

## Paramétrage de la méthode du bilan sur les CIVE



### Sous-groupe de travail - Contributeurs :

Khady DIEDHIOU – COMIFER

Francesca DEGAN – ARVALIS

Hélène LAGRANGE – ARVALIS

Nicolas DAGORN - ARVALIS

Honorine GABRIEL – CRA Grand-Est

Alexandre Weil – PRECIFIELD

...

## Contexte

- Les surfaces en CIVE sont amené à augmenter compte tenu du contexte de transition énergétique et de soutiens aux alternatives aux énergies fossiles
- Le raisonnement de la fertilisation des CIVEs soulevé de nombreuses questions, notamment en lien avec le risque de lixiviation pendant la période hivernale ou en fin d'été,
- Directive Nitrates 7<sup>ème</sup> PAN : on peut dépasser le plafond de 100kgNefficace/ha sur la période de culture en démontrant la pertinence par un calcul prévisionnel de dose (mais pas le 70kgNdisponible/ha jusqu'à la sortie de l'hiver).

# PARAMÉTRAGE DE LA MÉTHODE DU BILAN

$$[I] : Rf - Ri = [Mh + Fs + Fns + Mhp + Mr + MrCi + Mpro1 + Mpro2 + A + Nirr + X + Xpro] - [Pf - Pi + Ix + Gs + Gx + L]$$

Avec :

États initial et final	
Rf	Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
Ri	Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
Entrée d'azote dans le système sol-plante	
Mh	Minéralisation nette de l'humus du sol*
Fs	Fixation symbiotique d'azote atmosphérique par la culture
Fns	Fixation non symbiotique d'azote atmosphérique
Mhp	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
Mr	Minéralisation nette de résidus de récolte
MrCi	Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
Mpro1	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°1 apporté avant l'ouverture du bilan
Mpro2	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°2 apporté après l'ouverture du bilan
A	Apports atmosphériques (apports météoriques = dépôts secs ou humides)
Nirr	Azote apporté par l'eau d'irrigation
X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse
Xpro	Azote de la fraction minérale d'un PRO apporté après la date d'ouverture du bilan
Sorties d'azote du système sol-plante	
Pf	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
Pi	Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
Ix	Organisation par voie microbienne aux dépens de l'azote minéral apporté sous forme d'engrais de synthèse ou de fraction minérale du PRO
Gs	Pertes du sol par voie gazeuse (dénitrification pour l'essentiel)
Gx	Pertes par voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) aux dépens de l'engrais minéral (X) et de la fraction minérale du PRO apporté après l'ouverture du bilan (Xpro)
L	Pertes par lixiviation du nitrate

## Méthode d'estimation des paramètres :

- Par synthèses des données d'essais
- Par modélisation

## Périmètre du paramétrage :

- Méthode homogène à l'échelle nationale
- Déclinaisons locales des paramètres en fonction des contextes pédoclimatiques
- Prise en compte de la météo fréquentielle (15 ans de données passées)

## Questions :

- En fonction de quelles cultures et de quels contextes pédoclimatiques de références ?
- Comment on valide et intègre dans les PAR et ARR ?
- Quelles dates d'ouverture et de fermeture du bilan ?
- Validation avec des données et des résultats d'autres études ?

# Méthode du bilan appliquée aux CIVE

## Les postes pour les CIVES

$$X = [Pf - Pi + Rf - L] - [Ri + Mh + Mhp + Mr + Mpro1 + Mpro2 + Nirr + Xpro]$$

Postes du bilan	Commentaires
 <b>Pf (Objectif de rendement (y) x besoin par unité de production (b))</b>	y : rendements cibles issues de l'expertise : inférieur, médian, supérieur Et revalidés par rapport à la dose optimale calculée a posteriori b : Données issues des courbes des réponses simulées avec CHN
 <b>Pi (Quantité d'azote absorbé en sortie d'hiver)</b>	Moyenne de l'azote absorbé à l'ouverture du bilan (au semis ou en sortie d'hiver) en fonction des modalités d'apport (avec et sans apports à l'automne)
 <b>Rf (Reliquats d'azote – fermeture bilan)</b>	Moyenne de la quantité d'azote dans le sol à la dose optimale calculée a posteriori le jour de la récolte
 <b>Mh (Minéralisation de l'humus)</b>	Moyenne de la quantité d'azote du sol minéralisé en cumul de l'ouverture du bilan ou du semis jusqu'à la date de récolte en fonction de la dose optimale calculée a posteriori
  <b>Ri (Reliquats d'azote – Ouverture bilan)</b>	- Soit Rentré par l'utilisateur - Soit Estimé avec un modèle, en fonction de l'année, du sol et des pratiques culturales
  <b>Nirr (quantité d'azote apporté par l'eau d'irrigation)</b>	- rentré par l'utilisateur, en fonction de la quantité d'eau apporté et de la teneur en nitrates de l'eau d'irrigation
  <b>Mr (Minéralisation des résidus du précédent)</b>	- Quantité des résidus du précédents (estimé ou issus de données) - Teneur en azote des résidus - Jours Normalisés cumulés moyens sur la période de présence des CIVES - Modélisation via le modèle de Juste et al. 2009
  <b>Mpro (Minéralisation de l'humus des pro)</b>	- Type de PRO, composition, dose et date d'apport - Jours Normalisés cumulés moyens sur la période de présence des CIVES
  <b>Mhp (Minéralisation de l'humus des prairies)</b>	- Nature et mode d'exploitation de la prairie

	<b>Poste estimé avec la méthode de cette brochure</b>
 	Poste à saisir par l'utilisateur à partir des données mesurées
 	Poste à calculer, à partir de données à disposition de l'utilisateur et des variables estimées avec cette méthode (ex: jours normalisés)

