



Modèle CHN
ARVALIS - Institut du végétal

Mise au point d'un nouvel outil de pilotage de l'azote, basé sur le modèle de culture CHN

ARVALIS
Institut du végétal





Au programme

- ❖ Le modèle de culture CHN, quèsaco ?
- ❖ Gestion de la fertilisation N : rappel du contexte
- ❖ Valorisation de CHN pour le pilotage intégral de l'azote et mise au point des règles de décision (RDD)
- ❖ Synthèse 2018 CHN-conduite : performances agronomiques
- ❖ Cas d'intérêt : couplage capteur



Au programme

- ❖ Le modèle de culture CHN, quèsaco ?
- ❖ Gestion de la fertilisation N : rappel du contexte
- ❖ Valorisation de CHN pour le pilotage intégral de l'azote et mise au point des règles de décision (RDD)
- ❖ Synthèse 2018 CHN-conduite : performances agronomiques
- ❖ Cas d'intérêt : couplage capteur



Modèle de culture CHN

☐ 3 modules :

C : Humique (AMG) H : Hydrique (Billy) N : Azoté (Arvazote)

☐ 3 compartiments

Sol (fonctions de pédotransfert)

Plante (Indice foliaire, Biomasse, Azote absorbé et bientôt rendement)

Atmosphère (données météo)



Précipitation
Irrigation



Rayonnement
Température



Le modèle simule des
stocks et des flux

Par jours
Par tranches de 1cm

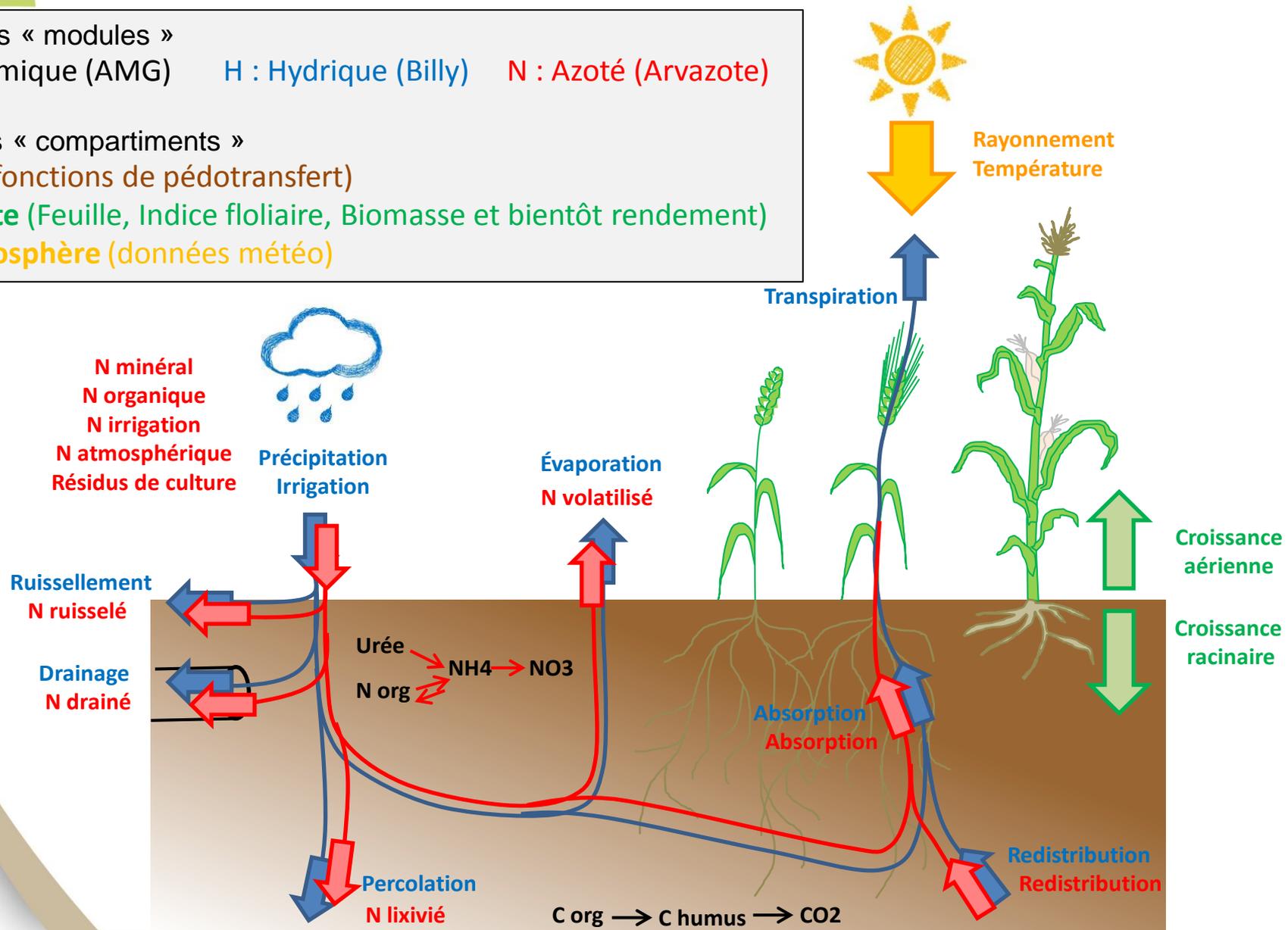




Modèle CHN :

le cycle du Carbone (C), de l'eau (H₂O) et de l'azote (N)

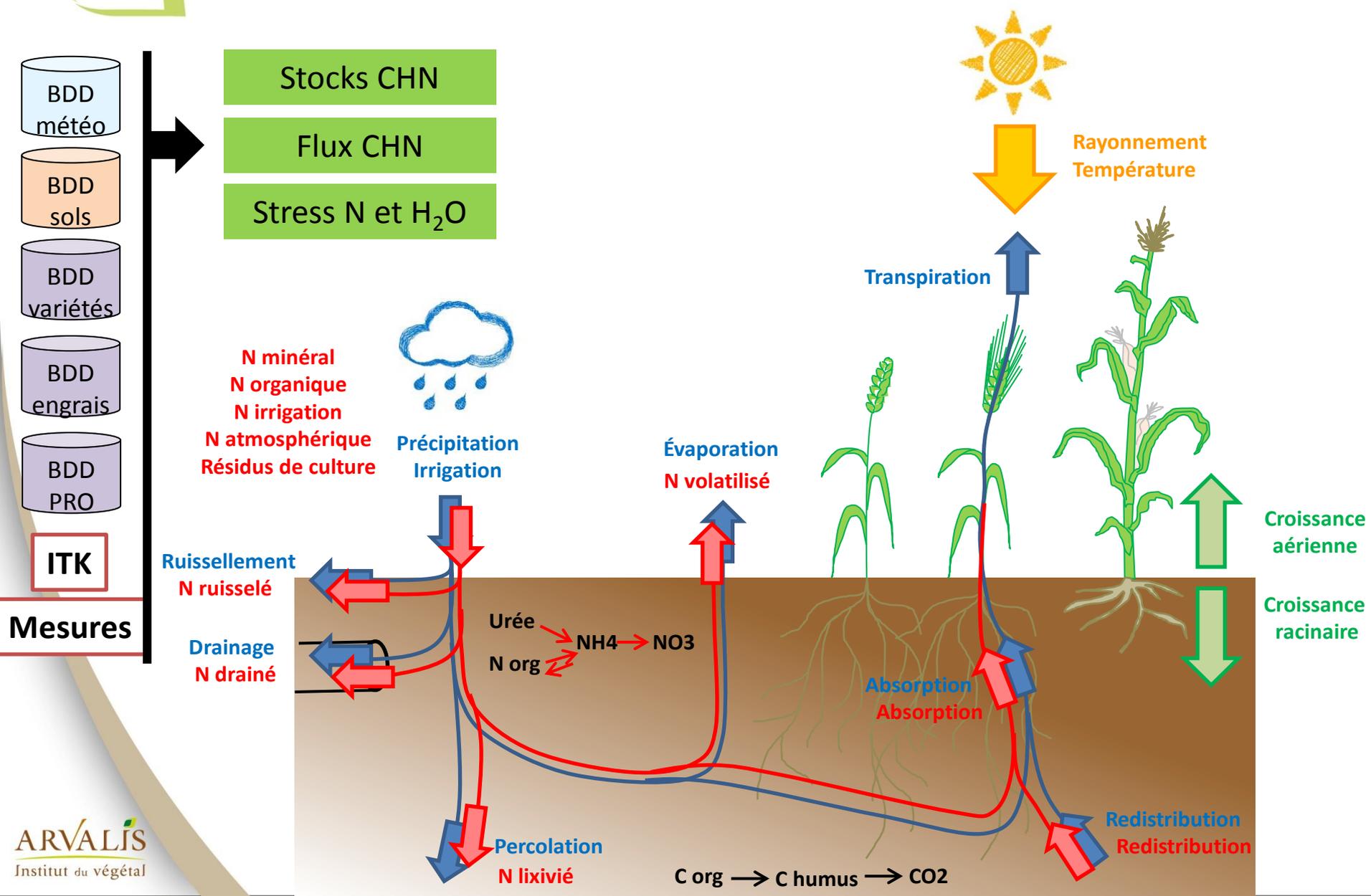
- Différents « modules »
C : Humique (AMG) H : Hydrique (Billy) N : Azoté (Arvazote)
- Différents « compartiments »
Sol (fonctions de pédotransfert)
Plante (Feuille, Indice foliaire, Biomasse et bientôt rendement)
Atmosphère (données météo)





