



Le pilotage intégral de l'azote avec le modèle de culture CHN sur blé : contextualisation des trajectoires d'INN

B. Soenen, C. Delpech, G. Plevy, F. Degan, B. Piquemal, M. Bonnefoy

ARVALIS
Institut du végétal

Modèle CHN
ARVALIS - Institut du végétal



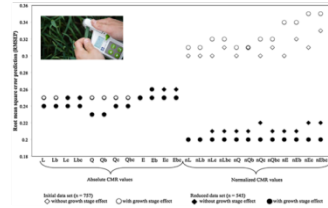
de la thèse de C. Ravier à CHN-conduite

1 Etude fréquentielle pour définir à priori des période de conditions favorables :

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



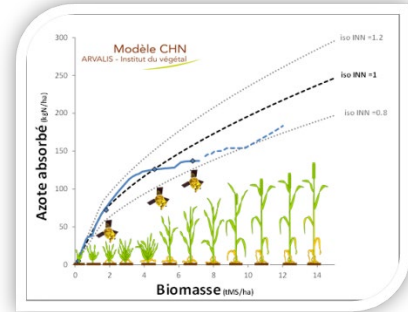
2 Suivi de l'INN avec pince YARA NTester



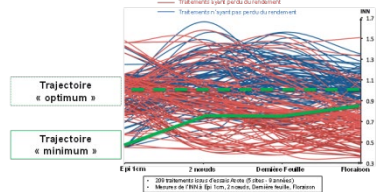
Source : Ravier et al., 2017

Approche CHN-conduite :

1. Idem
2. Suivi de l'INN avec CHN + capteurs
3. Idem
4. Calcul de la dose avec CHN

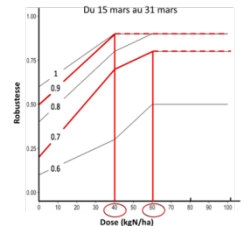


3 Comparaison à une dynamique d'INNmin



4 Utilisation d'abaques fréquentiels Azodyn, pour déclencher un apport

| INN | 1 ^{er} 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 | |

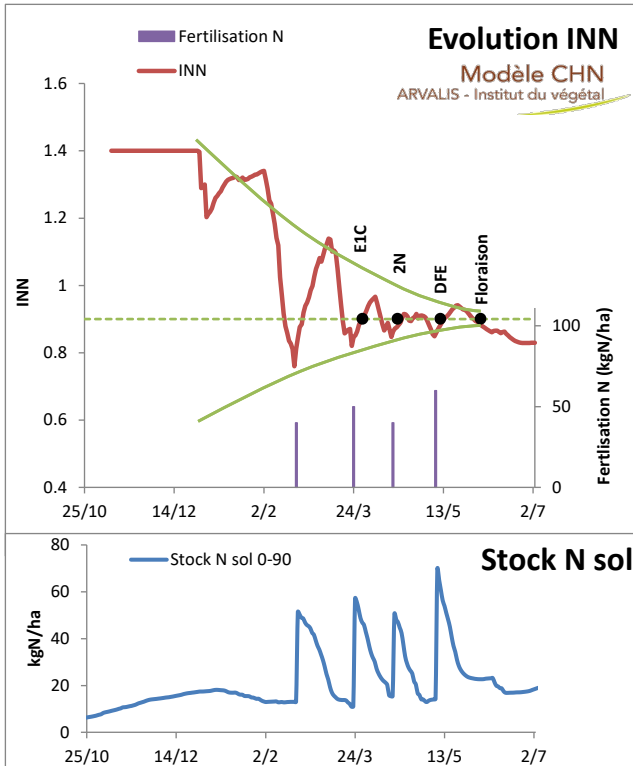


Approche du pilotage intégral de l'azote proposée dans la thèse de C. Ravier (2015-2017)