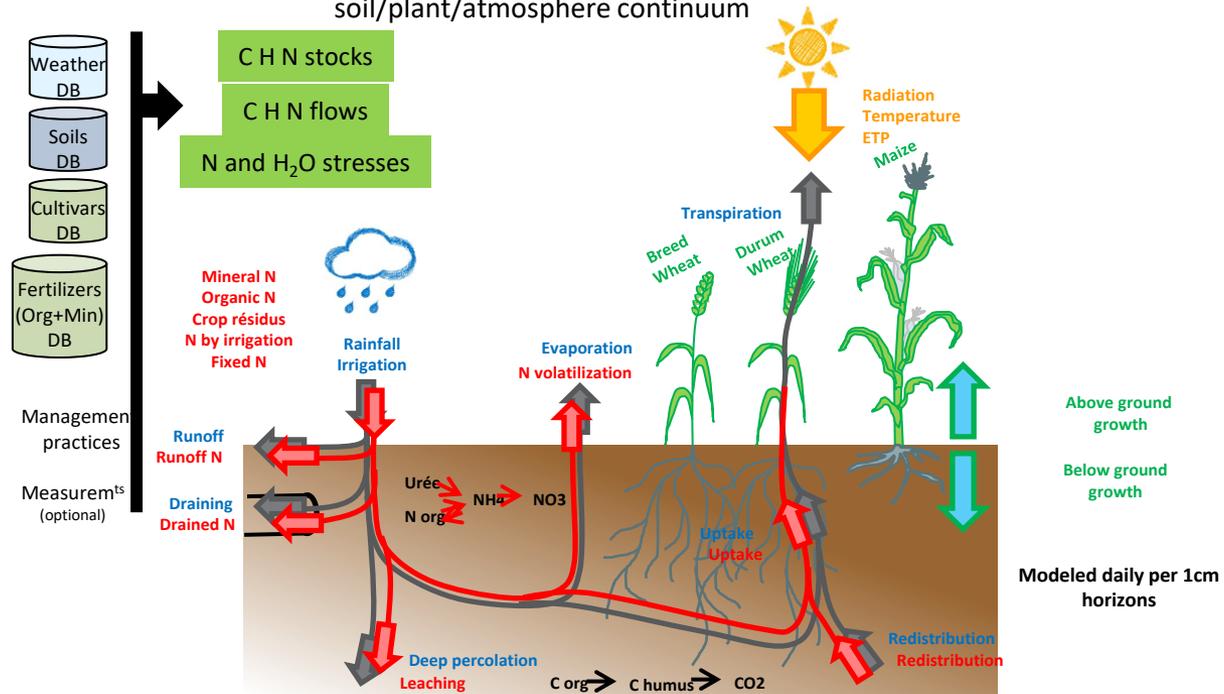
# Étapes de travail

1. **Élaboration du plan de simulation**
  - Zones d'étude : sol et climat
  - Culture CIVE : espèces, variétés, date de semis, irrigation
  - Fertilisation : forme x doses x date d'apport
2. **Calibration des espèces CIVE dans le modèle de culture CHN**
3. **Simulations avec le modèle de culture CHN : 1 simulation = site x station météo x sol x [espèce, date de semis, densité de semis, irrigation] x [formes, doses, date]**
4. **Analyse des résultats :**
  1. Par date
    - Par rendement cible : 3 niveaux de rendement cible par situations => une date différente par simulation
    - Par durée du cycle : 3 niveaux de durée moyenne de cycle en fonction du site x sol x climat x rdt cible x forme x période d'apport, pour toutes les doses d'azote,
  2. Par plages :
    - Entre le semis et la sortie d'hiver (1<sup>er</sup> Mars)
    - Entre le semis et la récolte
    - Entre la sortie d'hiver et la récolte

# CHN- présentation et données nécessaires

## CHN crop model:

Carbon (C), Water (H<sub>2</sub>O) and Nitrogen (N) daily flows into a soil/plant/atmosphere continuum





# 1. Élaboration du plan de simulation

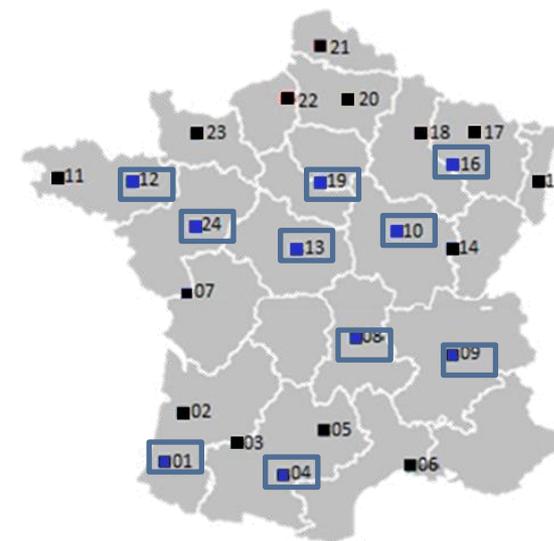
Sites /  
Lieux

- **Contextes pédoclimatiques : Reprendre les sites d'études du travail sur les CI de Justes et al. 2012 + travaux en cours à l'ACTA**

- Choisir les sites en « bleu » sur la carte

Région	N°Site	Nb de station meteo	Nom du Sol
Sud Ouest	1	1	Boulbènes superficielles
Sud Ouest	4	1	Terreforts moyens
Rhône Alpes	8	2	Sol de graviers profond
Rhône Alpes	9	1	Limon battant hydromorphe
Rhône Alpes	9	1	Limon battant sain
Rhône Alpes	9	1	Sol de graviers profond
Grand Est	10	1	Argilo-calcaire superficiel sur calcaire dur non fissuré
Ouest	12	1	Limon sur schiste tendre
Centre	13	3	Argilo-calcaire moyen
Grand Est	16	1	Craie terre blanche
Grand Est	16	1	Limon argileux profond
Centre	19	3	Limon argileux
Ouest	24	1	Limon battant hydromorphe

co-construit avec  
les IR Arvalis



# 1.Élaboration du plan de simulation

## - Hiver :

- Témoin
- Automne (2 j avant semis)
- Printemps (1<sup>er</sup> mars)



- 1 CRN (40,70,100,130) Ammo
- 1 série (40,70,100) par Digestat, Lisier, Fumier

- Fractionnement (40+40)



- Lisier, Digestat, Digestat + Ammo

## - Été :

- Témoin
- 2 j avant semis



- 1 CRN (30,60,90,120) Ammo
- 1 série (30,60,90) par Digestat, Lisier, Fumier

## 2. Calibration des espèces CIVE

CIVE	nomEspece	codeEspece	Variete	StadeForce	NomStadeForce	SommeTempe rature
Triticale	Triticale	19	Bikini			
Seigle	Blé tendre d'hiver	17	Filon	Z55	epiaison	1495.67
Avoine	Blé tendre d'hiver	17	Filon	Z30	Epi1cm	1150.58
Maïs	Maïs fourrage	48	LG30215			
Sorgho	Maïs fourrage	48	LG30215	Z55	epiaison	1931.2

### 3. Simulations avec le modèle de culture CHN

- **18 sites (zones x stations météo x sols)**
    - 10 zones en 5 régions
    - 18 stations météo
    - 12 sols
  - **17 fiches agronomiques :**
    - 5 espèces en 10 zones
  - **37 modalités de fertilisation**
- = > 3 587 fiches x 15 ans (2004-2019) => 53 805 traitements**

