

# CONCEPTION ET ÉVALUATION D'IDÉOTYPES VARIÉTAUX ET CULTURAUX EN ORGE D'HIVER BRASSICOLE POUR DES CONDUITES CULTURALES À BAS NIVEAU D'INTRANTS : APPROCHE PAR EXPÉRIMENTATION ET MODÉLISATION



UMR AGRONOMIE, INRA GRIGNON

DAMIEN BEILLOUIN (D.BEILLOUIN@INRA.FR)

ENCADREMENT: MARIE-HÉLÈNE JEUFFROY - ARNAUD GAUFFRETEAU



# Plan et objectif de la présentation



- ① **Contexte et origine du projet de recherche**
- ① **Reconstruction *a posteriori* la démarche de conception utilisée**
- ① **Analyse critique de la méthode**



# PREMIERE ETAPE:

CONTEXTE

CONNAISSANCES ET METHODES À  
DISPOSITION AU DEBUT DU PROJET

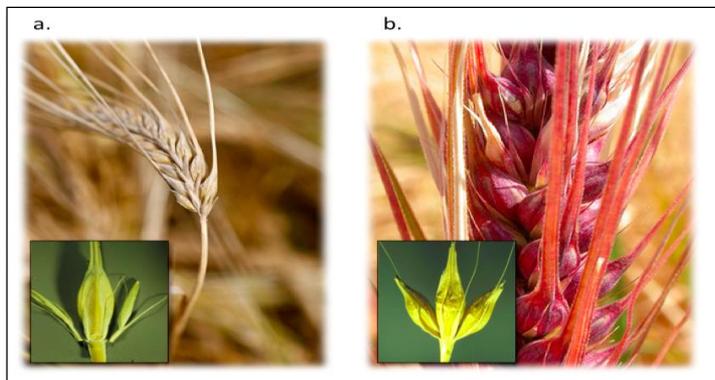
# Genèse du projet de recherche



## ❖ L'orge brassicole française...

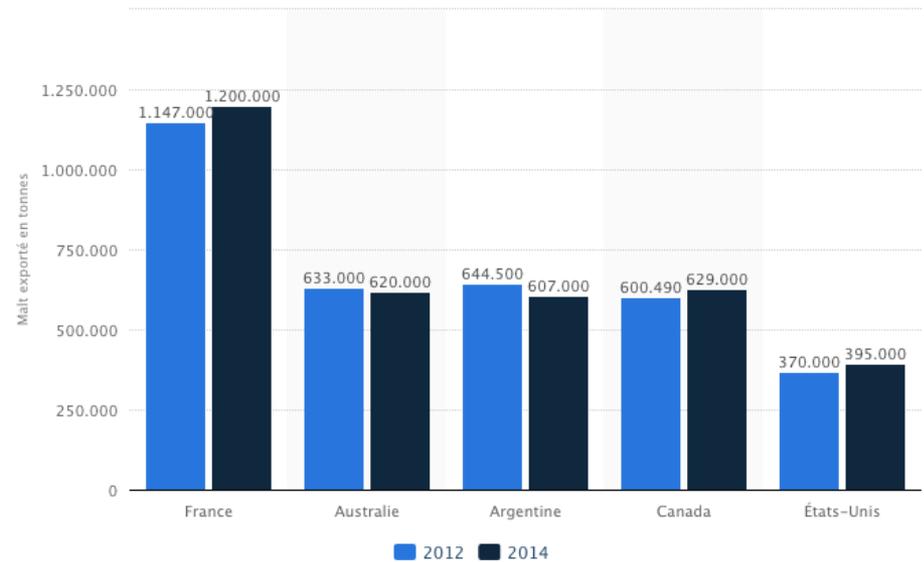
✓ 2<sup>ème</sup> producteur Européen d'orge de brasserie (dont 55% type hiver 6 rangs)

✓ 1<sup>er</sup> exportateur mondial de malt



2 rangs

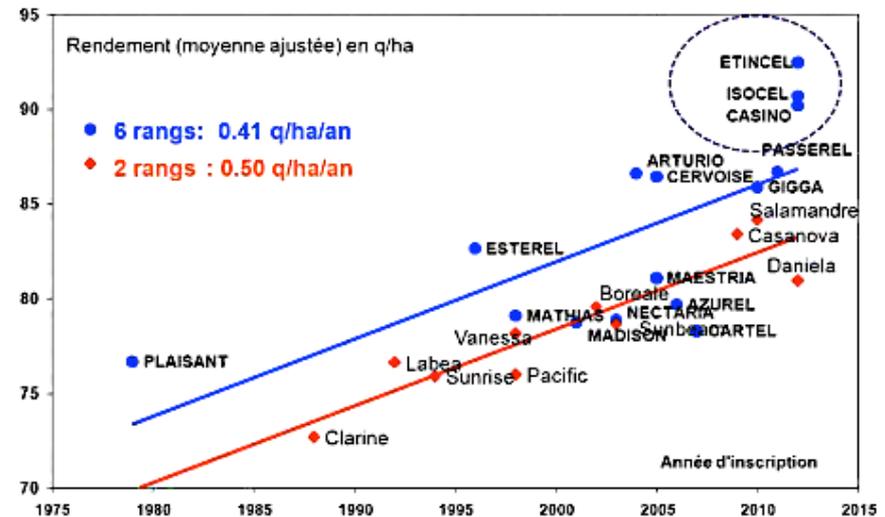
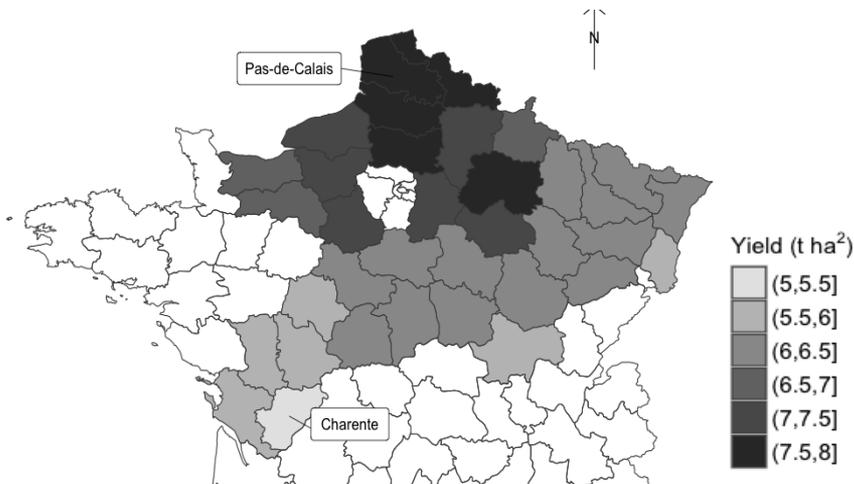
6 rangs



# Genèse du projet de recherche

## ❖ L'orge brassicole française...

Depuis 1970 : Rendement + 0.4 - 1.2 q ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>



✓ Progrès génétique:  
30 à 50% de l'augmentation de rendement

✓ conduites culturales « intensives » :  
Azote (+120 kg N minéral ha<sup>-1</sup>)  
Phytoprotecteur (IFT moyen = 3.1)

# Genèse du projet de recherche



## ❖ L'orge brassicole française...



Impacts négatifs **des conduites intensives** sur l'environnement (MEA, 2005; Tilman., 1999)

Production orge -> 40 % des impacts de la filière « bière » (Virtanen et al. 2007)

- ✓ Prise de conscience par les pouvoirs publics et les citoyens
- ✓ Instauration de cadres réglementaires
- ✓ Prise en compte de la durabilité dans le choix des consommateurs
- ✓ Livre blanc malteur de France et brasseur de France :  
Orienter la production vers plus de durabilité



**Produire de l'orge brassicole française de façon durable**

# Genèse du projet de recherche



**Besoin de concevoir des façons de produire de l'orge brassicole française de façon durable (génotype, conduite culturale)**

**Développer de nouvelles connaissances sur cette culture**

- ✓ Contrairement au blé, peu de connaissances pour mettre en application des itinéraires techniques moins intensifs, aussi bien sur les génotypes, que sur les conduites culturales

# Genèse du projet de recherche

## ❖ **Projet initié par des acteurs terrain**

✓ CasDar «ECO2MALT » - 2014-2017

- Deux obtenteurs (Florimond-Desprez, KWS-Momont)  
Un organisme technique (IFBM), et l'INRA

✓ Thèse CIFRE



# Notion d'idéotype –variétal-

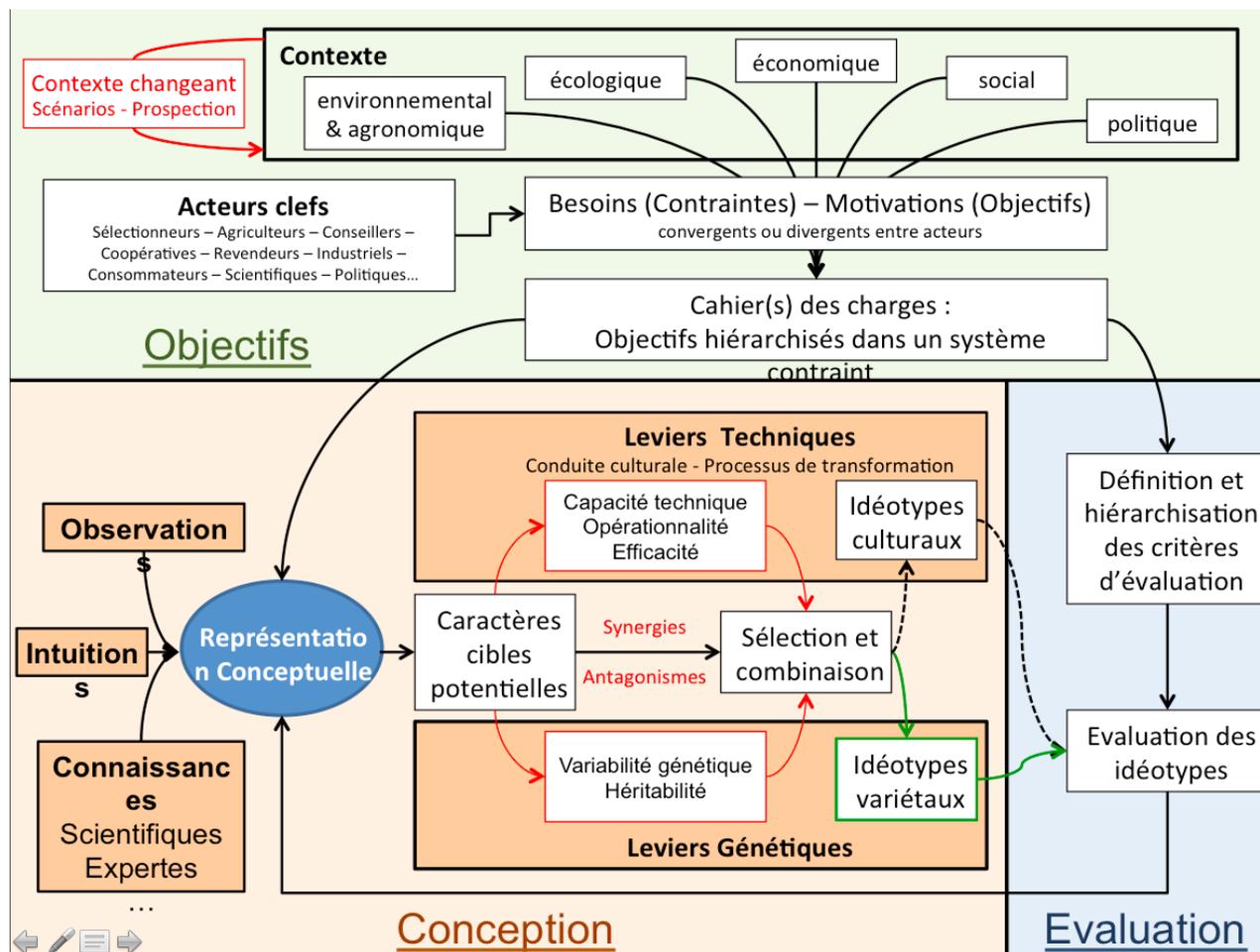


## ❖ Définition

« un modèle biologique dont on attend qu'il se comporte d'une manière prédictible dans un environnement défini » (Donald., 1968)

*« une combinaison optimale de caractères morphologiques et physiologiques ou de leurs déterminants génétiques conférant à un matériel végétal une adéquation satisfaisante à un environnement, un mode de production et une utilisation donnés » (Debaeke et al., 2015)*

# Démarche de conception d'idéotype



3 étapes successives et distinctes

Pas d'application concrète connue de la méthode au début de la thèse

# Démarche de conception d'idéotype



## ❖ **Avantage de la démarche (selon les auteurs)**

- ✓ Structure la production de connaissance
  - identification précise des objectifs, contraintes
  - Identification de l'origine des performances (explicitation des processus physiologiques)
- ✓ Facilite les échanges entre acteurs impliqués

