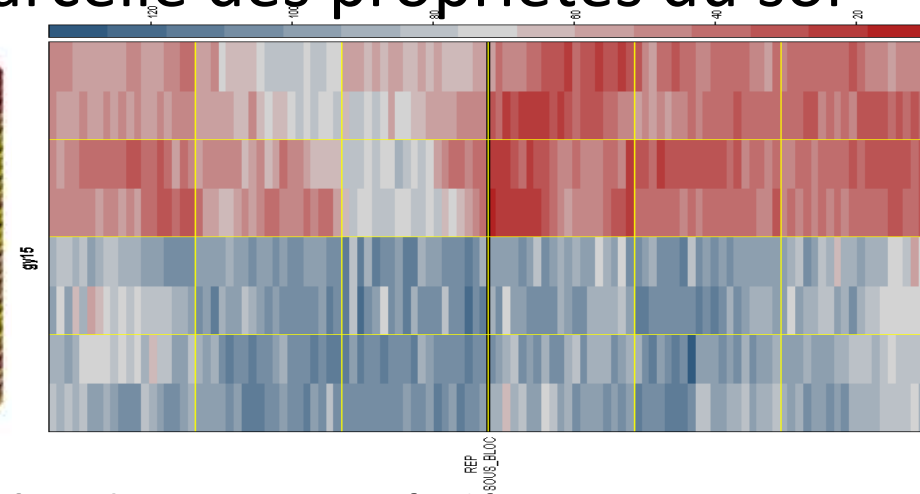


## Viser grand : la génétique est une affaire de grands nombres

- Mais la précision de l'expérimentation s'accommode mal des grands essais...



- Spatialisation à la micro-parcelle des propriétés du sol



- Précision d'un essai stress hydrique X génétique **↗ 25 %**
- Précision → se traduit directement en gain génétique !

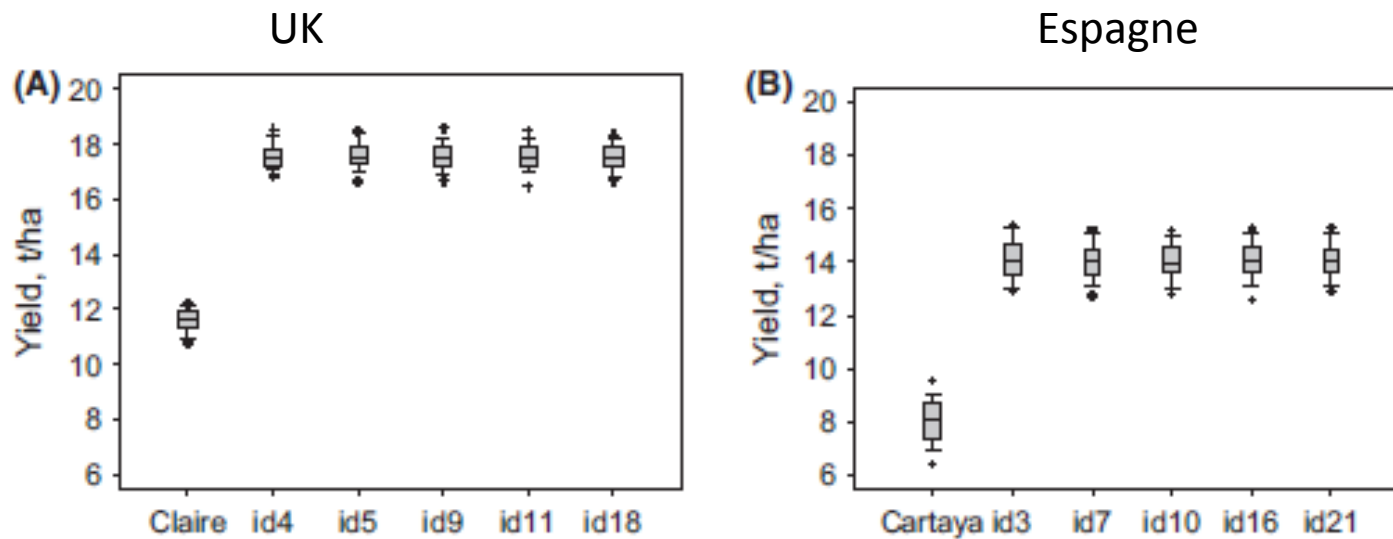


## Viser juste: potentiel de rendement

- Le rendement vu par les modélisateurs :