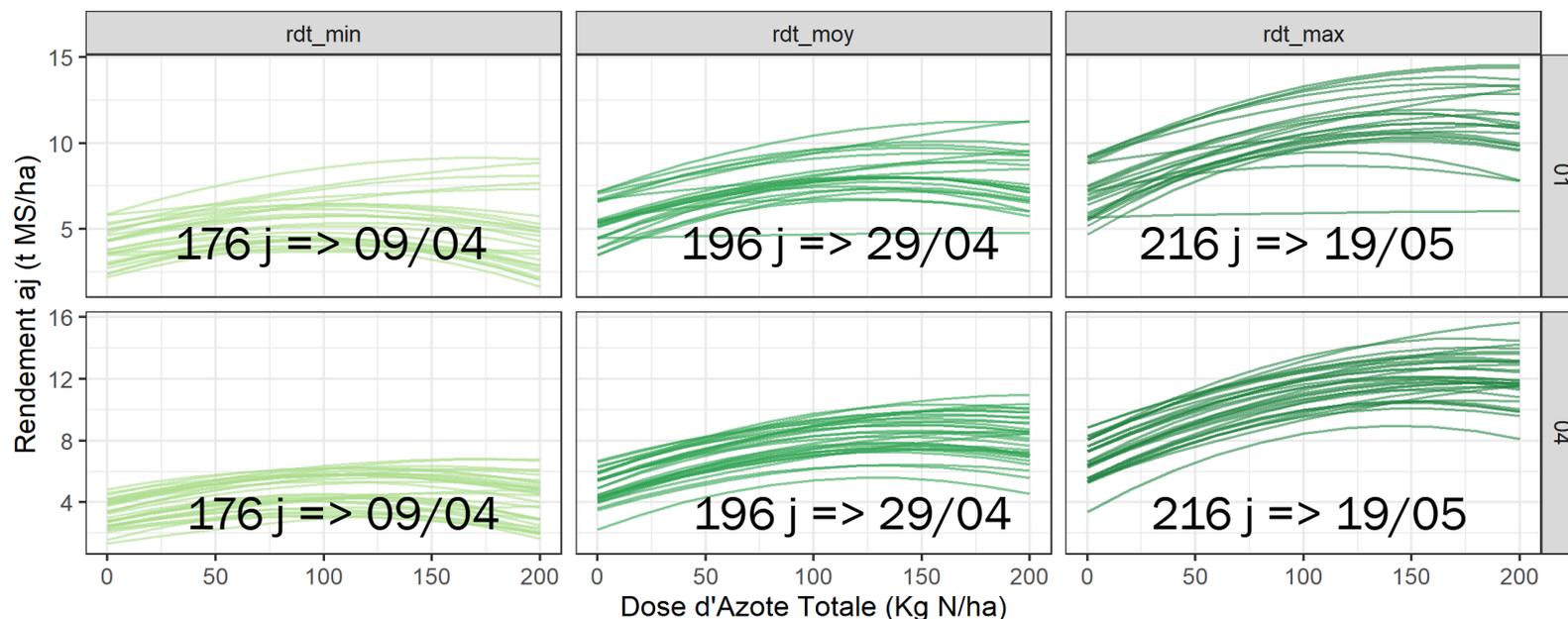
04/07/2023

# Courbe de réponse à l'azote simulées

Fiche agro01 - pri  
Rendement aj (t MS/ha)  
Lieux :

La même date de récolte tous les ans  
Calculée comme la moyenne sur tous les ans par CRN  
Ammo (site x fiche x période apports)

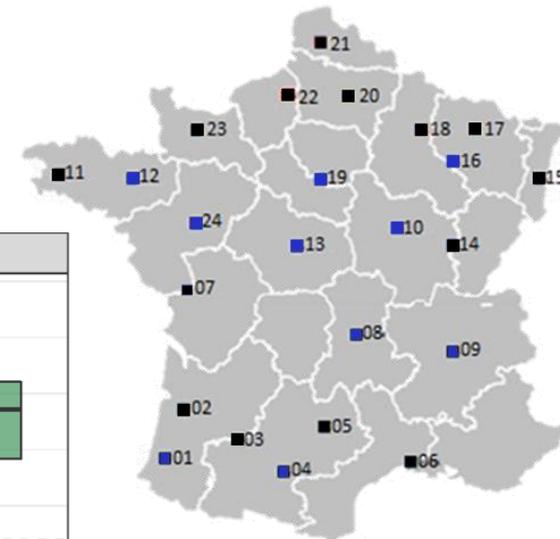
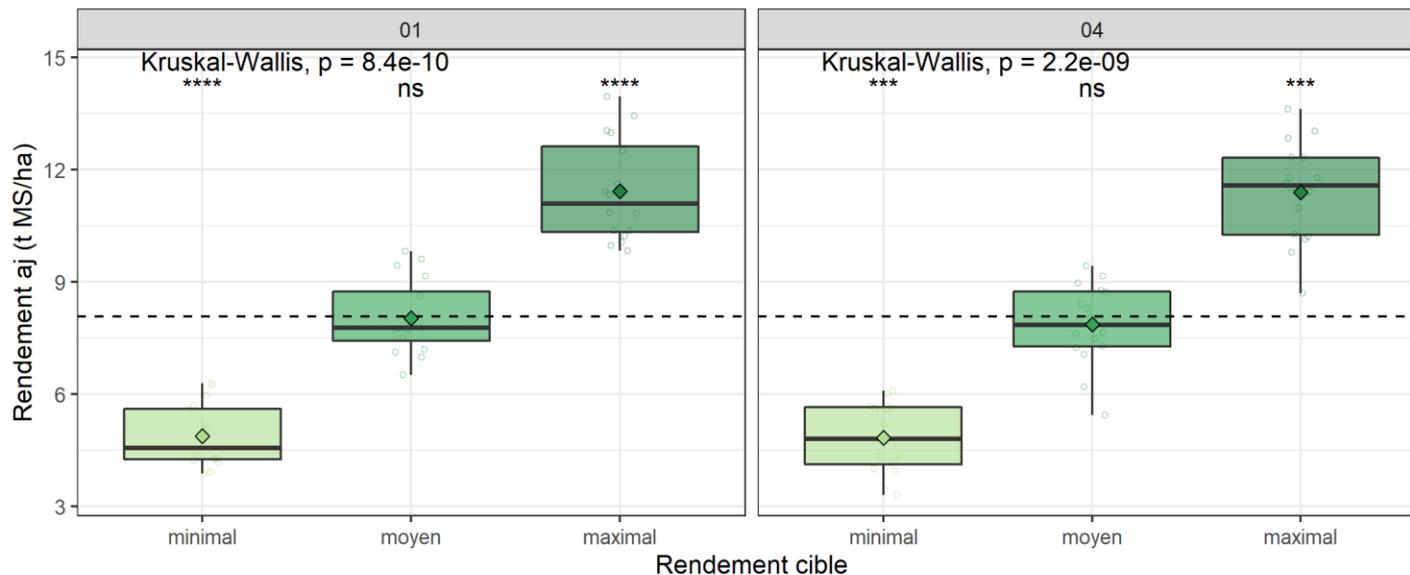
3 400 CRN au total  
180 CRN pour agro 01



La même date pour chaque groupe de rdt cible  
Pour chaque niveau de la variable 'Dose Totale Azote',  
on compare les moyennes de la variable en y  
dans les différents groupes formés par la variable de regroupement 'rdt'