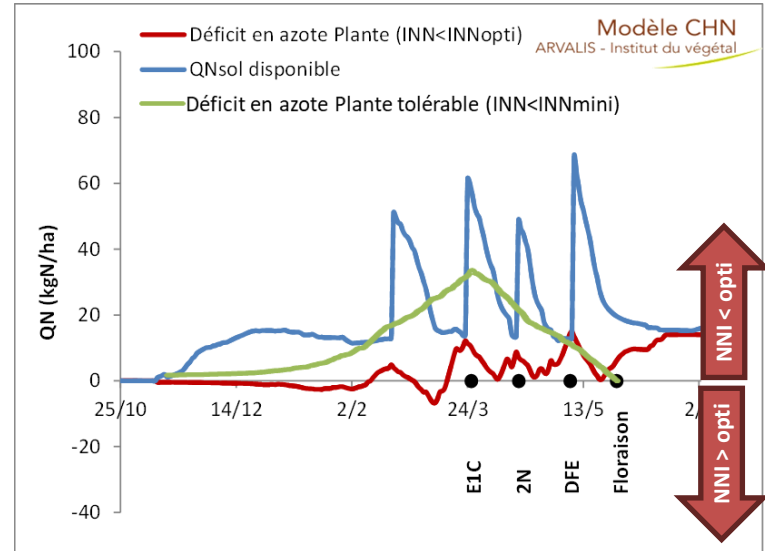




CHN-conduite : notion de déficit N tolérable



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



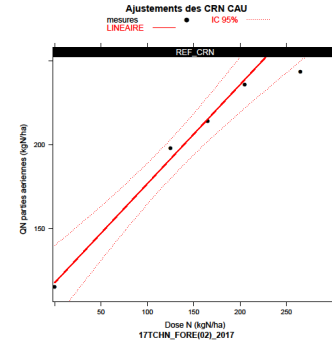
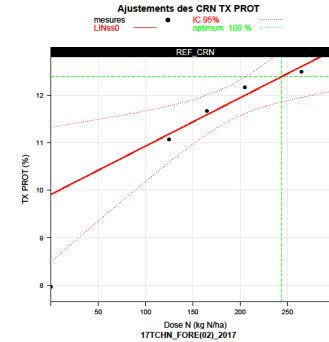
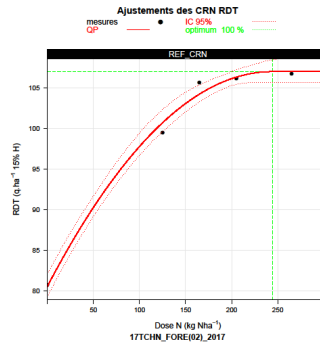


CHN-conduite : protocole expérimental

Objectifs : mise au point des règles de décisions et évaluation des performances agronomiques

Module CRN

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



Module CHN

Pilotage de la fertilisation N avec CHN pour :

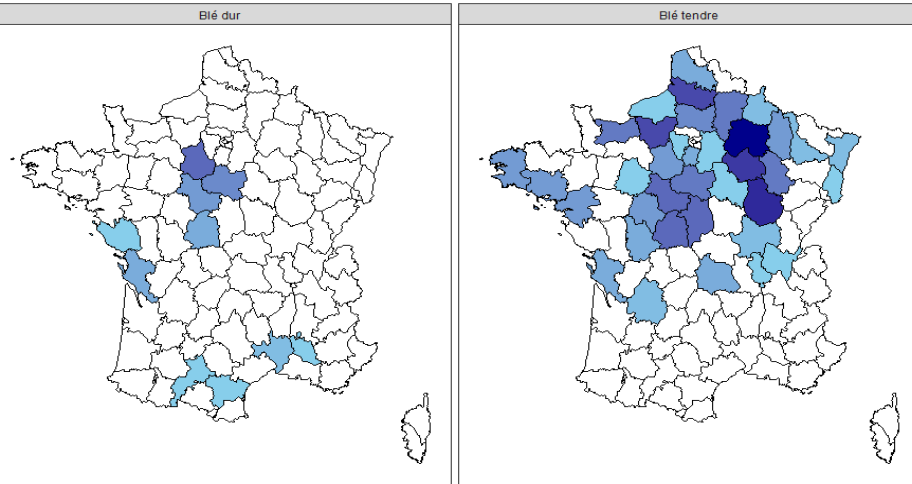
- Un objectif rendement
- Un objectif rendement + protéines (11.5% en BT et 14% en BD)
- Des variantes pour travailler la contextualisation des règles de décision

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



CHN-conduite : un réseau expérimental ambitieux



Essais non utilisés

Essais utilisés

| | 2016 | | 2017 | | 2018 | | 2019 | | Total |
|------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|
| | Arvalis | Part. | Arvalis | Part. | Arvalis | Part. | Arvalis | Part. | |
| Blé tendre | 10 | 0 | 15 | 2 | 13 | 59 | 16 | 50 | 165 |
| Blé dur | 0 | 0 | 3 | 5 | 3 | 7 | 4 | 6 | 28 |



