

Conception innovante d'une méthode de fertilisation
azotée du blé:
Articulation entre diagnostic des usages, ateliers
participatifs et modélisation

Clémence RAVIER, Jean-Marc MEYNARD, Marie-Hélène Jeuffroy



Objectifs

Illustrer au travers d'un exemple concret la mobilisation de la théorie

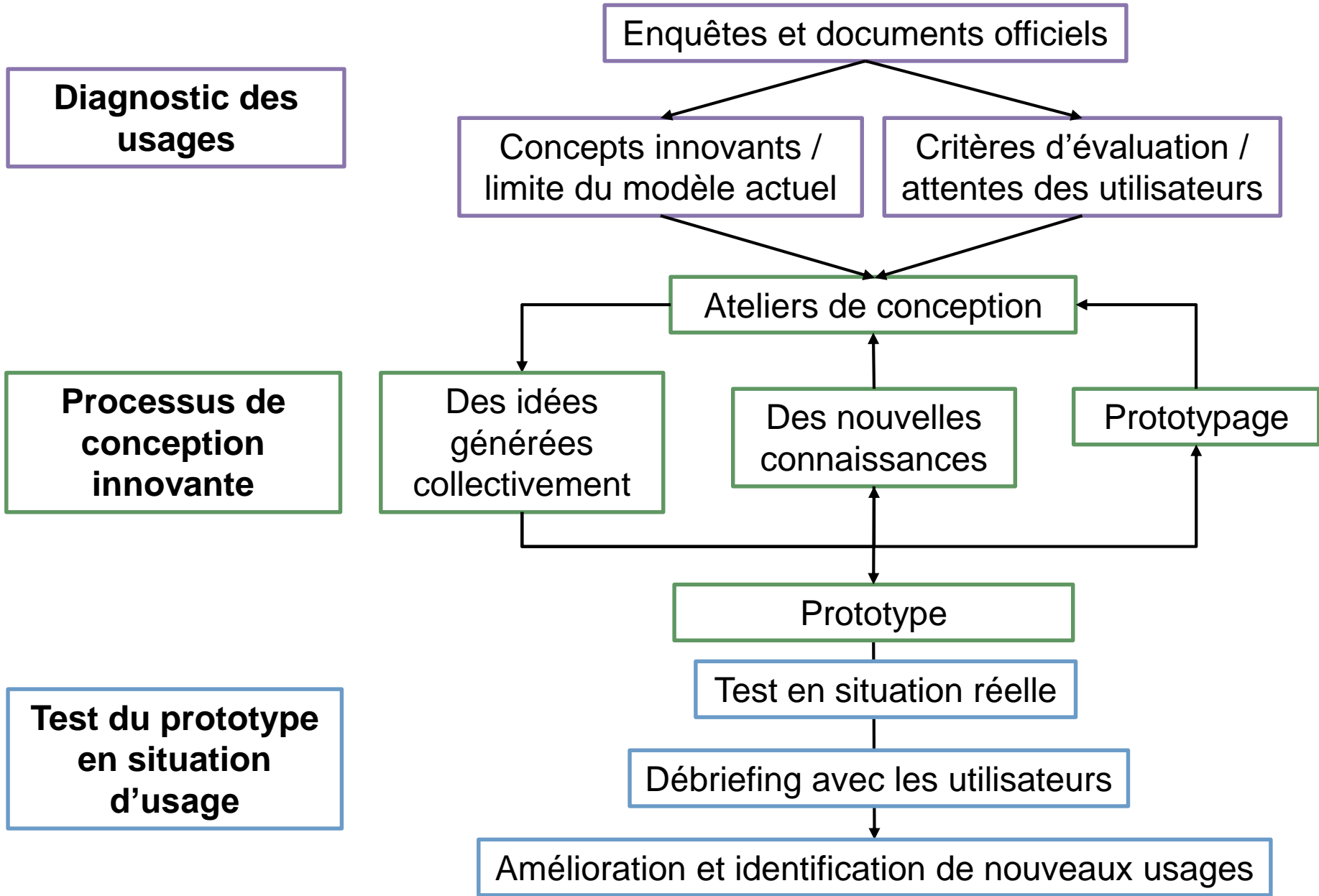
C-K pour innover en agriculture

- La relation entre dynamique de conception et production de connaissances
- L'utilisation des ateliers pour définir les connaissances pertinentes à produire
- L'implication des utilisateurs dans la démarche de conception.

Les cadres théoriques

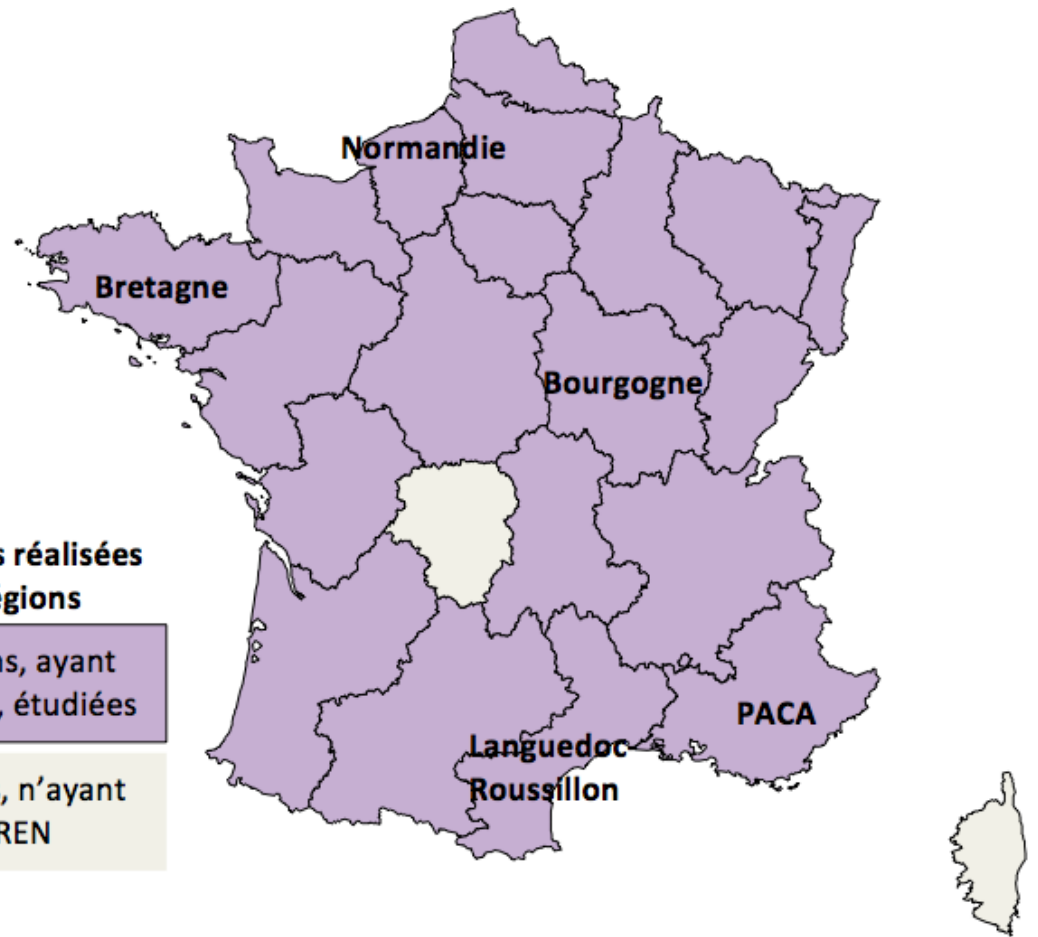
Combiner 2 cadres théoriques

- Une théorie de l'innovation: **La théorie C-K** (Hatchuel & Weil, 2009)
- Une démarche de **conception d'outils d'aide à la décision en agriculture** (Cerf et al., 2012):
 - 1) Diagnostic des usages pour mettre en avant les difficultés rencontrées avec les outils existants et spécifier les attentes pour de nouveaux outils
 - 2) Test du prototype pour vérifier l'adéquation du prototype conçu avec les attentes des utilisateurs



Diagnostic des usages

Enquêtes et documents officiels



Enquêtes réalisées dans 5 régions

20 régions, ayant un GREN, étudiées

2 régions, n'ayant pas de GREN

Diagnostic des usages

Enquêtes et documents officiels

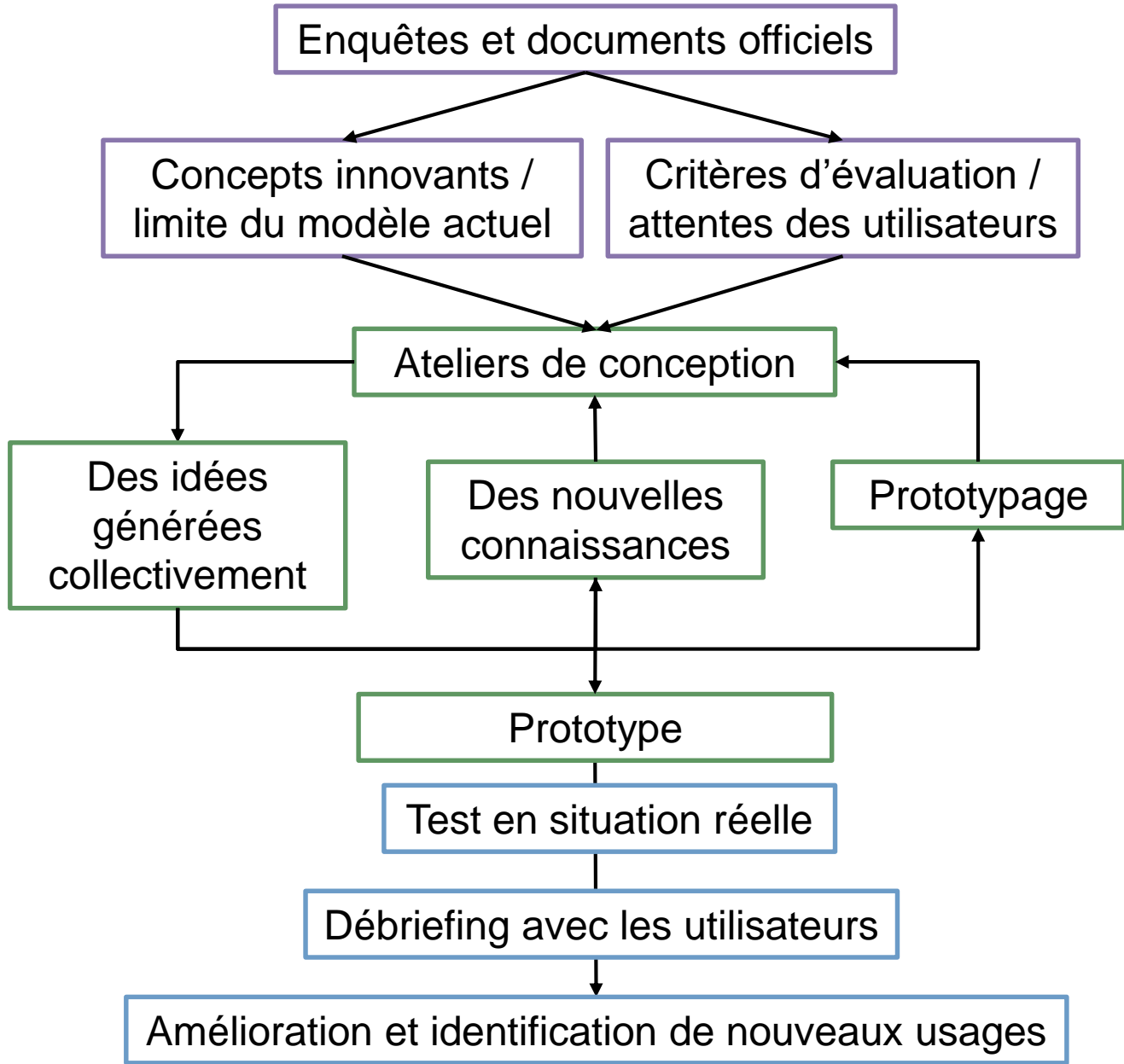
Principe de la méthode du bilan	Difficultés de mise en œuvre
Fixer un objectif de rendement en début de campagne (sortie hiver)	Pas de consensus sur la définition / la manière de le fixer
Estimation de la quantité d'azote minérale dans le sol en sortie hiver par une analyse de sol	Perception d'imprécision : interprétations arbitraires et procédure d'échantillonnage
Date d'apport calées sur des dates calendaires et/ou des stades de la culture	Période de sècheresse
Nutrition azotée non limitante tout au long du cycle	Difficulté à éviter les excès d'engrais