# Pf (Objectif de rendement (y) x besoin par unité de production (b))

Fiche agro01 - pri  
 Rendement aj (t MS/ha)  
 Lieux :



id.rdt	rdt (t MS/ha)
rdt_min	4.9
rdt_moy	8.0
rdt_max	11.4

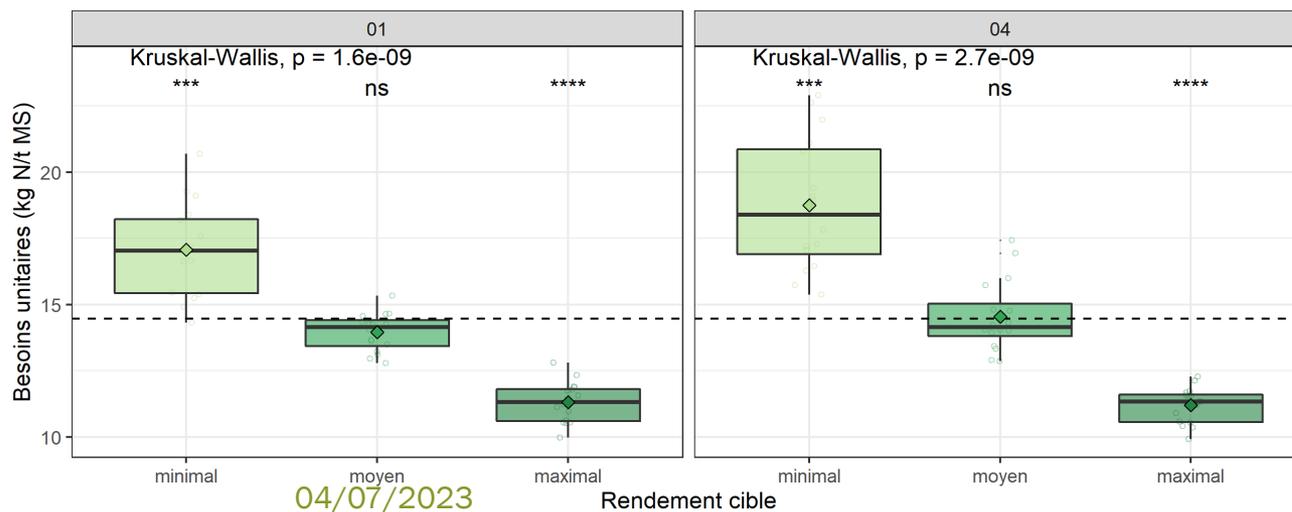
La même date pour chaque groupe de rdt cible  
 Pour chaque niveau de la variable 'Dose Totale Azote',  
 on compare les moyennes de la variable en y  
 dans les différents groupes formés par la variable de regroupement 'rdt'

# Pf (Objectif de rendement (y) x besoin par unité de production (b))

Fiche agro01 - pri

Besoins unitaires (kg N/t MS)

Lieux :



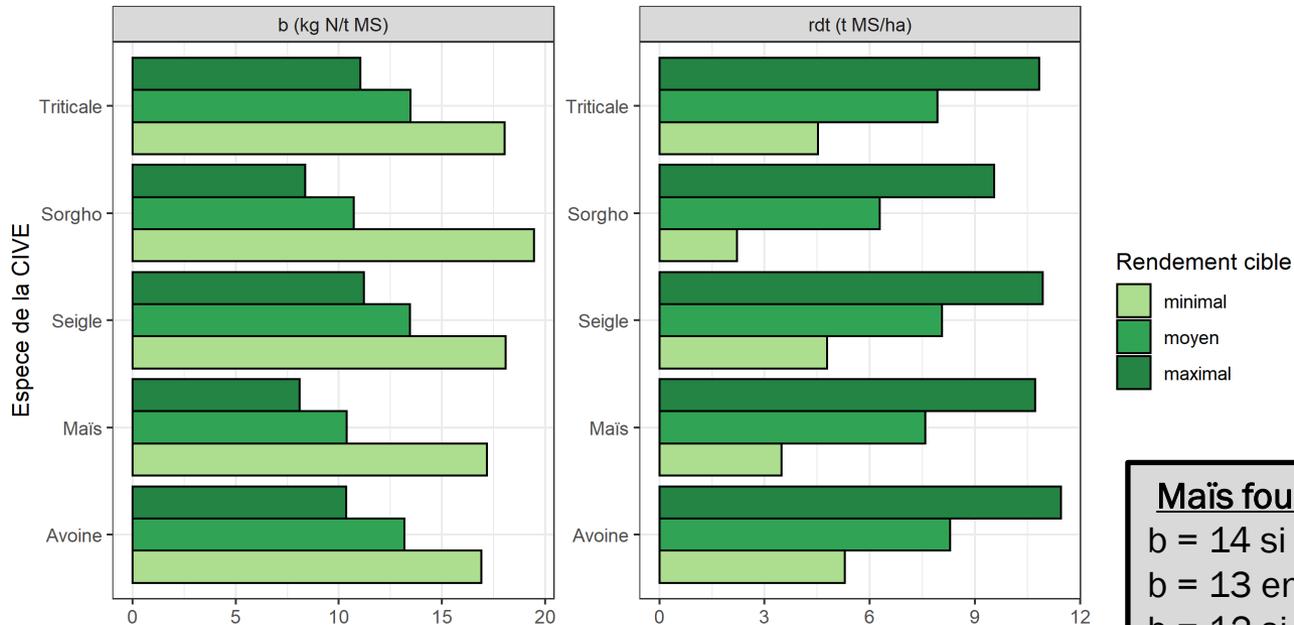
Avoine

Rendement	b (Kg n/t MS)
rdt_min	18
rdt_moy	14
rdt_max	11

La même date pour chaque groupe de rdt cible  
Pour chaque niveau de la variable 'Dose Totale Azote',  
on compare les moyennes de la variable en y  
dans les différents groupes formés par la variable de regroupement 'rdt'

# Pf (Objectif de rendement (y) x besoin par unité de production (b))

RECITAL - besoins moyens en fonction du rdt



**Maïs fourrage t MS /ha**  
 b = 14 si ObjRdt <= 14 t  
 b = 13 entre 14 et 18 t  
 b = 12 si ObjRdt > 18 t

# Rf (Reliquats d'azote – fermeture bilan)

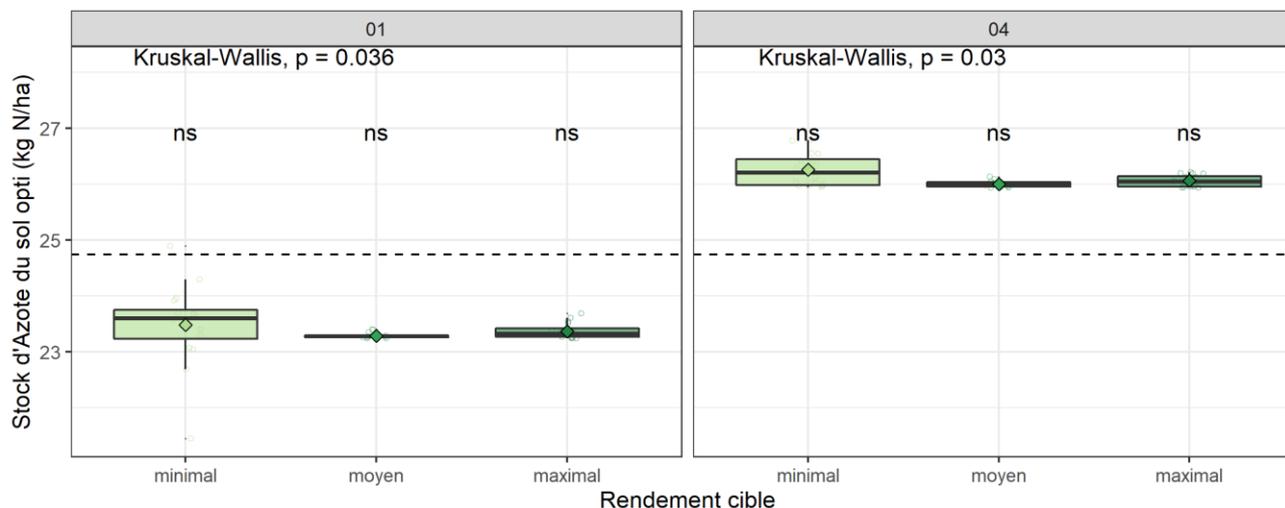
Fiche agro01 - pri

Stock d'Azote du sol opti (kg N/ha)