~30% d'essais invalidés chez les partenaires

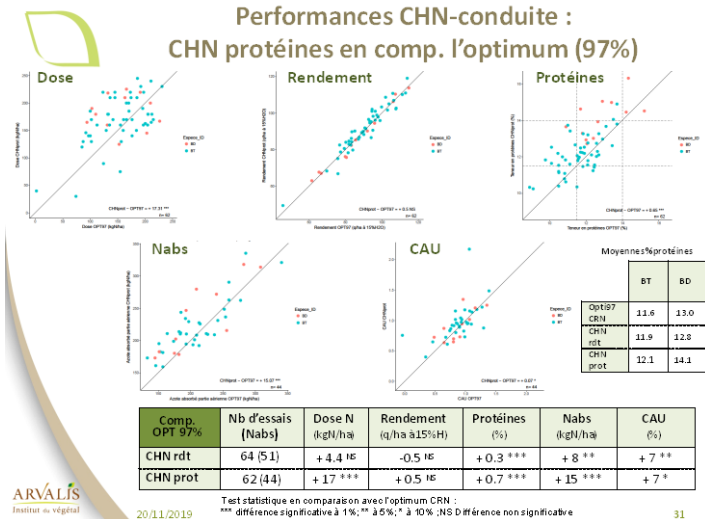
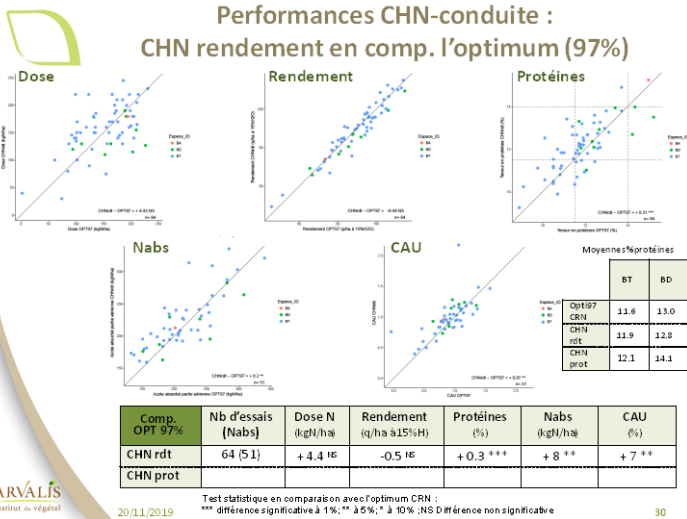
Un grand nombre de partenaires :

- **Chambres d'agricultures** -> CA02, CA10, CA14, CA17, FDGEDA18, CA27, CA28, CA36, CA37, CA41, CA45, CA51, CA52, CA62, CA76, CA80, CA89, CA IDF
- **Coopératives/Négoces** -> Acolyance, Agora, Agrial, AgroPithiviers, Alliance BFC (Dijon Céréales), Arterris, Axereal, Bourgogne du Sud, CAJ, CapSeine, Cavac, Cecab, Ceresia (Acolyance-Cerena), Coop. de Bonneval, Coop. De Esternay, Coop. de Tricherie, Dauphinoise, EMC2, Epitest, Ets Bernard, Interface céréales, NORIAP, Seine-Yonne, SCAEL, Soufflet, Ternoveo, Terre Atlantique, UNEAL, ValEpi, Vivescia
- **CETA** -> CETA CB, CETA de Romilly, GRCETA 14, GRCETA 27



Rappel des premiers résultats

Performances agronomiques CHN-conduite



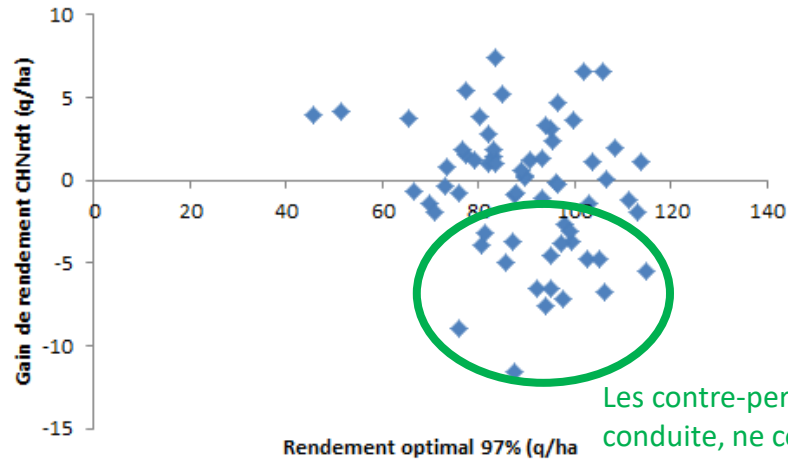
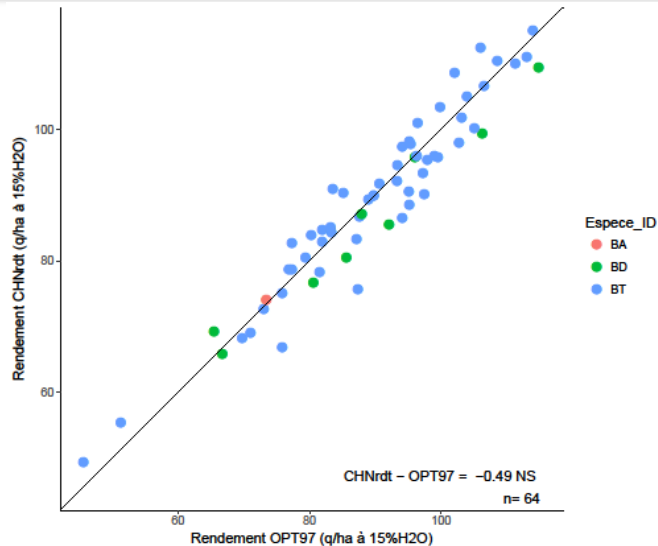
Conclusions 2018 :