Rend = Rayonnement Intercepté \* Efficience  
photosynthétique \* Allocation vers les grains

- Blé « modèle » actuel et optimisé



(Semenov & Stratanovitch, 2013)



# Viser juste: potentiel de rendement

- Le rendement vu par les modélisateurs :

Rend = Rayonnement Intercepté \* Efficience photosynthétique \* Allocation vers les grains

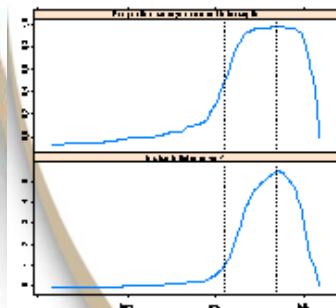
- Blé « modèle » actuel et optimisé

## Potentiel théorique des blés en Champagne

Hypothèse clé : rendement dépend avant tout de l'interception lumineuse

Rend = Rayonnement Intercepté \* Efficience photosynthétique \* Allocation vers les grains

Précocité = Bermude semis 05/10



Paramètres moyens issus d'expérimentations Arvalis et INRA

→ Potentiel médian ~ 100 q/ha : cohérent avec essais

Pour info record rendement en blé 15.6 t/ha en NZ

([http://www.cropsci.nz.org.au/ics2004/poster/2/7/3/662\\_armour.htm](http://www.cropsci.nz.org.au/ics2004/poster/2/7/3/662_armour.htm))

## Potentiel théorique des blés en Champagne

Hypothèse clé : rendement dépend avant tout de l'interception lumineuse

Rend = Rayonnement Intercepté \* Efficience photosynthétique \* Allocation vers les grains

Test de modifications de quelques grands paramètres physiologiques à des niveaux jugés atteignables à l'avenir grâce à la sélection (bibliographie : Sylvester-Bradley ; Fischer)

Accroissement de la durée de vie verte du feuillage en fin de cycle de 50°C

Conversion : 2.1 → 2.8 g/MJ

Indice de récolte : 0.5 → 0.6

Projection théorique : Potentiel médian ~ 150 q/ha

Pour info record rendement en blé 15.6 t/ha en NZ

([http://www.cropsci.nz.org.au/ics2004/poster/2/7/3/662\\_armour.htm](http://www.cropsci.nz.org.au/ics2004/poster/2/7/3/662_armour.htm))



## Viser juste: potentiel de rendement

De la théorie à la pratique : le phénotypage haut débit

Stress (eau, N, ...)

Perte de surface verte

Rendement = Rayonnement incident \* Efficacité d'interception \* Efficacité de conversion en biomasse \* Allocation à organe récolté

Sans mesure de la surface verte (en cinétique) :  
pas d'accès aux efficacités d'interception et de  
conversion = paramètres permettant  
d'optimiser les potentiels