Lieux :

Sud Ouest 1 Boulbènes superficielles

Sud Ouest 4 Terreforts moyens



04/07/2023

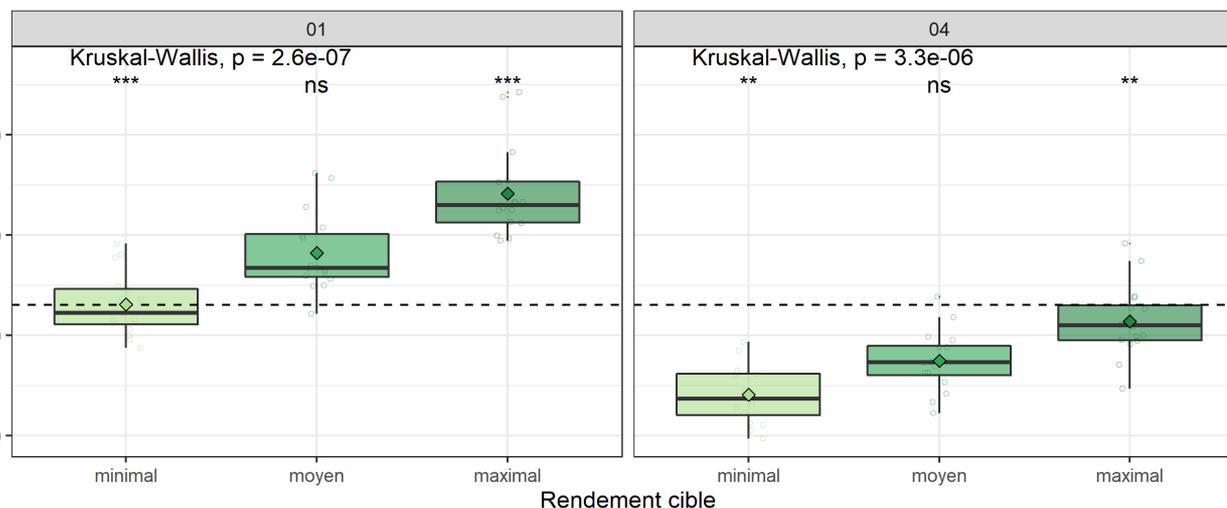
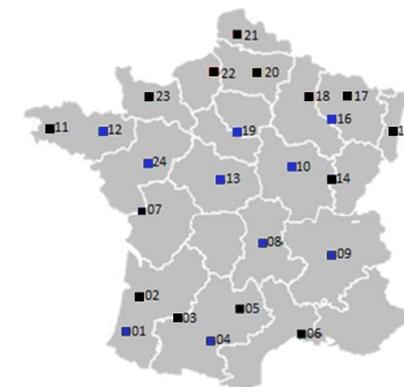
La même date pour chaque groupe de rdt cible  
Pour chaque niveau de la variable 'Dose Totale Azote',  
on compare les moyennes de la variable en y  
dans les différents groupes formés par la variable de regroupement 'rdt'

id.lieu	id.rdt	Stock N sol (Kg N/ha)
	1 rdt_moy	23.3
	4 rdt_moy	26.0

# Mh (Minéralisation de l'humus)

Fiche agro01 - pri  
Mh opti (kg N/ha)  
Lieux :

Sud Ouest	1	Boulbènes superficielles
Sud Ouest	4	Terreforts moyens



04/07/2023

La même date pour chaque groupe de rdt cible  
Pour chaque niveau de la variable 'Dose Totale Azote',  
on compare les moyennes de la variable en y  
dans les différents groupes formés par la variable de regroupement 'rdt'

Cumul entre la sortie  
d'hiver et la récolte

id.lieu	id.rdt	Mh opti (kg N/ha)
1	rdt_min	33.08
1	rdt_moy	38.23
1	rdt_max	44.13
4	rdt_min	24.08
4	rdt_moy	27.45
4	rdt_max	31.42

# Validation des références

- Validation des références moyennes par comparaison à :
  - Dose optimale a posteriori dans les essais avec courbe de réponse à l'azote :
    - Arvalis
    - CRA Grand Est
  - Comparaison avec l'expertise régionale :
    - CRA Grand Est
  - Comparaison avec des bases de données de doses totales apportées par les agriculteurs :
    - Précifield (environ 20 parcelles)

Besoin d'enrichir les cas-types et l'expertise pour valider les références

# Exemples de dose totale prévisionnelle

- Sol argilo-calcaire superficiel des plateaux de Bourgogne (21), station météo de SEMUR-EN-AUXOIS (21)
- Seigle (semis 21/09), avec un objectif de 8 tMS/ha, récolté le 10/05.
- RSH = 7 kg N/ha
- postes Mpro, L et Nirr sont considérés égale à 0 dans ce cas
- $X = (Pf+Rf - Pi) - (Mr+Mh+Ri)$

BESOINS	
Objectif de rendement	8
*Besoin en kgN/tMS/ha	13.4
*Reliquats d'azote – fermeture bilan (Rf)	25
<b>132</b>	

FOURNITURES	
Reliquats d'azote sortie d'hiver – Ouverture bilan (RSH ou Ri)	7
*Quantité d'azote déjà absorbé en sortie d'hiver (Pi)	10
*Minéralisation des résidus du précédent (Mr)	-10
*Minéralisation de l'humus (Mh)	33
<b>40</b>	