## ❖ **Mais...**

- ✓ Eléments de l'itinéraire technique souvent considérés séparément des caractéristiques variétales (ou pas du tout)
- ✓ Selon nous, limites étapes conception/ évaluations floues, définition des contraintes *a priori*
- ✓ Démarche peu utilisée : moins de 30 articles scientifiques/an (monde)  
(et très peu de résultats applicables sur le terrain: une seule connue)



## DEUXIEME ETAPE:

### MISE EN ŒUVRE D'UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION D'IDEOTYPES VARIÉTAUX ET CULTURAUX EN ORGE BRASSICOLE

#### Présentation :

- De la démarche de conception et des connaissances mobilisées
- Des connaissances produites et de leur originalité



# Produire de l'orge brassicole de façon plus durable



## Concepts relatifs:



Génotypes, exploré par expérimentation



Génotypes, exploré par modélisation



Itinéraire technique exploré par modélisation



Méthodes développées



Non exploré

## Connaissances:

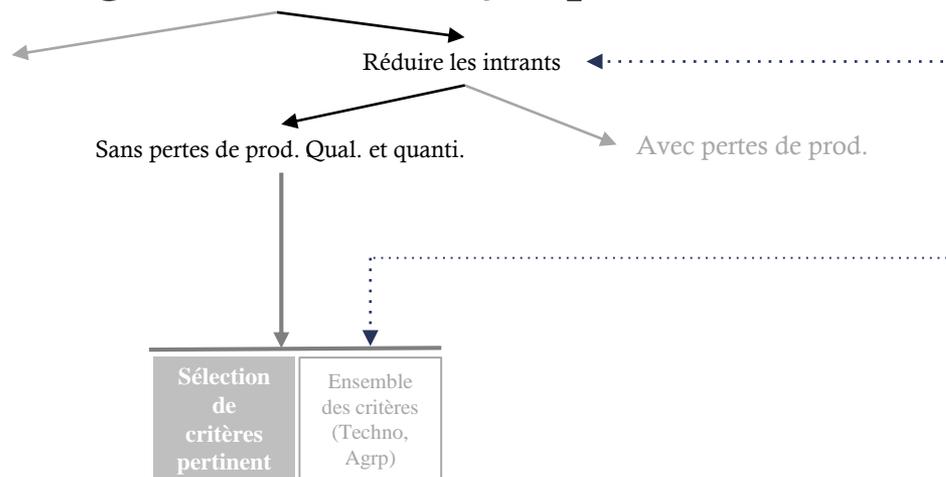
XXXXX : Existantes

XXXXX : Créés au cours du projet



# Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant



Blé rustiques (*Loyce 2008, 2012, Meynard 1985*)

Syndicat de Paris, pratiques des coopératives, acteurs du projet Eco2malt

## Concepts relatifs:

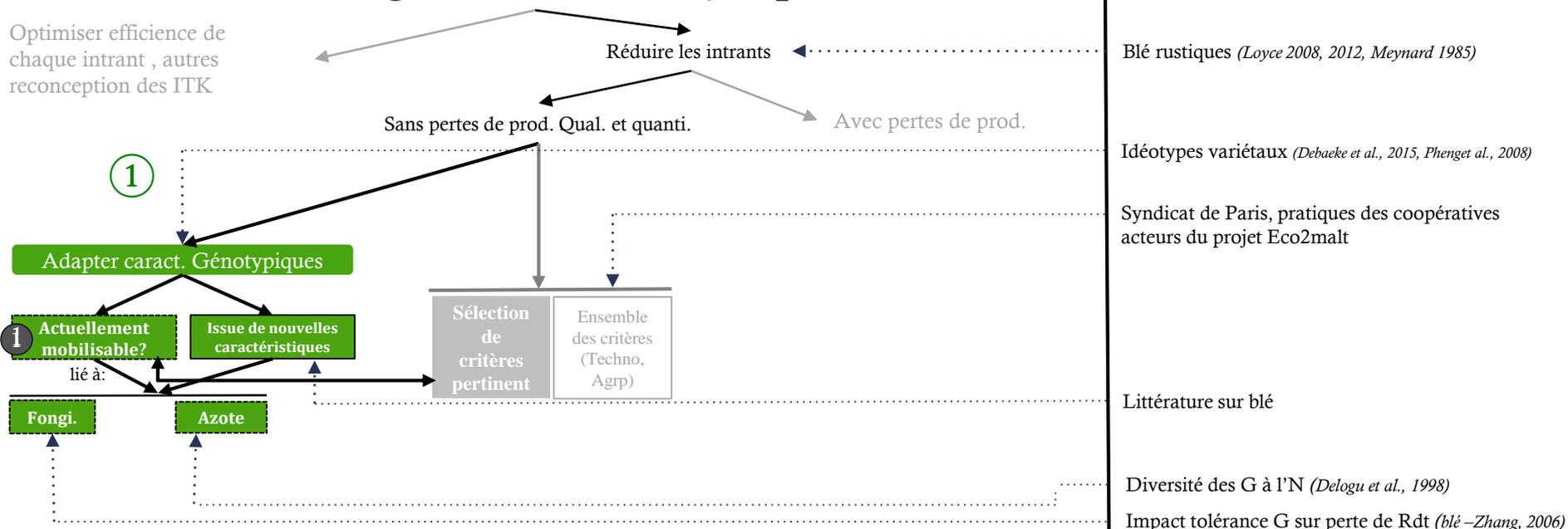
- Génotypes, exploré par expérimentation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Non exploré
- Génotypes, exploré par modélisation
- Méthodes développées

## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



K

Blé rustiques (Loyce 2008, 2012, Meynard 1985)

Idéotypes variétaux (Debaeke et al., 2015, Phenet et al., 2008)

Syndicat de Paris, pratiques des coopératives acteurs du projet Eco2malt

Littérature sur blé

Diversité des G à l'N (Delogu et al., 1998)

Impact tolérance G sur perte de Rdt (blé - Zhang, 2006)

## Concepts relatifs:

- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

## Connaissances:

- XXXXXX : Existantes
- XXXXXX : Créées au cours du projet

# K produites : Quelles performances des variétés actuelles en situation BNI?

## ❖ Expérimentation micro-parcelles

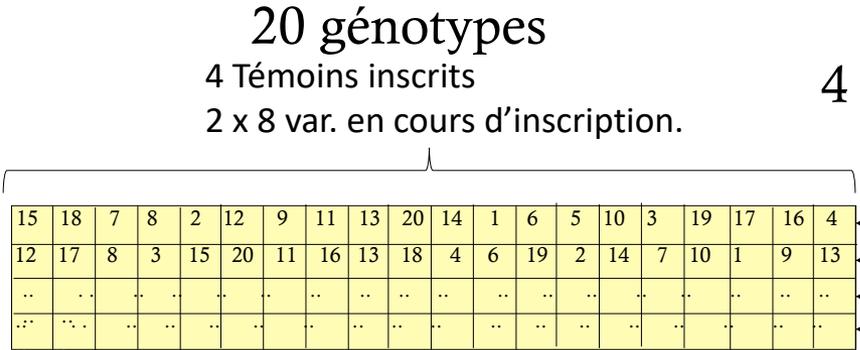
### ✓ Dispositif expérimental



2 ITK

BNI

N = -30%  
0 Fongicide  
0 Reg. de croissance



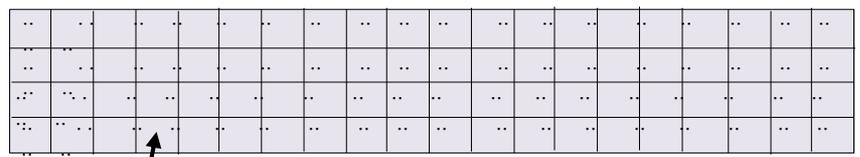
4 Répétitions

Bloc 1  
Bloc 2  
Bloc 3  
Bloc 4

Récolte machine  
Suivi au cours de saison (manuel)

HI

N = méthode bilan  
Fongicides (2 ou +)  
Reg. de croissance



Micro-parcelle

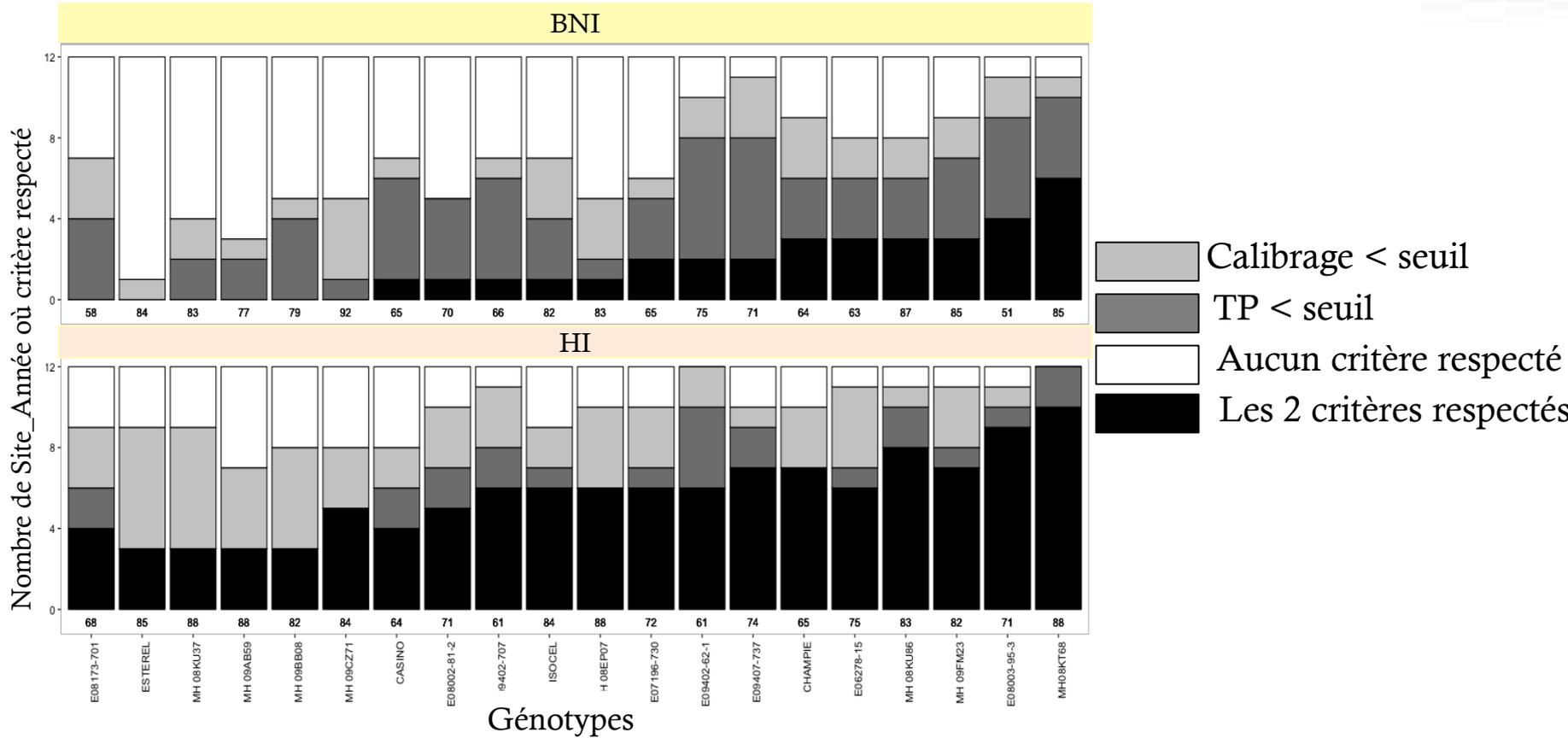
### ✓ Conditions pédoclimatiques explorées