**Viser juste: potentiel de rendement**

De la théorie à la pratique : le phénotypage haut débit



# Viser juste: potentiel de rendement

De la théorie à la pratique : le phénotypage haut débit





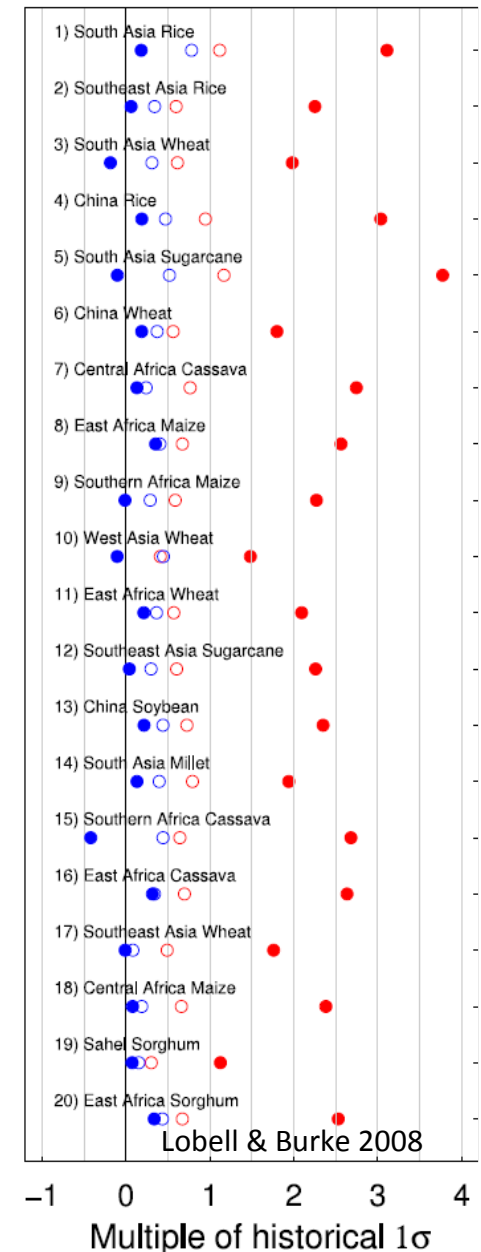
## Viser juste: potentiel de rendement

- Le développement du phénotypage haut débit permettra enfin de trouver les clés génétiques derrière les pistes théoriques d'optimisation du rendement du blé
- Le phénotypage haut débit permet d'avoir accès à des caractères non travaillés par la génétique auparavant
- Sur des nombres de génotypes (>200) suffisants pour les analyses génétiques



# Viser juste: s'adapter aux stress

- Sélection variétale :
    - pas de temps ~10 ans
    - approche progressive → adaptée au changement progressif du climat ?
  - Cas de la T° et de l'eau
    - Variations de T° (rouge) et pluie (bleu) sur la période de culture, en 2030, en proportion de la variabilité actuelle (écart-type)
  - Stress hydrique : les contextes stressants d'aujourd'hui = pertinents pour s'adapter aux stress de demain
  - Stress thermique : les contextes de production de demain = complètement différents de ceux qu'on connaît
- Pour les stress T°, développer des approches spécifiques