$$X = 132 - 40 = 92$$

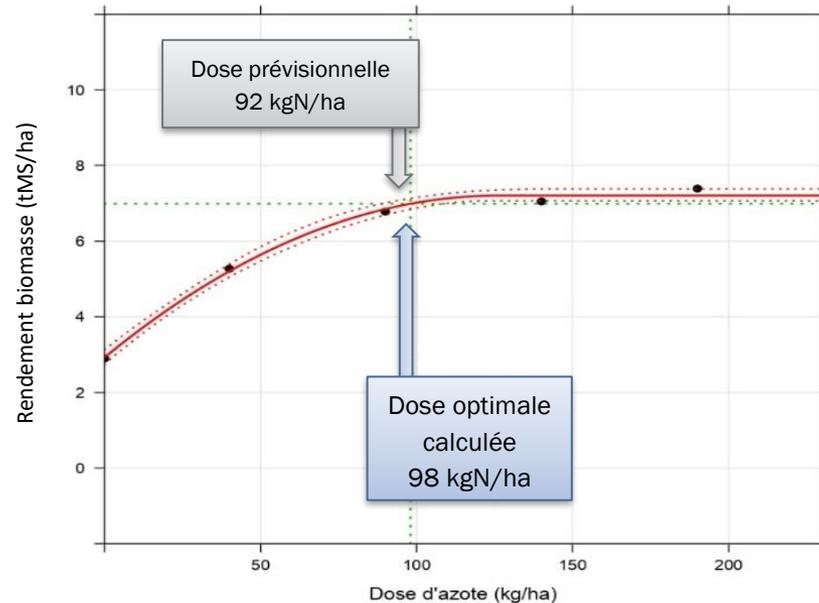
# Validation avec des essais CRN

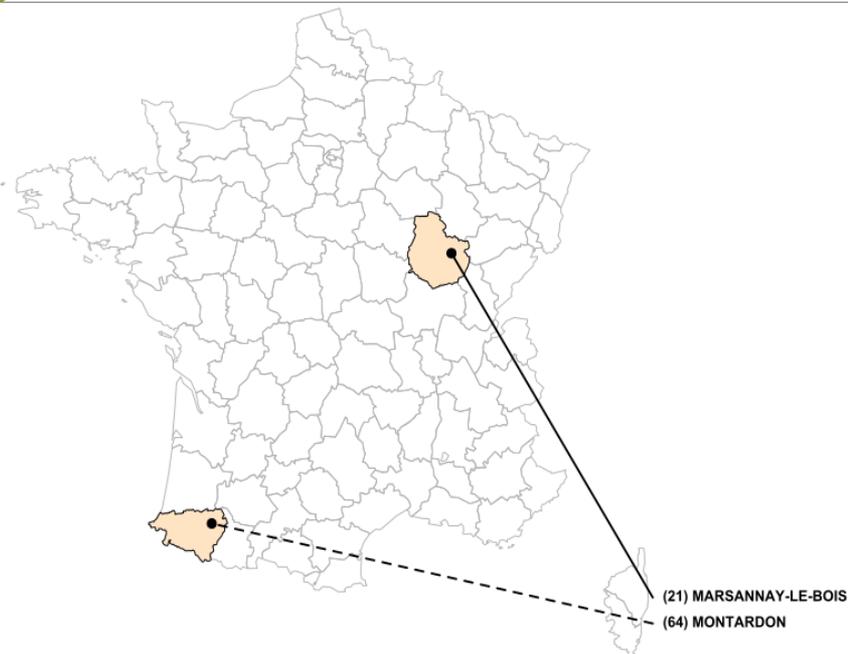
Plusieurs essais de courbe de réponse à l'azote sur CIVE d'hiver (seigle et triticale) ont été conduits dans le cadre du projet RECITAL.

Ces essais ont permis de valider l'intérêt d'une fertilisation azotée en sortie d'hiver en comparaison à aucun apport.

D'autre part, au-delà de 90 à 100 kgN/ha apporté les gains de biomasse pour une récolte début mai sur les différents sites étaient marginaux.

Courbe de réponse à l'azote pour un seigle fourrager en CIVE d'hiver (Marsannay le bois (21), sur Argilo-calcaire superficiel, Seigle Turbogreen, semis 12/09/2021, récolte 10/05/2022)

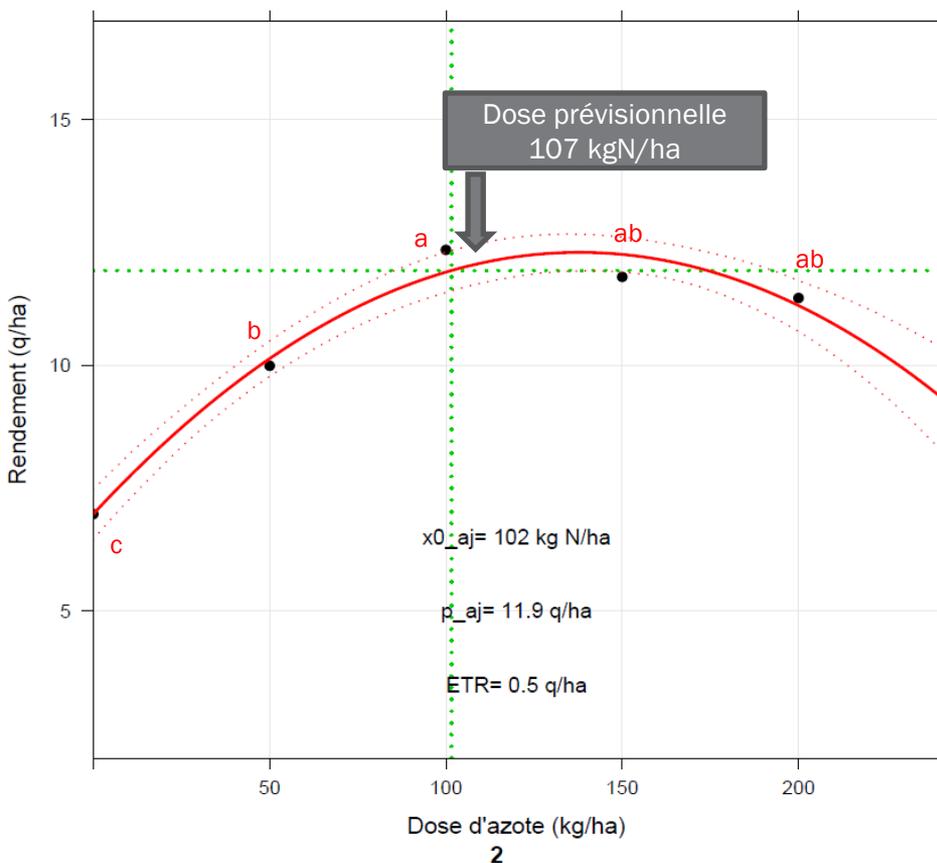




Module	Traitement	Dose N totale (kg N/ha)
Courbe de réponse	Témoin 0	0
	AMMO_50	X-50
	AMMO_100	dose bilan X
	AMMO_150	X+50
	AMMO_200	X+100

ESSAI	RMQ	SOL Texture	PREC.	Espèce Variété	SEMIS	RECOLTE	Ecart pluie médiane 20ans Semis- récolte	Ecart pluie médiane 20ans SH- récolte	Dose totale prév	CONDITIONS PLUVIOMETRIQUE S DE VALORISATION DES APPORTS D'ENGRAIS	
										N1 +15j	N2 +15j
DIJON (TIL-CHATEL)		Argilo- calcaire sup	BTH	Seigle - TURBOGREEN	12/09/2021	10/05/2022	-152 mm 69%	-106 mm 48%	92 kg N/ha	15mm	10mm
Montardon SEIGLE	VERSE	Touyas (<18%A)	CIVE	Seigle - VITALO	21/10/2021	06/05/2022	-24 mm 96%	-133 mm 61%	107 kg N/ha	13mm	38mm
Montardon Triticale	GEL épi			Triticale - BIKINI							

mesures ajustement : quadratique ● intervalle de confiance 95%  
ajustement : quadratique — optimum 97%