Modèle CHN :

le cycle du Carbone (C), de l'eau (H₂O) et de l'azote (N)





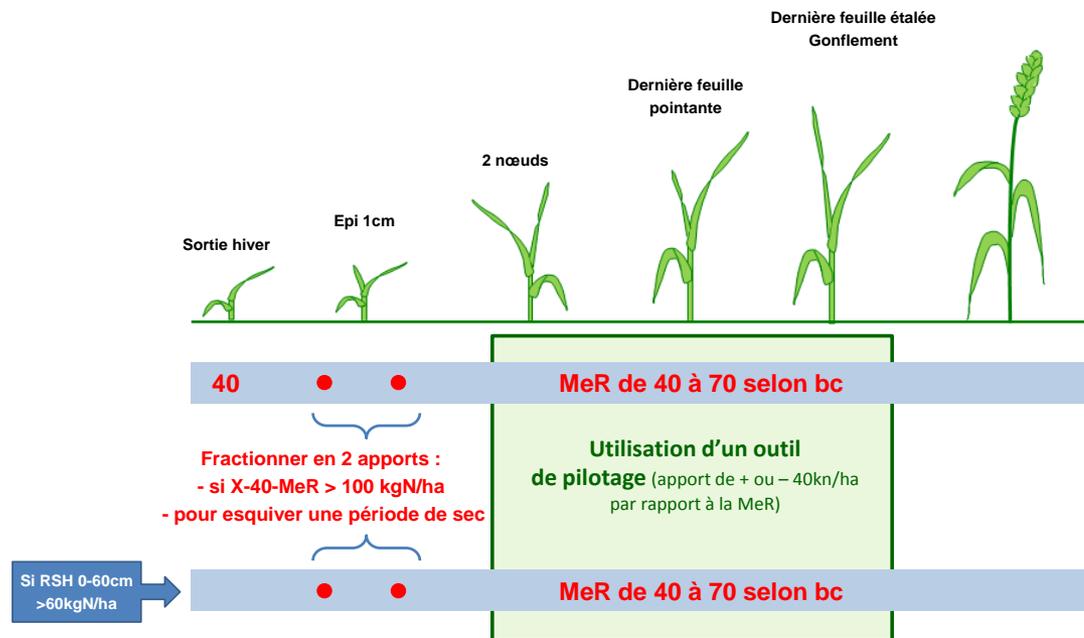
Au programme

- ❖ Le modèle de culture CHN, quèsaco ?
- ❖ **Gestion de la fertilisation N : rappel du contexte**
- ❖ Valorisation de CHN pour le pilotage intégral de l'azote et mise au point des règles de décision (RDD)
- ❖ Synthèse 2018 CHN-conduite : performances agronomiques
- ❖ Cas d'intérêt : couplage capteur



Contexte actuel de la gestion de la fertilisation azotée des blés français et ses limites

Raisonnement basé aujourd'hui sur le calcul d'une dose prévisionnelle recalée en cours de campagne par un outil de pilotage :



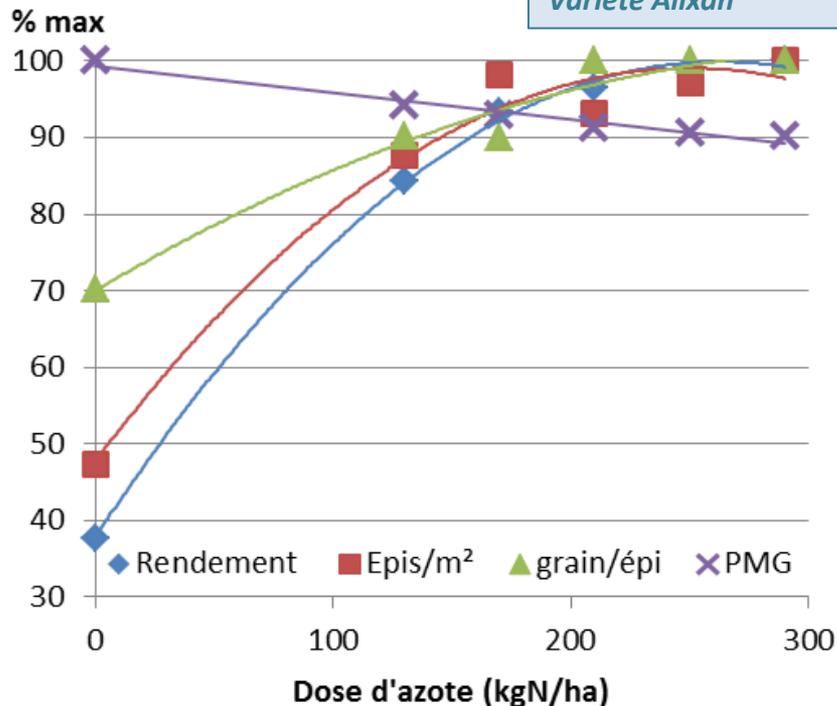
Les limites de cette approche :

- > Peut-on atteindre systématiquement le potentiel de la parcelle quand le besoin d'azote prévisionnel est basé sur l'historique parcellaire ? (même avec l'utilisation des OAD, la dose totale N est fortement conditionnée par les hypothèses sur l'objectif de rendement)
- > Piloter le dernier apport est-il suffisant pour s'adapter à l'année ? (pas de réactualisation de la dose N prévisionnelle en cours de campagne)
- > Comment prendre en compte les flux azotés sol-plante lors du pronostic des OAD ? (on fait l'hypothèse que les apports N précédents ont été entièrement valorisés lors du diagnostic)
- > Comment prendre en compte l'interaction eau-azote ? (l'azote n'est pas le seul facteur limitant...)



La fertilisation azotée et l'élaboration du rendement

Essai Artonne (63) 2013
Variété Alixan



Effet de la nutrition N :

- Essentiellement sur le nb grains/m²
- Impact (-) indirect sur le PMG par effet de compensation

Exemple de calcul des besoins en azote de la culture (Pf) pour une même parcelle avec 2 scénarios de remplissage contrastés :

	Conditions de remplissage difficiles	Conditions de remplissage favorables
Nb grains / m ²	18000	18000
PMG (g)	46	52
Rendement (q/ha)	82.8	93.6
Besoins calculés (kgN/ha)	248	281



En cas de perte de rendement liée à un mauvais remplissage (perte de PMG) les besoins calculés seront moindres alors qu'en réalité la plante aura absorbé la même quantité d'azote



Besoins de la culture calculés à partir du rendement pluriannuel alors que l'azote n'a une influence que sur le nombre de grains

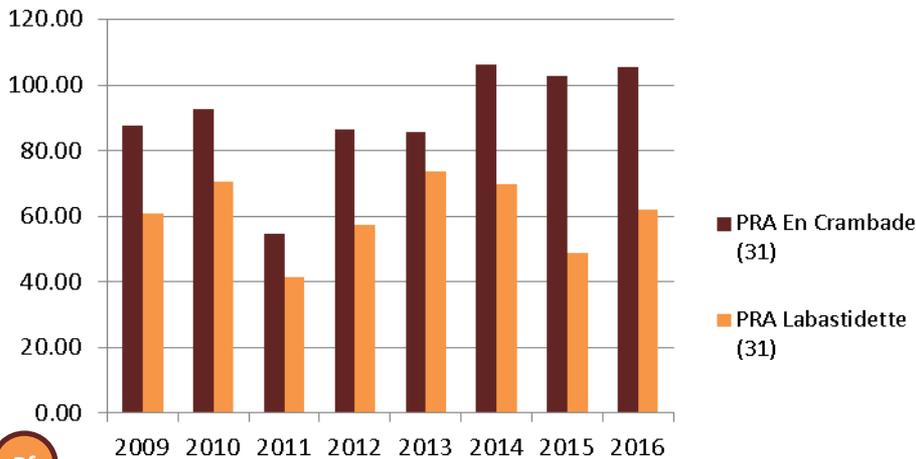


Enjeu de la variabilité interannuelle des postes de bilan prévisionnel

Exemple des besoins de la culture (Pf) et des fournitures du sol (Mh+Mr)