# PhénoField

plateforme semi-contrôlée de PHENOME



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
**ANR**



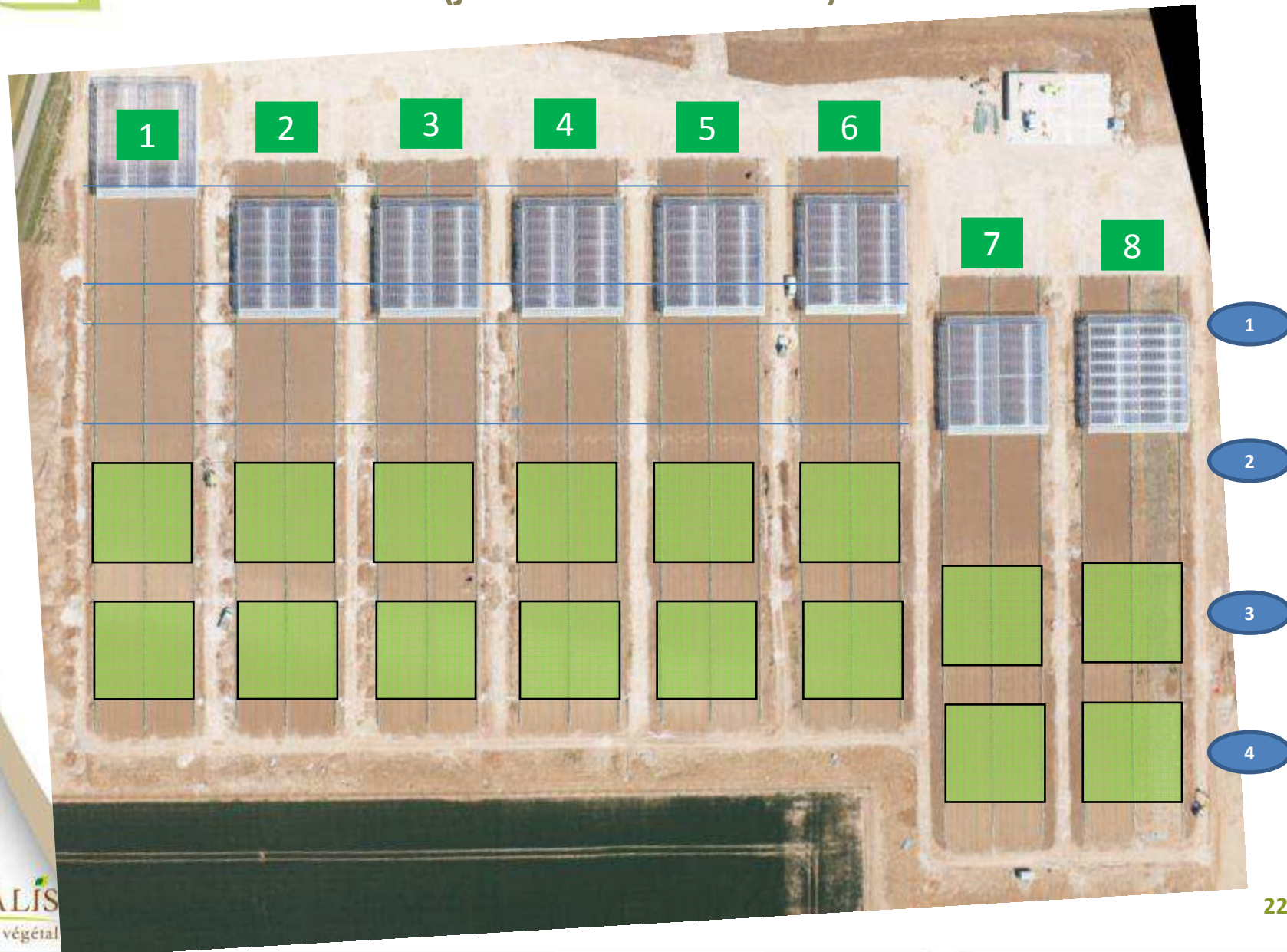
Objectif : Caractérisation fine de la croissance, du stress, de la consommation en eau de centaines de génotypes de blé, maïs, etc.





# Vue aérienne de PhénoField

(juin 2014 Avion Jaune)





