

RMT Fertilisation & Environnement

Innovations et Outils d'Aide à la Décision pour la Fertilisation Azotée

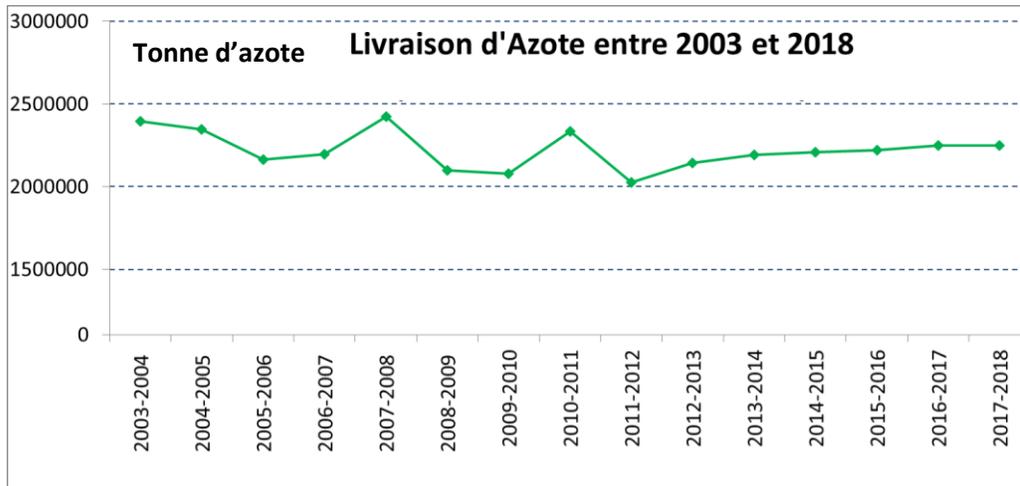
**Obriot F., Recous S., Cahurel J-Y., De Bandt M., Damay N., Dubrulle P., Gaillard J., Le Gall C., Le Roux C.,
Le Souder C., Jeuffroy M-H., Machet J-M., Verbèq**



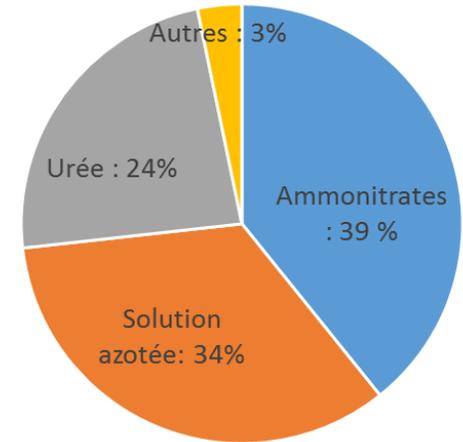
Contexte et Historique

Evolution consommation des engrais minéraux et usage des engrais organiques

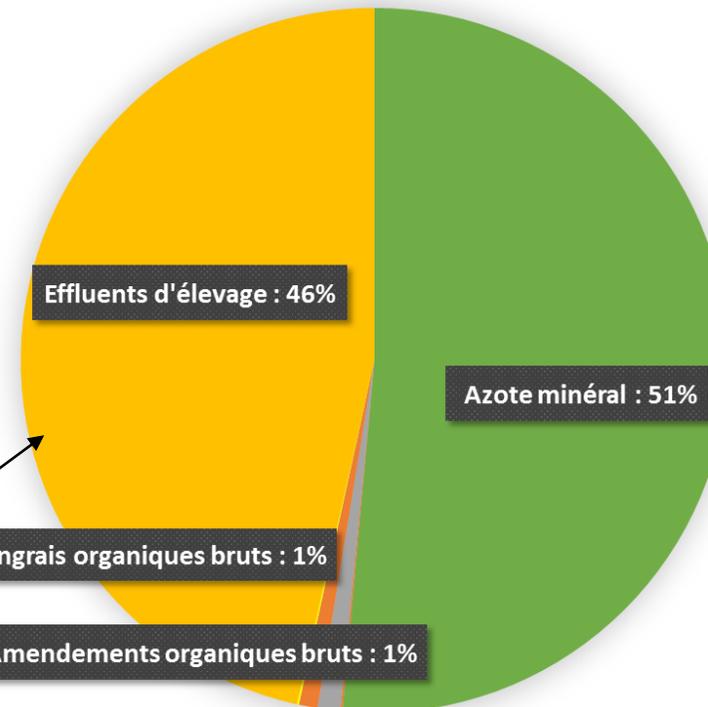
Engrais minéraux azotés en France



Formes d'engrais azotés livrés en France (2017/2018 en %)



Fertilisants azotés commercialisés et effluents d'élevage non commercialisés % (en 2017)



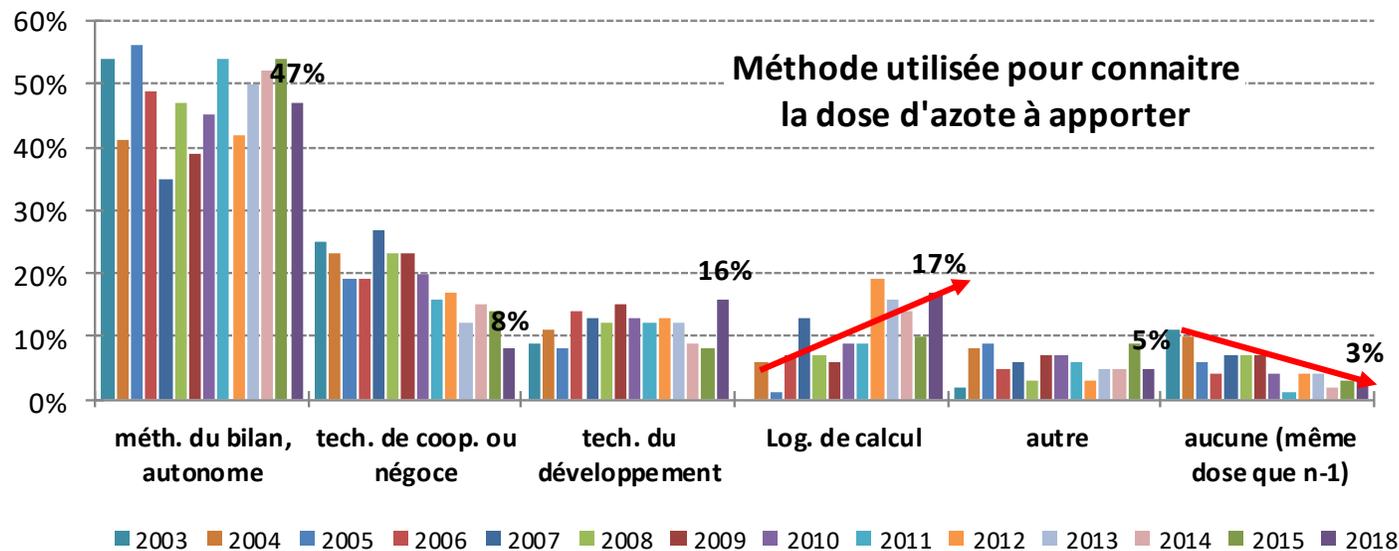
=> Stabilité de l'évolution de la proportion engrais organique vs. minéral utilisé en France mais diversité des formes organiques.