Essais variétés ARVALIS

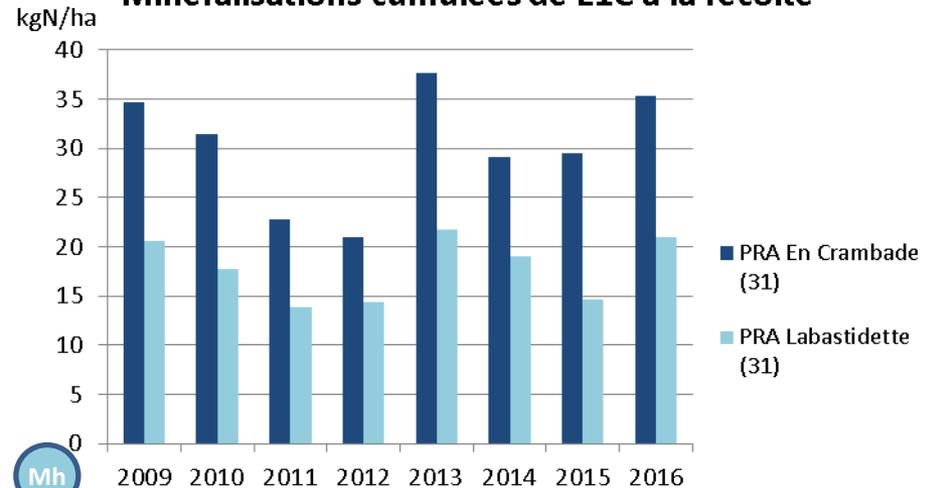
Evolution des rendements blé dur moyens en essais variétés



Pf
 +/- 15 à 20 q/ha selon les années pour un même contexte (soit +/- 45 à 60 kg N/ha de besoin)

Modélisation à partir des JN

Minéralisations cumulées de E1C à la récolte



Mh
Mr
 +/- 15 kg N/ha selon les années pour un même contexte (en précédent tournesol ou colza)

En Crambade (31) – Alluvions limono-argileuses profondes
 Labastidette (31) – Boulbènes superficielles



Les outils de pilotage permettent une modulation de dose de +/- 40 kg N/ha autour de la dose prévisionnelle



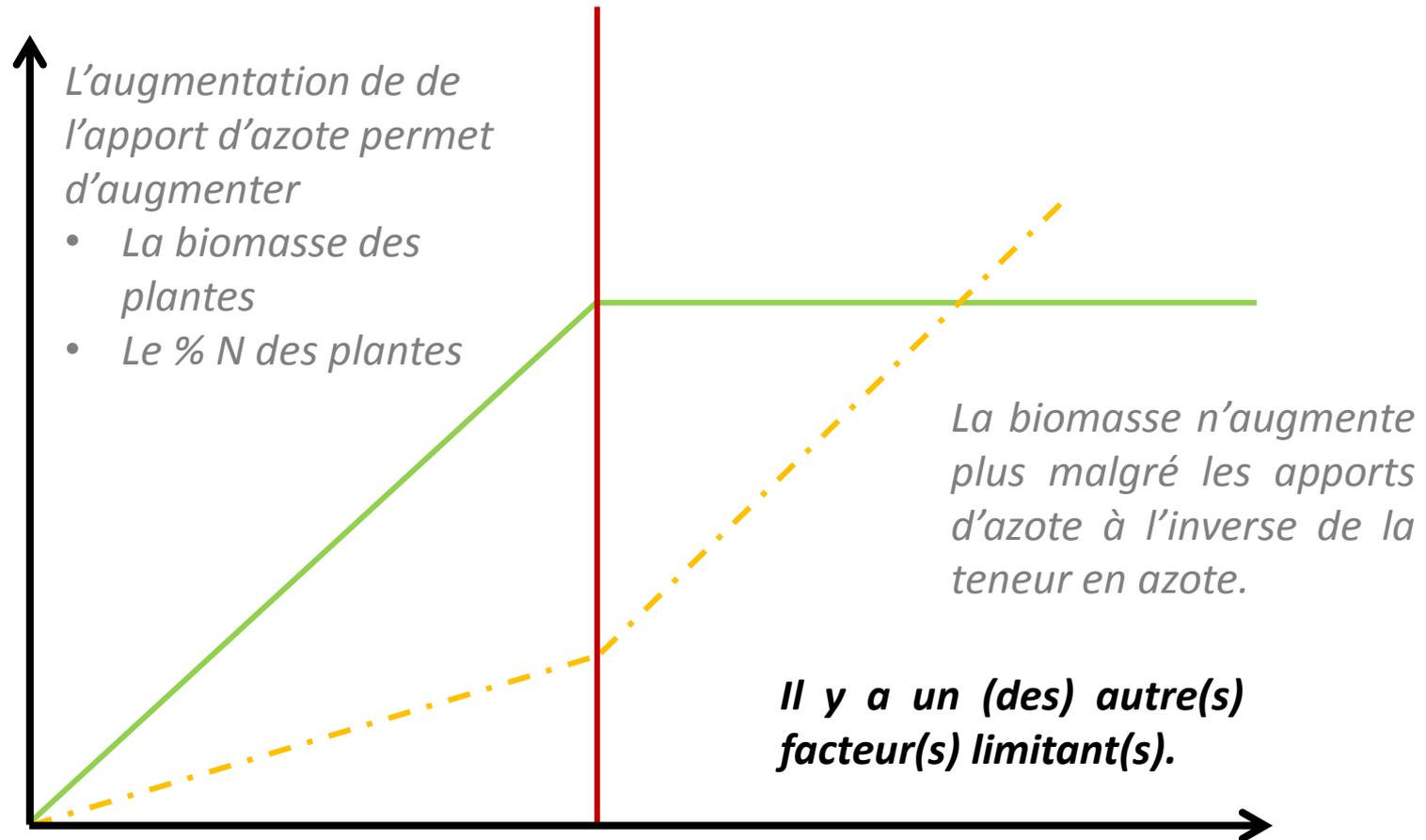
La notion d'Indice de Nutrition azoté

Qu'est-ce que c'est?

Biomasse
(t/ha)

% N
plante

Point d'inflexion

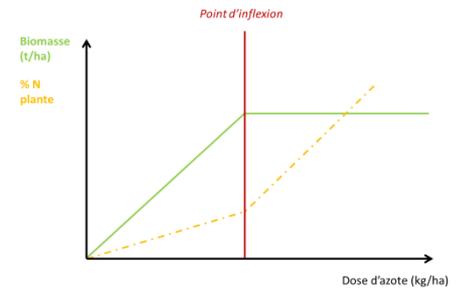


Dose d'azote (kg/ha)

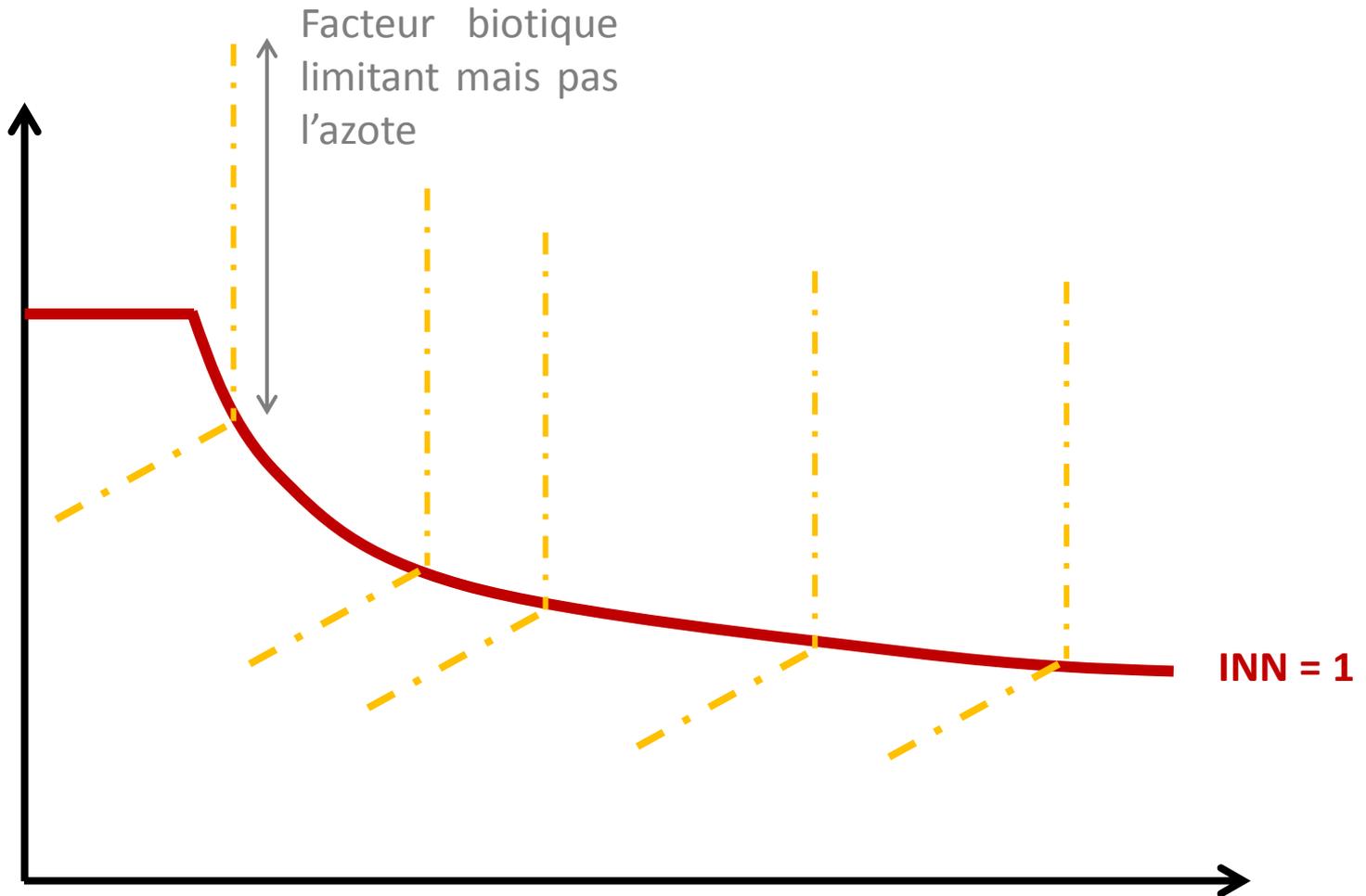


La notion d'Indice de Nutrition azoté

Qu'est-ce que c'est?