2 années (2014 et 2015), 7 sites



# K produites : Quelles performances des variétés actuelles en situation BNI?

## ✓ Résultats



## ✓ Conclusions

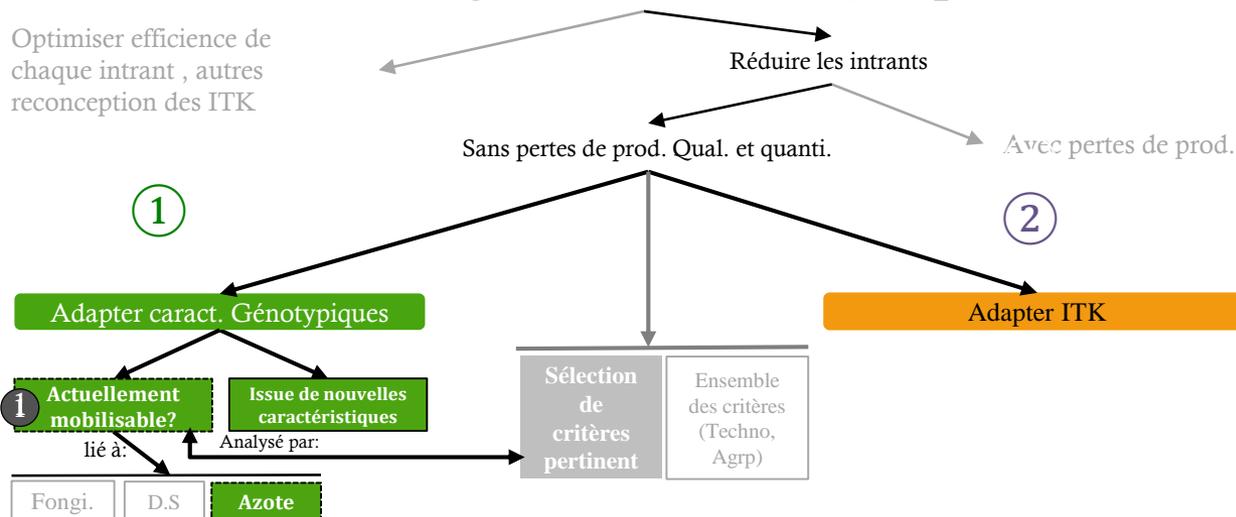
- Le choix du génotype est primordial pour atteindre une forte qualité brassicole
- Avec l'ITK BNI testé, les cas où on passe les critères de qualité sont (trop) rares

**Besoin de modifier l'ITK et le G !**

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK

K



Réunion techn. Projet+ littérature (Ravier, 2017)

Besoin d'adapter ITK pour atteindre qualité brassicole

## Concepts relatifs:

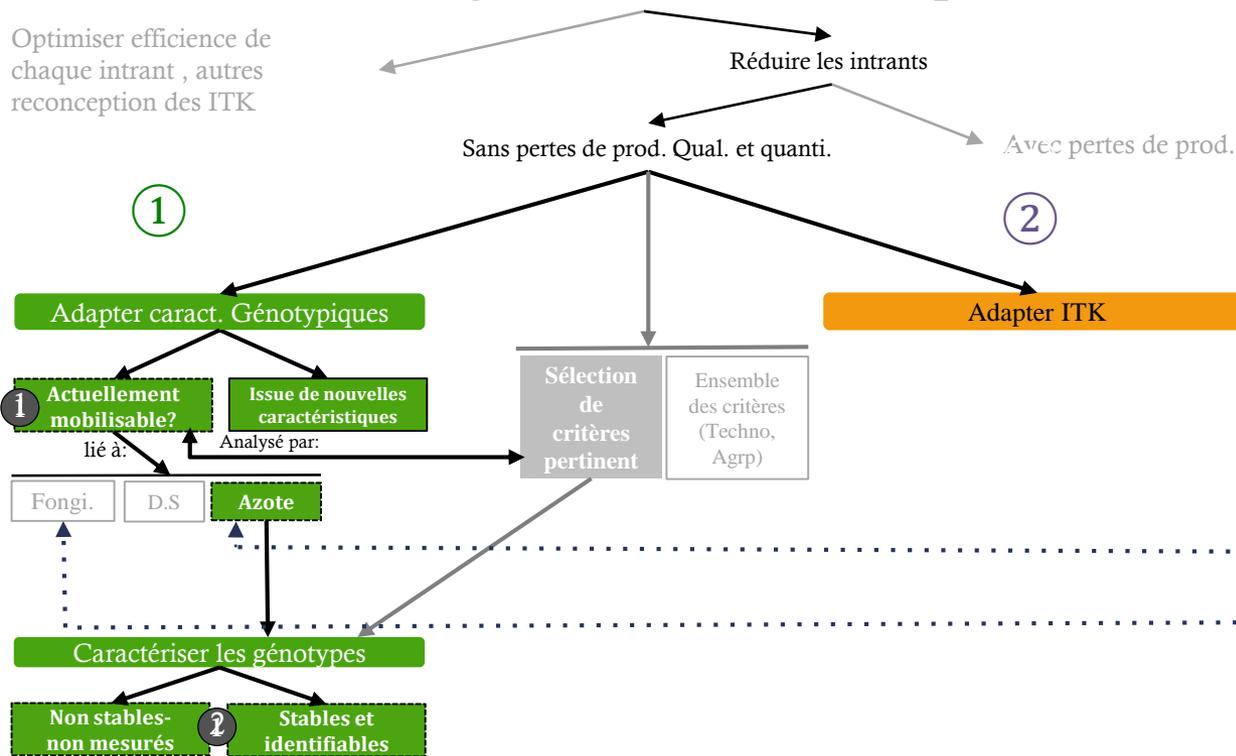
- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- XX Non exploré

## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



K

Réunion techn. Projet+ littérature (Ravier, 2017)  
**Besoin d'adapter ITK pour atteindre qualité brassicole**

**Il existe une diversité G importante en orge B.**

**Résultats non publiés sur Orge**

## Concepts relatifs:

- Géotypes, exploré par expérimentation
- Géotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- XX Non exploré

## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet

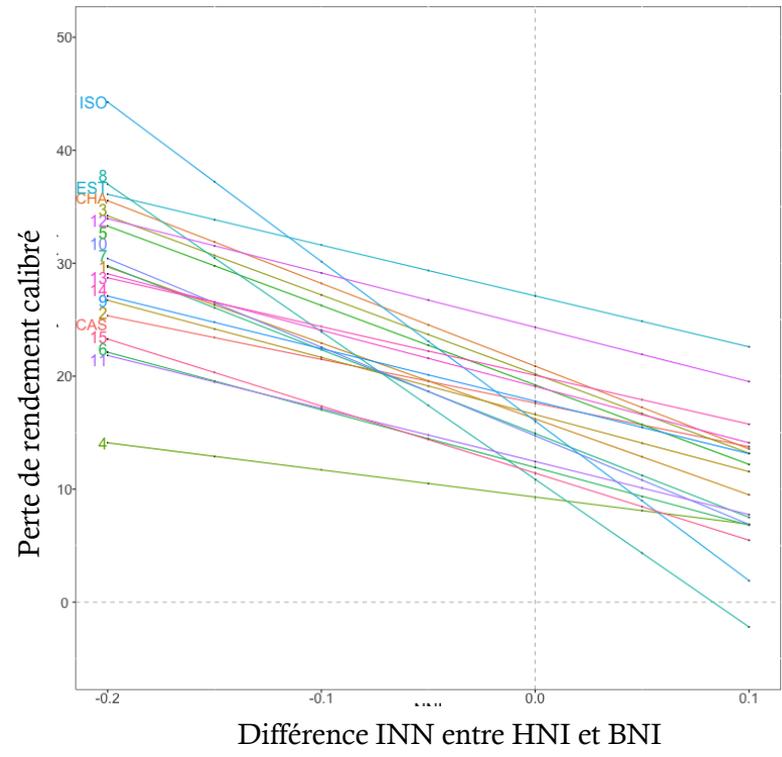
# K produites : Quelles sont les caractéristiques des G. adaptés au BNI?

✓ Variable analysée

✓ Variables explicatives



### Sensibilité variétale au stress azoté



Expliqué par

Caractéristiques génotypiques

- à sortie-hiver
- Floraison
- Récolte

Liées à :  
Production biomasse, grains  
Azote  
Composante de rendement

**En HI**

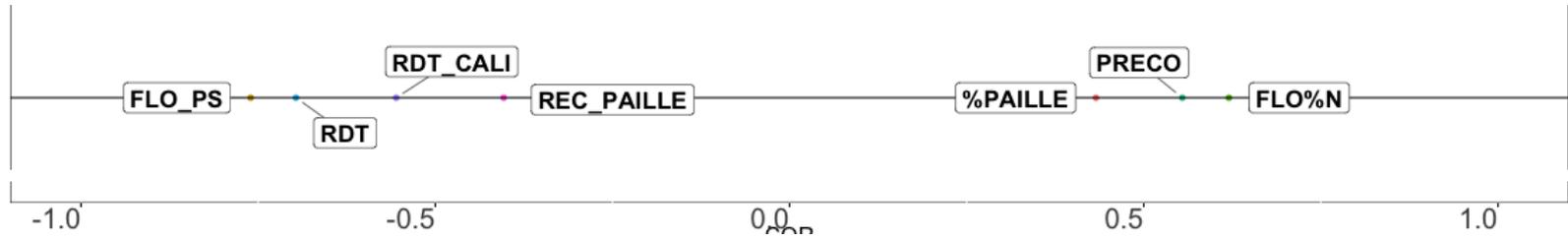


Modélisation: pertes de rendement = f(caractéristiques variétales)

→ Quelles caractéristiques variétales expliquent ces différences de rendement?

# K produites : Quelles sont les caractéristiques des G. adaptés au BNI?

✓ Résultats : Analyse des caractéristiques variétales favorables à une faible perte de rendement calibré en stress N

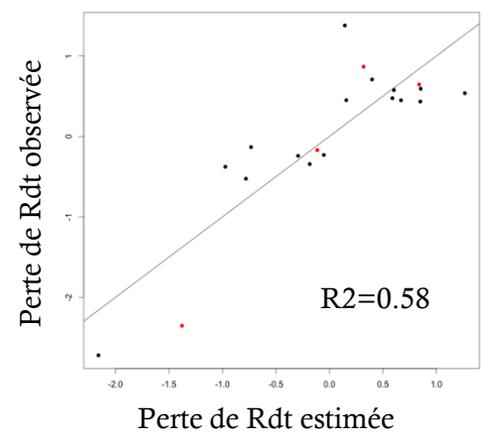


Corrélation avec les pertes de Rendement



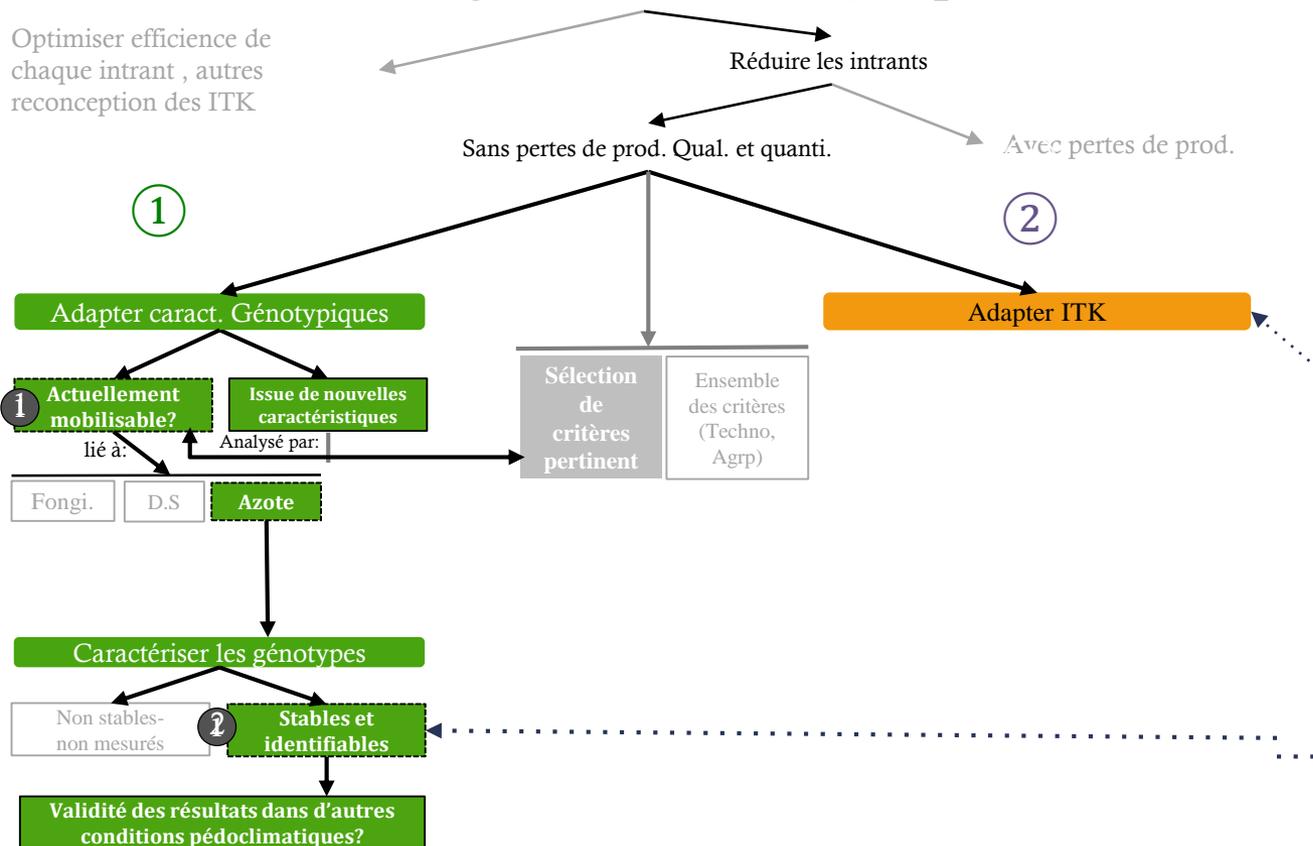
Forte production en HI (Rdt, poids sec) → Des pertes de Rdt calibrés plus faibles en situation de stress N