Non commercialisés

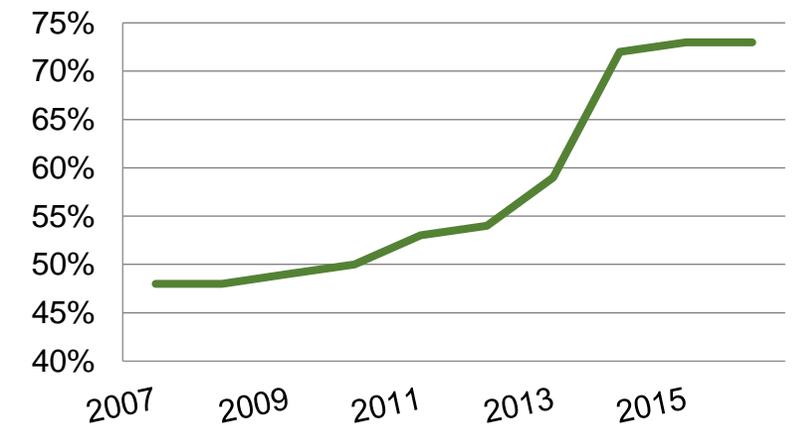
Source : UNIFA 2019

Evolution des pratiques de fertilisation azotée du BLE TENDRE (enquête N annuelle Arvalis)

Evolution comparée 2001/2018- Nord Loire



Evolution mesure de reliquat azoté



Par ailleurs, reprise très forte de l'utilisation des OAD en cours de végétation entre 2013-14 et aujourd'hui: ↗15 %

Historique et panorama des OAD

1969:
Publication de la méthode du bilan (INRA)

1978: Diffusion de la méthode du bilan grille papier (ITCF...)

1995... Développement outils pilotage basés sur des indicateurs plante

1990... Paramétrages régionaux de la méthode (Chambres d'agriculture...)

Brochure COMIFER Calcul méthode du bilan toutes cultures, 1983, 1996, 2013

Azobil
(INRA, LDAR)

Réglette Colza
(ITerresInovia)

AzoFert®
(INRA, LDAR, ITB)

N-Pérennes
(IFV, LDAR)

N'EDU
(CA02, LDAR)

Méthode INN
(INRA, Arvalis)

FERTIWeb dynamic®
(Arvalis, Auréa)

2016 Rapport ministériel outils de pilotage

1970

1980

1990

2000

2010

2020

Création COMIFER

1980: Rapport Hénin (Impact agricole sur la pollution de l'eau)

2003 – GIS Fertilisation Raisonnée

2007, 2010, 2013 RMT F&E

2011- Groupe RMT-COMIFER appui à la directive Nitrates

2012: Intégration de la méthode du bilan dans la réglementation / Référentiels GREN

1991: Adoption de la directive « Nitrates »

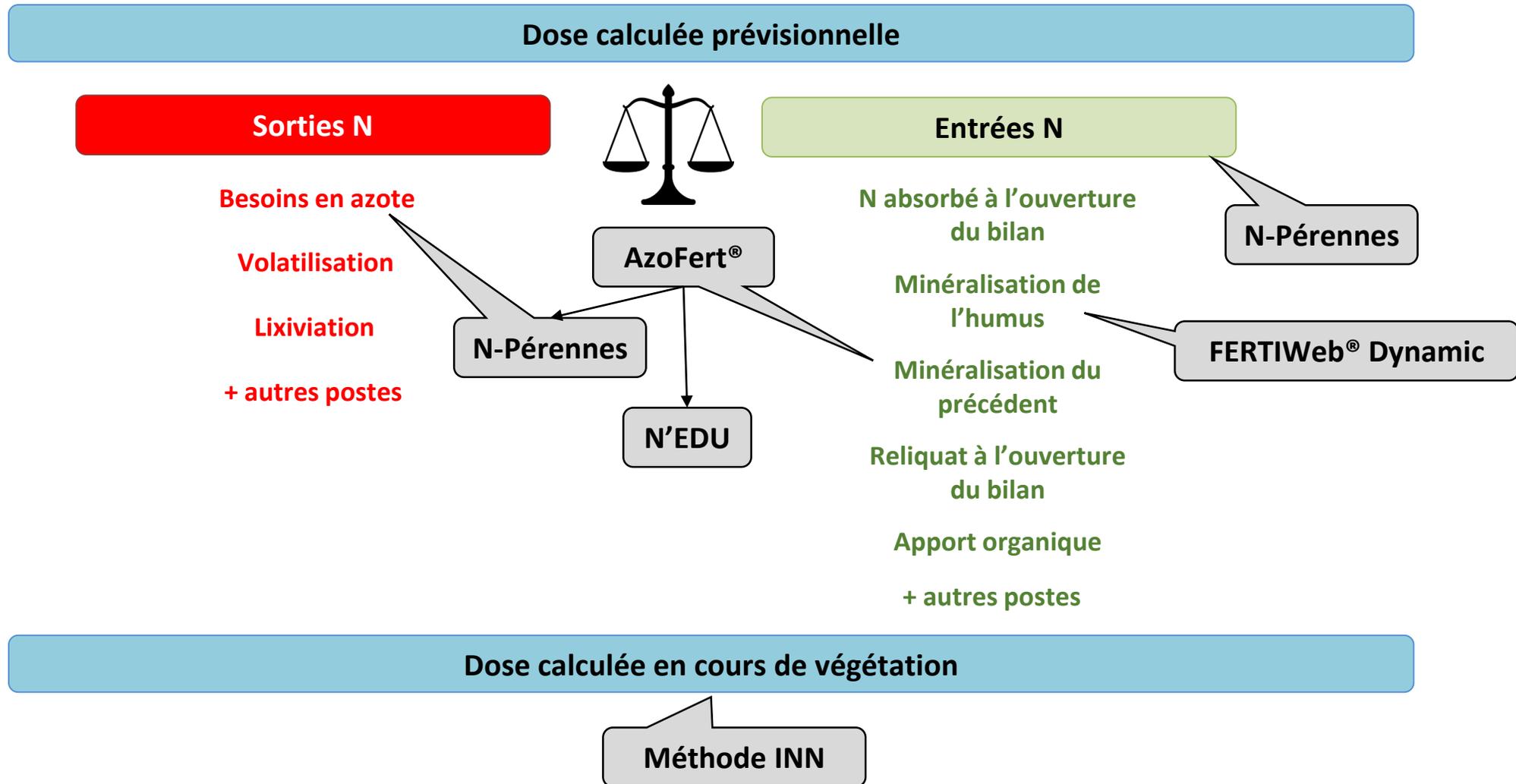
2016 - : 6^e prog. d'actions directive Nitrates