Teneur en azote total (%)

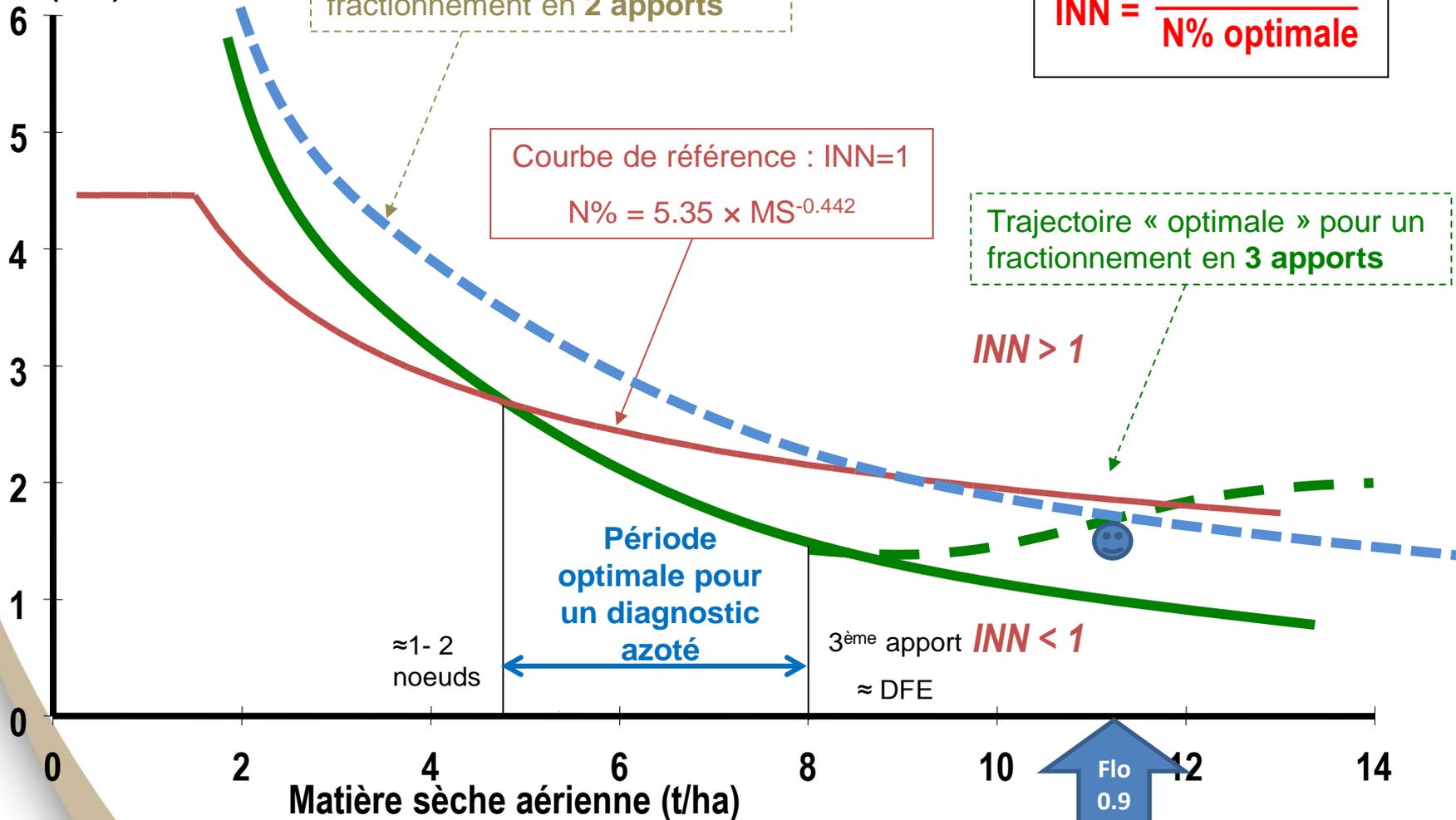


Biomasse MS (t/ha)



INN et notion de trajectoire de fertilisation

Teneur en azote total (%N)





Thèse de C. Ravier (2015-2017)

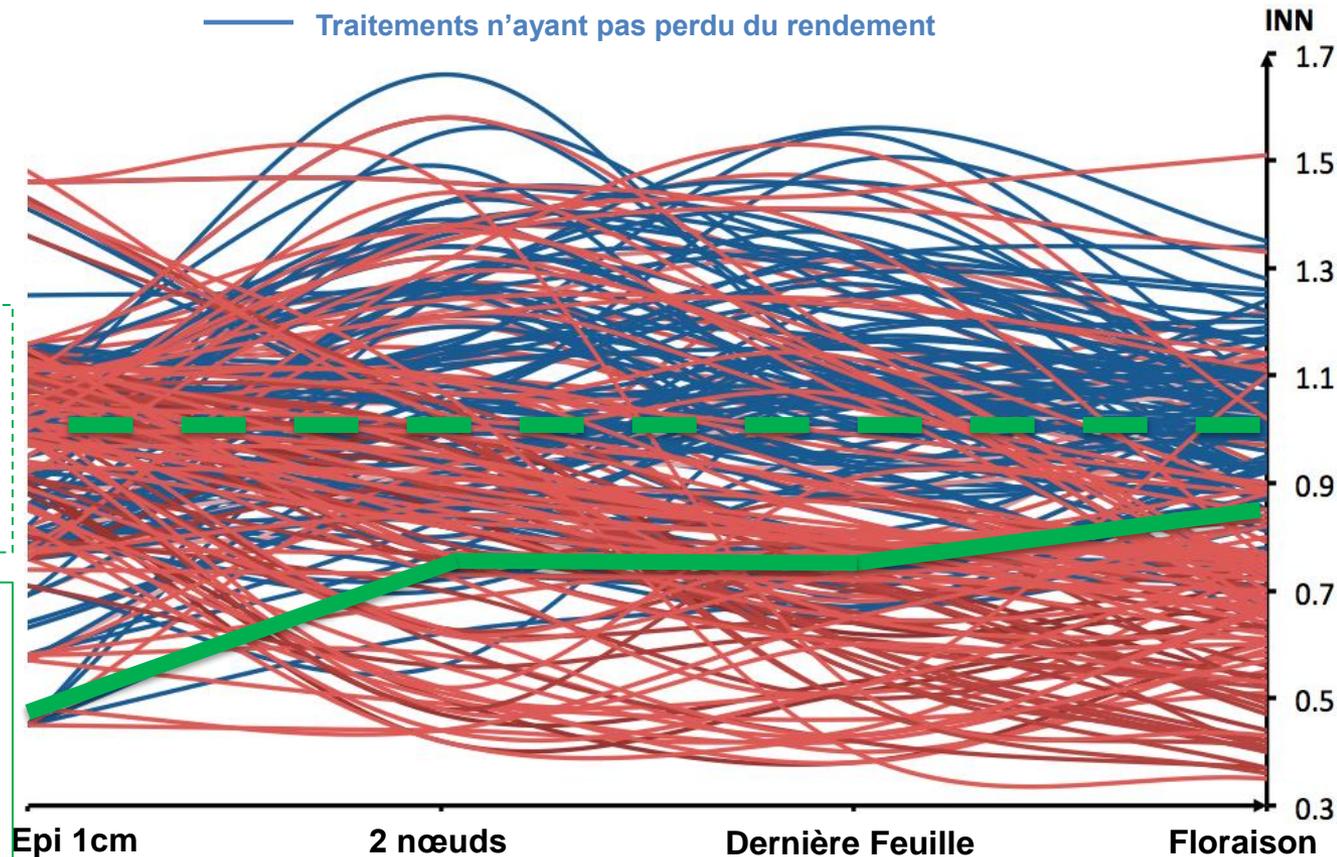
- mise au point d'une dynamique d'INN mini -



— Traitements ayant perdu du rendement
— Traitements n'ayant pas perdu du rendement

Trajectoire « optimum » :
tant que l'INN reste au dessus de cette trajectoire, la croissance reste maximum ; c'est la trajectoire visée par la méthode du bilan.

Trajectoire « minimum » :
tant que l'INN reste au dessus de cette trajectoire, on ne perd pas de rendement; c'est la trajectoire en dessous de laquelle la nouvelle méthode s'interdit de passer.