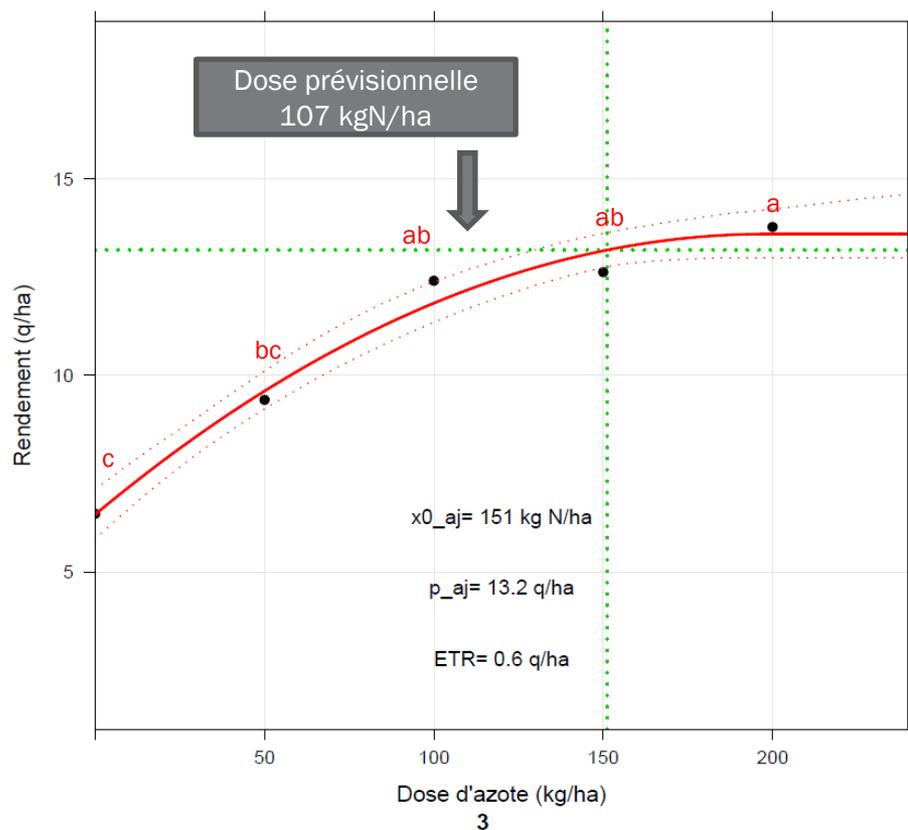
-> quadratique car effet verse

dose N kg/ha	Note de verse	¼ ép 22-04-22	Note de verse	Fin flo 03-05-22
Temoin 0 N	0.0		0.0	.b
AMMO 50N	0.0		0.0	.b
AMMO 100N	4.7		5.0	ab
AMMO 150N	6.7		5.7	a.
AMMO 200N	8.3		8.0	a.

dose N kg/ha	tMS/ ha	%MS		
Temoin 0 N	6.97	..c	24.9	a.
AMMO 50N	9.99	.b.	25.0	a.
AMMO 100N	12.35	a..	23.5	ab
AMMO 150N	11.80	ab.	21.9	.b
AMMO 200N	11.37	ab.	20.8	.b

## Courbe de réponse à l'azote Rendement

mesures ● intervalle de confiance 95% .....  
ajustement : quadratique plateau — optimum 97% .....

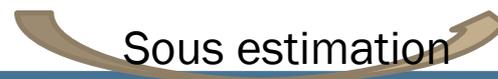


dose N kg/ha	tMS/ha	%MS	
Temoin 0 N	6.48	..c	31.5 a..
AMMO 50N	9.38	.bc	28.8 a..
AMMO 100N	12.41	ab.	25.9 .b.
AMMO 150N	12.63	ab.	24.1 .bc
AMMO 200N	13.78	a..	23.0 ..c

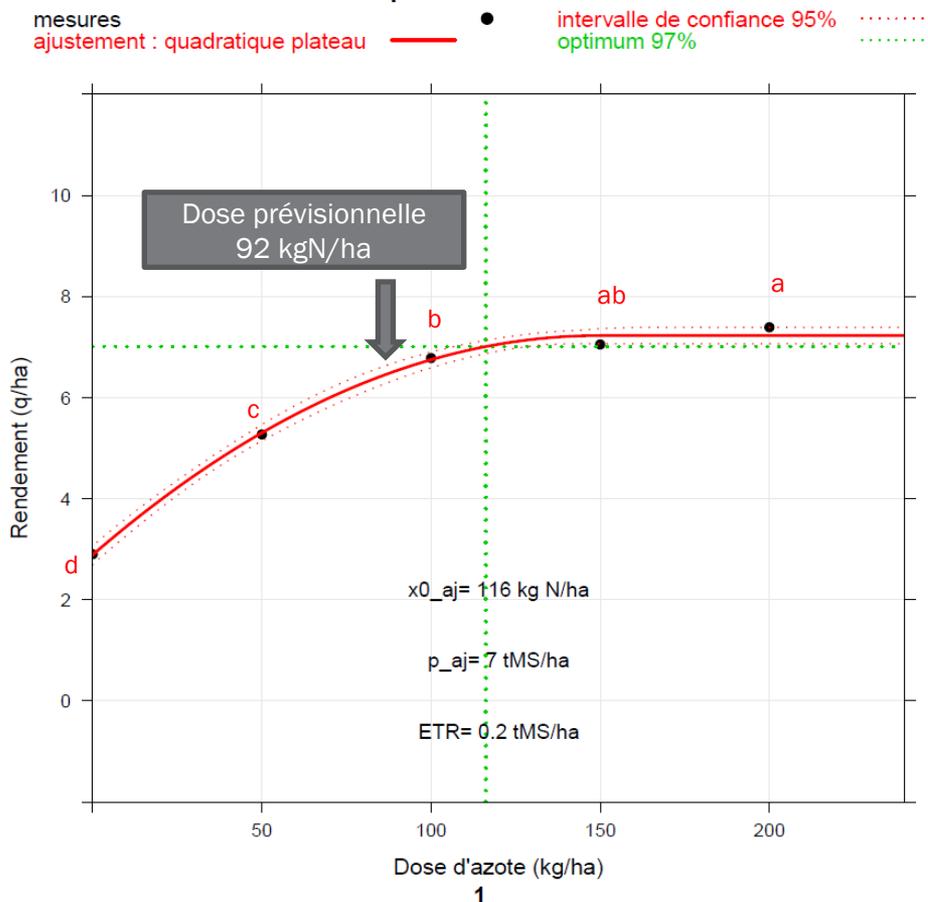
$$X = (Pf+Rf) - [Mr+Mh+Mhpro+Mhp] - Nirr - Ri - L$$

Sol	Touyas (<18% argile) AQ0066000
Station météo	6402
Date de semis	21/10/2021
Espèce	Seigle / Triticale
Apport d'azote sur la culture précédente	80kgN/ha
Culture précédente	CIVE
Rendement de la culture précédente	12tMS/ha
Export des pailles de la culture précédente	Oui