- 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)



Rappel des premiers résultats

Une contextualisation nécessaire



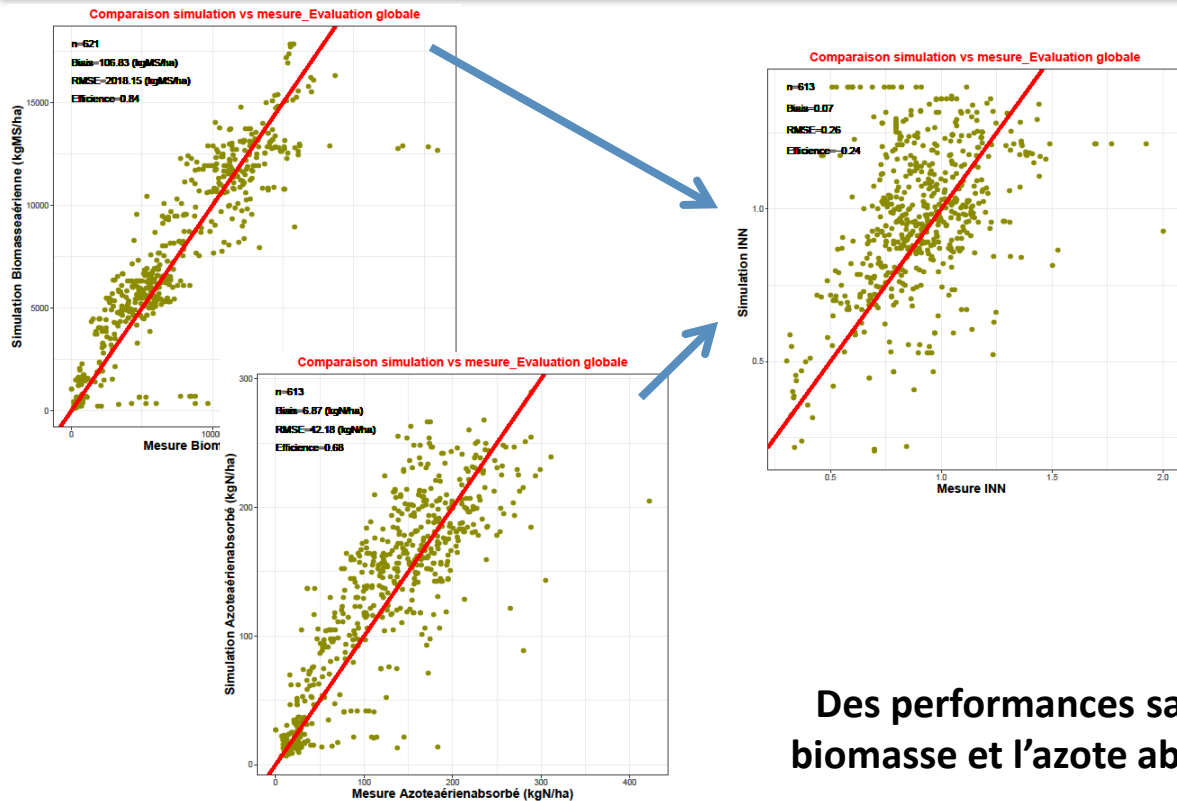
Les contre-performances de CHN-conduite, ne concernent que les parcelles >80q/ha (sans RSH élevés)

Conclusions 2018 :

- Performances en forte interaction avec les composantes de rendement (contextes où le nombre d'épis est essentiel pour atteindre le potentiel)
- Une adaptation des seuils d'INNmin au contexte pédoclimatique est donc nécessaire (=contextualisation des règles de décisions)