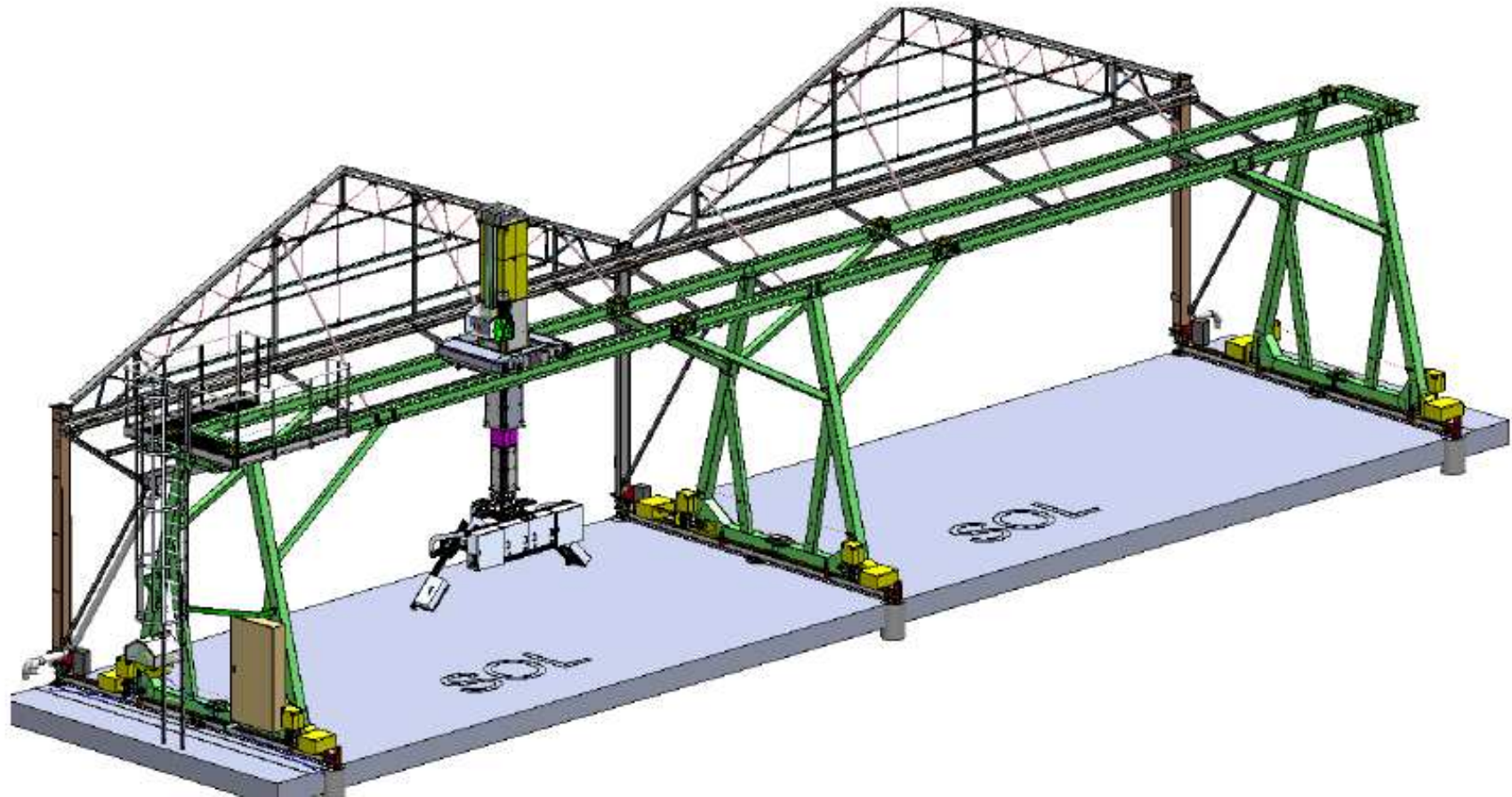
# Prise en main de PhenoField



- Test semis de maïs (mai 2014)
- Mesures nb de plante, hauteur, LAI, rdt, PMG
  
- Derniers réglages sur les serres et l'irrigation (novembre 2014)
- Prototype du portique de phénotypage (mars 2015)
- Premier essai maïs AMAIZING (avril 2015)



# Portique de phénotypage de PhénoField



Prototype en construction,  
arrivée sur la plateforme 2015



# Stress thermique



Tache 1 : Analyse des données historiques

- Conditions de screening réalistes
- Proposition de géotypes « témoins »

Tache 2 : Screening de matériel élite français et européen en serre

- Données phénotypiques

Tache 3 : Génétique d'association

- Variétés contrastées, marqueurs moléculaires liés

- Confrontation des classements historiques et en serre

Tache 4 : Evaluation au champ



# Vers un consortium international

## Call for Research Ideas: Heat and Drought Wheat Improvement Consortium -HeDWIC-

July, 2014

The Intergovernmental Panel on Climate Change predicts that by 2050, mean temperatures on a global scale may rise by between 2° to 5°C or more, while rainfall and distribution will be less predictable and more extreme. Most of the world's low-income families live in climate vulnerable regions, namely in Africa and Asia, so climate change represents a major challenge to future food security and farmers' livelihoods. For these reasons, as part of a new strategy to underpin food security, the Consultative Group on International Agriculture's (CGIAR) Research Program on Wheat (CRP WHEAT) will establish a multidisciplinary partnership, to capture global expertise and resources, tentatively named the Heat and Drought Wheat Improvement Consortium -HeDWIC-. Development of HeDWIC is being facilitated by The International Maize and Wheat Improvement Centre -CIMMYT- (the organization that spearheaded the Green Revolution in the 1960s and leads the International Wheat Improvement Network, delivering improved wheat germplasm as an international public good to wheat programs worldwide through extensive partnership) in consultation with an international group of stakeholder organizations, under the CGIAR Research Program on Wheat.