- 209 traitements issus d'essais Azote (5 sites - 9 années)
- Mesures de l'INN à Epi 1cm, 2 nœuds, Dernière feuille, Floraison



Thèse de C. Ravier (2015-2017)

- mise au point d'un nouvel outil de pilotage -

Semis Sortie hiver Epi 1cm Deux nœuds Dernière feuille Floraison Récolte

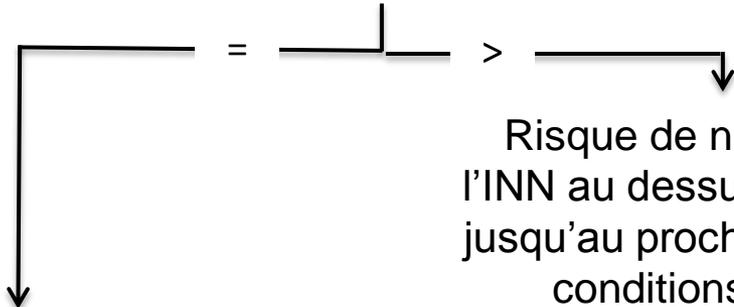


1 Conditions favorables :

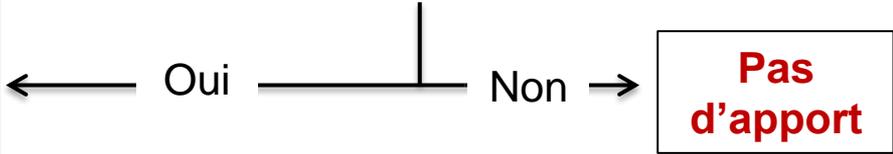
- Conditions météorologiques optimales pour la valorisation des apports
- Pas d'apport dans les 15 jours précédents

2 Mesure INN

3 Comparaison à la trajectoire d'INN minimum



4 Dose pour maintenir l'INN au dessus de la trajectoire jusqu'au prochain jour avec des conditions favorables





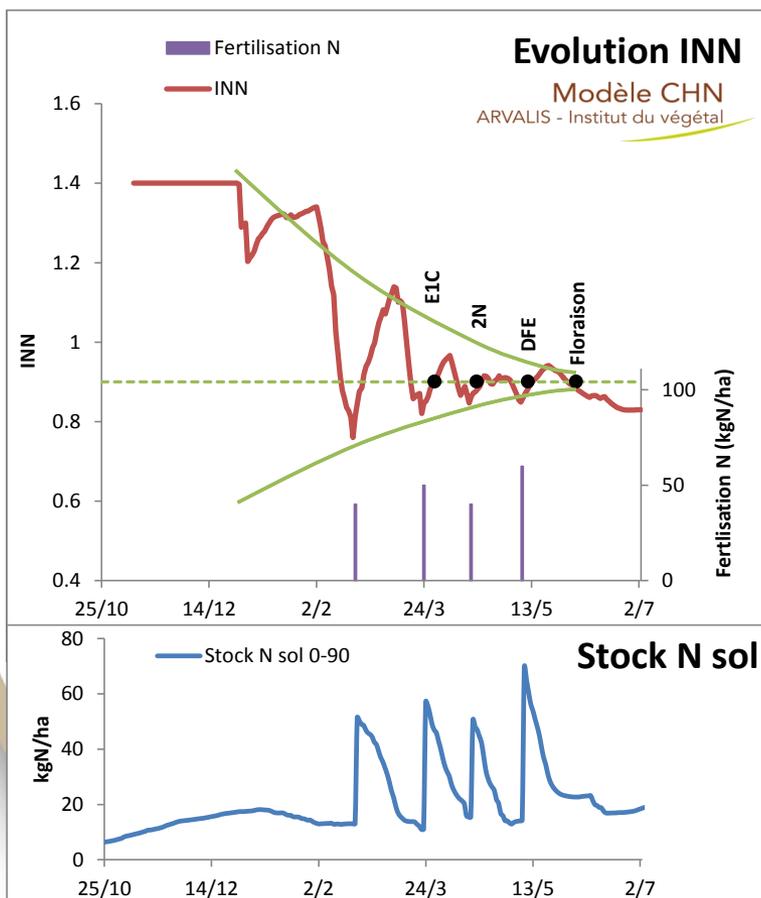
Au programme

- ❖ Le modèle de culture CHN, quèsaco ?
- ❖ Gestion de la fertilisation N : rappel du contexte
- ❖ **Valorisation de CHN pour le pilotage intégral de l'azote et mise au point des règles de décision (RDD)**
- ❖ Synthèse 2018 CHN-conduite : performances agronomiques
- ❖ Cas d'intérêt : couplage capteur



Mise au point des règles de décision pour la valorisation de CHN

Stratégie travaillée : définir une trajectoire d'INN optimale et déclencher un apport dès que l'on s'en éloigne trop à cause d'un défaut de fourniture du sol (gérer les interactions eau-azote)



1. Viser un INN floraison de 0.9 (est-ce suffisant dans les contextes à très hauts potentiels ? Quid de l'enjeu protéines ?)
2. Se donner des « rendez-vous » réguliers où il faut remonter à l'INN optimal
-> Ces rdv vont conditionner le fractionnement et permettre de ne pas rentrer en carence azotée trop forte au risque de ne plus pouvoir la rattraper et ainsi de limiter la croissance de la plante
3. Suivre en parallèle les fournitures azotées du sol

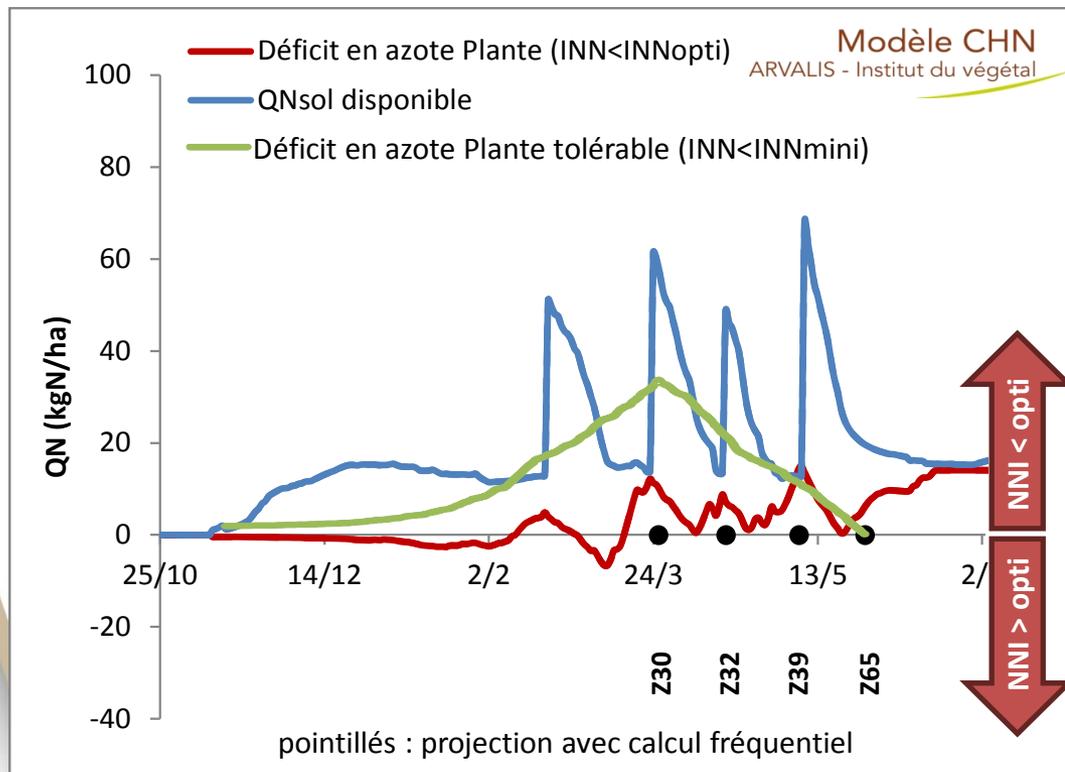


Représentation de l'INN non utilisable pour calculer une dose -> passer en quantité d'azote (QN)



Mise au point des règles de décision pour la valorisation de CHN

Raisonnement en quantité d'azote (QN) pour pouvoir calculer des doses



Dose à apporter pour atteindre le prochain rdv :