--	--

Diagnostic des usages

Processus de conception innovante

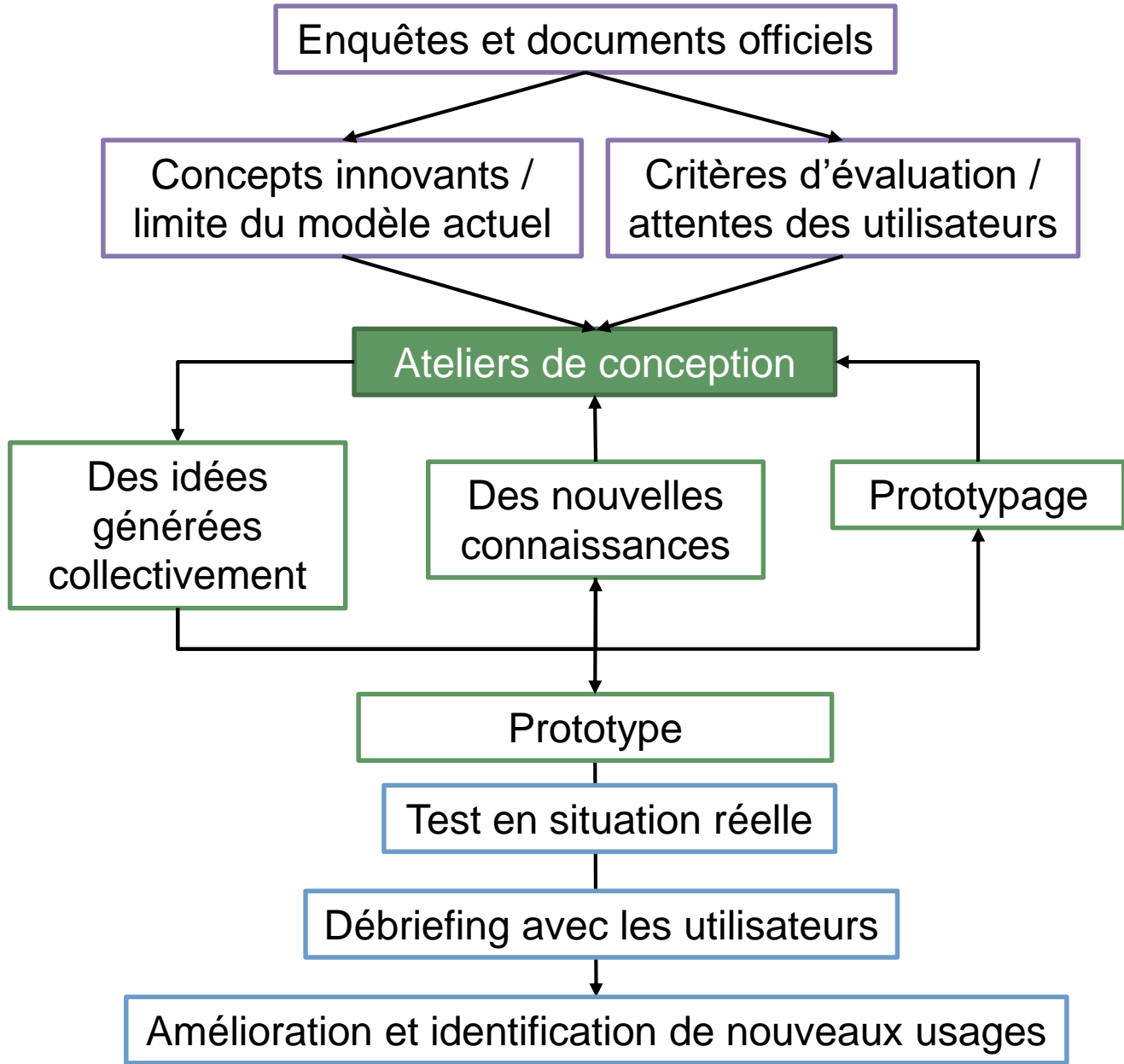
Test du prototype en situation d'usage



Diagnostic des usages

Processus de conception innovante

Test du prototype en situation d'usage



Ateliers KCP

Organiser la mise en œuvre d'une démarche de conception innovante

→ 4 dimensions (Hatchuel et al., 2009):

- Explore finement le potentiel d'innovation pour un concept
- Suppose et supporte les acteurs dans un processus en rupture avec les règles habituelles
- Permet de mobiliser, d'acquérir et de produire des connaissances
- Assure l'adhésion collective des nouvelles règles construites

→ Connaissance (K) – Concepts (C) – Proposition (P)

- **Phase K:** partage de connaissances
- **Phase C:** exploration de concepts projecteurs
- **Phase P:** construire une vision collective du problème et clarifier les solutions

Ateliers KCP

Préparation préalable (Berthet et al., 2016):

- Identification des participants à l'atelier

Table 1. Characteristics of the participants of the workshops with their specific areas of expertise

Institute	Field of expertise
INRA ¹	N dynamics in the soil
INRA	Gaseous N emission
INRA	Innovation in agronomy – design of decision support tools
INRA	Integrating uses into design approaches
Arvalis ² (Scientific Director)	Crop nutrition – N deficiency in wheat
Arvalis - National Responsible	Crop nutrition – N fertilizer type – N volatilization
Arvalis – Regional advisor	Regional conditions: oceanic climate and predominance of livestock farming (organic N)
Arvalis – Regional advisor	Regional conditions: intensive cereal production
Arvalis – Regional advisor	Regional conditions: dry Mediterranean climate/ diagnostic tool for fertilization practices
Arvalis	Responsible for the weather database, with expertise in climatic forecasting
ADEME ³	Energy in agriculture
INRA *	N deficiencies in crop growth and production / * N deficiencies in wheat crops
INRA *	Multidisciplinary approach to design in agriculture / * Running of the workshop
INRA and Arvalis*	Preparation du workshop. Presentation of the diagnosis of uses

¹National Institute for Agronomic Research;

²Arvalis, the French research and development technical institute for arable crops;

³French Environment and Energy Management Agency

* Participants with a specific role in the workshop (authors of the paper)

Ravier et al., 2017 (Submitted)

Ateliers KCP

Préparation préalable (Berthet et al., 2016):

- Identification des participants à l'atelier
- Elaboration de concepts projecteurs susceptibles de stimuler l'innovation dans des directions jusque là inexplorées

Diagnostic des usages 3 concepts projecteurs:

- La gestion de l'azote à d'autres échelles que la parcelle
- Tenir compte des possibilités d'apprentissage de l'agriculteur dans notre raisonnement
- Une méthode de fertilisation sans objectif de rendement (Ravier et al., 2016)

Ateliers KCP

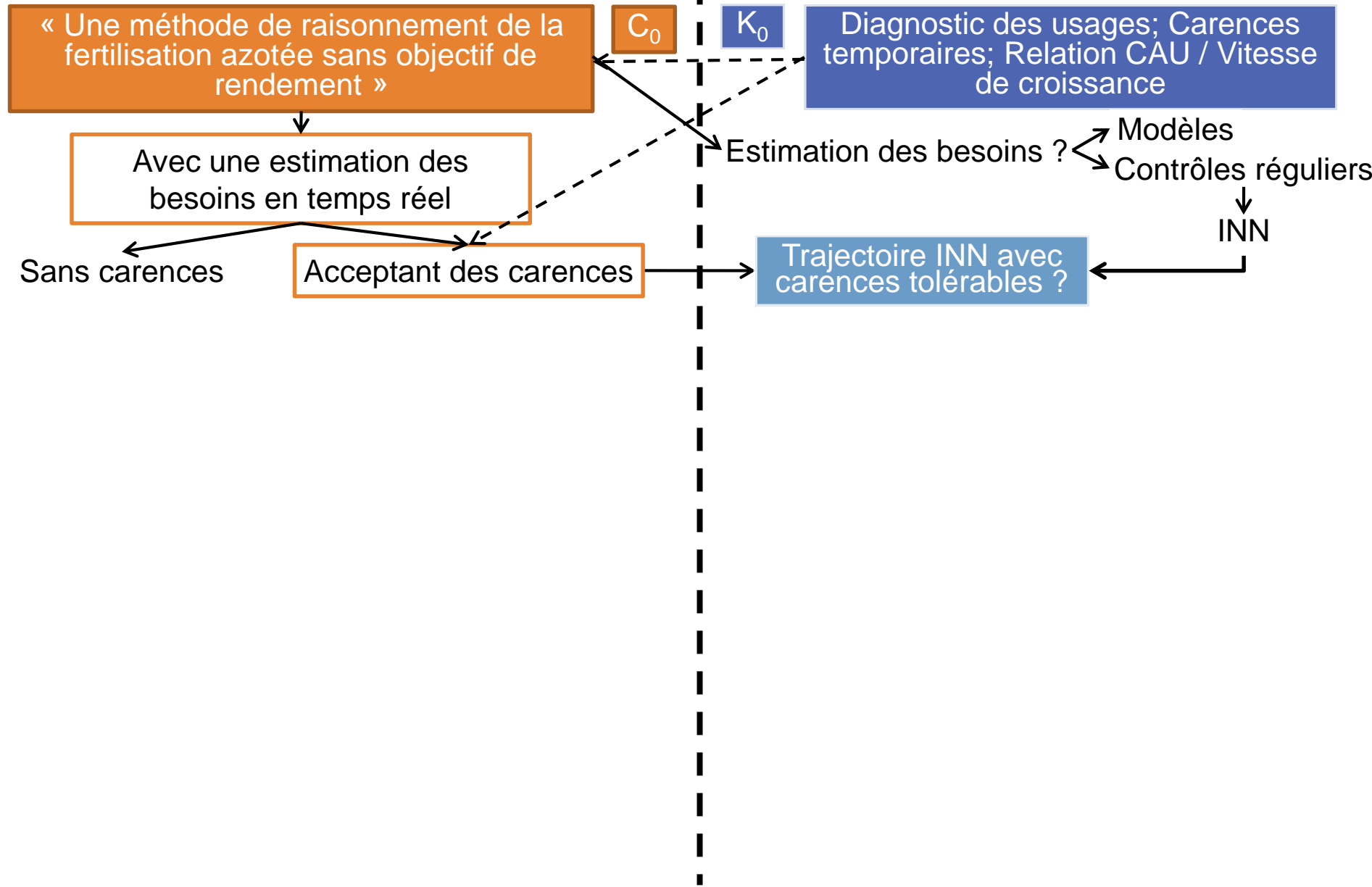
Préparation préalable (Berthet et al., 2016):

- Identification des participants à l'atelier
- Elaboration de concepts projecteurs susceptibles de stimuler l'innovation dans des directions jusque là inexplorées
- Connaissances utiles pour alimenter la phase K

Des connaissances qui permettraient de maximiser l'efficacité d'utilisation des engrais mais qui ne sont pas valorisées dans le paradigme actuel:

- Périodes de carences en azote non préjudiciables (Jeuffroy et Bouchard, 1999)
- Notion de trajectoire de nutrition azotée (Jeuffroy et al., 2013)
- Indicateur de nutrition azotée (INN) (Lemaire et al., 1997)
- Vitesse de croissance au moment de l'apport (Limaux et al., 1999)