In order to launch this initiative and to frame the discussion around the best ideas worldwide in plant stress technology, research ideas are invited for presentation at a conference in Frankfurt am Main, Germany (1-4<sup>th</sup> December, 2014), at which other stakeholders will be present, including a number of funding organizations that have expressed interest in the HeDWIC initiative. Attendance of researchers whose proposals are selected for presentation will be sponsored.

Applications will be treated with complete confidentiality and should be made at the following website by September 1<sup>st</sup> 2014:

[Website Form](#)

**Preamble.** While not compulsory, applicants are encouraged to position their research proposal in the context of the attached "Research Framework" that outlines broad approaches for tackling stress adaptation in crops

- Scientists and Affiliations
- Title of proposed research
- Thematic areas addressed (with reference to attached Research Framework)
- Expected impact on wheat productivity, under what environments, and estimated timeframe for delivery (max 75 words)
- Summary of plant processes that will be improved as a result of application of research (max 100 words)
- Outline the main research methods (max 150 words)
- Anticipated impact pathway -from research outputs to genetic gains- (max 100 words)
- Novelty of approaches (max 75 words)
- Risks and assumptions (max 75 words)
- Relevant achievements of named research group (up to 12 citations, patents, or other documented impacts)



Research  
Program  
WHEAT



Bayer CropScience

Science For A Better Life

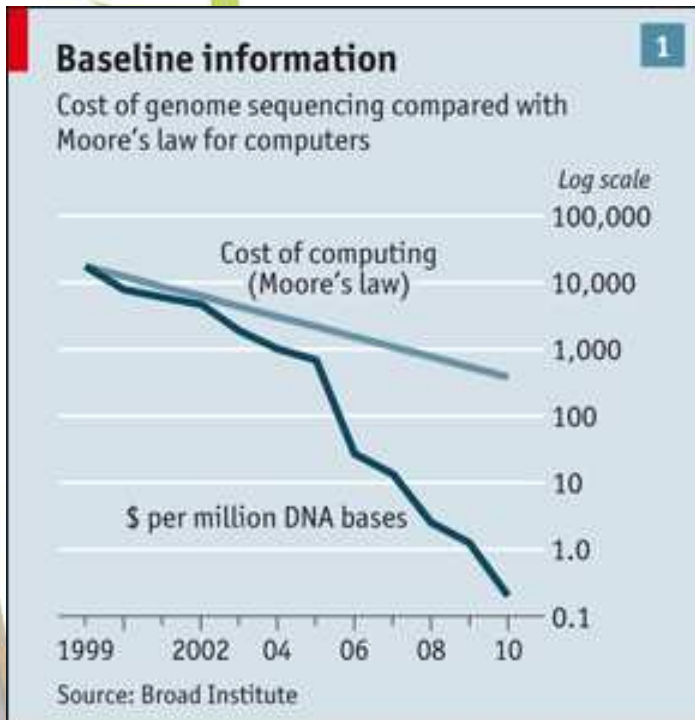
CIMMYT



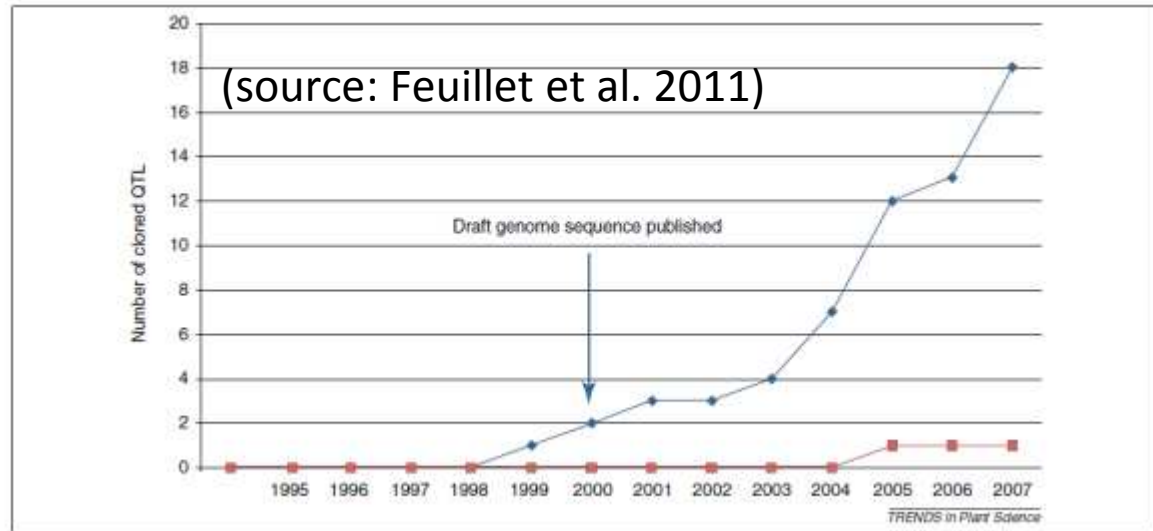
## Viser vite: exemple de l'haplo-diploïdisation