✓ Résultats : Qualité du modèle



# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



Réunion techn. Projet+ littérature (Ravier, 2017)+  
Besoin d'adapter ITK pour atteindre qualité brassicole

La perte de Prod. en stress N est liée aux caract. G

## Concepts relatifs:

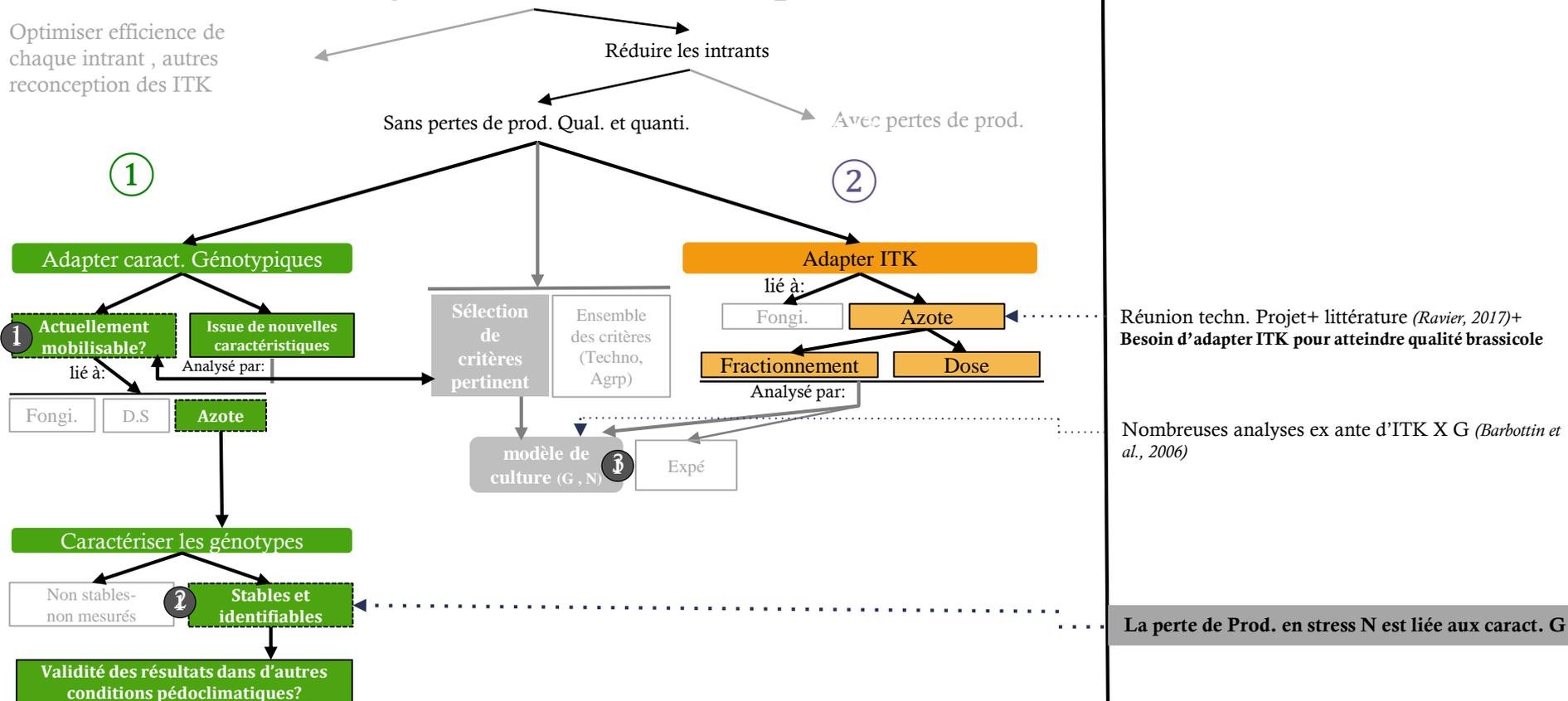
- Génotypes, exploré par expérimentation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Non exploré
- Génotypes, exploré par modélisation
- Méthodes développées

## Connaissances:

- XXXXXX : Existantes
- XXXXXX : Créés au cours du projet

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



## Concepts relatifs:

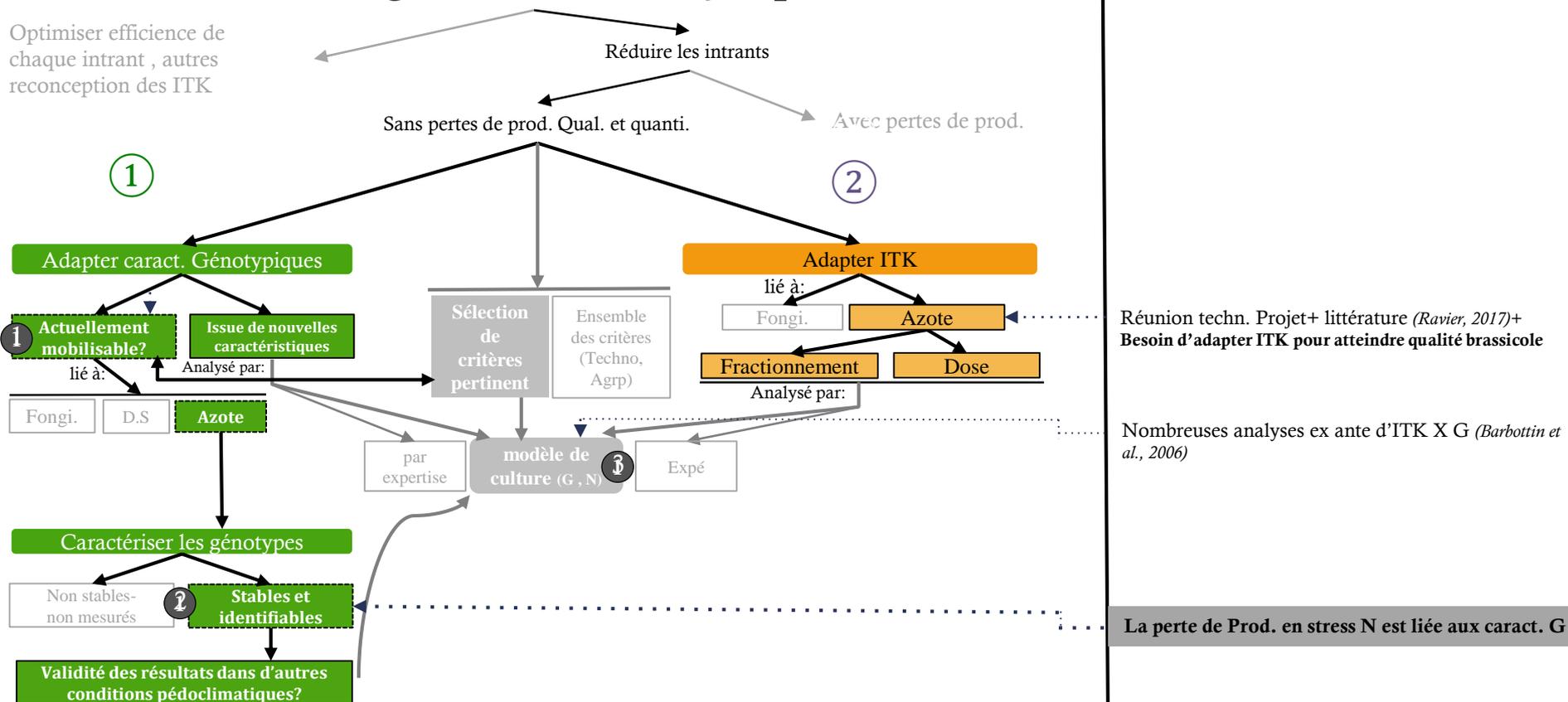
- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



Réunion techn. Projet+ littérature (Ravier, 2017)+  
Besoin d'adapter ITK pour atteindre qualité brassicole

Nombreuses analyses ex ante d'ITK X G (Barbottin et al., 2006)

La perte de Prod. en stress N est liée aux caract. G

## Concepts relatifs:

- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

## Connaissances:

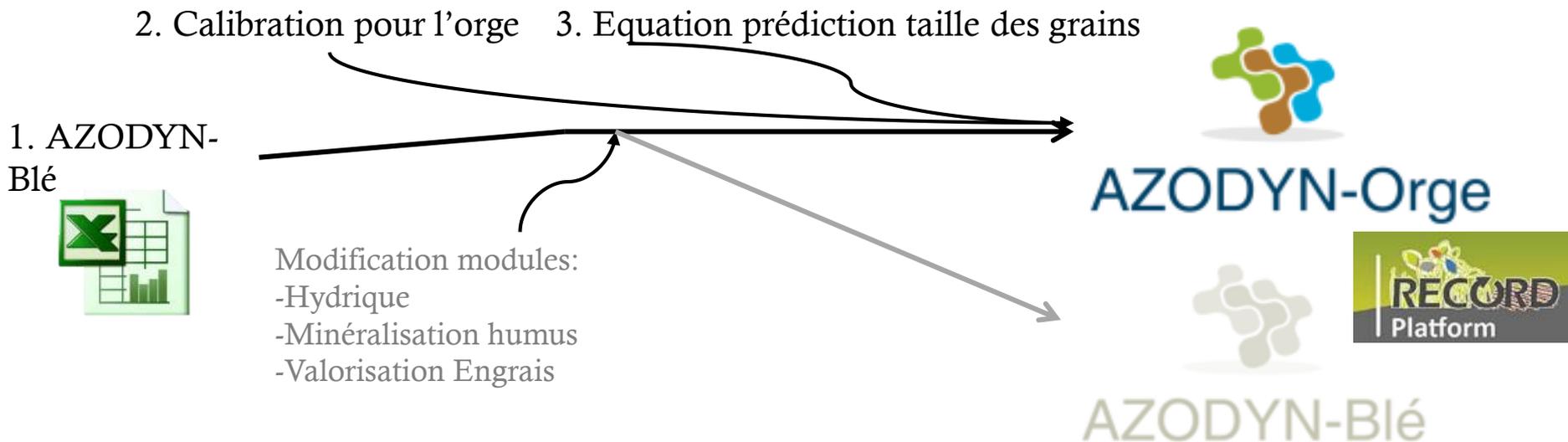
- XXXXXX : Existantes
- XXXXXX : Créées au cours du projet



## ❖ Contraintes

- ✓ Considérer effet génotypique
- ✓ Prendre en compte les facteurs limitants du milieu (stress N)
- ✓ Modéliser les critères de production analysés en orge (quantité et qualité)
- ✓ Modèle simple et expertise à proximité, et possibilité de faire multi-simulation

## ❖ Matériel et méthode mobilisé:





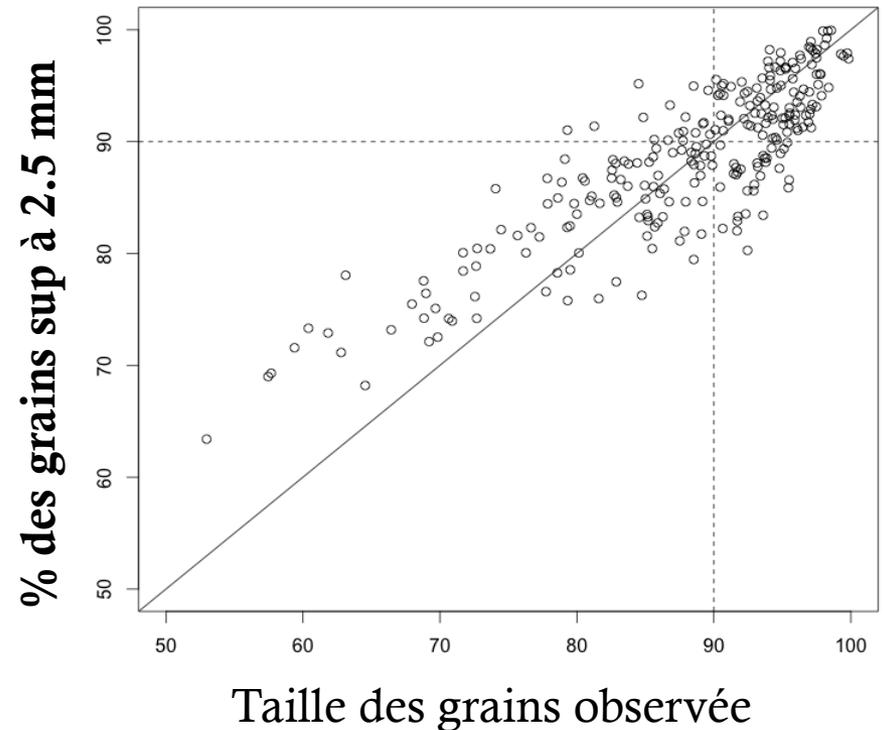
## ❖ Adaptation du modèle à l'orge

✓ Calibration pour l'orge

19 paramètres «orge» estimés:  
-14 avec la littérature  
-5 avec mesures expérimentales