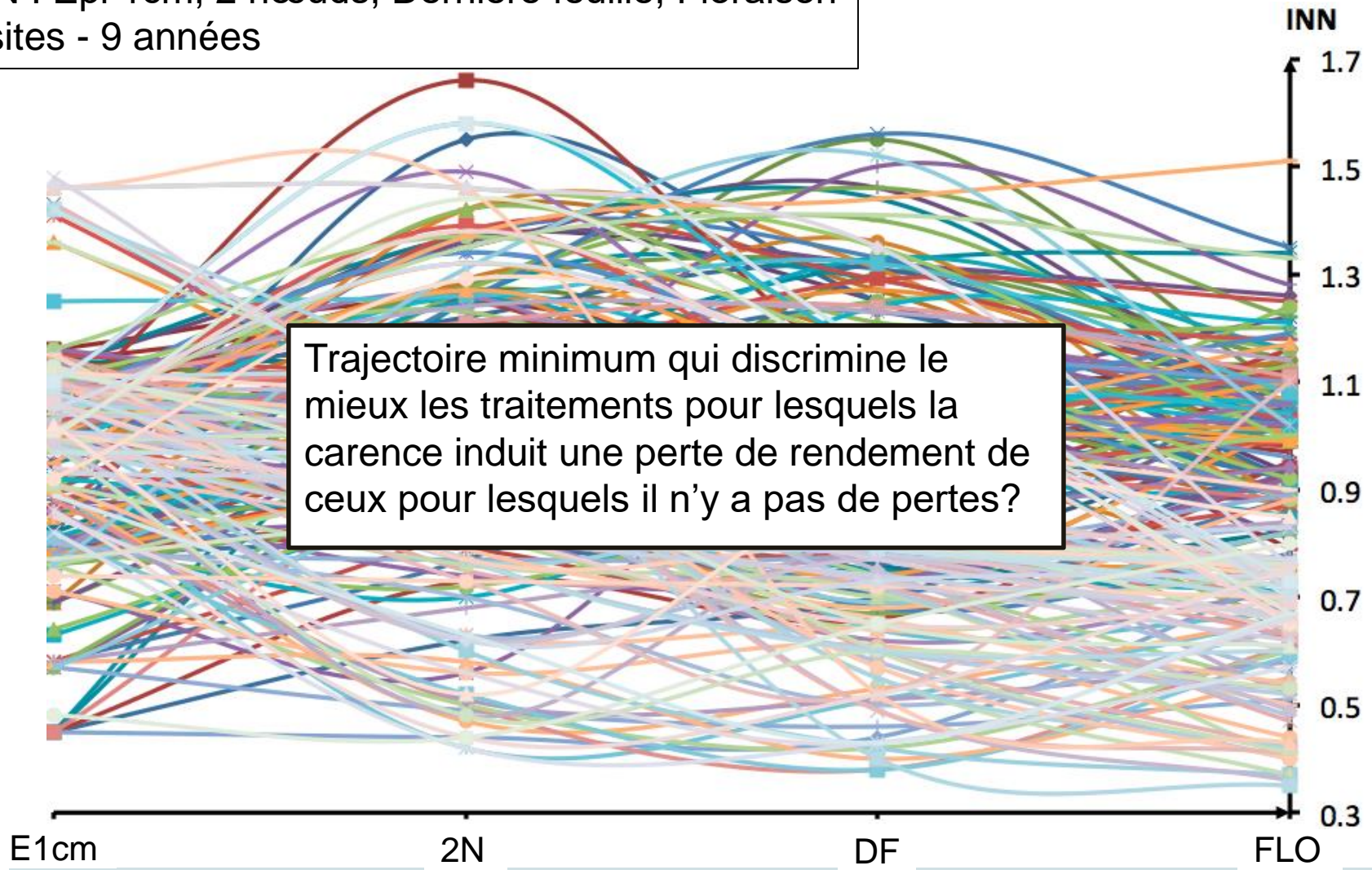
Ateliers KCP



Trajectoire d'INN avec carences tolérables

Trajectoire d'INN avec carences tolérables

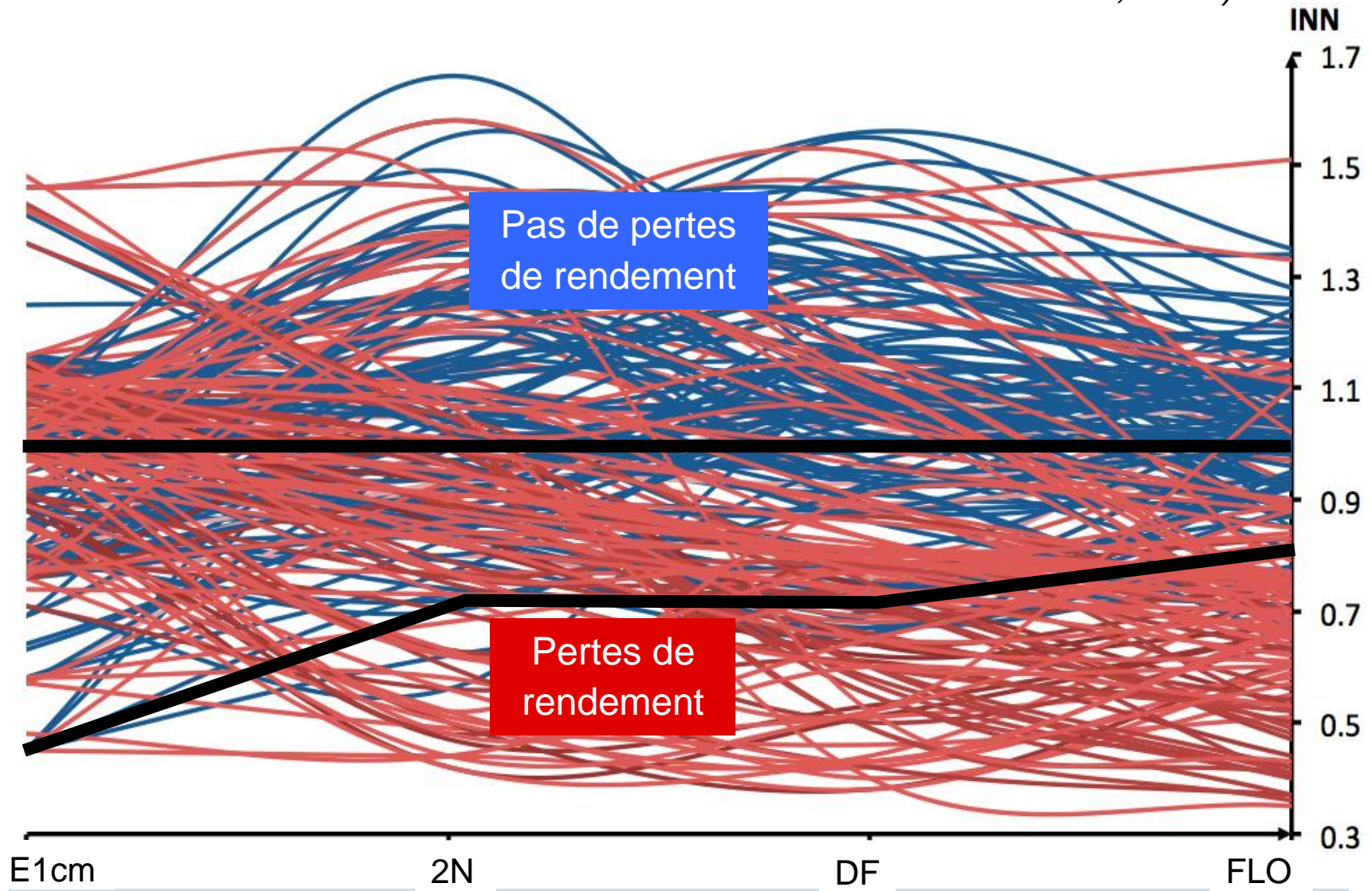
- 209 Traitements
- Issus d'essais Azote
- INN : Epi 1cm; 2 nœuds; Dernière feuille; Floraison
- 5 sites - 9 années



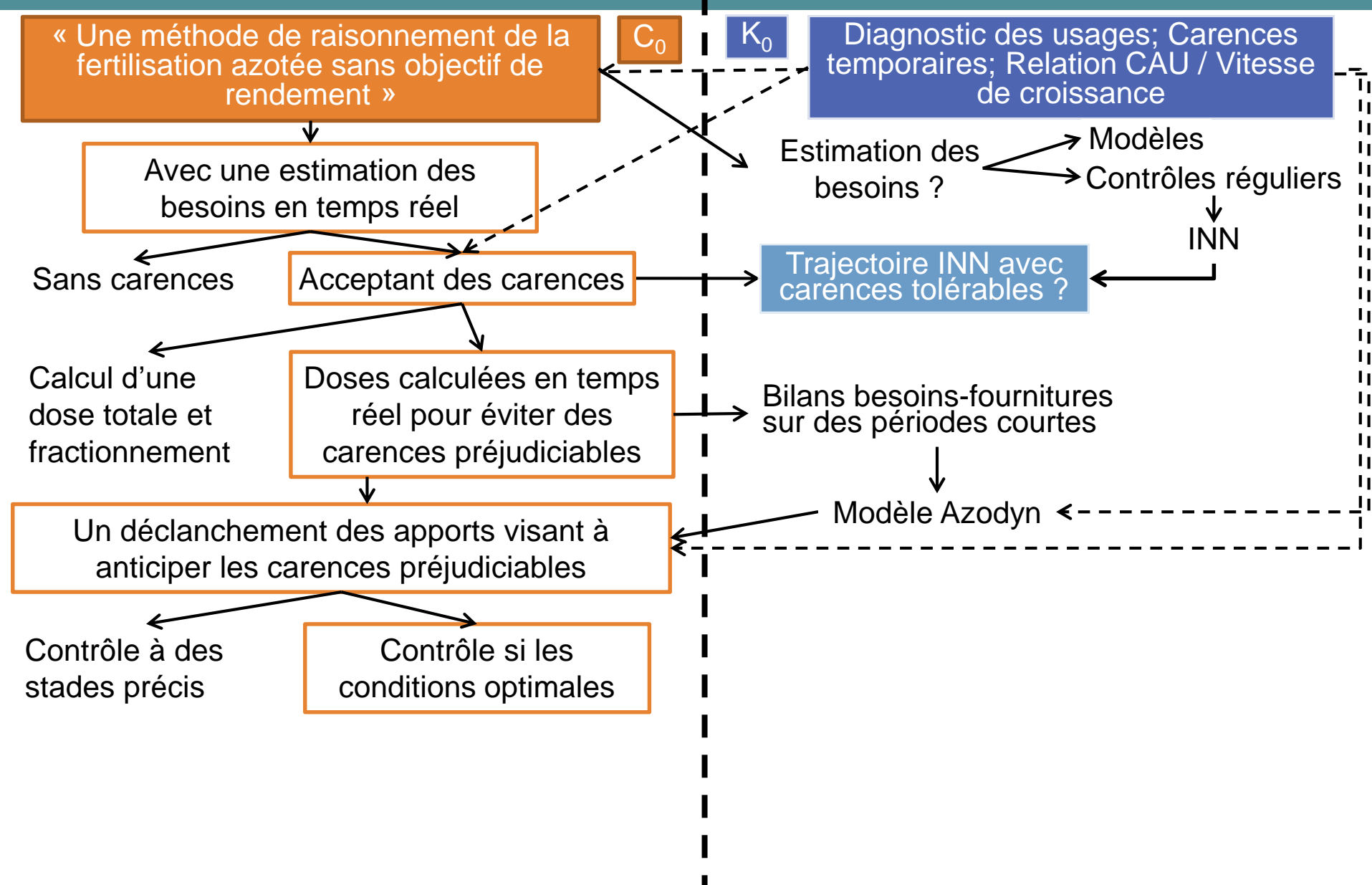
Trajectoire d'INN avec carences tolérables