évaluation des performances de simulation



Modèle CHN
ARVALIS - Institut du végétal

| Blé tendre | INN | Biomasse | Azote absorbé |
|------------|-------|------------|---------------|
| Effectif | 613 | 621 | 613 |
| Biais | 0.07 | 1.1 tMS/ha | 7 kgN/ha |
| RMSEP | 0.26 | 2.0 tMS/ha | 42 kgN/ha |
| Efficience | -0.24 | 0.84 | 0.68 |

| Blé dur | INN | Biomasse | Azote absorbé |
|------------|-------|------------|---------------|
| Effectif | 184 | 185 | 184 |
| Biais | 0.09 | 0.6 tMS/ha | 15 kgN/ha |
| RMSEP | 0.3 | 1.8 tMS/ha | 48 kgN/ha |
| Efficience | -0.93 | 0.85 | 0.64 |

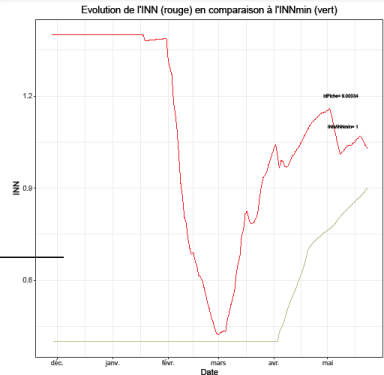
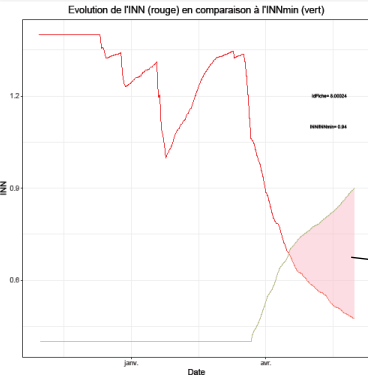
Des performances satisfaisantes sur la simulation de la biomasse et l'azote absorbé, mais moins bonnes sur l'INN



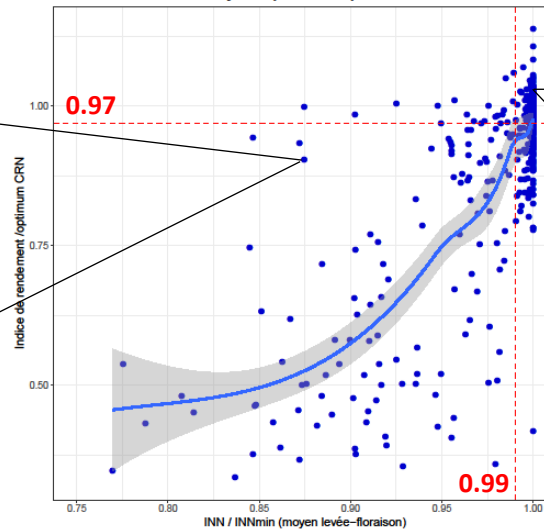
Méthodologie d'évaluation des dynamiques d'INNmin

1

- Simulation de l'INN avec CHN
- Détermination de la dynamique d'INNmin
- > Calcul de l'indicateur INN/INNmin $\epsilon [0,1]$

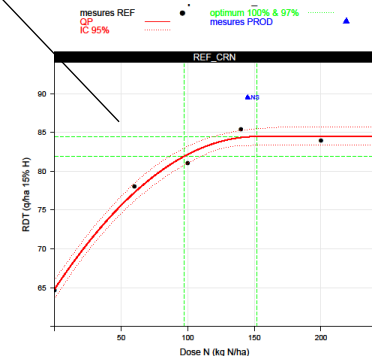
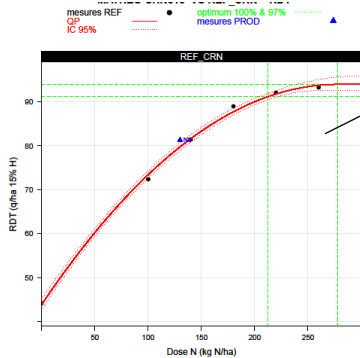