5 paramètres génotypiques « orge »  
Estimés à partir de mesures expérimentales

✓ Equation de prediction de taille des grains





## ❖ Evaluer le modèle de culture en orge brassicole

✓ Capacité du modèle à prédire les différents critères de production (vert : erreur < 15%)

Variable	Mean_obs	RRMSEP Azodyn (%)
Matière sèche FLO (g m <sup>-2</sup> )	1096 (1018)	14.4 (17.3)
INN_FLO	0.7 (0.6)	12.4 (12.8)
N absorbé FLO (kg ha <sup>-1</sup> )	184 (154)	20.0 (23.6)
Nb de grains (grains.m <sup>-2</sup> )	19999 (17511)	9.8 (14.0)
PMG (g.1000 seeds <sup>-1</sup> )	39.0 (37.2)	9.0 (13.6)
Rendement(t ha <sup>-1</sup> )	7.7 (6.3)	10.5 (9.0)
TP (%)	9.8 (9.1)	10.4 (9.4)
Matière sèche récolte (g m <sup>-2</sup> )	1515 (1345)	13.6 (16.9)
N absorbé récolte (kg ha <sup>-1</sup> )	183 (153)	10.7 (12.4)
Calibrage(%)	91 (85)	11.5 (16.5)
Rendement calibré(t ha <sup>-1</sup> )	7.0 (5.4)	18.3 (20.6)

↑            ↑  
 HI        LNP

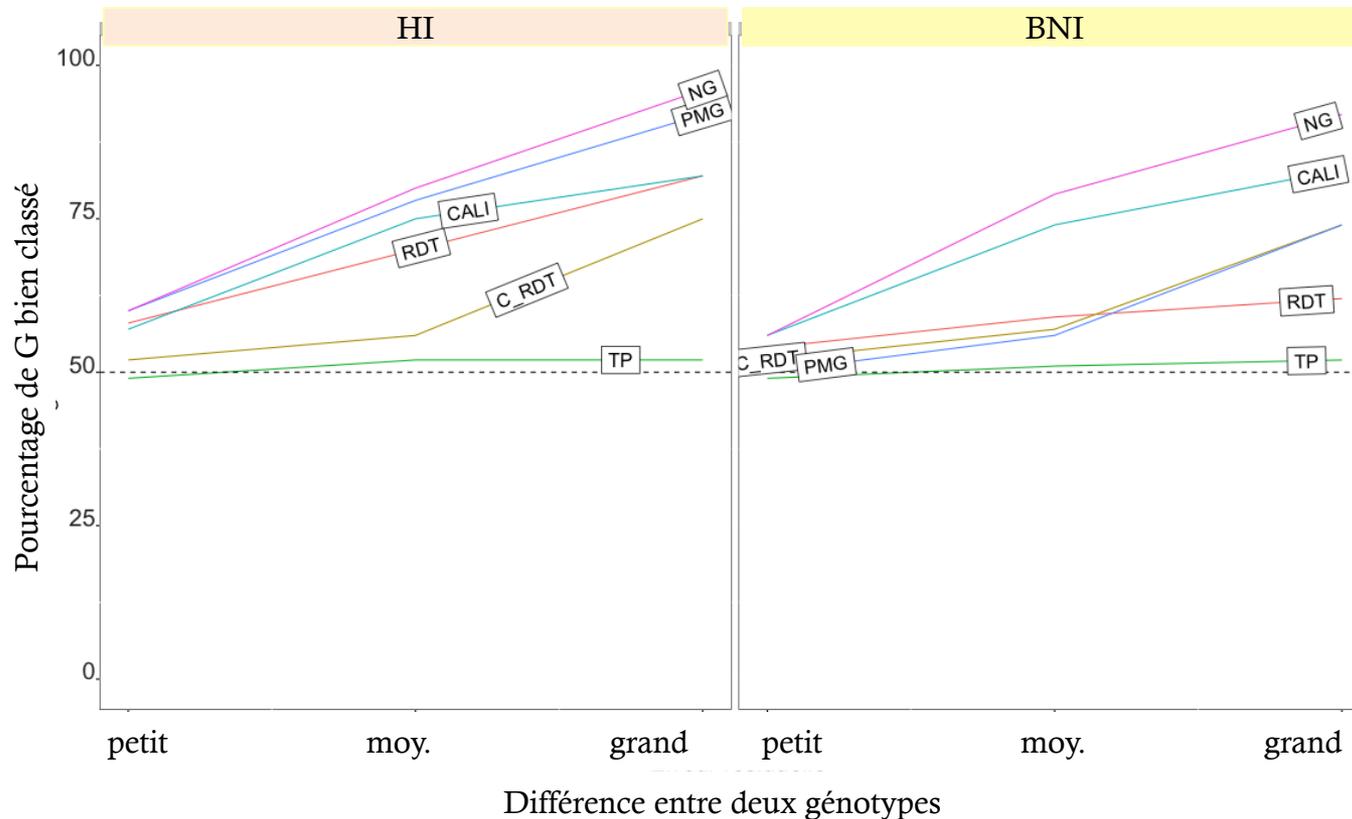


La plupart des variables prédites avec une erreur de moins de 15%  
 -> Le modèle est relativement précis



## ❖ Evaluer le modèle de culture en orge brassicole

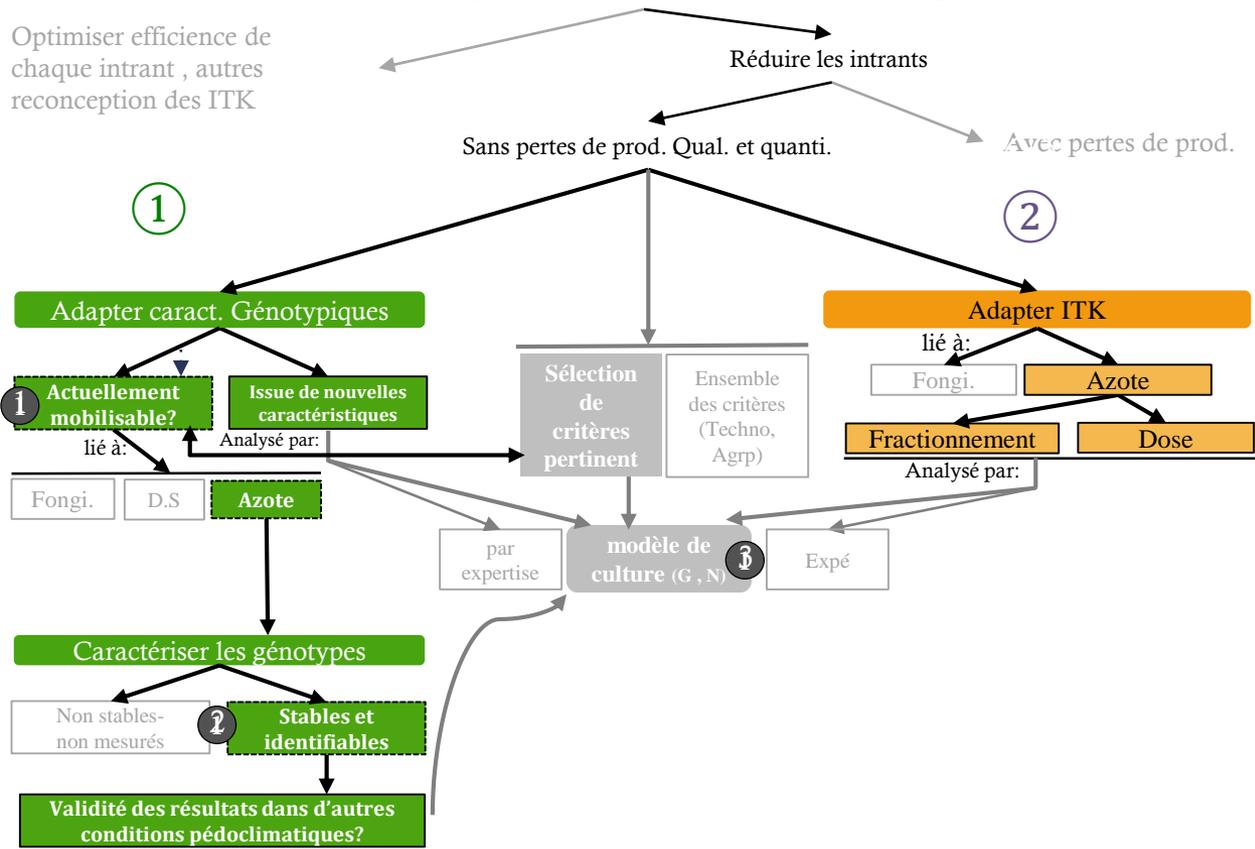
- ✓ Capacité du modèle à prédire les différents critères de production
- ✓ Capacité du modèle à classer les génotypes dans les environnements:



Capacité de classement moyenne à bonne  
(ex: TP: difficile d'utiliser le modèle pour classer les génotypes)

# Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



### Concepts relatifs:

- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

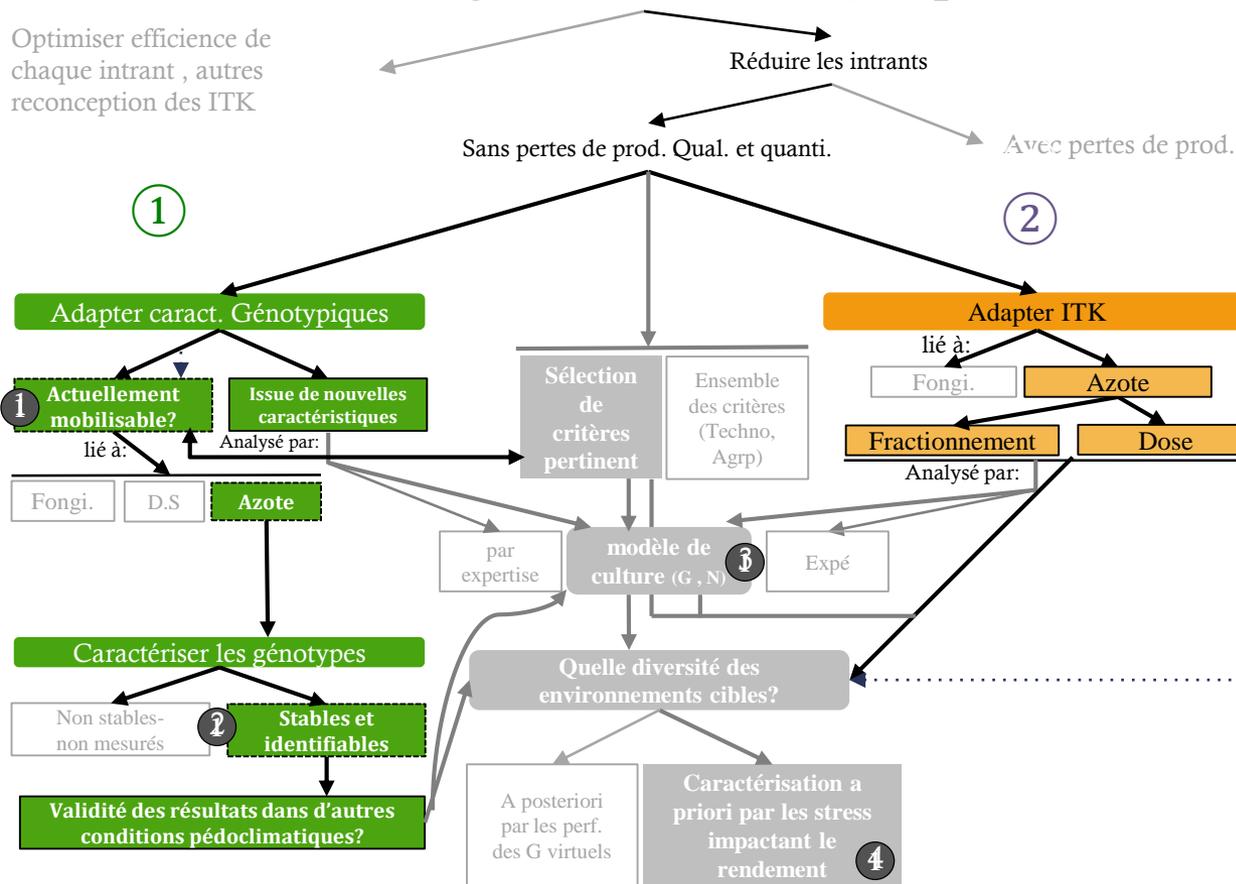
### Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable



Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



Etudes australiennes (Chenu et al., 2011), CIMMYT (Braun, 1996)