Courbes ROC (Receiver-Operating Characteristic)

(Makowski et al., 2005; Delacour et al., 2005)

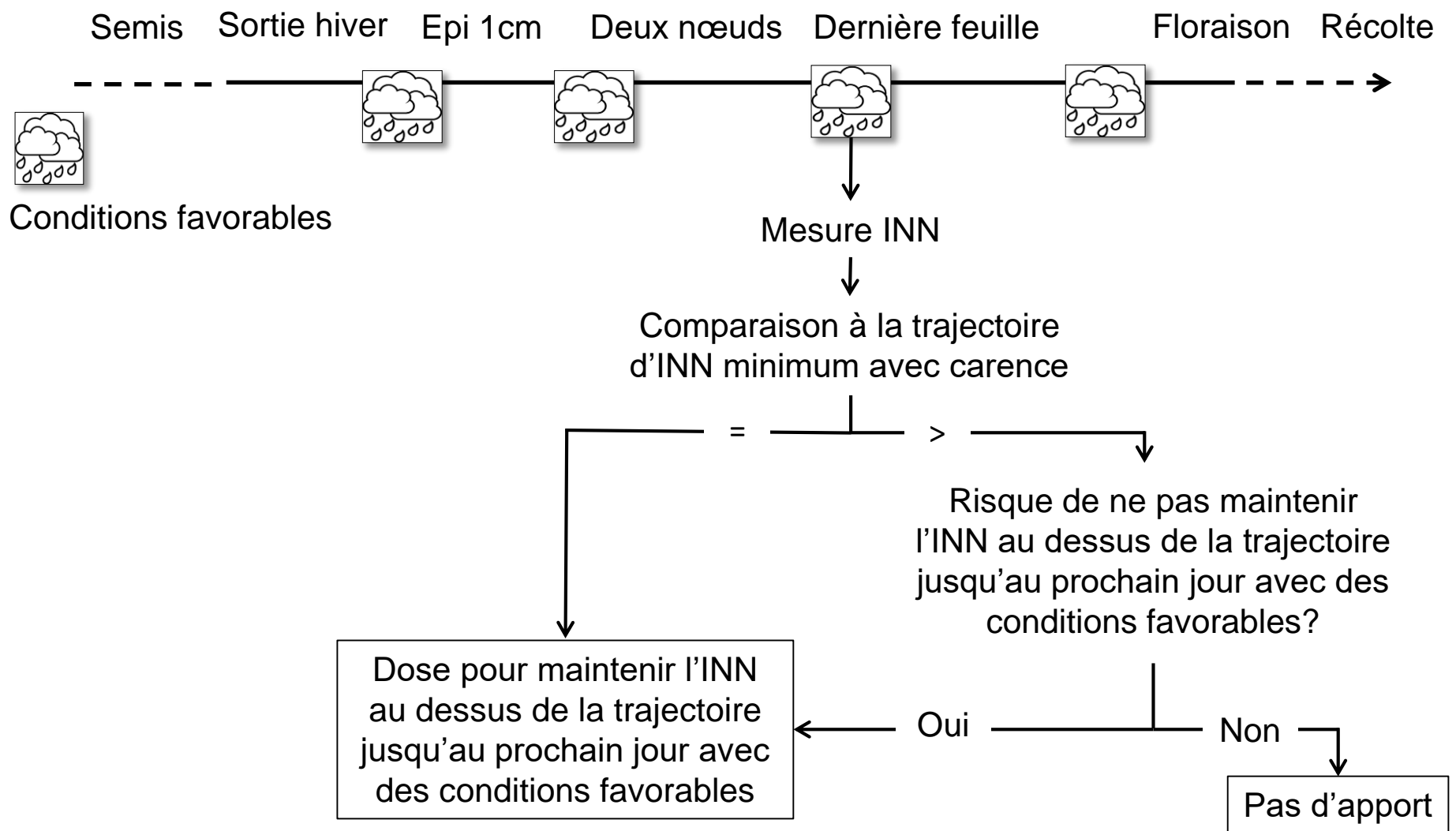


Ateliers KCP

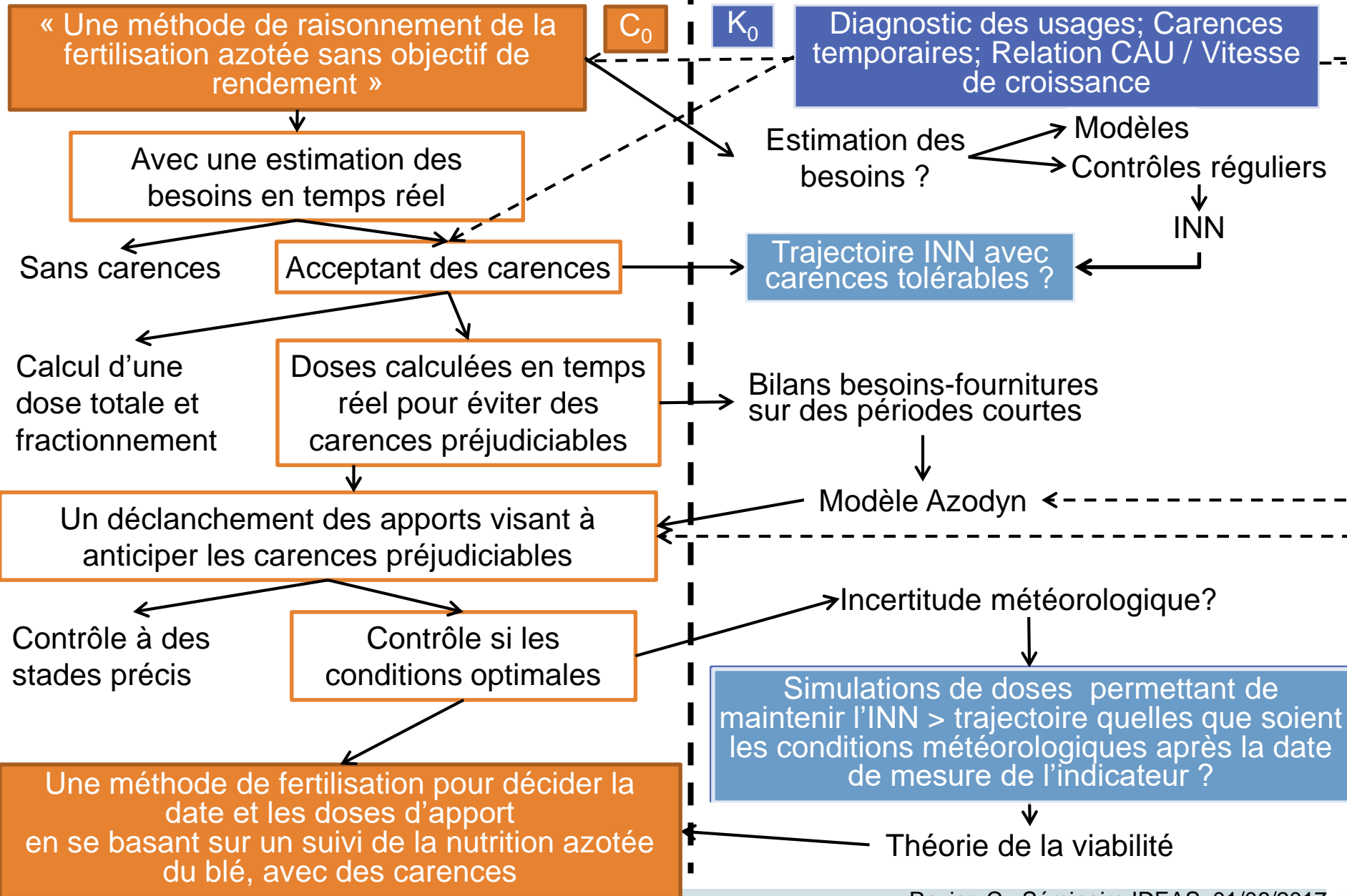


Phase P: synthèse de l'exploration

Une méthode de fertilisation pour décider la date et les doses d'apport en se basant sur une trajectoire de nutrition azotée, avec des carences



Ateliers KCP



Construction des règles de décision

Azodyn : simuler l'effet des choix des dates et des doses

Théorie de la viabilité: trier et évaluer les simulations

Toutes les stratégies de fertilisation possibles:

- ❖ Des scénarios climatiques :
20 années passées
- ❖ Des jours de contrôle:
Conditions favorables
- ❖ Des options de fertilisation:
0, 40, 60, 80 ou 100 kg N ha⁻¹

Critères de viabilité (*Aubin, 2010; Sabatier et al., 2015*):

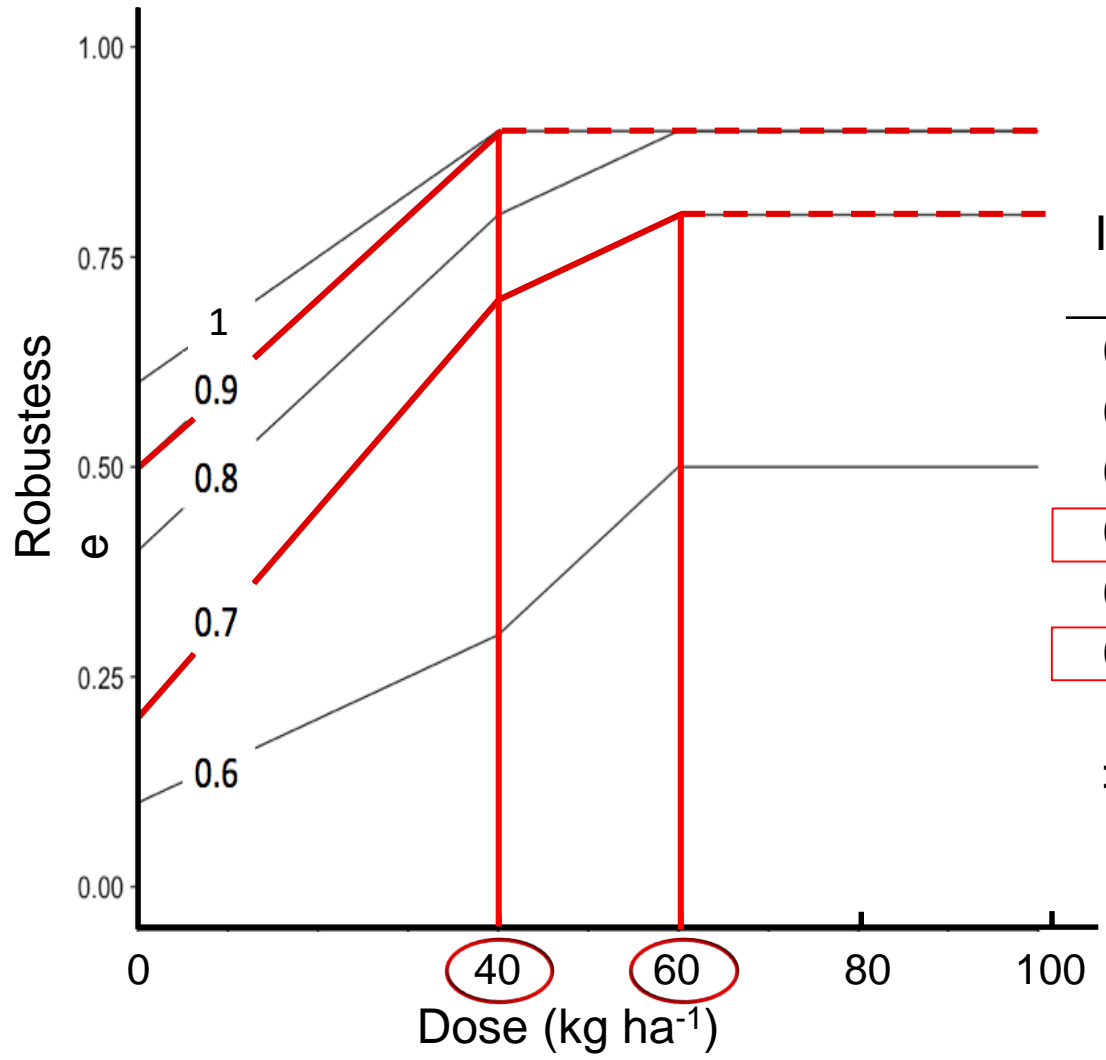
- ❖ INN au dessus de la trajectoire minimum de sortie hiver à floraison
- ❖ Pertes d'azote sous la culture < 20 kg ha⁻¹

