

Recensement et analyse des outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée

Restitution

Paris le 9 décembre 2016



CONTEXTE

L'équilibre de la fertilisation azotée, un élément clé du 5^{ème} programme d'action directive « nitrates »

La directive 91/676/CEE dite directive « nitrates » demande aux Etats membres de définir des programmes d'actions d'application obligatoire en zone vulnérable.

⇒ **La France privilégie une approche agronomique**

✓ La limitation de l'utilisation des fertilisants, basés sur l'équilibre de la fertilisation estimé par un calcul de la dose prévisionnelle et ajusté, si nécessaire, en cours de campagne par des outils d'aide à la décision.

⇒ **Une volonté de conserver la compétitivité des exploitations agricoles**

- ✓ Etude entrant aussi dans le cadre du plan d'actions pour la compétitivité des filières céréalières
- ✓ Soutenir la diffusion des outils les plus performants

Une étude complémentaire au travail sur les outils d'aide au calcul de dose prévisionnelle

Le raisonnement de la fertilisation azotée peut être accompagné par deux grand type d'outils :

⇒ **Les outils d'aide au calcul de la dose prévisionnelle**

✓ Objet d'un travail visant à élaborer un cadre de validation par le RMT Fertilisation et Environnement, et le COMIFER

⇒ **Les outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée en cours de campagne**

✓ Objet de la présente étude avec :

- pour **objectif principal** : le **recensement et la caractérisation** des différents types d'outils existants sur le territoire
- pour **objectif secondaire** : proposer des **pistes de réflexion** pour la mise en place éventuelle **d'une méthode d'évaluation de ces outils**

Définir un outil de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée en cours de campagne pour cadrer le champ d'investigation

La frontière entre un outil de calcul de la dose prévisionnelle et un outil de pilotage en cours de végétation peut être très fine.

⇒ **Outil de calcul de dose prévisionnelle**

Combinaison d'une grille de calcul / d'un moteur de calcul (version papier / informatique) et d'un paramétrage permettant de calculer la dose prévisionnelle d'azote à apporter pour atteindre un rendement objectif d'une production végétale en année moyenne

Définir un outil de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée en cours de campagne pour cadrer le champ d'investigation

⇒ Outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée en cours de campagne

Démarche instrumentée (méthodes et règles de décision explicites) visant l'ajustement de la fertilisation azotée (dose et fractionnement) aux conditions locales de la parcelle, et qui permet d'atteindre au moins un des deux objectifs suivants :

- ✓ renseigner une ou des variables d'entrée du bilan dynamique d'azote,
- ✓ diagnostiquer et prévoir l'évolution à court terme de l'état de nutrition azotée du peuplement cultivé.



Les outils de pilotage en cours de campagne remplissent une ou plusieurs fonctions

⇒ **Ajustement du poste « azote absorbé » à l'ouverture du bilan**

✓ Ajustement d'une ou de plusieurs variables d'entrée du bilan d'azote à son ouverture (par exemple : Biomasse et azote absorbé, croissance des parties aérienne pour un ajustement de l'objectif du rendement, ...)

⇒ **Ajustement d'une date d'apport**

✓ Optimisation du déclenchement d'un apport d'azote au plus proche des besoins de la culture

⇒ **Ajustement d'une dose d'azote en cours de végétation**

✓ Optimisation de la dose d'azote au plus proche des besoins de la culture

⇒ **Spatialisation d'une dose d'azote**

✓ Optimisation de la répartition de la dose d'azote en fonction de l'hétérogénéité du parcellaire

Rappel du principe de la méthode du bilan prévisionnel

La méthode du bilan : Outil principal de gestion de la fertilisation azotée, mais qui présente des incertitudes

Malgré les nombreuses références collectées depuis des années, certains postes du calcul de la dose prévisionnelle sont soumis à des fluctuations non négligeables :

⇒ **L'estimation du rendement objectif**

⇒ **L'estimation des fournitures de sol**

- ✓ la minéralisation dépend de facteurs qui peuvent différer
 - d'une parcelle à l'autre (historique de la parcelle, caractéristique pédologique, exposition, ...)
 - et d'une année à l'autre (pluviométrie, température, ...)