1990: 1^{er} rapport du GIEC

2011-2016: Contentieux UE / France directive Nitrates

Source: Adapté de Meynard J-M. 2018. Colloque sur l'azote (AFA, Paris).

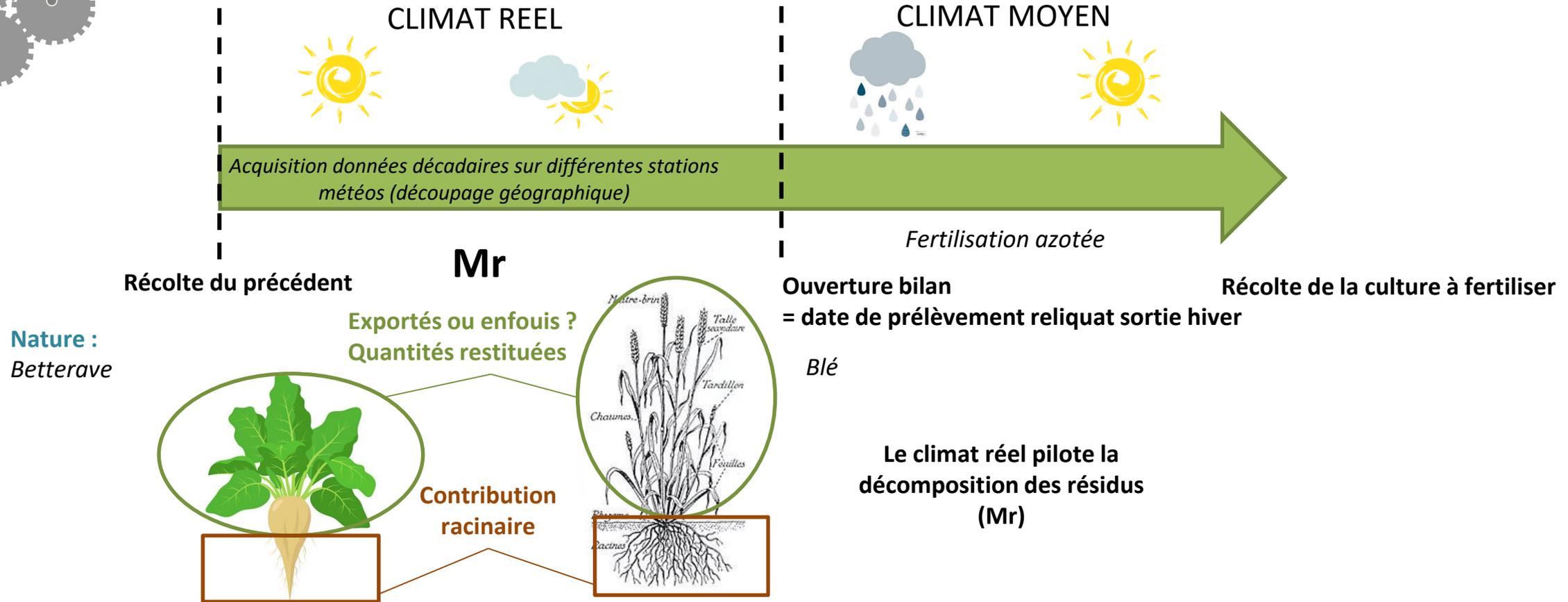
Exemples d'innovation des outils et diffusion des concepts