Relation entre dynamiques INN et pertes de rendement



2

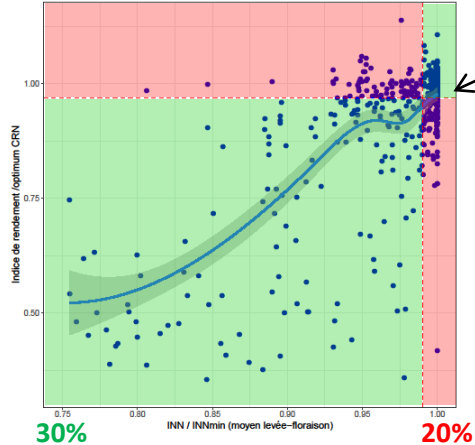
- Calcul du rendement optimal sur la CRN
- > Calcul d'un indice iRdt $\epsilon [0,1]$



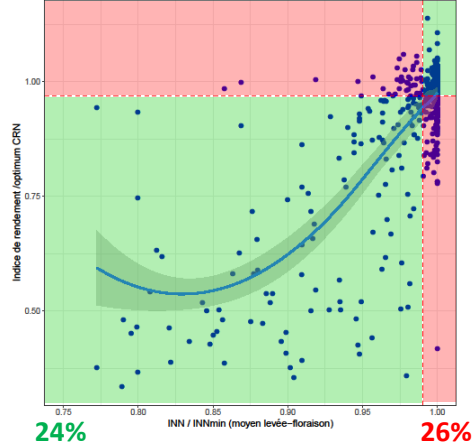


Evaluation des dynamiques d'INNmin

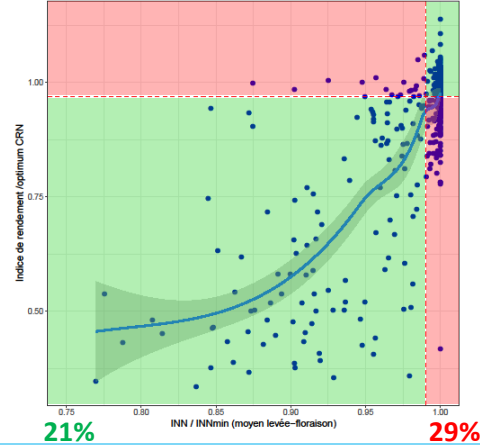
14% Relation entre dynamiques INN et pertes de rendement 36%



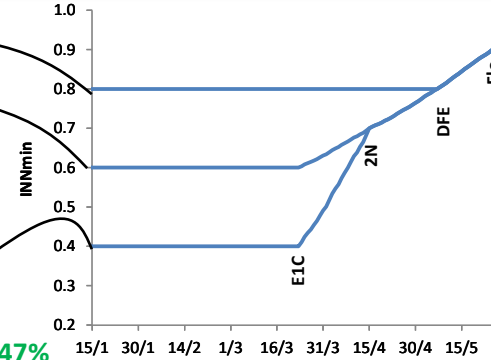
7% Relation entre dynamiques INN et pertes de rendement 43%



3% Relation entre dynamiques INN et pertes de rendement 47%



Réf. thèse C. Ravier



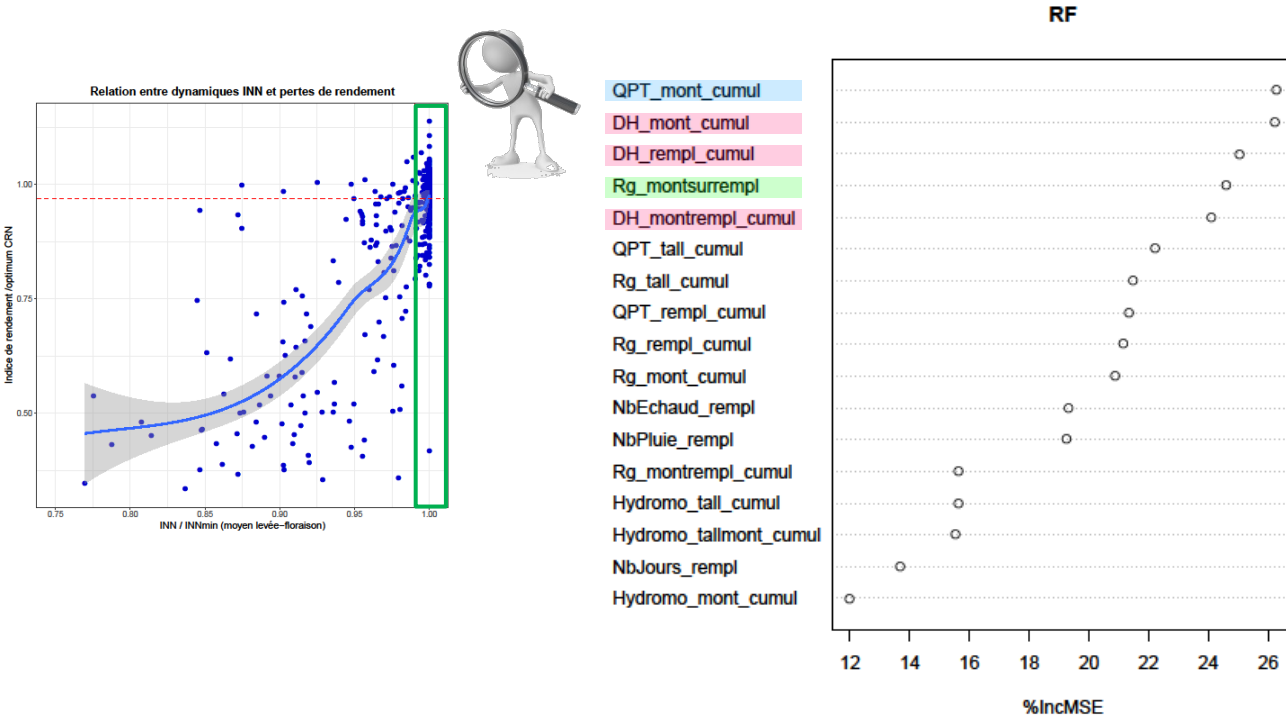
Néanmoins, dans 29% des situations, cette trajectoire n'est pas assez sécuritaire -> besoin de caractérisation de ces situations