## Concepts relatifs:

- Géotypes, exploré par expérimentation
- Géotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

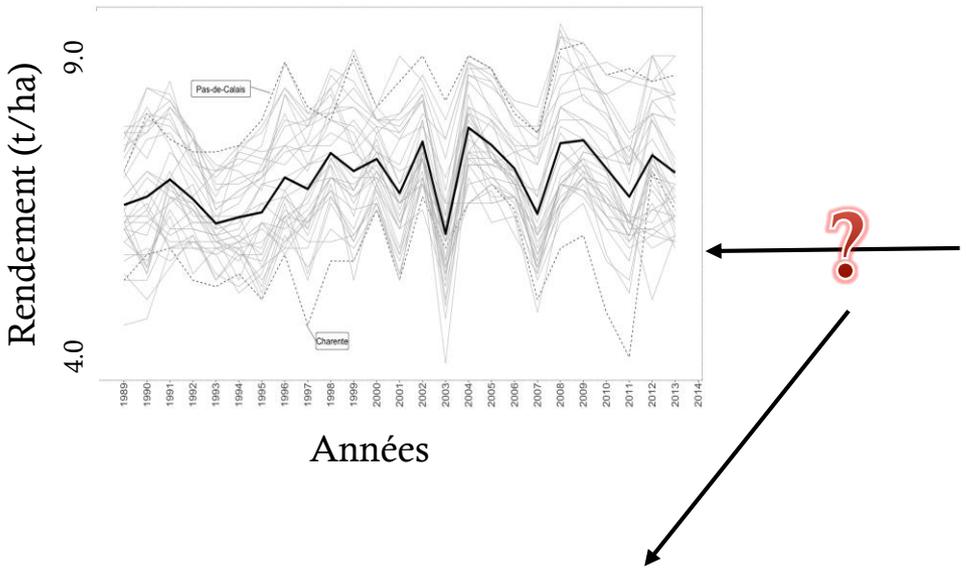
## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet



## ❖ Matériel et méthode :

- ✓ Variations de rendement moyen départemental annuel



- ✓ 6 facteurs climatiques \* 3 stades

Type of climatic factor	Phenological stage considered
-Number of days with a mean temperature over 25°C	SE, GF
-Sum of rainfall	W, SE, GF
-Sum of minimum temperature	W, SE
-Sum of low temperature during winter (reflecting vernalization)	W
-Photo-thermal quotient	W, SE, GF
-Mean vapor pressure deficit	W, SE, GF

- ✓ Quels impacts des facteurs climatiques sur le rendement en orge?
- ✓ Quelles sont les principales combinaisons de facteurs climatiques?

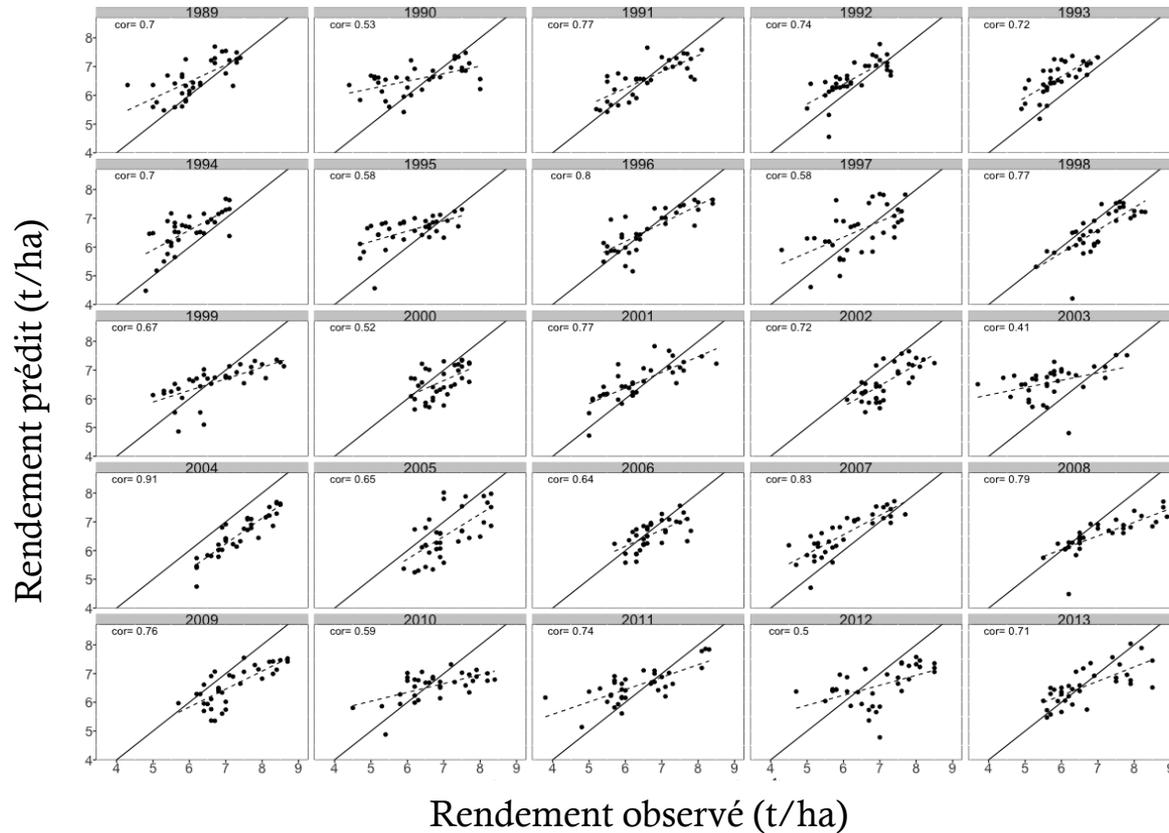
**Méthode: régression des moindres carrés partiels (PLS)**

- ✓ Quelle structuration temporelle et géographique des combinaisons de stress?

**Méthode: Classification ascendante hiérarchique sur résultats PLS**



## ❖ Quelle qualité de prédiction de la PLS?



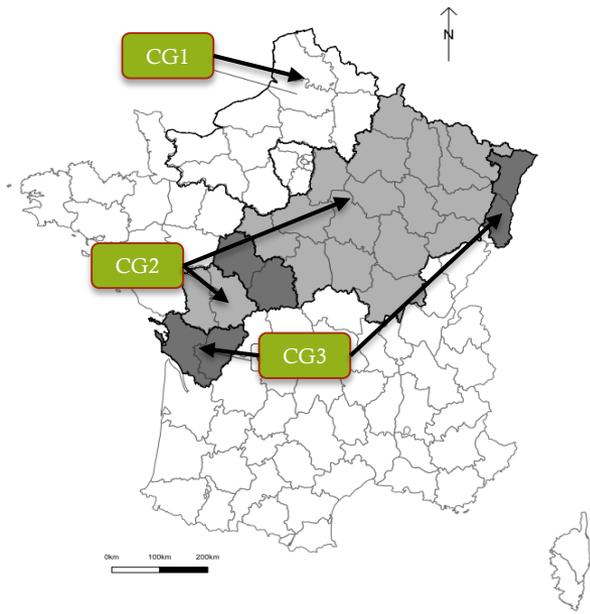
Modèle explique 36% de la variabilité, RMSEP= 0.78 t ha<sup>-1</sup>

Modèle classe correctement 80% des rendements départementaux

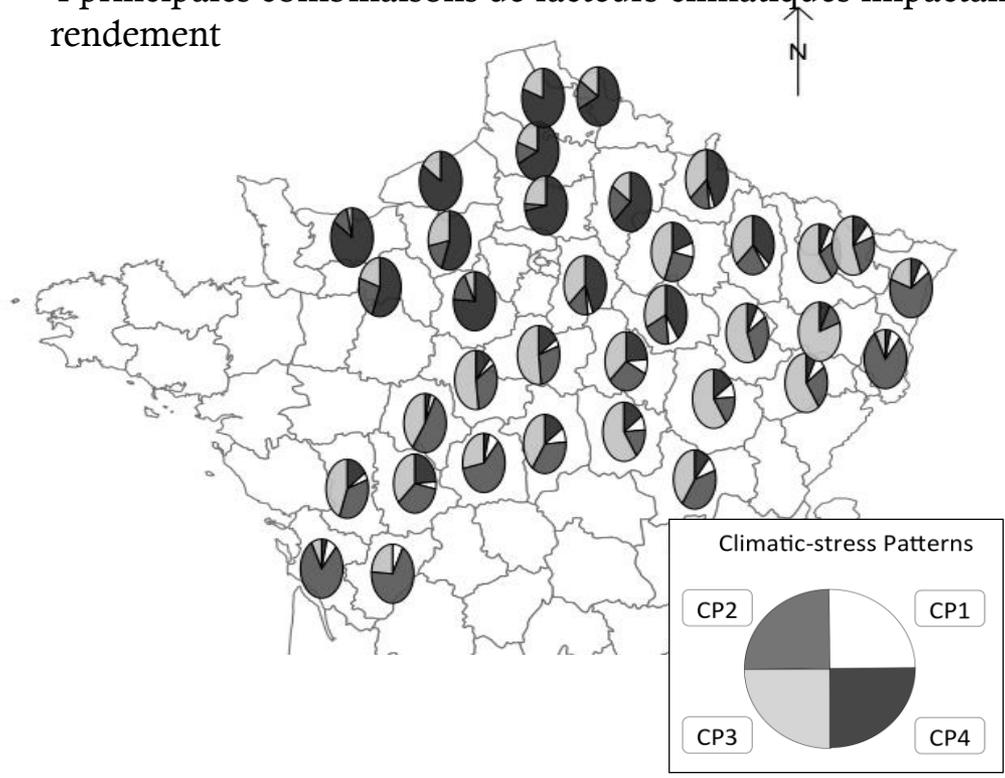


## ❖ Quelle structuration géographique des facteurs climatiques?

✓ Trois groupes de départements (GC)...



✓ Caractérisés par des fréquences d'occurrence de 4 principales combinaisons de facteurs climatiques impactant le rendement

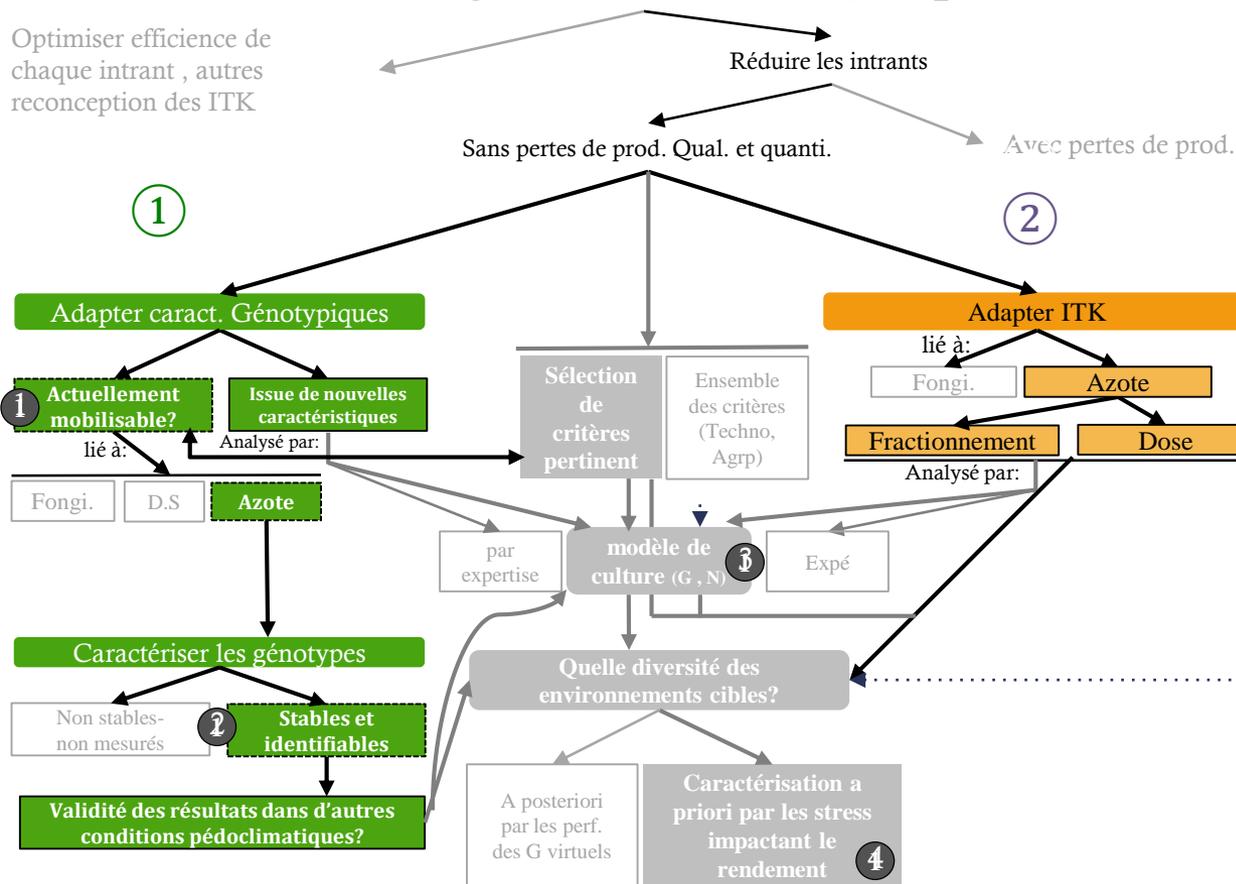


Les environnements de production sont structurés en groupes très différents entre eux --> besoin d'adapter les G et ITK aux environnements?