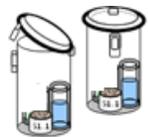
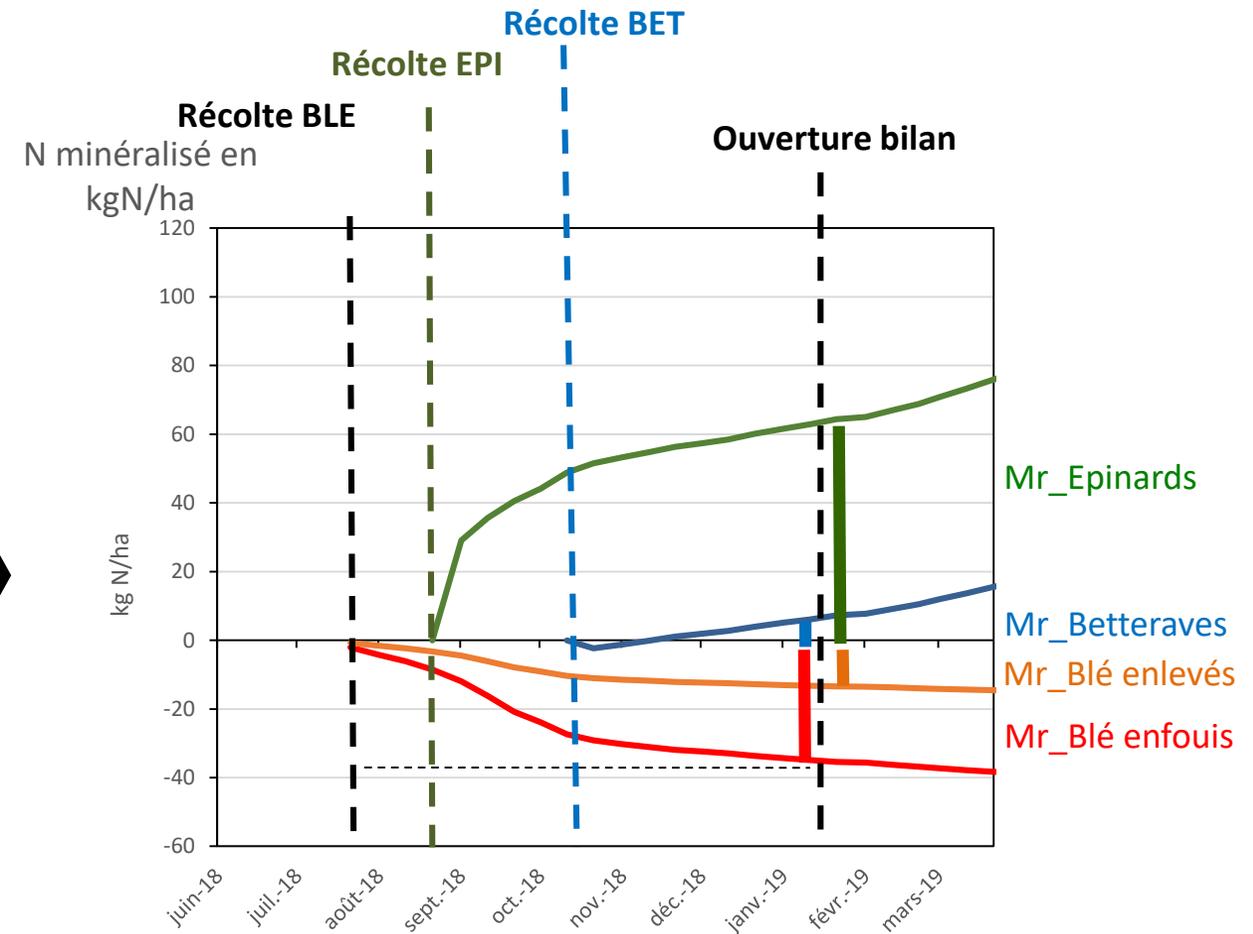
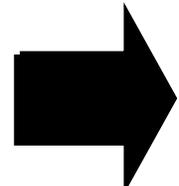
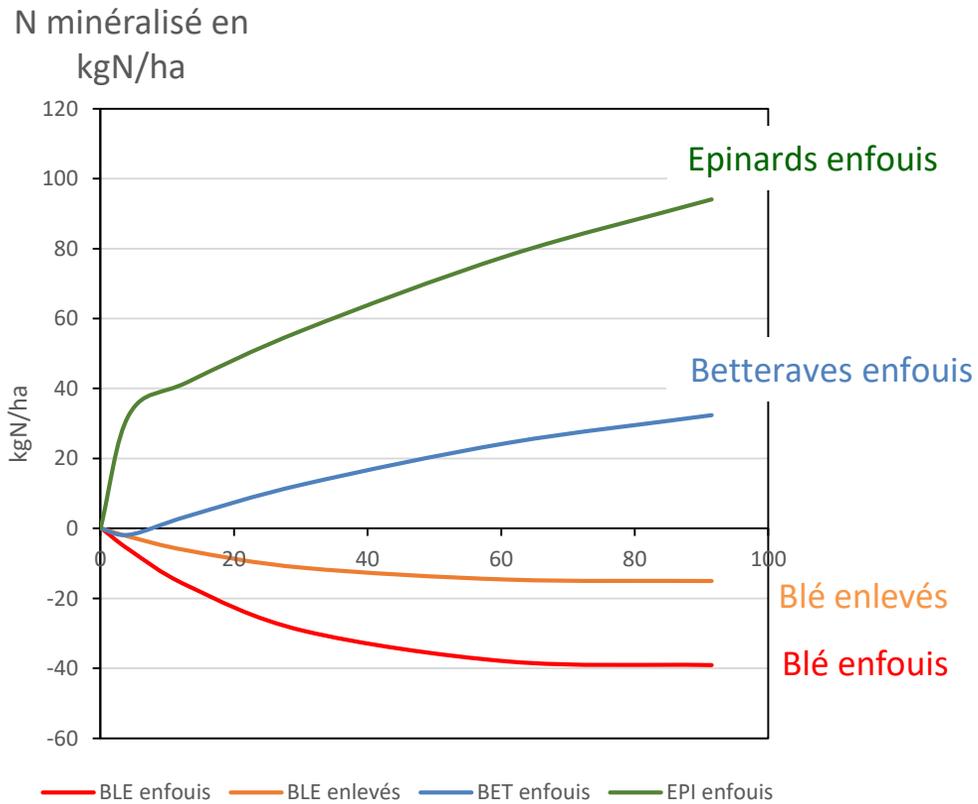
Nouveautés développées dans les OAD pour la fertilisation azotée

Dynamique de décomposition des résidus du précédent (Mr) par AzoFert®

AzoFert® = OAD dynamique → Utilisation des données météo acquises et/ou moyennes
→ Paramétrage régional en évolution constante



Dynamique de décomposition des résidus du précédent (Mr) par AzoFert®



Jours « normalisés »



Temps calendaire

CLIMAT REEL

Un logiciel pédagogique: N'EDU



- Des OAD de plus en plus performants
- Des concepts de plus en plus complexes
 - **Besoin de supports pédagogiques**
- Projet N'EDU (2012-2015) : logiciel pédagogique basé sur AzoFert®
- N'EDU, un logiciel novateur :
 - créé par des enseignants, des chercheurs et conseillers agricoles pour des formateurs et apprenants de différents niveaux
 - basé sur un logiciel professionnel (moteur AzoFert® hébergé par le LDAR de l'Aisne)
 - interface optimisée pour la formation



Un logiciel pédagogique: N'EDU

- Gestion de classes d'apprenants ; interface adaptée

The screenshot displays the 'Précédent et CIPAN' step of the N'EDU software. At the top, a red progress bar shows seven steps: Situation, Culture, Précédent et CIPAN (active), Sol, Pratiques habituelles, Apports, and Résultats. The main content area is titled 'Précédent et CIPAN' and includes a 'Sauvegarder' button. The form contains the following fields:

- Précédent* (dropdown menu)
- Rendement du précédent (t/ha)* (text input)
- Fertilisation azotée du précédent (kg N/ha)* (text input)
- Date de récolte du précédent* (text input)
- Devenir résidu du précédent (dropdown menu)
- Culture intermédiaire* (radio buttons for 'Oui' and 'Non')

A yellow tooltip points to the 'Rendement du précédent' field with the text: 'Indiquer la quantité d'azote minéral (y compris la partie d'azote disponible en cas d'apport organique) apporté sur le précédent.' A green information box on the right states: 'La quantité d'azote minéral apporté sur le précédent permet d'estimer un rapport C/N des résidus qui est pris en compte dans le poste minéralisation des résidus du précédent.' Below this box is a green bar with a gear icon and the text 'Niveau Découverte'. A blue 'Suite' button is located at the bottom center.