- Permet de fixer une lignée en une génération  
→ 2-3 années (25%) de temps gagné sur un programme de sélection
- En blé : très complexe et coûteux (raisons biologiques, besoin de recherches)
- Maïs : 10 M/an
- Blé : 500 k/an

# Viser vite: utilisation de la génomique



(source: the Economist)



Nombre de zones génétiques dont le gène a été caractérisé

Riz ●

Blé ●



# Viser vite: utilisation de la génomique

Riz « exotique » peu cultivable  
mais avec surplus d'épillets

Riz typiquement  
cultivé

Riz typiquement  
cultivé avec gène  
SPIKE issu de  
l'exotique

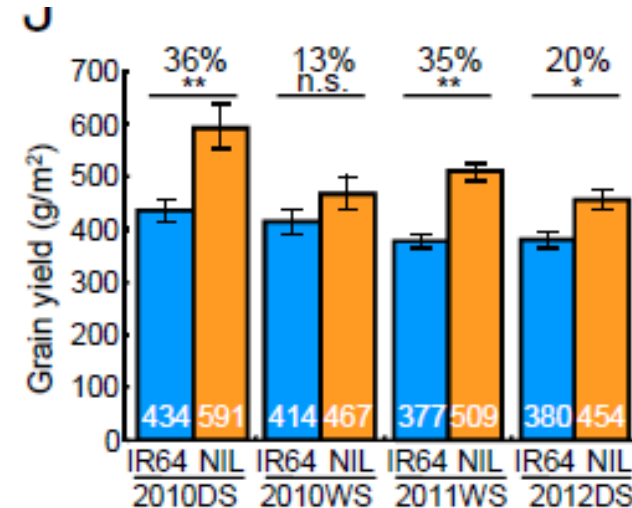


New plant type YP4



IRRI146

IRRI146-SPIKE



***NAL1* allele from a rice landrace greatly increases yield in modern *indica* cultivars**

Daisuke Fujita<sup>a,b,c,1</sup>, Kurniawan Rudi Trijatmiko<sup>a,2</sup>, Analiza Grubanzo Tagle<sup>a</sup>, Maria Veronica Sapasap<sup>a</sup>, Yohei Koide<sup>a,b,3</sup>, Kazuhiro Sasaki<sup>a,b</sup>, Nikolaos Tsakirpaloglou<sup>a</sup>, Ritchel Bueno Gannaban<sup>a</sup>, Takeshi Nishimura<sup>d</sup>, Seiji Yanagihara<sup>b</sup>, Yoshimichi Fukuta<sup>b</sup>, Tomokazu Koshiba<sup>d</sup>, Inez Hortense Slamet-Loedin<sup>a</sup>, Tsutomu Ishimaru<sup>a,b</sup>, and Nobuya Kobayashi<sup>a,b,c,4</sup>



## Bilan : des investissements significatifs à développer

- Un PhénoField : 10 M€
- Une Phénomobile : 1 M€
- Terminer le séquençage du blé : 15 M€
- ↗ volumes haplo-diploïdisation : ? M€
- Investissements privés recherche blé 5x < mais !!!