Evaluer la robustesse des options de fertilisation:

$$R = \frac{\text{Nb années où [dose, date, INN] viable}}{\text{Nb années où [dose, date, INN] simulée}}$$

Construction des règles de décision

Du 15 mars au 31 mars

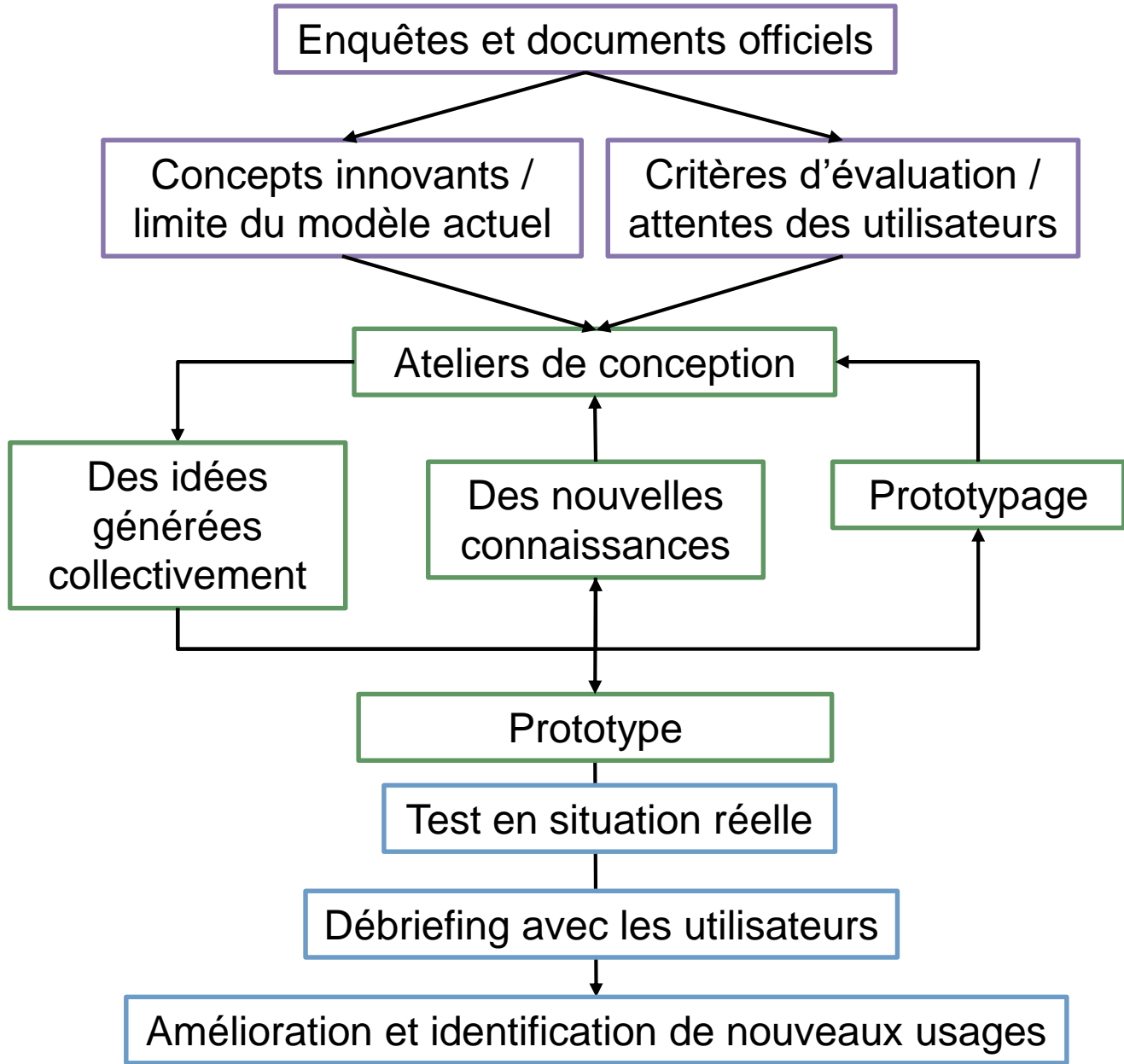


INN	1 ^{er} - 15 mars	15 - 31 mars	1 ^{er} - 15 avril	...
0.4	40			
0.5	40	60		
0.6	40	60		
0.7	40	60	100	
0.8	0	60	80	
0.9	0	40	60	
1	0	40	40	
> 1	0	0	0	

Diagnostic des usages

Processus de conception innovante

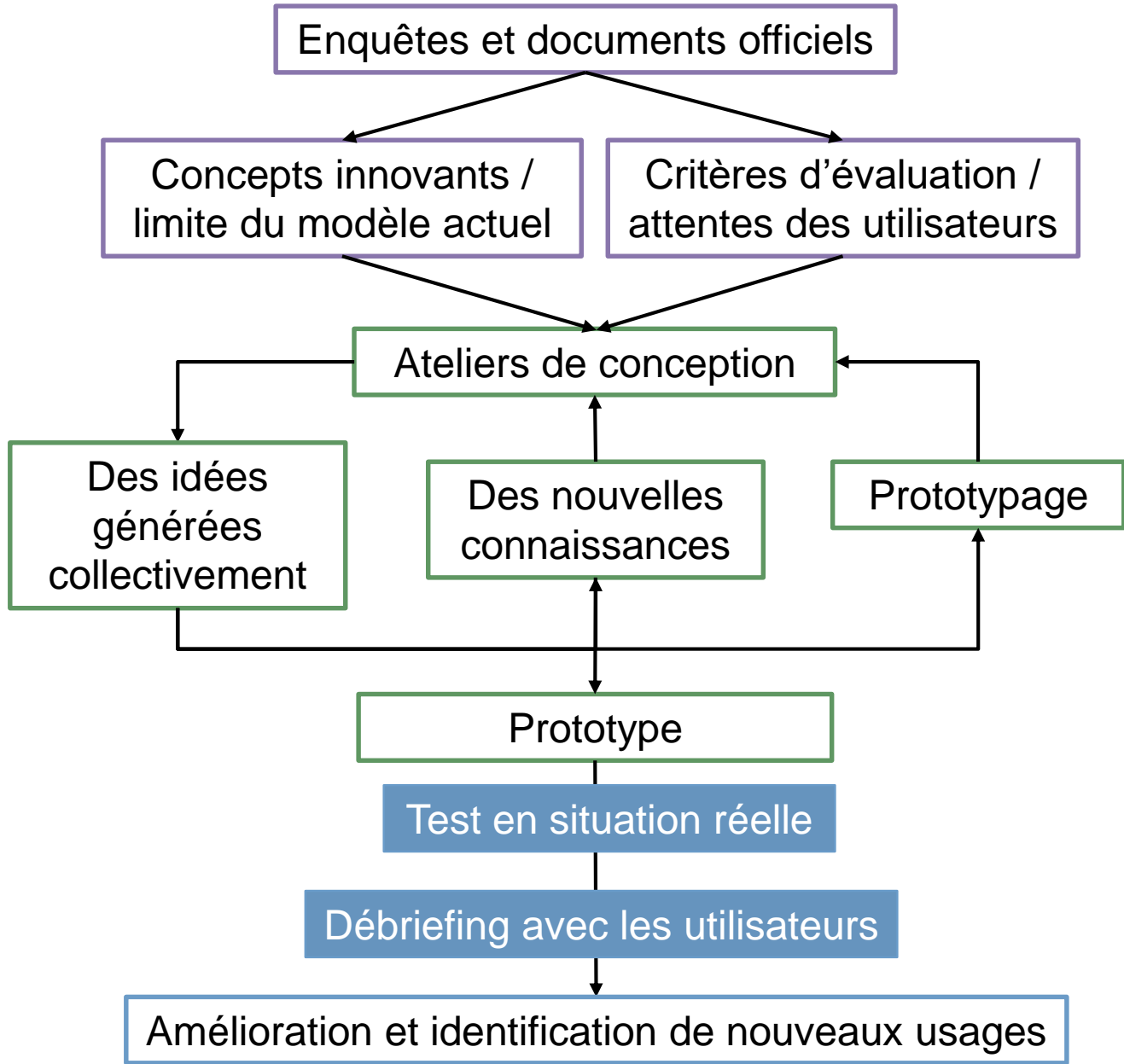
Test du prototype en situation d'usage



Diagnostic des usages

Processus de conception innovante

Test du prototype en situation d'usage



Dispositif

Test:

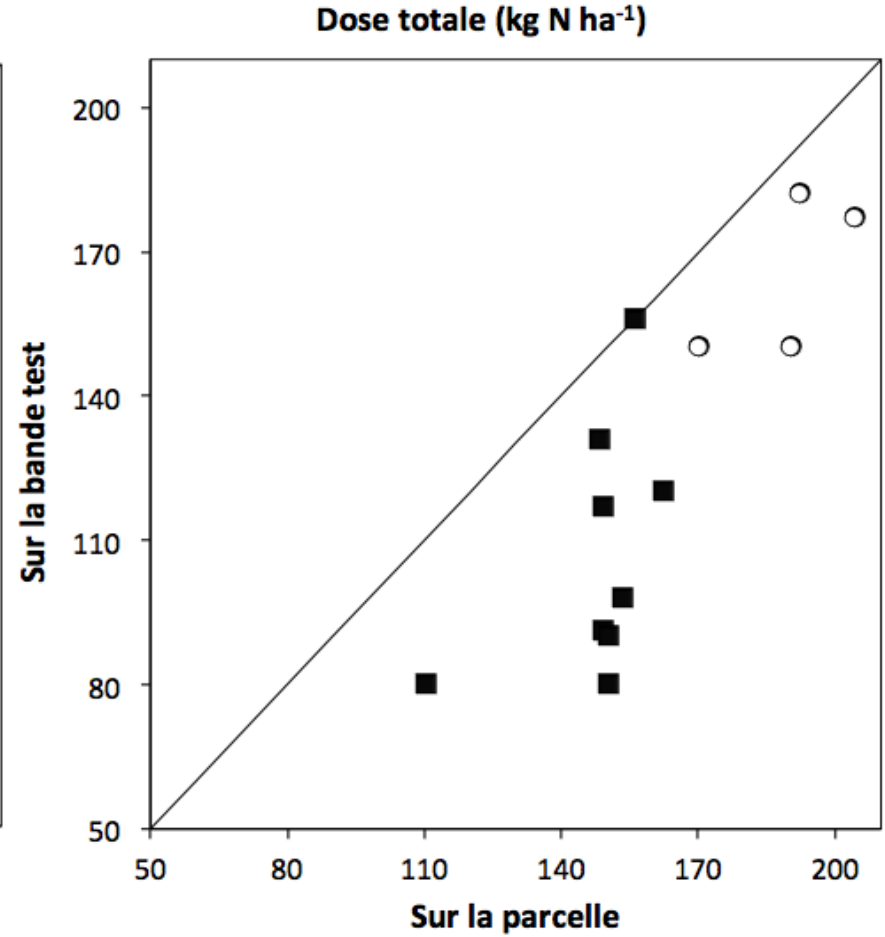
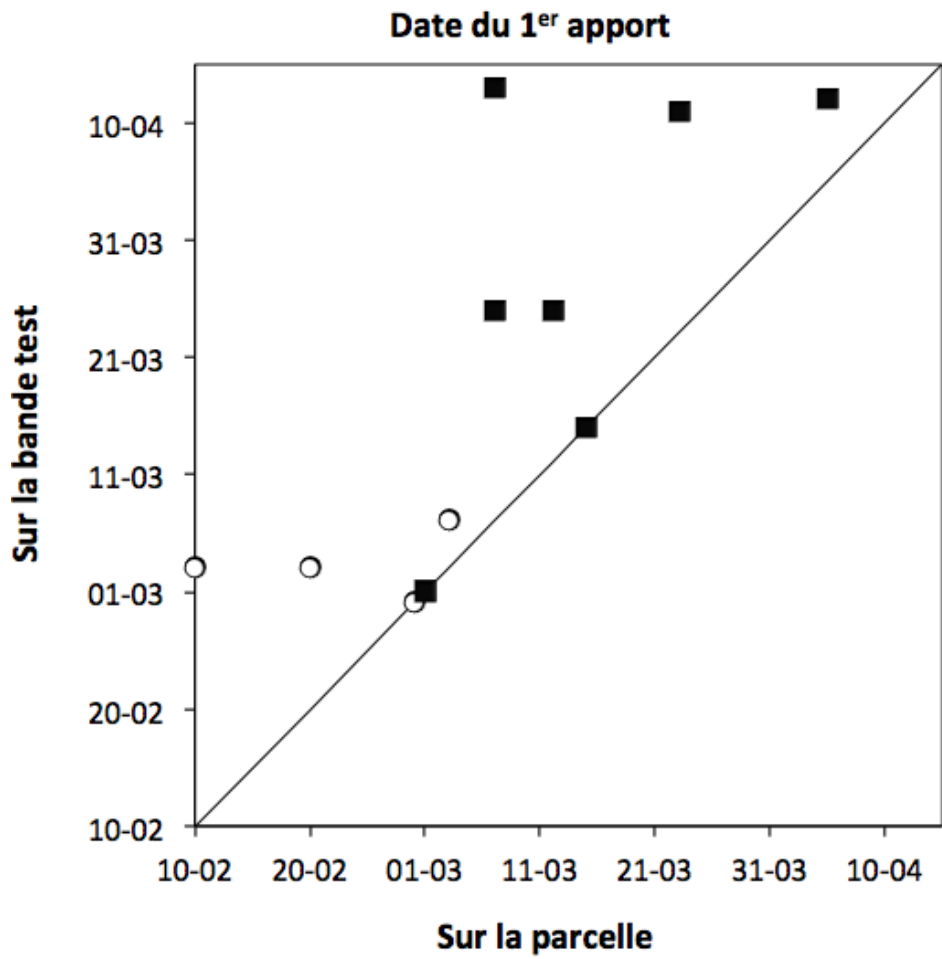
- 2 groupes d'agriculteurs – Normandie et Nouvelle Aquitaine
- Mettre en œuvre la procédure de suivi et de fertilisation sur une bande test
- Noter les observations faites