Un logiciel pédagogique: N'EDU

- Comprendre l'impact des données d'entrée sur la dose conseillée : comparaison de scénarios

Poste du bilan d'azote	Blé de betterave Contexte céréalier / élevage (facteur système ; teneur en Norg du sol ; RSH)	Exercice 3 kg N/ha	Exercice 1 kg N/ha
Besoin en azote de la culture		270	270
Azote restant dans le sol après la culture		26	26
Azote déjà absorbé pendant l'automne-hiver		14	14
Reliquat d'azote minéral dans le sol en sortie d'hiver		39	30
Minéralisation de l'humus		57	38
Arrière effet prairie			
Effet culture intermédiaire			
Minéralisation des résidus du précédent		2	2
Effet direct des amendements organiques			
Apports pluviométriques		4	4
Apports par l'irrigation		0	0
Fixation symbiotique		0	0
Lixiviation de l'azote du sol		3	2
Organisation microbienne de l'azote de l'engrais		1	1
Volatilisation de l'azote de l'engrais		12	14
Apport prévisionnel en engrais minéral		196	225

Déterminations des besoins en azote : adaptation aux cultures pérennes. Exemple de la vigne dans N-Pérennes.

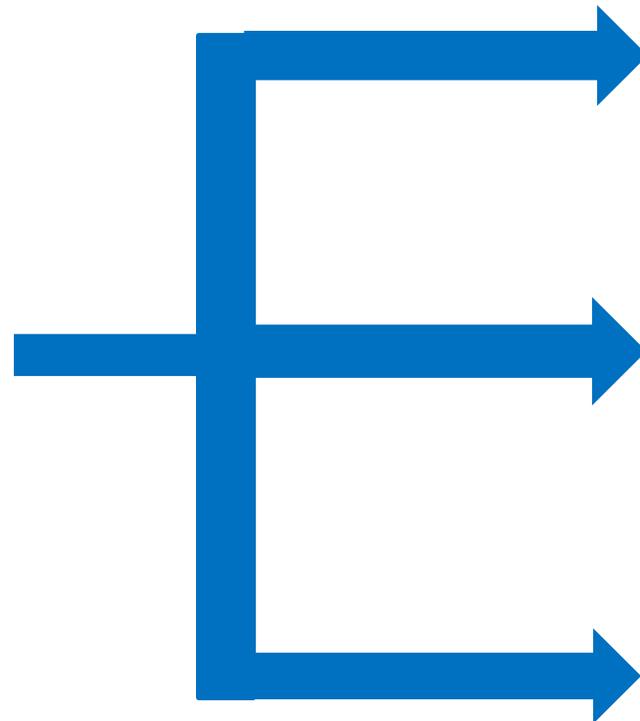


viticulteur



donnée
d'entrée

Rendement



Grappes

% N



+

Sarments

% N



+

Feuilles

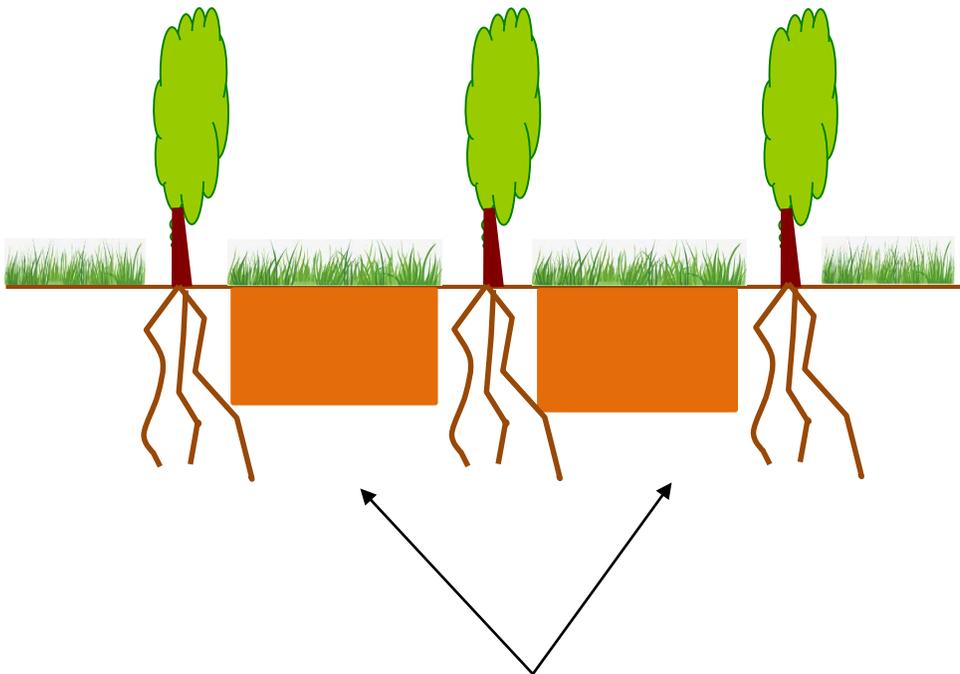
% N



Répartition de la Matière Sèche entre
débourrement et récolte (biblio)

= BESOINS

Fourniture par le sol : prise en compte de l'enherbement chez les plantes pérennes



Hypothèse : volume de terre ne fournissant pas d'azote à la vigne



à valider dans un plus grand nombre de situations

Amélioration du terme minéralisation de l'humus (Mh) : FERTIWeb® Dynamic

- FERTIWeb®, gamme de 3 outils de plan de fumure différenciés par leur moteur Azote