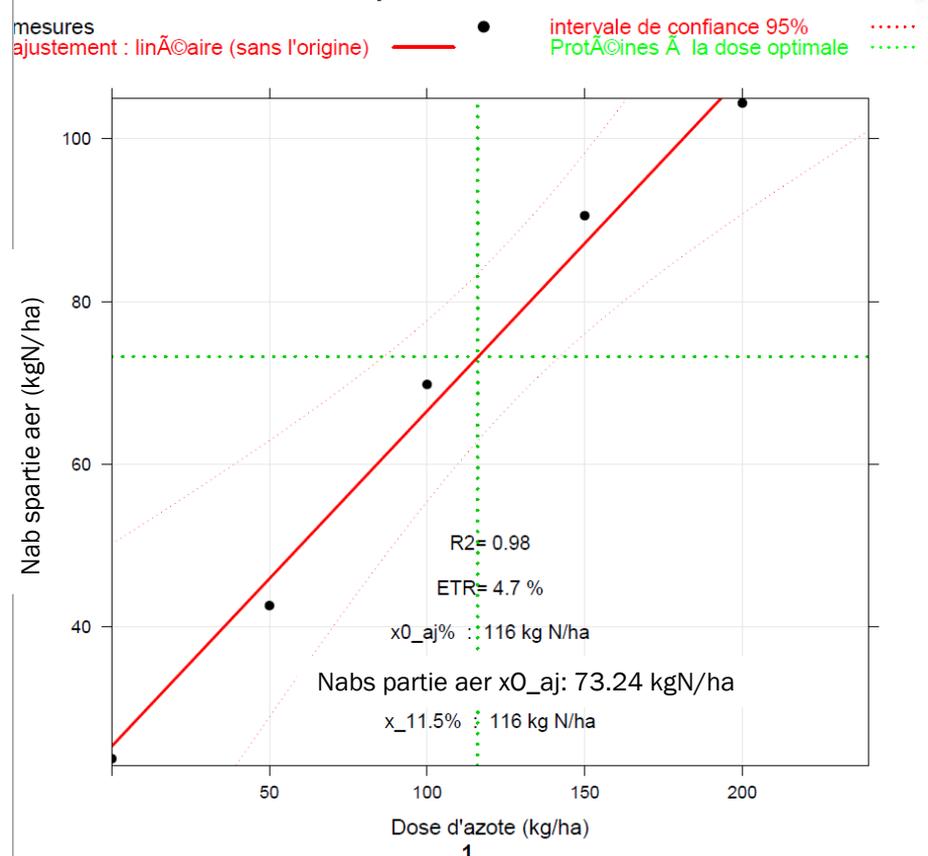
Postes du bilan		Prévisionnel	Post récolte - dose opti SEIGLE	Post récolte - dose opti TRITICALE
Objectif de rendement		12 tMS/ha biologique ~10 tMS/ha machine	~13 tMS/ha biologique 11.9 tMS/ha machine	~14 tMS/ha biologique 13.2 tMS/ha machine
Pf	Qté Nabs fin bilan	162		
Pi	Qté abs entrée bilan	29.3		
b	Besoin	13.5		
Rf	Reliquat fin bilan	26	30	56
RSH (= Ri)	Reliquat entrée bilan	32	35	28
Mh	Minéralisation nette humus	30	53	53
Mr	Minéralisation résidus récolte	-10	?	?
Mhpro	Minéralisation PRO	0	0	0
Mhp	Minéralisation prairie	0	0	0
L	Lixiviation	0	0	0
Nirr	N apport irrigation	0	0	0
<b>Dose X (kgN/ha)</b>		<b>107</b>	<b>102</b>	<b>151</b>



### Courbe de réponse à l'azote Rendement



### Courbe de réponse à l'azote absorbé



dose N kg/ha	tMS/ha	%MS	Nabs kgN/ha	CAU (%)
Temoin 0 N	2.90 ...d	31.43 .b	23.84 ..c	
AMMO 50N	5.27 ..c.	33.50 a.	42.65 ..c	37.62
AMMO 100N	6.78 .b..	34.17 a.	69.82 .b.	45.97
AMMO 150N	7.05 ab..	33.80 a.	90.56 a..	44.48
AMMO 200N	7.39 a...	33.17 a.	104.39 a..	40.27

$$X = (Pf+Rf) - [Mr+Mh+Mhpro+Mhp] - Nirr - Ri - L$$

Sol	Argilo-calcaire sup sur calcaire dur non fissuré
Station météo	B05531003 la station météo 2143 TIL CHATEL
Date de semis	12/09/2021
Espèce	Seigle
Apport d'azote sur la culture précédente	175 U N/ha
Culture précédente	Blé
Rendement de la culture précédente	6,8 t/ha
Export des pailles de la culture précédente	Oui

Postes du bilan		Prévisionnel	Mesures post récolte à la dose optimal N
Objectif de rendement		8 tMS/ha biologique 6-7tMS/ha machine	8 tMS/ha biologique 7 tMS/ha machine
Pf	Qté Nabs fin bilan	107.2 partie aérienne totale	73.25 partie aérienne récoltée
Pi	Qté abs entrée bilan	9.8	?
b	Besoin (kgN/tMS/ha)	13.4	10.4 (= Nabs/rdt)
Rf	Reliquat fin bilan	25	20.25
RSH (= Ri)	Reliquat entrée bilan	7	7
Mh	Minéralisation nette humus	33	10.6 (38 JN)
Mr	Minéralisation résidus récolte	-10	?
Mhpro	Minéralisation PRO	0	0
Mhp	Minéralisation prairie	0	0
L	Lixiviation	0	0
Nirr	N apport irrigation	0	0
<b>Dose X (kgN/ha)</b>		<b>92</b>	<b>116</b>

83.2

Prévisionnel sous-estime de 24 kgN/ha  
-> effet année sèche, moins de minéralisation de l'humus du sol

DIJON	Postes du bilan		Prévisionnel	Mesures post récolte à la dose optimal N
	Mh	Minéralisation nette humus	33	10.6 (38 JN)
	Dose X (kgN/ha)		92	116

-> X Sous estimation -24kgN/ha  
Liée à l'année sèche, déficit de minéralisation

MONTARDON	Postes du bilan	Prévisionnel	Post récolte - dose opti SEIGLE	Post récolte - dose opti TRITICALE
	Objectif de rendement	12 tMS/ha biologique ~10 tMS/ha machine	~13 tMS/ha biologique 11.9 tMS/ha machine	~15 tMS/ha biologique ? 13.2 tMS/ha machine
	Dose X (kgN/ha)	107	102	151

-> OK mais sous estimation du rendement; OK car verse? ←

→ -> Sous estimation -44kgN/ha  
Car sous estimation du rendement

-> La méthode du bilan testée semble adaptée: les écarts sont liés au contexte de l'année

### Point d'attention: référence rendement à utiliser?

- faut-il parler en rendement machine ou biologique?
- Faut-il proposer un « rendement normé » avec une hauteur de coupe de référence (analogie avec le rendement au norme 15%H des CaP)?
- Faut-il proposer une formule de passage du rendement machine vers le rendement biologique en fonction de la hauteur de coupe?
  - > attention, le choix devra être validée et justifiée auprès de l'administration