INN	1 ^{er} - 15 mars	15 - 31 mars	1 ^{er} -15 avril	...
0.4	40			
0.5	40	60		
0.6	40	60		
0.7	40	60	100	
0.8	0	40	80	
0.9	0	40	60	
1	0	40	40	
> 1	0	0	0	

Résultats

Des changement de pratiques



- Normandie
- Nouvelle Aquitaine

Résultats

Des usages inattendus

- ❖ Suivre la dynamique de l'azote
« C'est intéressant d'avoir plusieurs mesures parce que ça montre si l'INN monte ou descend et comment est-ce que ça évolue »

- ❖ Interpréter la fourniture en azote du sol
« Je n'ai pas apporté d'engrais sur la bande test mais finalement l'INN n'a pas chuté, ça veut dire qu'il y avait de l'azote dans le sol »

- ❖ Apprendre
« L'avantage de cette méthode c'est qu'elle permet d'apporter des éléments techniques. La mesure de l'INN c'est concret et la trajectoire d'INN est une bonne référence technique pour l'interpréter »
« Le pilotage avec l'INN c'est aller de la mesure à la décision par un agriculteur « comprenant » »

Vers un nouveau paradigme de la fertilisation azotée

- Pas de dose a priori
- Carences acceptées
- Indicateur plante au service de la décision
- Apprentissage et autonomisation

Intégrer les usages dans la conception innovante conduite avec la théorie C-K

- Pertinente pour les utilisateurs
- Connaissances actionnables

Merci pour votre attention

Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée du blé: Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation

Clémence RAVIER

Directeur de thèse: Jean-Marc MEYNARD

Co-Encadrants: Marie-Hélène Jeuffroy (INRA), Jean-Pierre Cohan (Arvalis)



Teneur en protéine (%) simulée

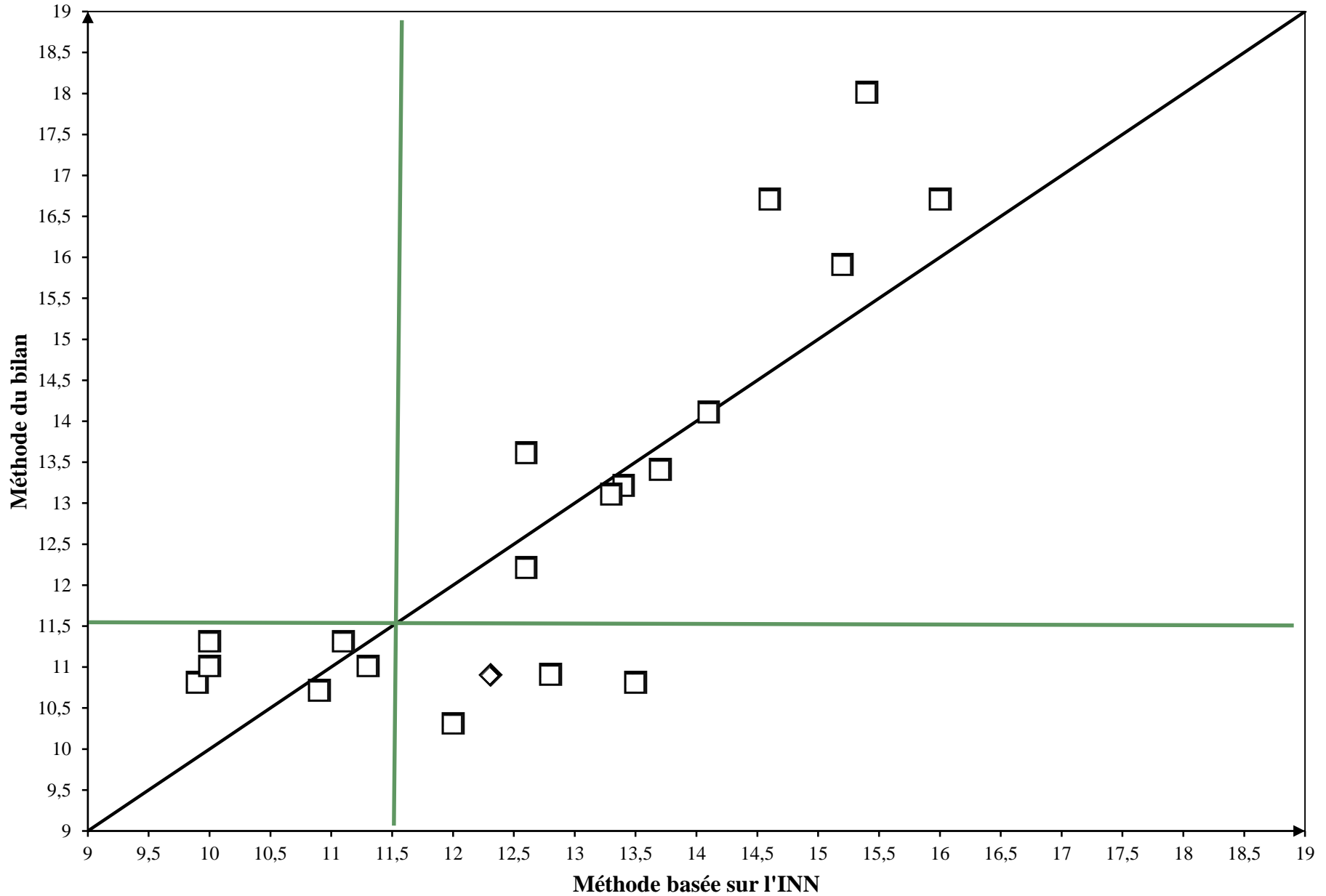


Table 2. Detailed results for the 9 I_{thresh} achieving J_{max} for at least one of the ten YG_{thresh} , from a to i: mean sensitivity, specificity and Youden index (J) for the 10 YG_{thresh} ; standard deviation of the difference between J and J_{max} for the YG_{thresh} ; number of times (out of ten YG_{thresh}) for which $J > 0.6$ and $J = J_{max}$ observed for the I_{thresh} .

I_{thresh}	INN _{Z30}	INN _{Z32}	INN _{Z39}	INN _{Z60}	Mean sensitivity	Mean specificity	Mean J	Standard deviation ($J - J_{max}$)	Number of YG_{thresh} groups with $J > 0.6$	Number of YG_{thresh} groups with $J = J_{max}$
a	0.4	0.7	0.7	0.9	0.79	0.84	0.64	0.02	10	1
b	0.4	0.7	0.6	0.9	0.81	0.84	0.65	0.03	10	3
c	0.4	0.7	0.7	0.8	0.90	0.78	0.68	0.06	8	4
d	0.4	0.6	0.7	0.8	0.90	0.76	0.66	0.07	8	1
e	0.4	0.5	0.7	0.8	0.90	0.75	0.66	0.07	7	1
f	0.4	0.4	0.7	0.8	0.90	0.75	0.66	0.07	7	1
g	0.4	0.7	0.6	0.8	0.92	0.75	0.66	0.07	8	2
h	0.4	0.6	0.6	0.8	0.92	0.73	0.65	0.08	8	1
i	0.4	0.5	0.6	0.8	0.92	0.72	0.64	0.08	7	1

Construction des règles de décision

Azodyn : simuler l'effet des choix des dates et des doses

Théorie de la viabilité: trier et interpréter les sorties

Simuler toutes les stratégies de fertilisation possibles:

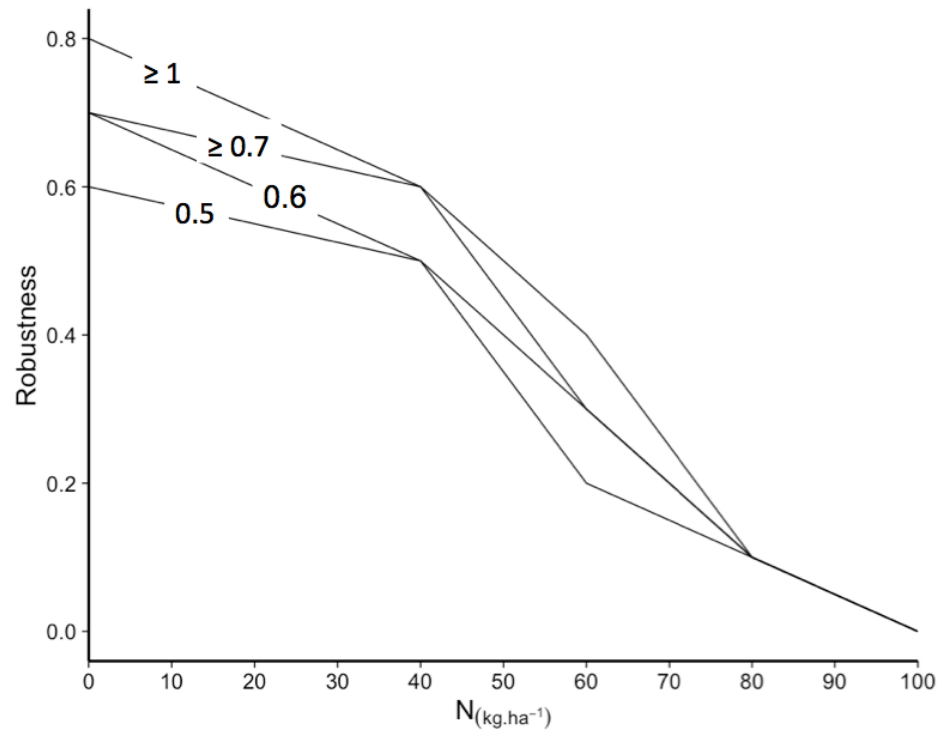
- Pour 20 années climatiques
- Des apports réalisés quand les conditions sont favorables