N1 (tallage) : 40 kg N/ha

N2 (E1C) : 50 kg N/ha

N3 (2N) : 40 kg N/ha

N4 (DFE) : 60 kg N/ha



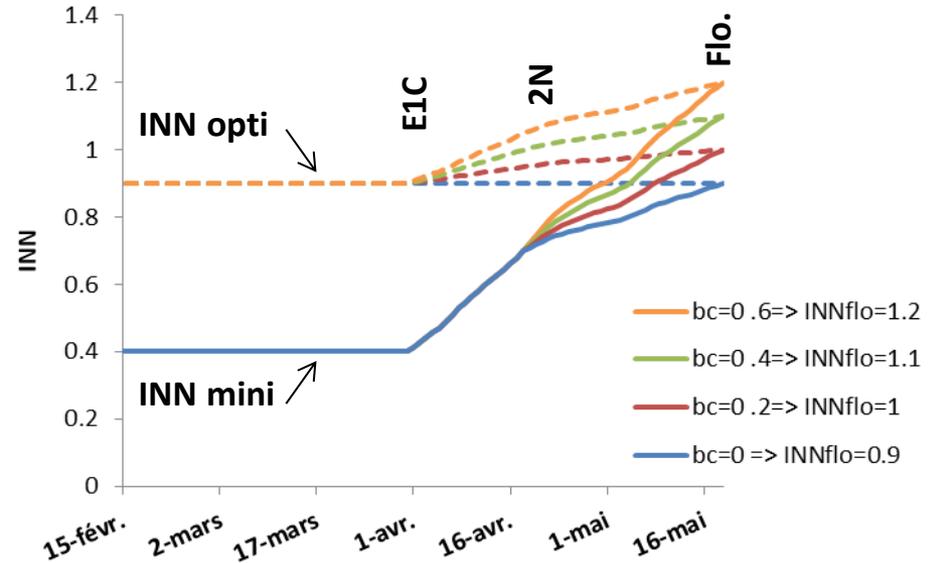
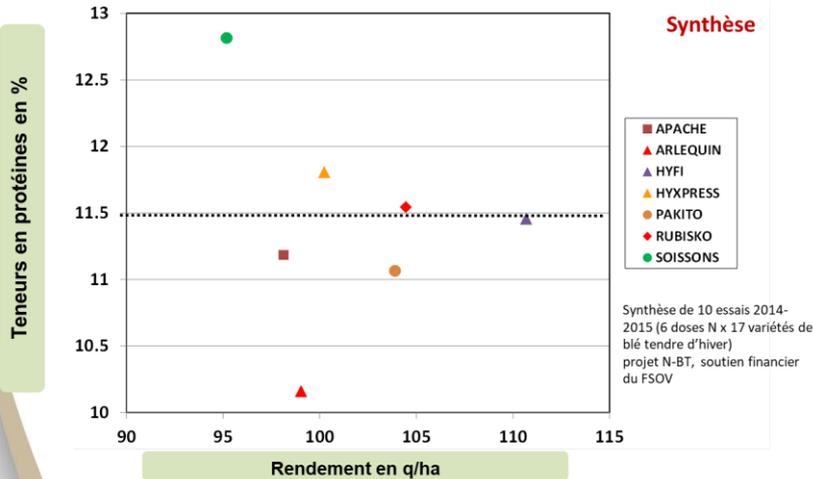
Ne pas négliger pour autant les conditions d'apport (avant une pluie ...)
-> fixer des rdv aux périodes maximisant le CAU



Plusieurs variantes de trajectoire d'INN min testées : prise en compte de l'enjeux protéines

Règles valables en BD, BT, BAF :

Les variétés n'ont pas les mêmes teneurs en protéines à la dose d'azote optimale pour le rendement



$$bc = (11.5\% - \text{protéine}_{\text{ajustée}}) \times \frac{0.85}{5.7} \times a$$



Au programme

- ❖ Le modèle de culture CHN, quèsaco ?
- ❖ Gestion de la fertilisation N : rappel du contexte
- ❖ Valorisation de CHN pour le pilotage intégral de l'azote et mise au point des règles de décision (RDD)
- ❖ **Synthèse 2018 CHN-conduite : performances agronomiques**
- ❖ Cas d'intérêt : couplage capteur

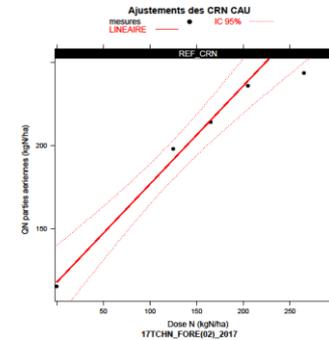
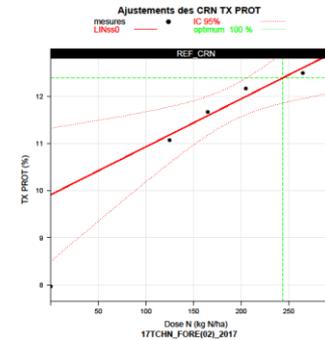
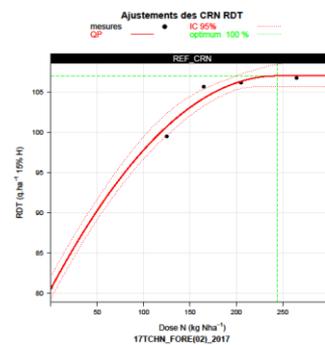


Protocole CHN-conduite

Objectifs : valorisation de CHN pour le pilotage intégrale de l'azote et mise au point

Module CRN

Courbe de réponse à l'azote, pour déterminer le rendement optimal, la dose optimale avec un fractionnement « classique » (tillage, E1C, DFE) et la teneur en protéines à cette dose ainsi que le CAU



Module CHN

Pilotage de la fertilisation azotée avec CHN pour :

- Un objectif rendement
- Un objectif rendement + protéines (11.5% en BT et 14% en BD)
- Les variantes fin de cycle
- Les variantes début de cycle

Mesures réalisées

- Biomasses et Nabs, reliquats Nminéral en végétation -> comparaison aux simulations CHN pour évaluation du modèle
 - Rendement et composantes, %protéines -> comparaison à la CRN pour évaluation des règles de décision
 - Retour qualitatif sur l'interprétation des règles de décision



Un réseau d'essais conséquent

	2015		2016		2017		2018		Total
	Arvalis	Part.	Arvalis	Part.	Arvalis	Part.	Arvalis	Part.	
Blé tendre	0	0	10	0	15	2	13	58	98
Blé dur	0	0	0	0	3	5	3	7	18
Maïs	2	0	3	0	3	0	5	0	13



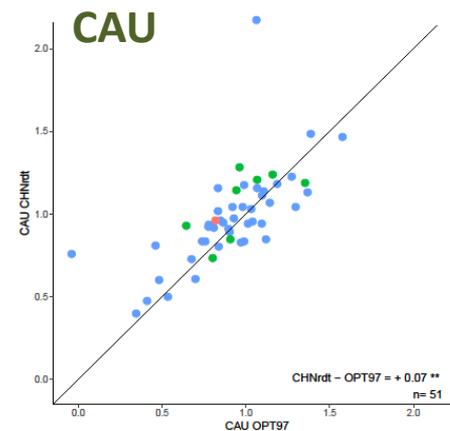
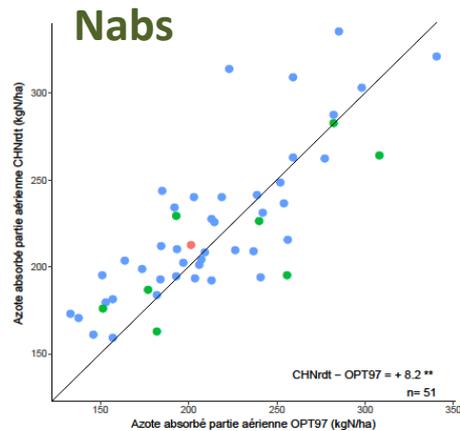
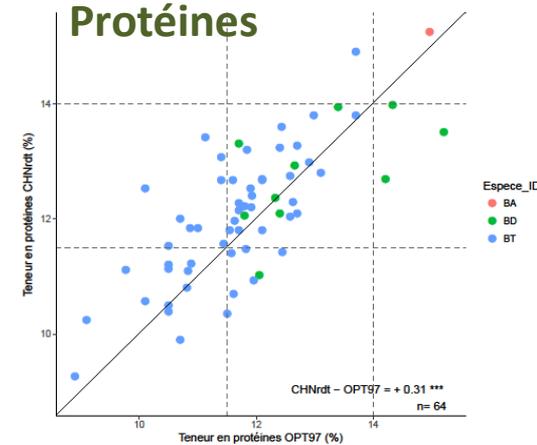
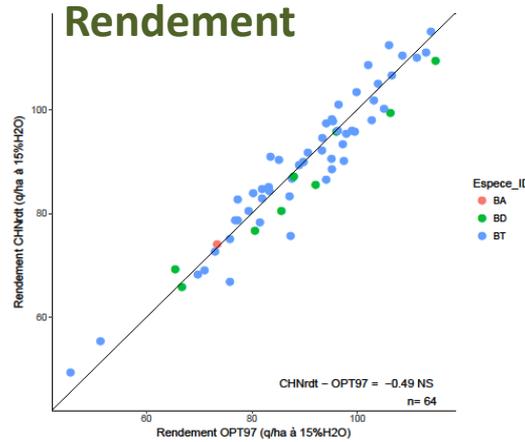
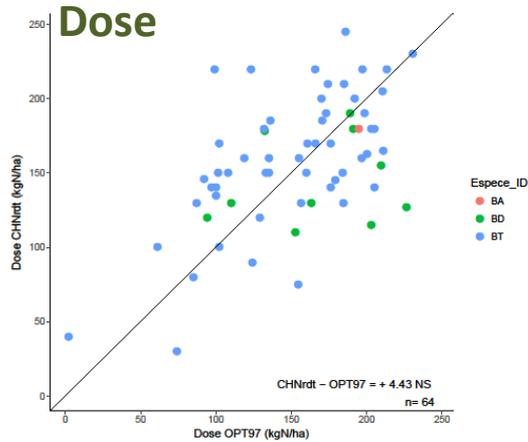
~30% d'essais invalidés chez les partenaires