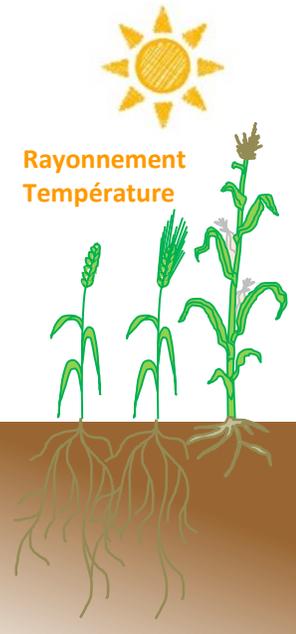


Moteur N dynamique,

- lien vers le modèle interne CHN d'ARVALIS : flux de carbone, d'eau et d'azote, sol-plante-atmosphère, en lien direct avec les BDD météo.
- opérationnel sur blé et maïs



Modèle CHN
ARVALIS - Institut du végétal



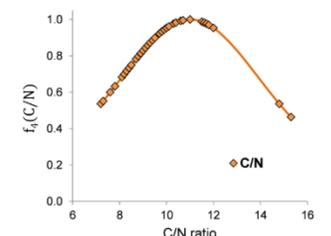
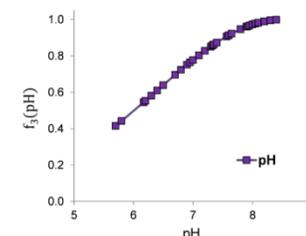
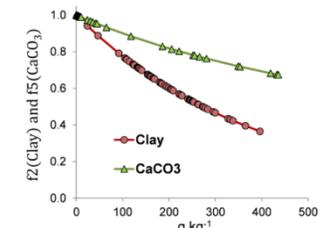
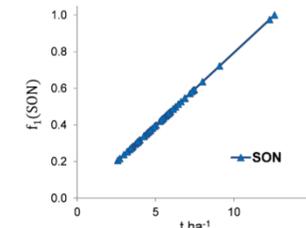
Le modèle simule des
stocks et des flux

Par jours
Par tranches de 1cm

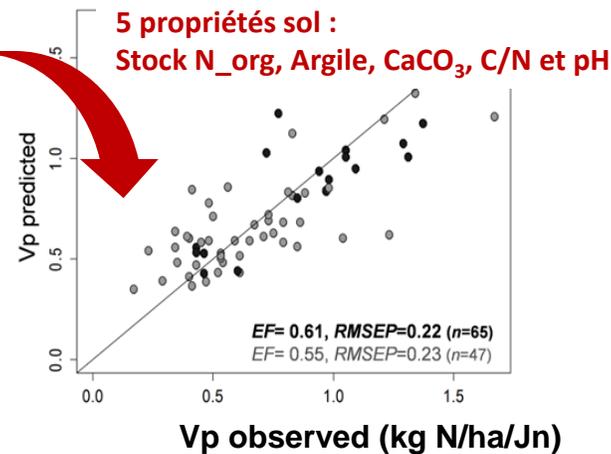
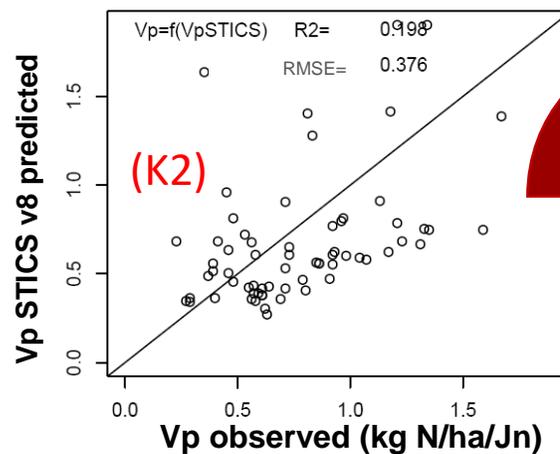
Nouveau modèle de minéralisation de l'humus (Mh)

Nouveau :
modèle de minéralisation Mh:
Utilisation des derniers acquis,
avec le modèle Vp
(Clivot et al., 2018)

Modeling step	Dataset	Introduced variable	Generic model	EF	Bias	RMSEP
i	n	V_i	$\hat{V}_p(i) = f_1(V_1) \cdot f_2(V_2) \cdots f_i(V_i)$			kg N ha ⁻¹ nday ⁻¹
Soil model						
1	65	SON	$\hat{V}_p(1) = f_1(SON)$	0.18	0.03	0.29
2	65	Clay	$\hat{V}_p(2) = \hat{V}_p(1) \cdot f_2(Clays)$	0.22	0.03	0.29
3	65	pH	$\hat{V}_p(3) = \hat{V}_p(2) \cdot f_3(pH)$	0.43	0.00	0.26
4	65	C/N	$\hat{V}_p(4) = \hat{V}_p(3) \cdot f_4(C/N)$	0.56	0.00	0.23
5	65	CaCO ₃ (Ca)	$\hat{V}_p(5) = \hat{V}_p(4) \cdot f_5(Ca)$	0.61	0.00	0.22



➤ Meilleure prédiction (plus précise et plus robuste) avec le nouveau modèle (fonction)



5 propriétés sol :
Stock N_{org}, Argile, CaCO₃, C/N et pH

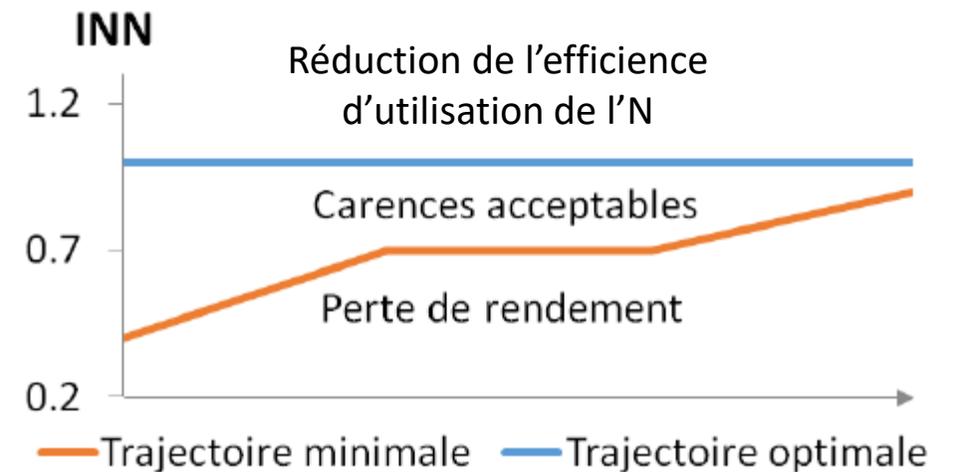
(Clivot et al., 2018)