Date	Février 15-29	Mars 1-15	Mars 16-31	Avril 1-15	Avril 16-30	Mai 1-13	Nombre d'apports possibles / année
Stade	Z25 (tallage)	Z29 (fin tallage)	Z31 (Epi 1cm)	Z32 (2 noeuds)	Z37 (dernière feuille)	Z40 (Gonflement)	
Années							
1995	15	8	23	-	-	4	4
1998	15	2	25	9	24	9	6
2000	23	10	25	9	26	-	5
2002	26	-	-	-	23	-	2
2005	15	2	20	-	-	5	4
2008	15	7	27	15	30	-	5
2012	15	8	-	2	-	-	3
2014	15	2	28	-	28	-	4

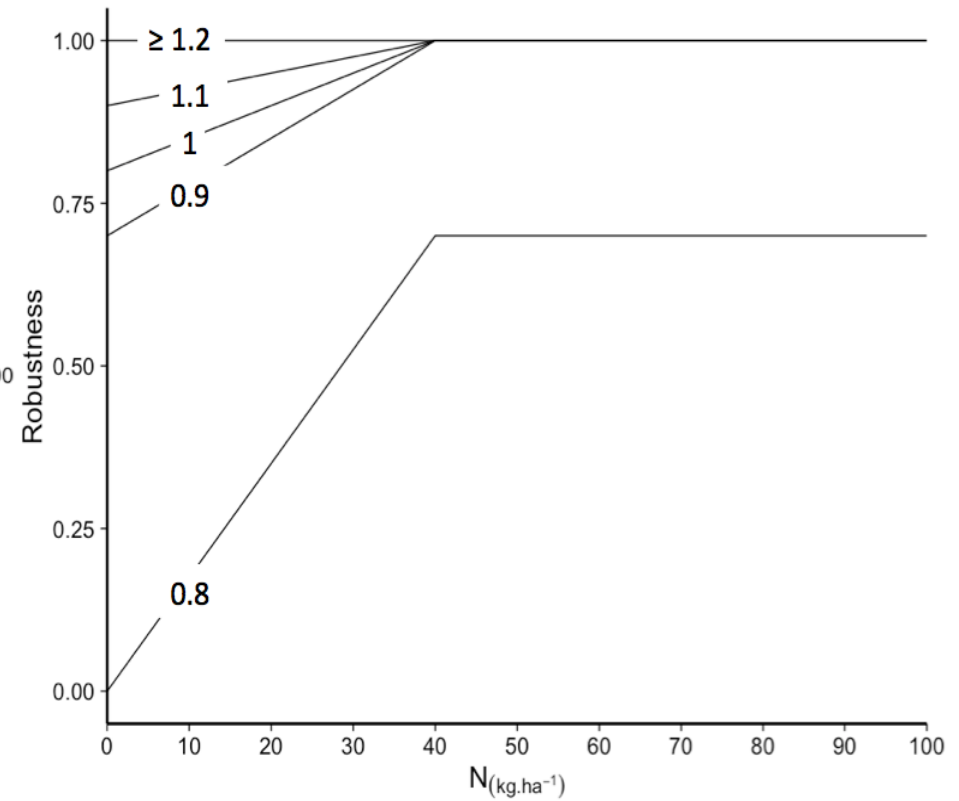
- pas de conditions favorables sur la période

Construction des règles de décision

Z25



Z40



Courbes ROC (Receiver-Operating Characteristic)

(Makowski et al., 2005;
Delacour et al., 2005)

1) Trier les traitements en 2 groupes:

Pertes de
rendement

Pas de pertes
de rendement

- ❖ Yield Gap = écart de rendement entre traitement et le rendement maximum de l'essai
- ❖ Perte de rendement significative?
 - Pas de consensus
 - Plus Petite Différence Significative non constante
 - Ecart de rendement de 0.1 t.ha^{-1} à 1.6 t.ha^{-1}
- Fixer une gamme de Yield Gap allant de 0 à 1 t.ha^{-1} , avec un pas de 0.1 t.ha^{-1}
- Trajectoire la plus discriminante quelque soit la valeur de Yield Gap

Courbes ROC (Receiver-Operating Characteristic)

- 2) Comparer les trajectoires d'INN des traitements à des trajectoires d'INN théoriques
 - ❖ Toutes les trajectoires avec carences possibles + 1 trajectoire sans carence
 - 2401 trajectoires théoriques à tester

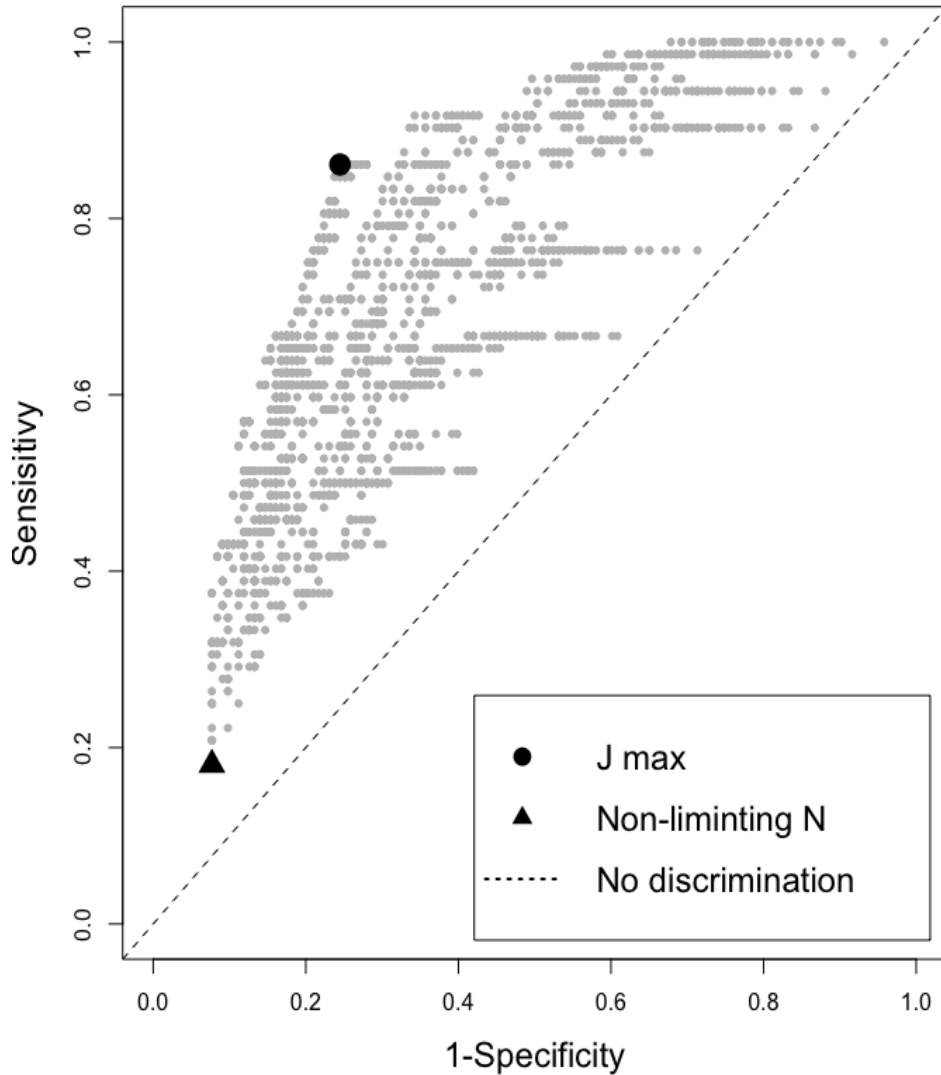
	Trajectoire INN traitement / Trajectoire INN théorique	
Pertes	Au-dessus	Au moins un INN en-dessous
Non	INN traitement = INN théorique & Pas de pertes de rendement SENSIBILITE	INN traitement < INN théorique & Pas de pertes de rendement
Oui	INN traitement > INN théorique & Pertes de rendement	INN traitement = INN théorique & Pertes de rendement SPECIFICITE

$$\text{Youden Index (J)} = \text{Sensibilité} + \text{Spécificité} - 1$$

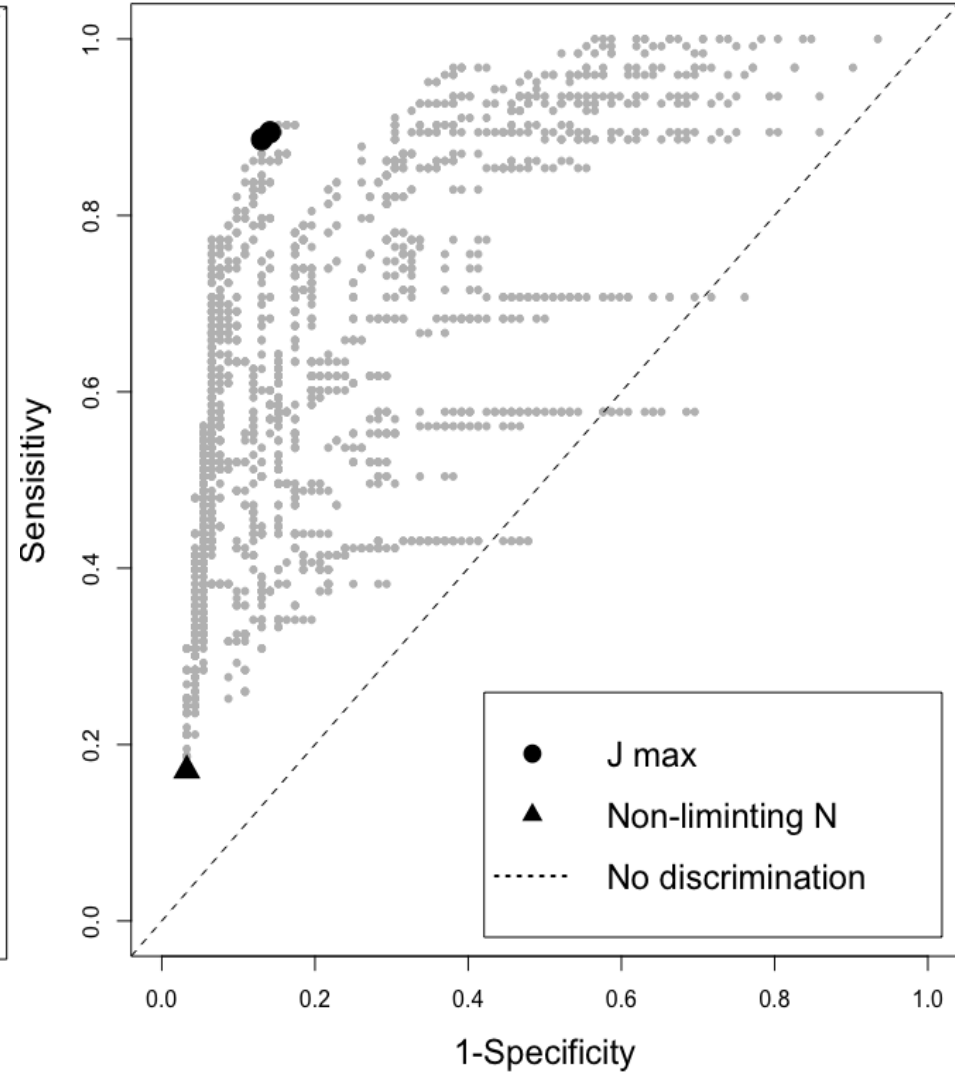
(Youden, 1950;
Ruopp et al., 2008)