Un grand nombre de partenaires :

- **Chambres d'agricultures** -> CA02, CA10, CA17, FDGEDA18, CA27, CA28, CA36, CA37, CA41, CA45, CA51, CA52, CA76, CA80, CA89, CA IDF
- **Coopératives/Négoces** -> Acolyance, AGORA, AgroPithiviers, Axereal, Bourgogne du Sud, CAJ, CapSeine, CAVAC, CECAB, CERENA, Coop. de Bonneval, Coop. De Tricherie, Dijon Céréales, EMC2, Epitest, Interface céréales, NORIAP, Seine-Yonne, SCAEL, Soufflet, Ternoveo, Terre Atlantique, UNEAL, ValEpi, Vivescia
- **CETA** -> CETA CB, CETA de Romilly, GRCETA 14, GRCETA 27

Performances CHN-conduite :

CHN rendement en comp. l'optimum (97%)



Moyennes %protéines

	BT	BD
Opti97 CRN	11.6	13.0
CHN rdt	11.9	12.8
CHN prot	12.1	14.1

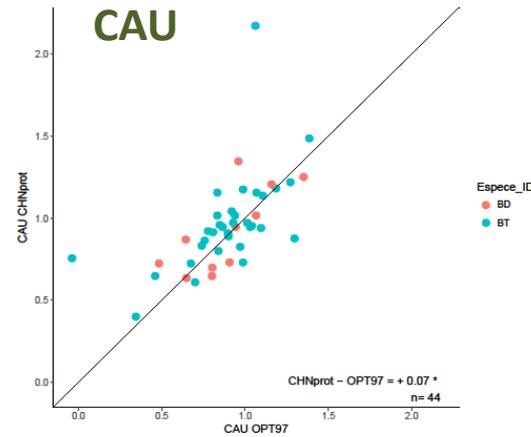
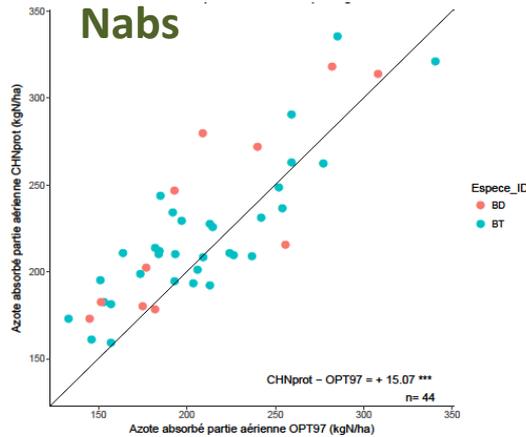
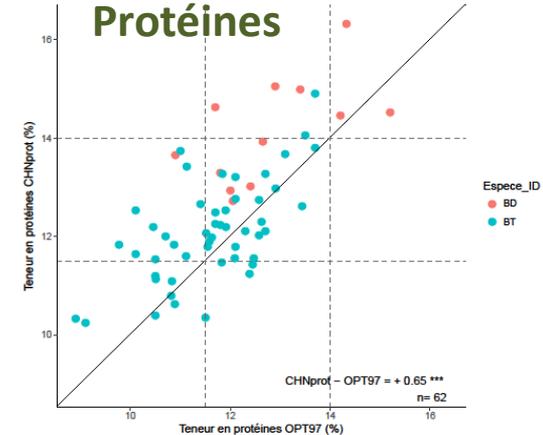
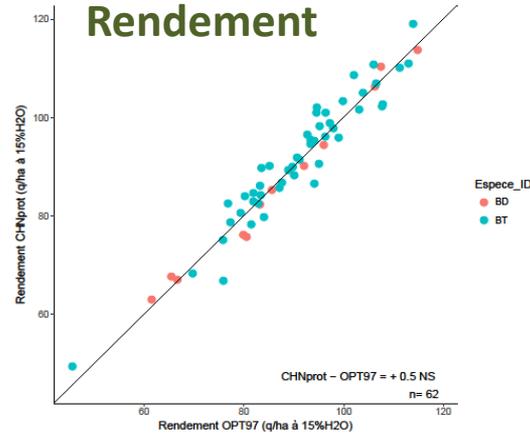
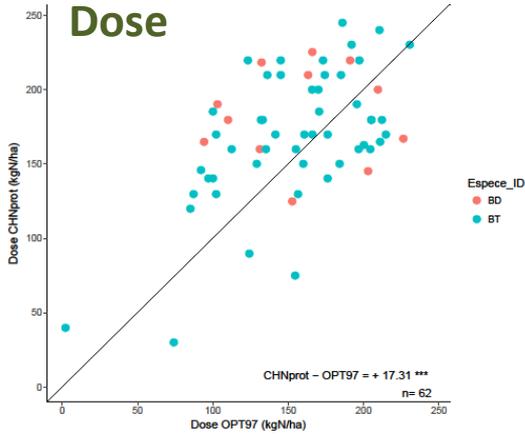
Comp. OPT 97%	Nb d'essais (Nabs)	Dose N (kgN/ha)	Rendement (q/ha à 15%H)	Protéines (%)	Nabs (kgN/ha)	CAU (%)
CHN rdt	64 (51)	+ 4.4 NS	-0.5 NS	+ 0.3 ***	+ 8 **	+ 7 **
CHN prot						

Test statistique en comparaison avec l'optimum CRN :

*** différence significative à 1%; ** à 5%; * à 10%; NS Différence non significative

Performances CHN-conduite :

CHN rendement en comp. l'optimum (97%)



Moyennes %protéines

	BT	BD
Opti97 CRN	11.6	13.0
CHN rdt	11.9	12.8
CHN prot	12.1	14.1

Comp. OPT 97%	Nb d'essais (Nabs)	Dose N (kgN/ha)	Rendement (q/ha à 15%H)	Protéines (%)	Nabs (kgN/ha)	CAU (%)
CHN rdt	64 (51)	+ 4.4 NS	-0.5 NS	+ 0.3 ***	+ 8 **	+ 7 **
CHN prot	62 (44)	+ 17 ***	+ 0.5 NS	+ 0.7 ***	+ 15 ***	+ 7 *

Test statistique en comparaison avec l'optimum CRN :

*** différence significative à 1%; ** à 5%; * à 10%; NS Différence non significative



Performances CHN-conduite

- Le pilotage intégral de l'azote avec CHN-conduite permet de recentrer les doses totales autour de l'optimum 97% et d'atteindre en moyenne le potentiel de rendement
- Le pilotage « protéines » permet en moyenne d'atteindre le rendement optimal et l'objectif de teneur en protéines
- Globalement les CAU sont fortement en hausse (-> fractionnement plus tardif)



Quelques points d'amélioration

- **Difficultés à anticiper les périodes sans précipitation**
 - ➔ personnaliser les « rendez-vous » en ciblant les périodes favorables à une bonne valorisation de l'azote (étude fréquentielle, puis utilisation des prévisions à 7j) : non automatisable dans Excel, mais prévu pour CHN-conduite v2 (2020)
- **Difficultés à anticiper les périodes de forte absorption en fin de cycle**
 - ➔ automatiser le calcul de la dose, pour que l'utilisateur n'ait pas à déterminer la dose par tâtonnement : non automatisable dans Excel, mais prévu pour CHN-conduite v2 (2020)