Un nouveau mode de raisonnement de la fertilisation azotée du blé

Un changement de paradigme pour raisonner la fertilisation azotée du blé : le principe

⇒ Renouveler la gestion de la fertilisation azotée du blé tendre, en répondant à des difficultés de mise en œuvre de la méthode du bilan (Ravier et al., 2016)

- **Pas de dose calculée a priori** : sans objectif de rendement et sans Reliquat Sortie Hiver
- **Carences acceptées**, et même recommandées
- **Indicateur plante au service de la décision**, compatible avec les nouvelles technologies émergentes (capteurs)

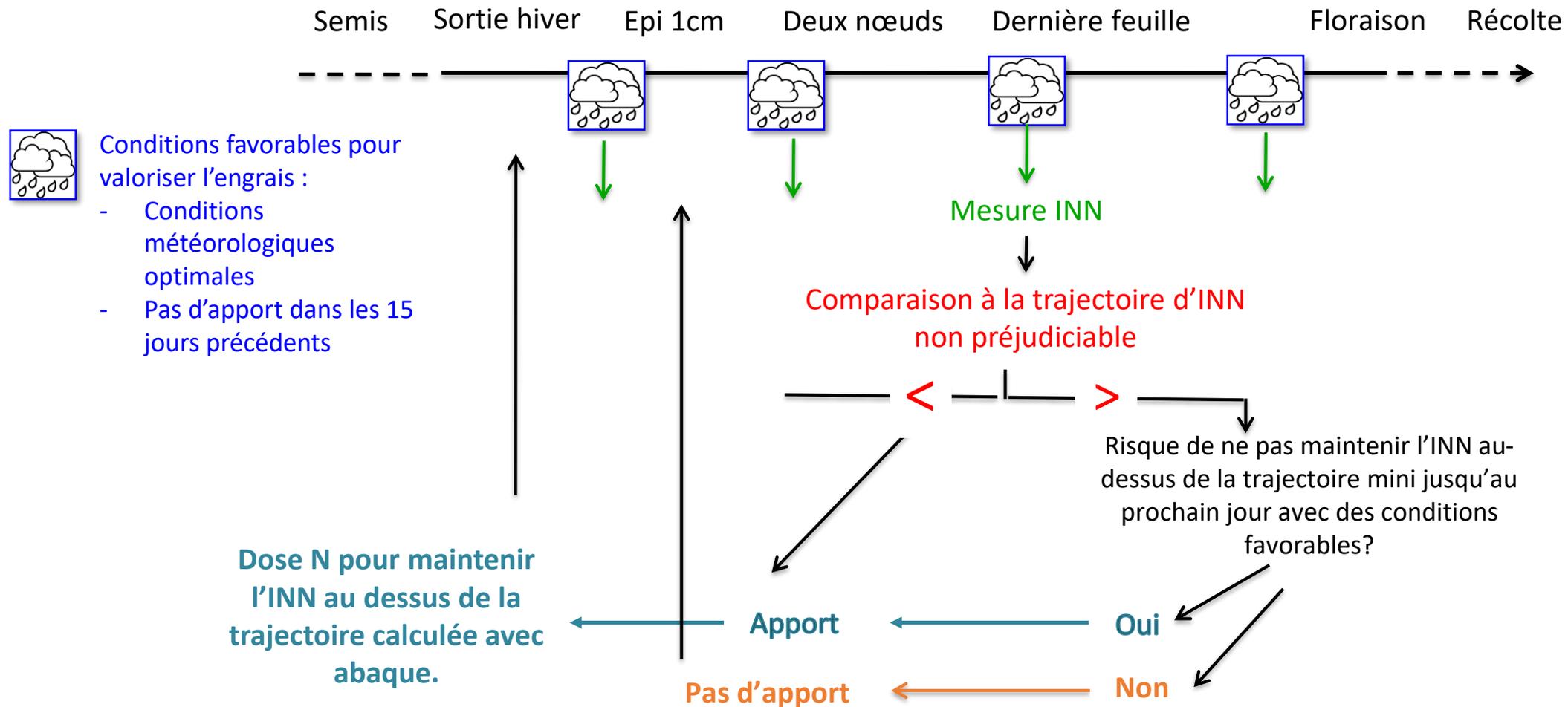


L'indice de nutrition azotée :

$$INN = \frac{\text{Teneur en N des parties aériennes}}{\text{Teneur en N critique}}$$

pour un niveau de biomasse donné

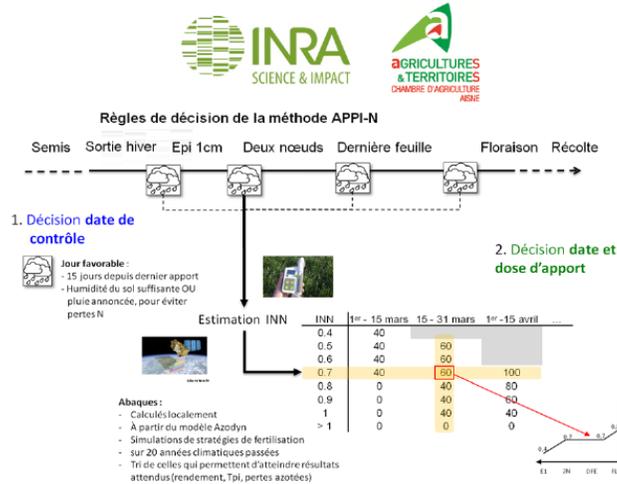
Un changement de paradigme pour raisonner la fertilisation azotée du blé : la mise en œuvre



Un changement de paradigme pour raisonner la fertilisation azotée du blé : prototype en cours de développement

2 approches en cours de développement et de test

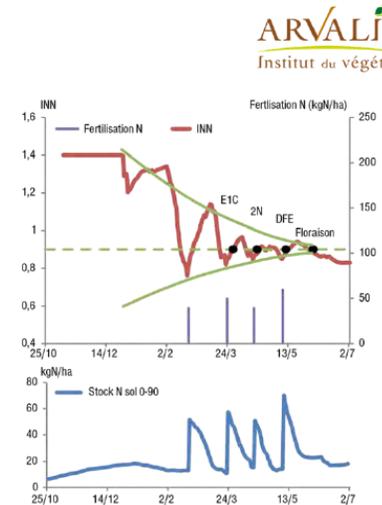
Basée sur des mesures : APPI-N



Travaux en cours :