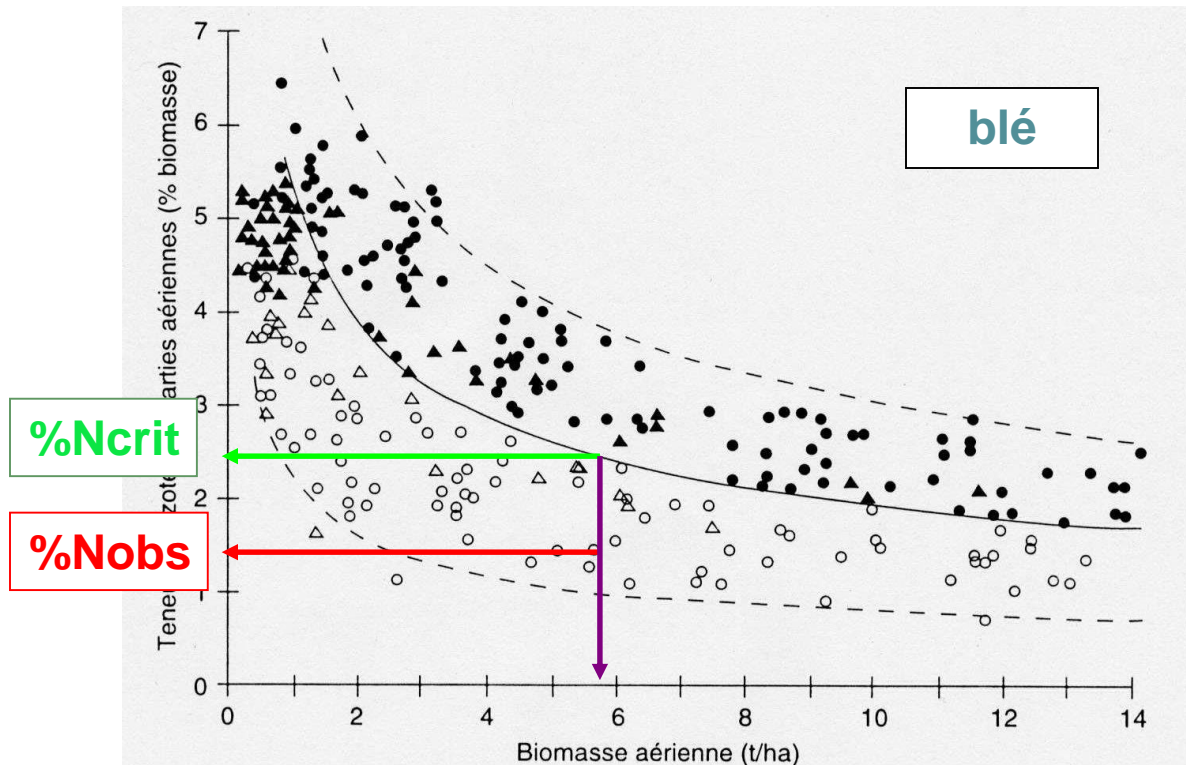
Trajectoire d'INN minimum avec carence(s)

YG $\leq 0.1 \text{ t.ha}^{-1}$



YG $\leq 1.0 \text{ t.ha}^{-1}$





Indice de nutrition azotée : $INN = \%Nobs / \%Ncrit$

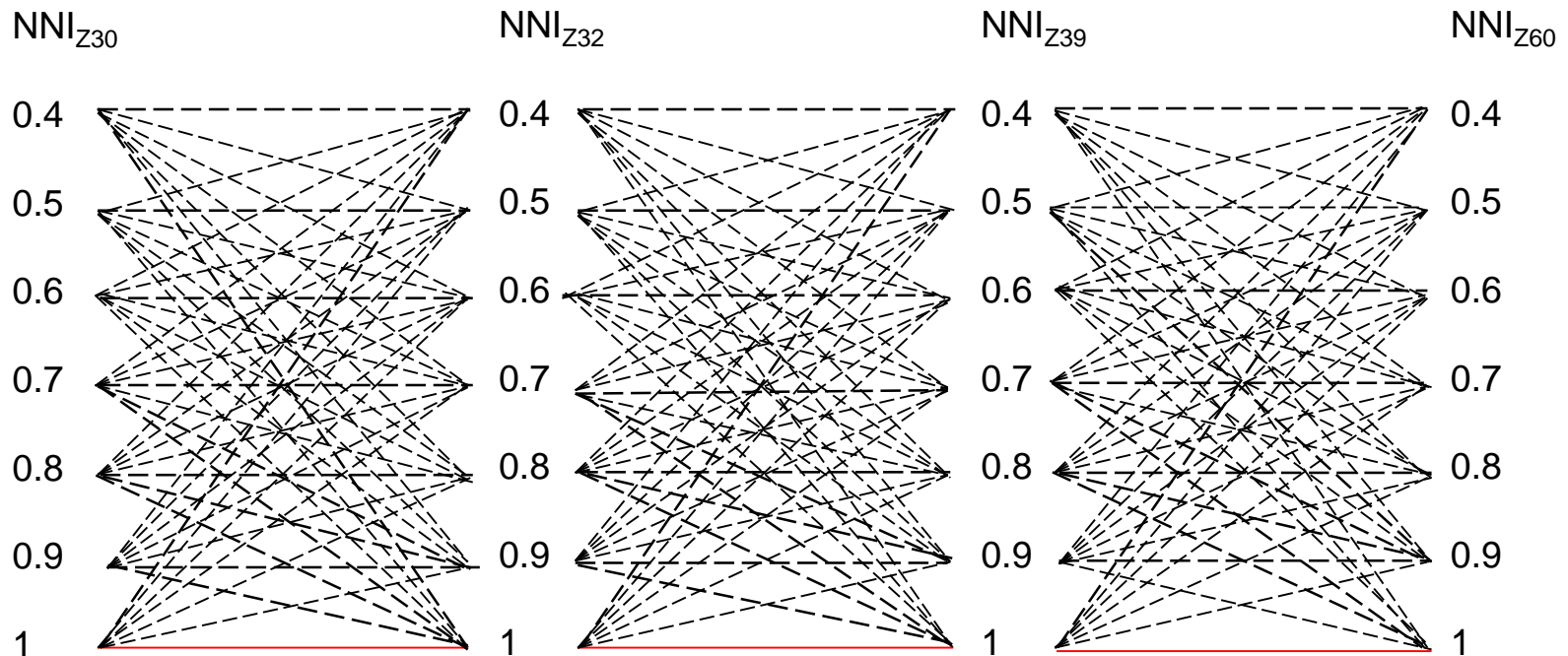
$INN \geq 1 \Rightarrow$ l'azote n'est pas limitant de la croissance du blé

$INN < 1 \Rightarrow$ la culture est en carence azotée

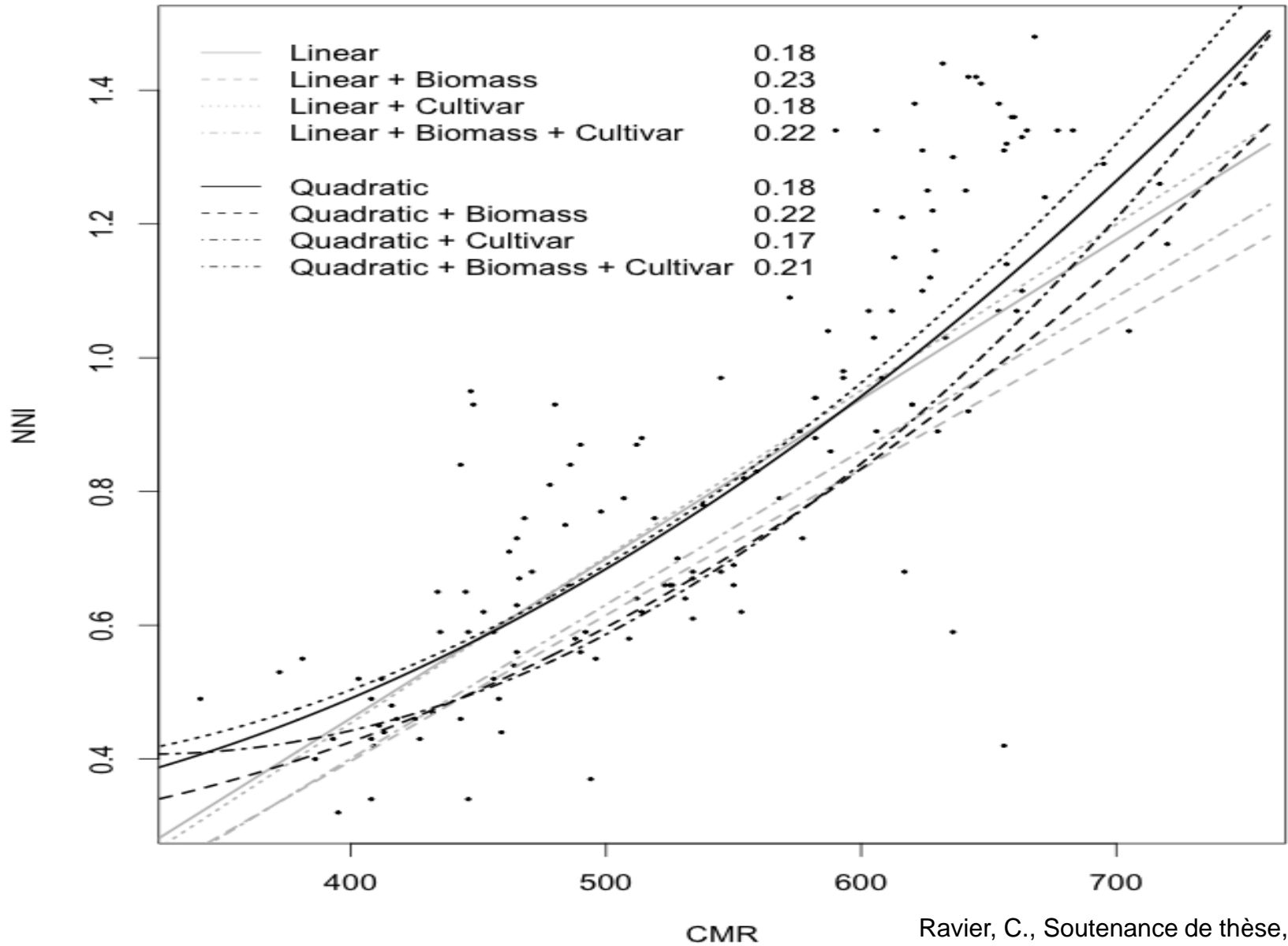
L'intensité de la carence est d'autant plus forte que l'INN est faible

Quelles trajectoires d'INN avec des carences tester?

- ✓ Toutes les trajectoires avec carences possibles
- ✓ 1 Trajectoire sans carence
- ✓ Elaboration de 2401 trajectoire à tester: $2401 I_{thresh}$



MODELS - GS 6 - CMR



Conclusion intermédiaires:

- La forme du modèle varie selon le stade. En début de cycle on a des bonnes relations linéaires ou quadratiques, en fin de cycle, on est plus sur des formes exponentielles.
- La variété est la variable explicative qui permet le mieux d'améliorer le modèle
- La biomasse dans la plupart des cas, augmente l'erreur, mais peut améliorer la précision du modèle...? Creuser comment prendre en compte la biomasse
- Pour que l'utilisation des valeurs normalisées donnent des résultats satisfaisant (meilleurs que les données absolues) il faut "nettoyer" la base de données et ne garder que les essais qui ont bien un traitement sur fertilisé ($INN > 1$) et seulement les traitements avec une valeur normalisée est ≥ 1 .

=> On ne montre pas d'intérêt à prendre la valeur normalisée