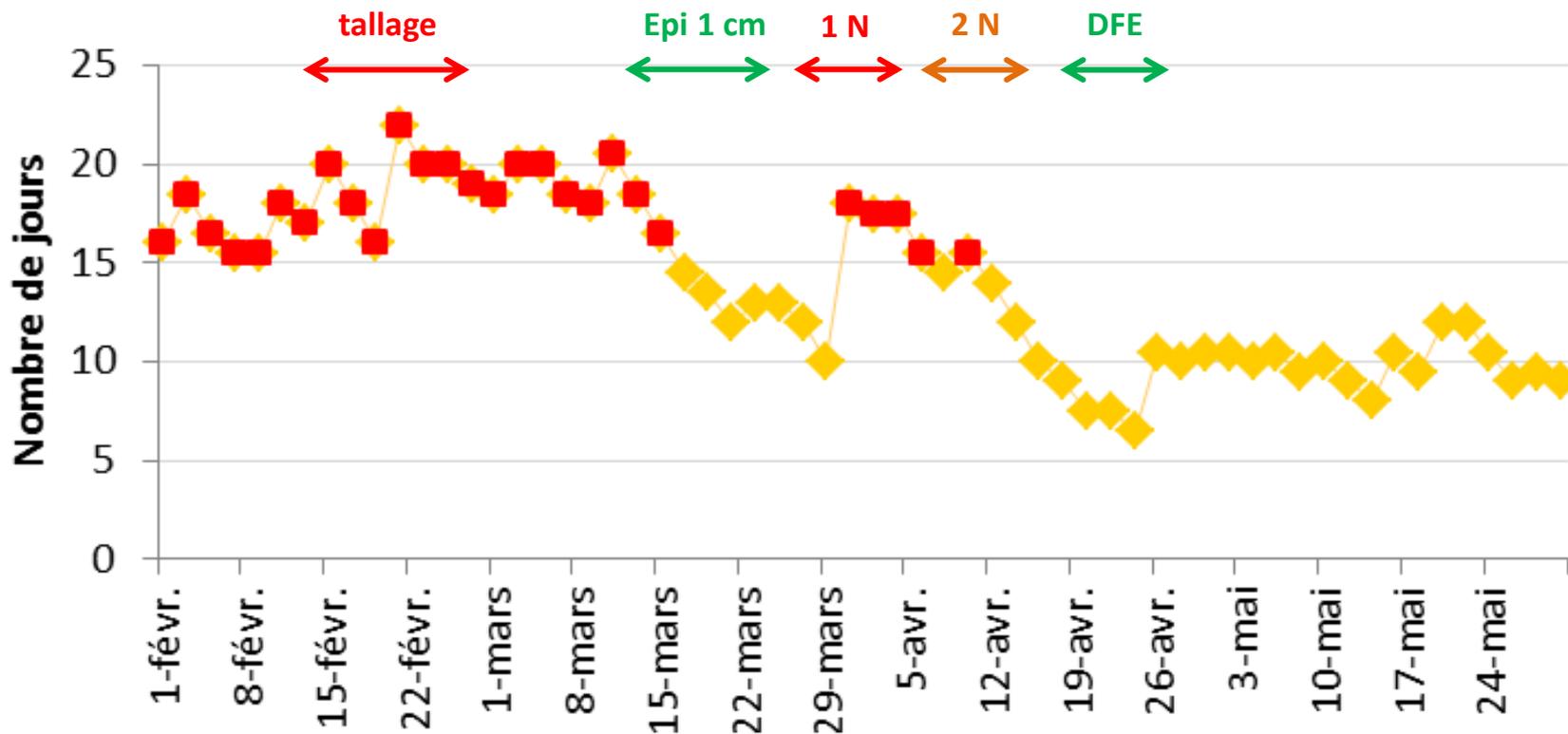
Remarques :

Analyse qualitative de chaque essai réalisée (à finir pour 2018)

Personnaliser les RDV ?

Nombre de jours pour cumuler 15 mm 7 années sur 10

LYON-ST-EXUPERY-COLOMBIER-SAUGNIEU



Source: Météo France - Analyse fréquentielle 1992 - 2017

Épi 1 cm	1 noeud	2 noeuds	méiose	épiaison	floraison	Grains laiteux
23/03	31/03	08/04	04/05	13/05	20/05	03/06



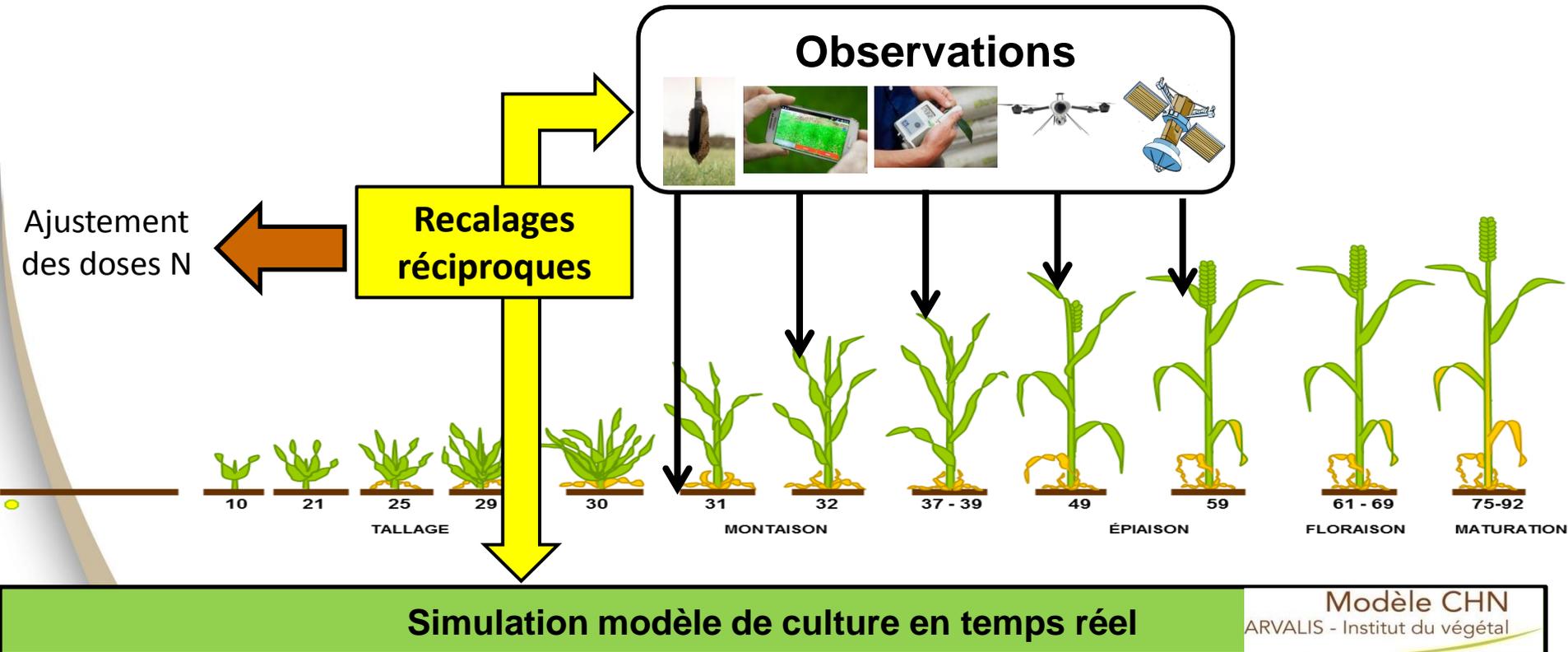
Au programme

- ❖ Le modèle de culture CHN, quèsaco ?
- ❖ Gestion de la fertilisation N : rappel du contexte
- ❖ Valorisation de CHN pour le pilotage intégral de l'azote et mise au point des règles de décision (RDD)
- ❖ Synthèse 2018 CHN-conduite : performances agronomiques
- ❖ **Cas d'intérêt : couplage capteur**



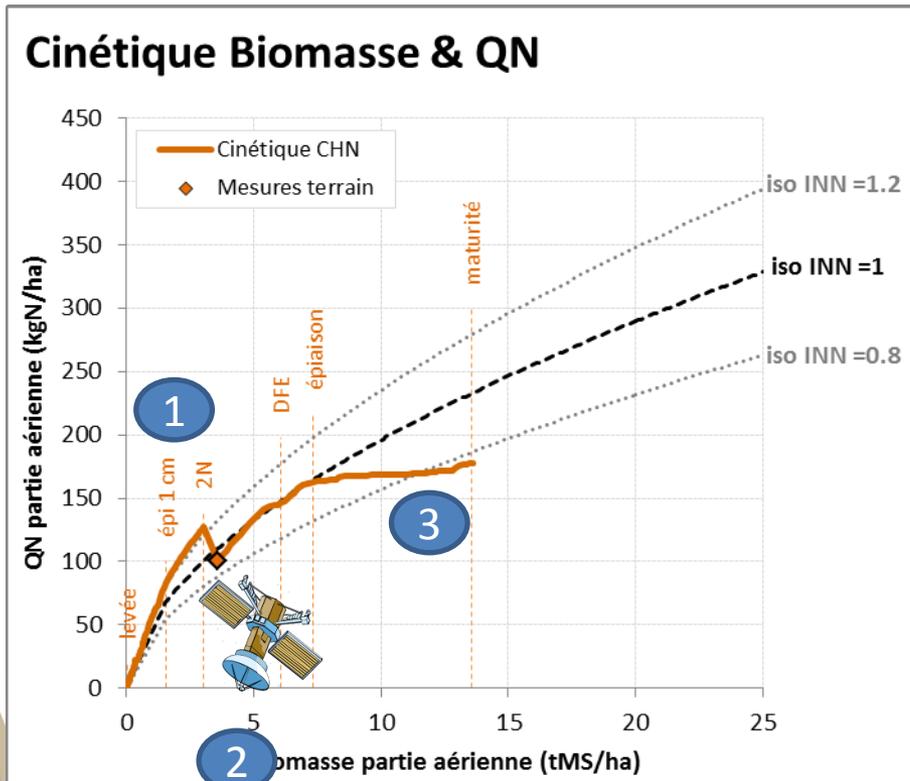
Perspectives : valorisation des données capteurs

Un modèle n'est jamais parfait → possibilité de le coupler à des observations pour améliorer ses performances → OAD de pilotage de l'azote





Exemple couplage Modèle – Capteur



- 1 Prédiction du modèle surestimée car absence de reliquats
- 2 Recalage des prévisions du modèle grâce à l'analyse d'image
- 3 Gestion de l'azote en fin de cycle dynamique en fonction des conditions de l'année

Optimisation des outils pour une meilleure prise en compte des conditions de l'année