- Mise au point d'abaques locales
- Comparaison de moyens de mesure de l'INN

Basée sur la modélisation CHN - Conduite



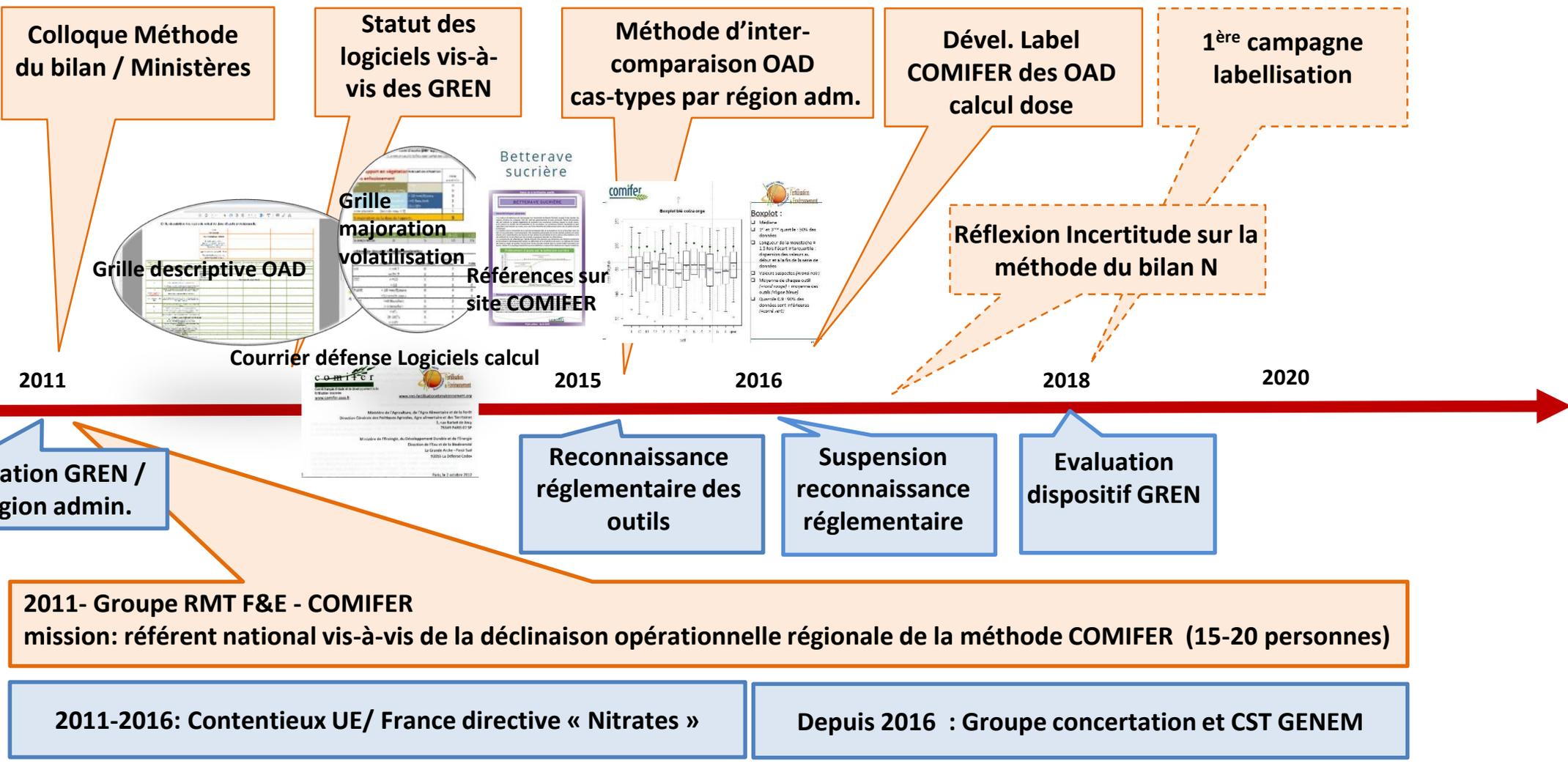
CHN modélise les flux d'eau, d'azote et de carbone. Il permet de simuler la croissance du blé et son INN

Travaux en cours :

Définir une trajectoire d'INN et déclencher un apport dès que l'on s'en éloigne trop à cause d'un défaut de fourniture du sol. Plusieurs variantes de trajectoires testées en début et en fin de cycle.

- ✓ **Prototype** : thèse de C. Ravier 2017 (financement: Arvalis, INRA, ADEME)
- ✓ Solinazo: projet PEI Région Centre-Val-de-Loire, 2017-2021 (CA, INRA, Arvalis, Terres Inovia, 2 coops),
- ✓ Cap Filière Centre : sur Blé dur (CA, INRA, Arvalis)
- ✓ Arvalis et partenaires : expérimentations et développement du modèle CHN
- ✓ Groupe APPI-N 2019: (agriculteurs volontaires et/ou expérimentation en micro-parcelles) CA 70, 86, 02, 89, 51, 08, 16, 36, 58, 89, CR IdF, Bretagne, Normandie, le CER France Normandie-Maine, etc.

Un appui aux politiques publiques sur les outils



En guise de conclusion....

- Un **travail de fond et continu** sur l'amélioration des outils de calcul de dose N: développements sur les différents postes du bilan, et même une remise en cause de ce bilan....
- A venir, un enjeu : **la prise en compte et le conseil en matière environnementale** (eau, air)
- L'enjeu reste très fort sur **l'usage des outils**, leur diffusion, leur reconnaissance réglementaire.



- **120 participants originaires de 20 pays**
- Ateliers de démonstrations (**9 outils**)

AzoFert®	Syst'N®	FARMSTAR	COWNEX	VEGSYST-DSS
N-Pérennes	Sol-AID	FERTIWEB®	MANNER-NPK	



Les partenariats autour des OAD présentés

AzoFert®

Contact : cleroux@aisne.fr



N'EDU

Contact : julien.gaillard@aisne.chambagri.fr



N'Pérennes

Contact : Jean-Yves.Cahurel@vignevin.com



Contact : c.lesouder@arvalis.fr