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable



Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



Etudes australiennes (Chenu et al., 2011), CIMMYT (Braun, 1996)

## Concepts relatifs:

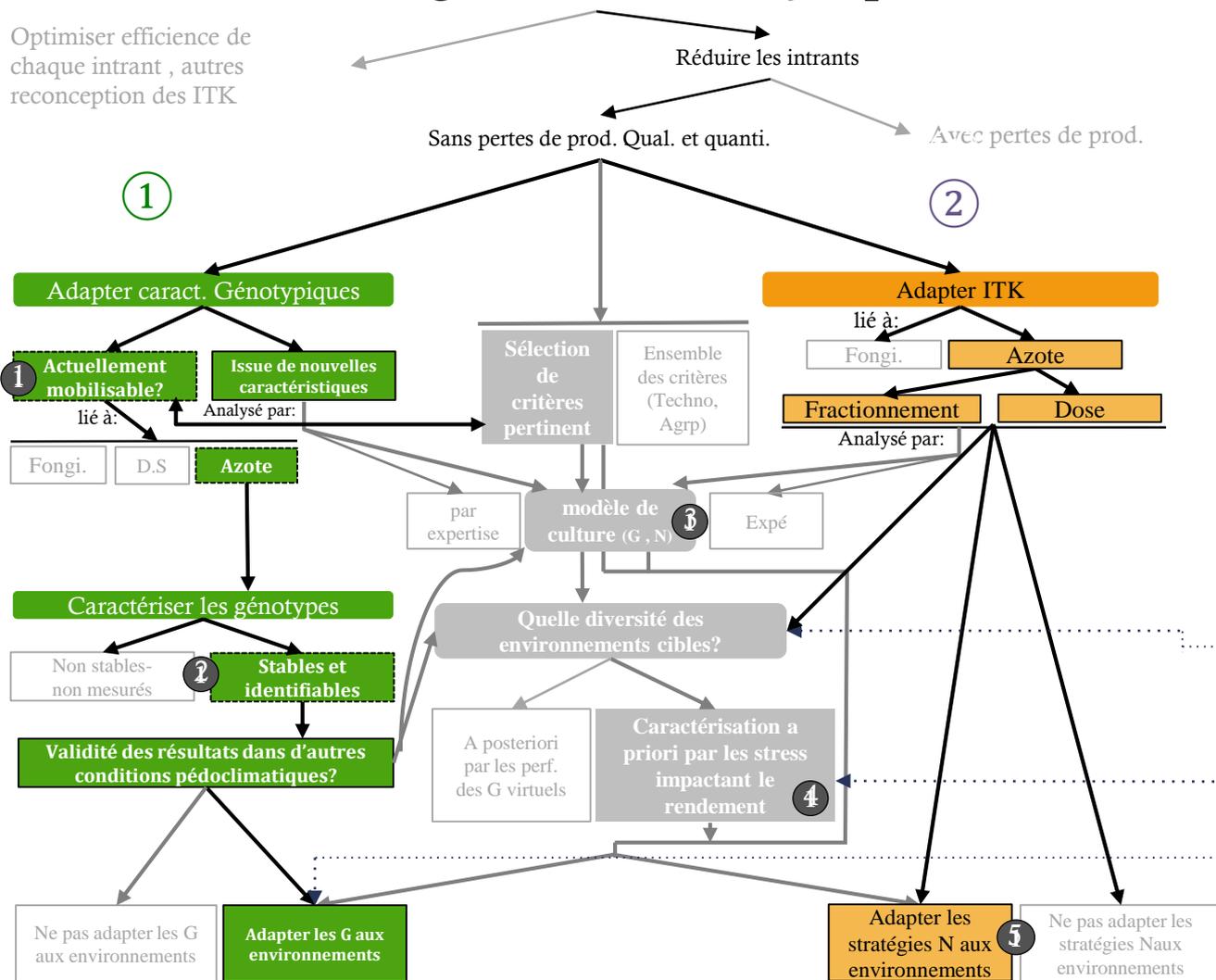
- Géotypes, exploré par expérimentation
- Géotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créées au cours du projet

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



Etudes australiennes (Chenu et al., 2011), CIMMYT (Braun, 1996)

L'env. de Prod de l'Orge est caractérisé par 4 grands types de combinaisons de stress climatiques

Etudes australiennes (Hammer et al., 2004)+ Casadebaig et al., 2016),

## Concepts relatifs:

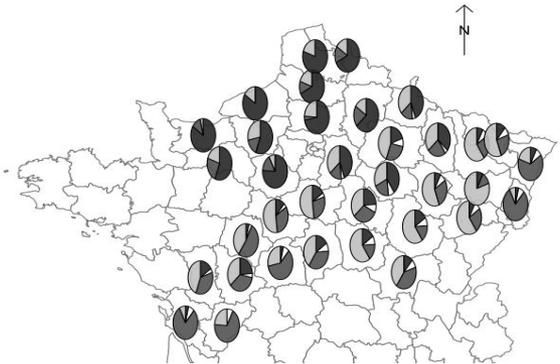
- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

## Connaissances:

- XXXXX : Existantes
- XXXXX : Créés au cours du projet

## ❖ Matériel et méthode

- ✓ Zone de production (35 départements X 25 années)

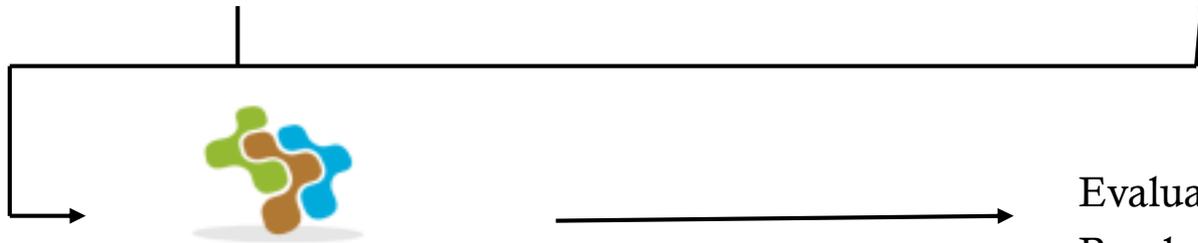


- ✓ 9 fractionnements de fertilisation X 5 doses = 45 stratégies de fertilisation testées

N fertilization strategy	A end-of-winter	B end-of-winter +10 days	C BSE	D BSE +15 days	E BSE +10 days	Fractionnement
X_AC	50		TOTAL-50			Référence
X_AD	50			TOTAL-50		
X_BD		50		TOTAL-50		
X_BE		50			TOTAL-50	
X_CE			50		TOTAL-50	
X_ACD	50		TOTAL-90		40	
X_ACE	50		TOTAL-90			40
X_BCD		50	TOTAL-90		40	
X_BCE		50	TOTAL-90			40

->Caractérisée par le climat et le sol

X= Dose, varie entre 0.7, 0.8, 0.9, 1 et 1,1 la dose référence

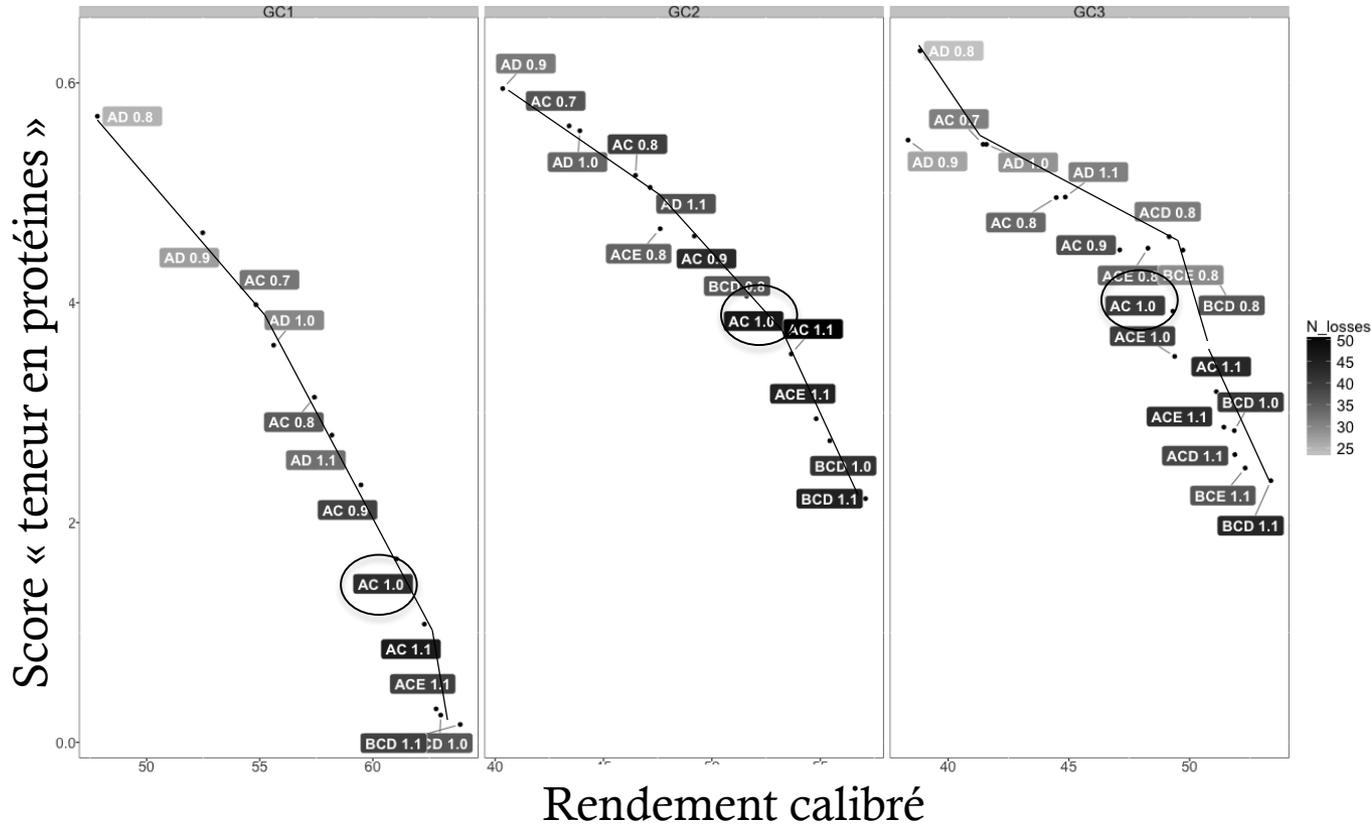


Evaluation multicritère :  
Rendement calibré,  
Teneur en protéines,  
Pertes en azote