# Bilan : des investissements significatifs à développer

- Objectif des grandes sociétés: ↗ la « capture de valeur » en blé
  - Hybrides
  - « Traits » licenciables
- → plus de R&D → progrès accéléré → tout le monde y gagne (schéma maïs hybride puis OGM aux USA)
- Démarche souhaitée par producteurs USA

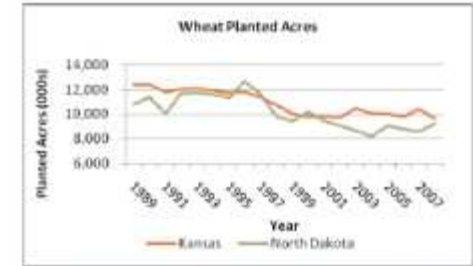


FIGURE 3: Wheat planted acres, North Dakota and Kansas. Source: USDA, ERS.



FIGURE 2: Net Return per acre from corn, soybeans and wheat production.

Source: FAPRI-MU estimates, July 2008. Net Return: are defined as market value plus LDP, minus variable expense (excludes land and fixed expense). Assumes 2008/09 prices of \$5.87 for corn and \$13.24 for soybeans, and \$6.87 for wheat. Costs increase sharply in 2008/09 for all crops.

## WHEAT BIOTECHNOLOGY COMMERCIALIZATION

Statement of American, Australian and Canadian Organizations  
June 9, 2014

In 2008, new organizations representing wheat farmers and millers from the United States, Canada and Australia joined support for the future commercialization of biotechnology in wheat. Additional organizations have joined to recognize and update that commitment. As industry leaders and consumers, the undersigned organizations are united to responsibly address wheat innovation.

1. We support and encourage the use of innovation to help solve pressing problems to address global food security needs. Wheat is an essential part of the global diet, representing about 12% of daily global intake. As demand increases, we must find ways to ensure it remains abundant while meeting the highest quality and nutrition standards, in addition to protecting the continued availability of wheat lands, wheat enhanced through biotechnology ultimately offers the promise of improved products, more sustainable production and environmental benefits.
  2. We are encouraged by numerous investments in wheat research since 2006. We applaud the increasing private and public investment to grow more and better quality wheat safely, responsibly and in a more sustainable manner through the use of new tools, techniques, traits and practices. Research investments range from advanced breeding techniques to biotechnology traits aimed at improving productivity and end-use qualities.
  3. We encourage reporting and importing routes to maintain sound, science-based biotech regulatory systems. Regulations that provide a scientific framework and predictable approval process are necessary to bring new technology to the marketplace. Biotech wheat will be subject to rigorous scientific testing as well as consumer government approval processes before it is available anywhere in the world. Additional regulations and oversight are not needed as biotech wheat will be developed with the same proven technologies that have been safely used on many other crops.
  4. We encourage expediting the adoption of reasonable low level presence (LLP) policies in importing and exporting nations to minimize trade disruptions resulting from unnecessary approvals. The goal is to ensure that trade can continue uninterrupted for commodities like wheat that may contain trace amounts of existing biotech traits approved in accordance with international guidelines by an exporting country.
- (continued)



# Blé hybride : la question n'est pas si, mais quand ?

- Tous les gros semenciers
- Exemple, Bayer
  - annonce 10 000 M € sur 10 ans
  - Objectif : un hybride inscrit en France ~ 2020
- Aujourd'hui : système hybride peu efficace → pas de différence significative de vitesse de progrès attendue, mais...  
(Longin et al., 2013)
- Tous travaillent sur système hybride plus efficace
- Plus efficace → plus de croisements → amélioration de l'hétérosis → intérêt économique des hybrides → enclenchement du cercle vertueux





## Conclusions

- L'accélération du progrès et l'intégration du changement global dans les critères de sélection → besoin d'investissements significatifs sur le blé
- Aujourd'hui, l'incitation à investir en blé est notoirement insuffisante
- A court terme : maintenir et renforcer le soutien politique, public, filière, collectif
- A moyen terme : « capture de valeur » vers les semenciers et cercle vertueux de progrès → des bouleversements significatifs dans l'organisation de la filière ?