Remonter l'INNmin en début de cycle pour l'ensemble des situations ne permettrait pas de gagner en performances



Evaluation des dynamiques d'INNmin

Analyse des iRdt lorsque $INN/INNmin < 0.99$



Effet du contexte pédoclimatique selon la RandomForest :

- **Quotient photothermique montaison** (effet -)
- **Déficit hydrique montaison + remplissage** (effet +)
- **Rapport rayonnement intercepté montaison / remplissage** (effet +)



Mise en œuvre opérationnelle

1. Choix de la dynamique d'INNmin

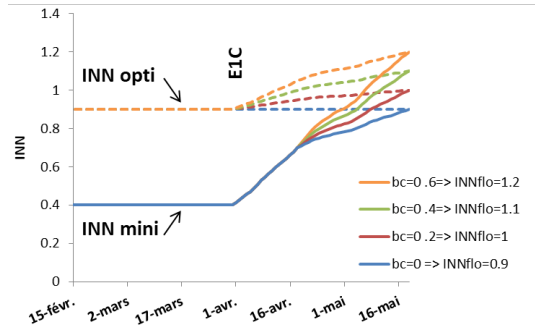
Dynamique d'INNmin choisie en début de campagne pour être adaptée au contexte agropédoclimatique selon plusieurs critères :

- Contexte pédoclimatique (classification selon des indicateurs calculés en fréquentiel)
- Espèce BD/BT
- Variété pour enjeux protéines (classification selon bc)

Adaptation de l'INNmin
début de cycle

Adaptation de l'INNmin
fin de cycle

Exemple du catalogue
d'INNmin pour un
contexte pédoclimatique
donné, en fonction de la
variété

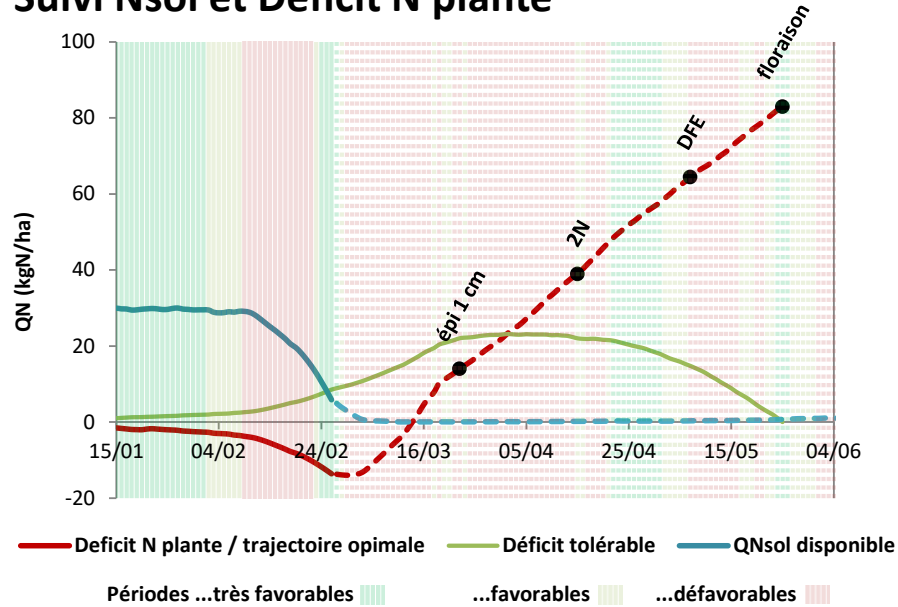




Mise en œuvre opérationnelle

2. Définition des périodes favorables

Suivi Nsol et Déficit N plante



Critères de classification (climatiques uniquement) :