## ❖ Quelles stratégie de fertilisation adaptées aux GC?



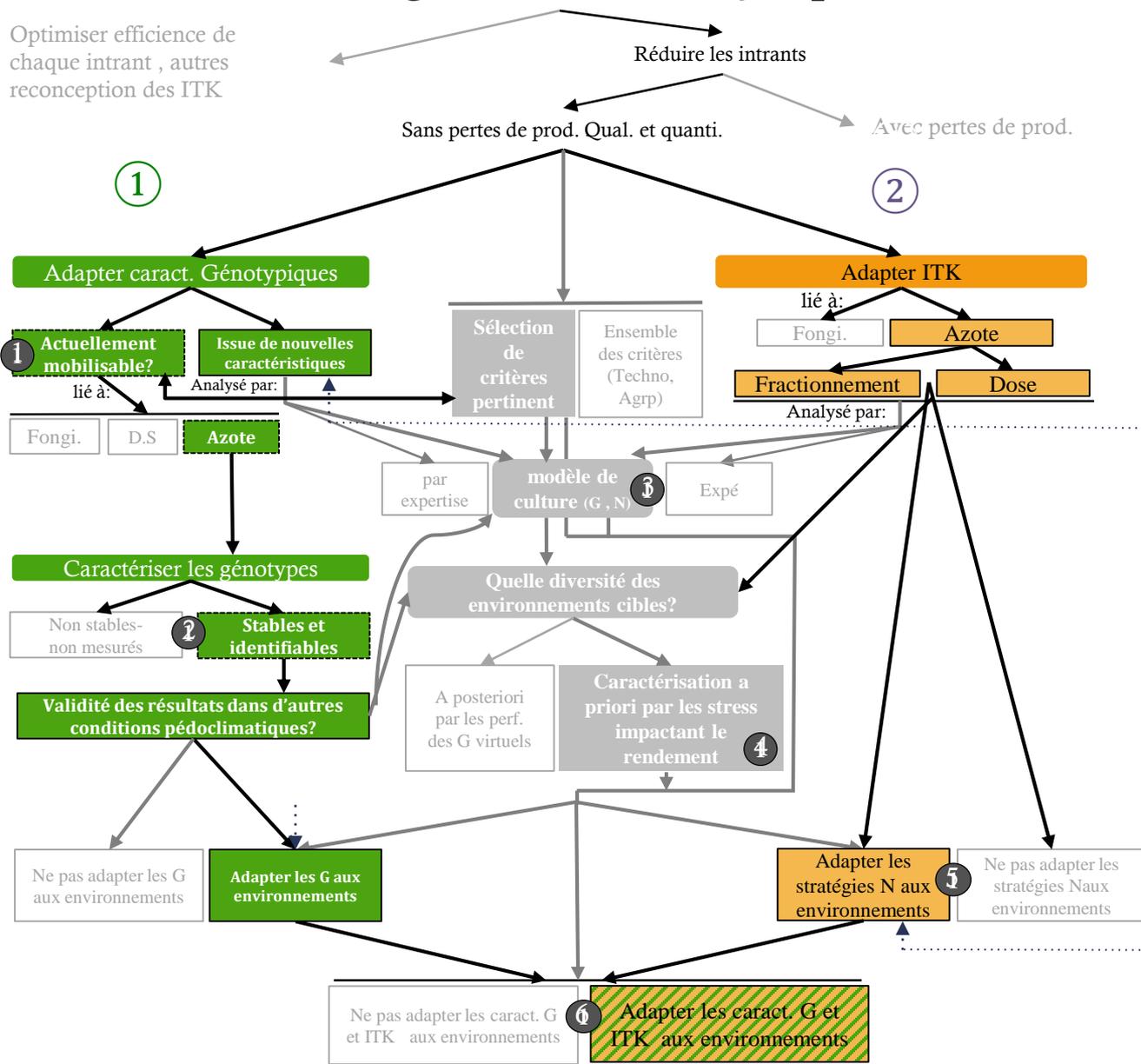
La stratégie de référence est dans les « optimums »  
Mais existence de nombreuse autres stratégies « intéressantes », entrainants moins de perte N environnementales



# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable



Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



Littérature sur blé (Jeuffroy Bouchard., 1999)

Des strat. permettent de réduire la Ferti N sans pertes de production

## Concepts relatifs:

- Génotypes, exploré par expérimentation
- Génotypes, exploré par modélisation
- Itinéraire technique exploré par modélisation
- Méthodes développées
- Non exploré

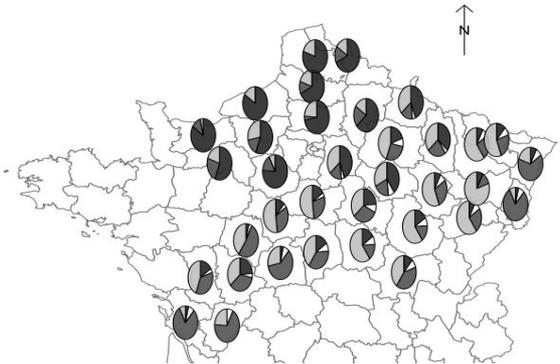
## Connaissances:

- XXXXXX : Existantes
- XXXXXX : Créées au cours du projet



## ❖ Matériel et méthode

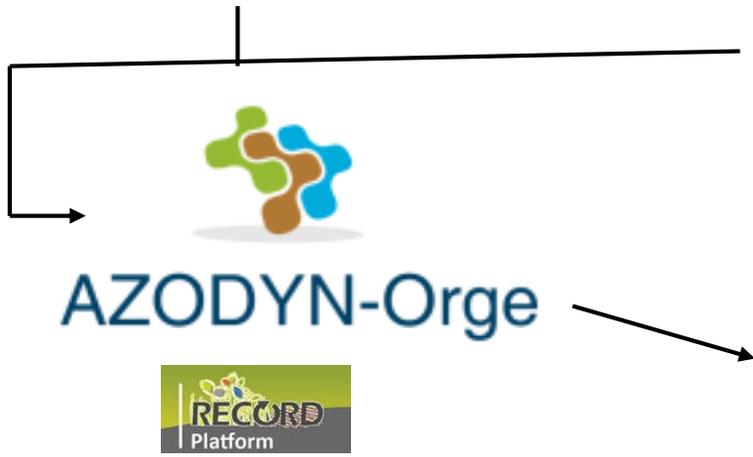
✓ Zone de production (35 départements X 25 années)



✓ Définition de 3840 géotypes virtuels ← paramètres génotypiques présents dans le modèle Azodyn

1. « Potentiel de production » :
  - Rendement maximum génotypique
  - Poids de mille grains maximum génotypique
  - Précocité à floraison
  - Vigueur à la sortie hiver
2. « Impact des stress N précoces » :
  - sur la réduction de nombre de grains/m<sup>2</sup>
  - Sur la production de biomasse
3. Capacité des géotype à compenser des stress précoces :
  - Taux de remobilisation
  - Capacité à maintenir la photosynthèse

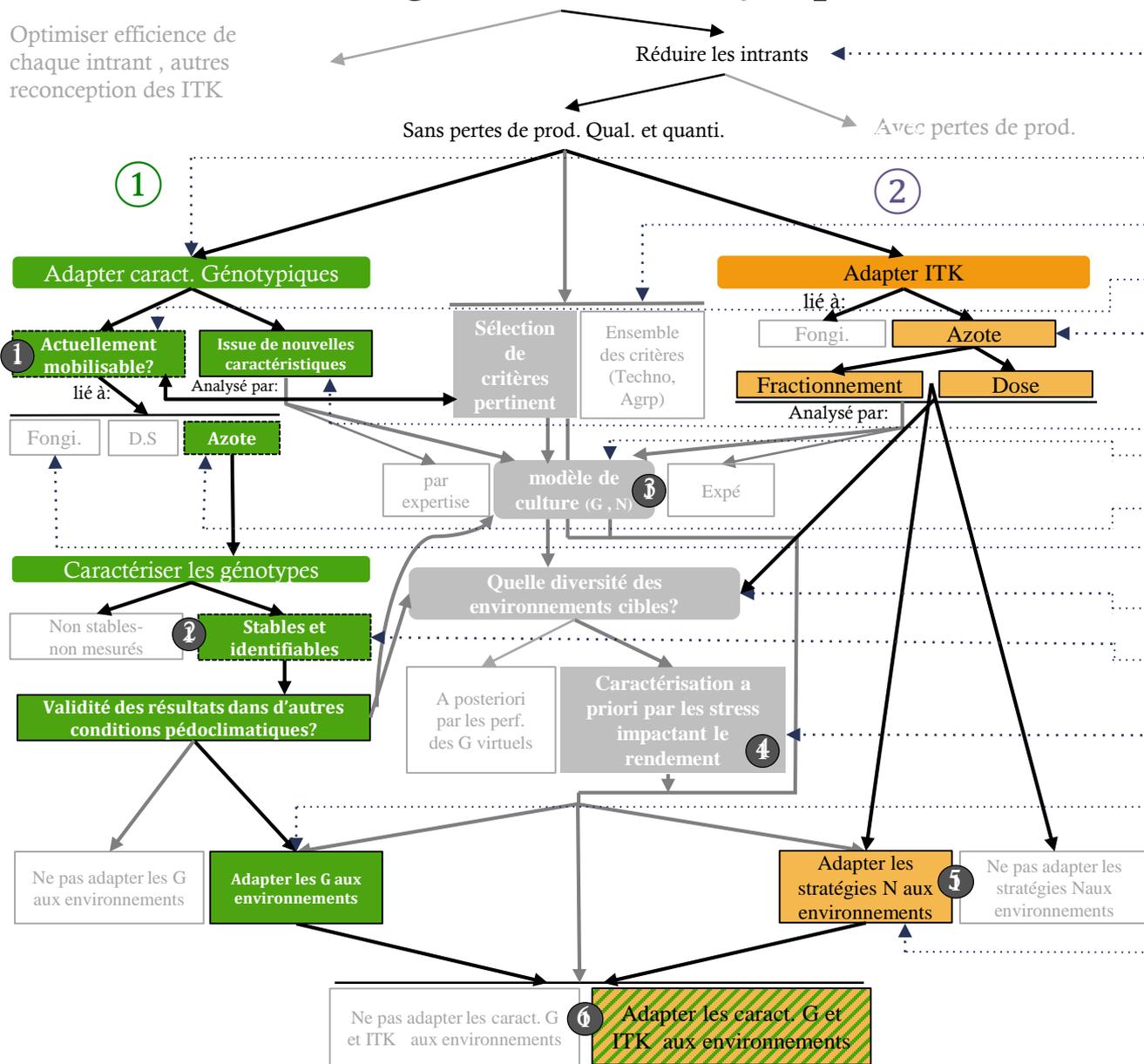
->Caractérisée par le climat et le sol



Evaluation multicritère :  
Rendement calibré,  
Teneur en protéines,  
Pertes en azote

# C Produire de l'orge brassicole de façon plus durable

Optimiser l'efficacité de chaque intrant, autres reconceptions des ITK



K

Blé rustiques (Loyce 2008, 2012, Meynard 1985)

Idéotypes variétaux (Debaeke et al., 2015, Phenet et al., 2008)

Syndicat de Paris, pratiques des coopératives

**Il existe une diversité G importante en orge B. + Possibilité d'identifier qq. G BNI à partir essais HNI**

Réunion techn. Projet+ littérature (Ravier, 2017)+  
**Besoin d'adapter ITK pour atteindre qualité brassicole**

Littérature sur blé

Nombreuses analyses ex ante d'ITK X G (Barbottin et al., 2006)

Diversité des G à l'N (Delogu et al., 1998)

Impact tolérance G sur perte de Rdt (blé -Zhang, 2006)

Résultats non publiés sur Orge

Etudes australiennes (Chenu et al., 2011), CIMMYT (Braun, 1996)

**La perte de Prod. en stress N est liée aux caract. G**

**L'env. de Prod de l'Orge est caractérisé par 4 grands types de combinaisons de stress climatiques**

Etudes australiennes (Hammer et al., 2004, Casadebaig et al., 2016),

**Des strat. permettent de réduire la Ferti N sans pertes de production**

## Connaissances:

XXXXXX : Existantes

XXXXXX : Créés au cours du projet

## Concepts relatifs:

Génotypes, exploré par expérimentation

Génotypes, exploré par modélisation

Itinéraire technique exploré par modélisation

Méthodes développées

Non exploré



# TROISIEME ETAPE: ANALYSE CRITIQUE DU TRAVAIL EFFECTUE

- Originalité de la démarche employée
- Principales limites et pistes d'amélioration

# Limites de la démarche de mobilisée dans la thèse



- ❖ **Prise en compte incomplète des facteurs impactant la production**
  - Réponse des génotypes aux pressions maladies
  - Densité de semis
  
- ❖ **Evaluation des génotypes et de la production**
  - Pas de prise en compte des corrélations entre traits génétiques dans le modèle
  - pas d'analyse économique, ni de faisabilité technique
  
- ❖ **Acteurs impliqués**
  - Peu d'interactions directes avec les agriculteurs
  - Evaluation *ex-ante*, comme la plupart des études sur l'idéotypage,
    - *Suite de la thèse : Evaluer si les orientations prises sont bonnes? Confrontation résultats avec acteurs terrain?*

# Originalité de la démarche de mobilisée dans la thèse



## ❖ Travail à la fois, sur G, ITK et E

- Caractérisation des environnements par les combinaisons de stress qui impactent le rendement et analyse de leur structuration géographique
- Recherche des caract. ITK. adaptées au BNI
  - ≠ conception d'idéotype généralement effectuées (peu prennent en compte l'ITK)
- Recherche des caract. G. adaptées au BNI (pour orienter la sélection)
  - ≠ du réseau blé rustique (analyse de la diversité G existante)

## ❖ Questionner les critères utilisés pour évaluer la production

- Quelle combinaison de critères pour quelle destination de la production (brassicole/mixte)
- « Identification » d'un critère : le rendement calibré

# Originalité de la démarche de mobilisée dans la thèse



## ❖ Questionner la pertinence des outils et méthodes mis en oeuvre

-Evaluation de la capacité du modèle à être utilisé pour l'idéotypage (généralement c'est la qualité prédictive qui est évaluée)

## ❖ Intégration des outils

- Intégration de la famille Azodyn à la plateforme RECORD: (idéotypage, méthode ferti N)



# MERCI DE VOTRE ATTENTION