- Cumul Pluie sur 15j : fixer 2 seuils (10 et 15mm)
Calcul avec météo réelle, prévisionnelle puis décile 2 du fréquentiel
- Humidité du sol sur 10cm ? (en interaction avec cumul P -> à travailler avec synthèse essais volat')

Caractérisation des périodes favorables /défavorables

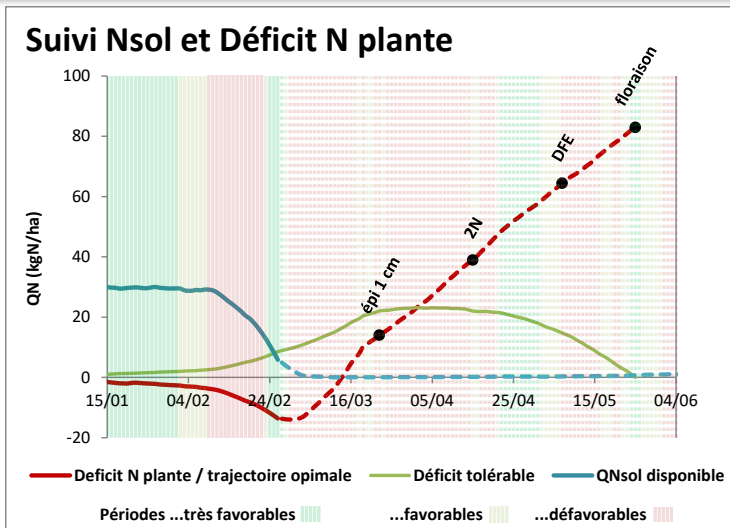
(du 15/01 au flo+10j) :

- Périodes défavorables ($P > 10\text{mm}$) / favorables ($10 \leq P \leq 15\text{mm}$) / très favorables ($P > 15\text{mm}$)
- Toutes les périodes postérieures à la date du jour sont en hachuré car peuvent changer de classe



Mise en œuvre opérationnelle

3. Détermination de la dose préconisée



Principe du calcul de la dose préconisée

- Si hors période de pilotage (15/01 -> flo+10j) ou si période défavorable ou si apport N dans les 14 derniers jours -> 'Apport non conseillé'
- Sinon -> 'dose préconisée = déficit N à la prochaine période favorable / CAU moyen'

Désignation de la prochaine période favorable

2 conditions à remplir :

- Période de 5j consécutifs favorables ou très favorables
- Plus de 14j après la date de consultation (temps minimum pour valorisation d'un apport potentiel)

CAU

Pour commencer, CAU fixé à 80% -> pourra être raffiné par la suite (calcul itératif ?)

| | | |
|--|------------|----------|
| Vitesse d'absorption N (dans les 10j) | 0.7 | kgN/ha/j |
| Date franchissement INN min (Déficit N plante > Déficit tolérable) | 02/04/2019 | |
| Date épuisement Nsol disponible (QNsol =0) | 03/03/2019 | |
| Prochaine période favorable pour apport N | 21-avr. | 6-mai |
| Déficit prochaine période favorable | 52 | kgN/ha |
| Dose préconisée (CAU=80%) | 70 | kgN/ha |



Conclusions & Perspectives

Conclusions :

- Des performances agronomiques moyennes satisfaisantes, mais une adaptation des règles de décision nécessaire (choix d'une trajectoire d'INNmin adaptée au contexte agropédoclimatique)
- Les performances d'estimation de l'INN doivent être améliorées, notamment via des progrès possibles sur CHN (effet satiété, gestion de l'azote en profondeur...) et surtout de l'assimilation de données capteurs plante

Quelle suite pour 2019-2020 ?

- Poursuite du réseau expérimental pour évaluer le prototype opérationnel

A ensuite ?

- Premiers tests agriculteurs prévus pour la campagne 2020-2021
- Quid de l'acceptation réglementaire ?



Remerciements

Un grand merci à toutes les équipes impliquées :

Très nombreux partenaires (cf. diapo 5)

Pôle Agro (C. Delpech, G. Plevy...)

DAR (ingénieurs et techniciens, notamment M. Bonnefoy)

SSIM (F. Moreau, P. Descazeaux, B. Piquemal...)



Des questions ?