L'utilisation d'outils basés sur des mesures en cours de campagne peut réduire ces niveaux d'incertitude

Recensement et caractéristiques des outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée

⇒ **Recensement bibliographique et techniques des outils existants**

⇒ **Enquêtes auprès des concepteurs d'outils sur :**

- ✓ Nature de l'indicateur
- ✓ Mode de fonctionnement
- ✓ Cultures pilotées
- ✓ Fonctionnalités (date, dose, modulation, ...)
- ✓ Utilisation (type d'utilisateur, autres champs couverts, ...)

- ✓ Caractéristiques économiques (ancienneté, développement, coût, ...)

- ✓ Les méthodes de calibration et de développement

Caractéristiques des outils de pilotage

Les outils utilisent différents principes de base

⇒ **Mesure du stock d'azote disponible dans le sol**

⇒ **Mesure du végétal**

- ✓ Résistance physique du couvert végétal
- ✓ Indicateur de croissance
- ✓ Changement de couleur / témoin
- ✓ Concentration de la teneur en nitrate du jus de pétiole ou de base de tige
- ✓ Transmittance
- ✓ Fluorescence
- ✓ Réflectance

⇒ **Raisonnement dynamique**

Caractéristiques des outils de pilotage

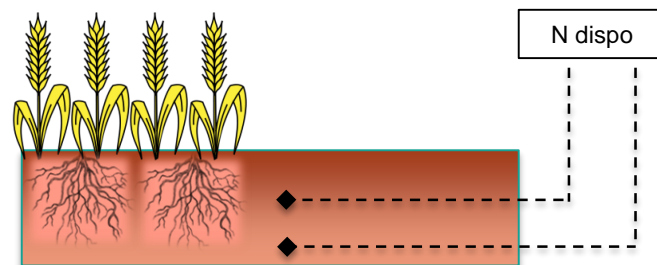
Mesure du stock d'azote disponible dans le sol

⇒ Principe

Objectif : ajuster la dose d'azote à apporter en fonction du stock d'azote disponible au moment de l'apport.

La mesure : La disponibilité en azote du sol est estimée soit à partir d'analyses de reliquats d'azote réalisés à des moments clés de la culture, soit à partir de capteurs de la concentration en continu de l'azote dans le sol.

La dose préconisée : selon une grille de décision, basée sur la mesure de sol, et la culture (stade, état sanitaire, ...)



Caractéristiques des outils de pilotage

Mesure de la résistance du couvert végétal

⇒ Principe

Objectif : Spatialiser une dose d'azote en fonction de la densité de couvert.

La mesure : la biomasse du couvert végétal est estimée à l'aide d'un pendule relié à un potentiomètre.

La dose préconisée : outil permettant uniquement la modulation intraparcellaire



Pas d'outil développé en France

Caractéristiques des outils de pilotage

Indicateur de croissance

⇒ Principe

Objectif : déterminer l'azote absorbé par la plante sur une estimation de sa biomasse

La mesure : la mesure peut se faire par différents moyens :

- Pesée de biomasse
- Estimation visuelle
- Analyse numérique d'une photographie de la parcelle
- Analyse d'une longueur d'onde corrélée à la biomasse

La dose préconisée : basée sur la méthode du bilan par une estimation « plus » précise du poste « azote absorbé à l'entrée du bilan »

Changement de couleur par rapport à un témoin

⇒ Principe

Objectif : déterminer un besoin en azote en comparant deux situations azotées différentes au sein d'une même parcelle,

La mesure : la mesure est une comparaison visuelle :

- ✓ Soit, entre une situation où la demande en azote est plus importante (semis plus dense) et une situation « normale »
- ✓ Soit, entre une situation fertilisée au semis et une situation non fertilisée

La dose préconisée : le premier cas (bande double densité ou bande Limaux) permet le pilotage de la date du premier apport sur blé. Le deuxième cas (Héliotest) permet de piloter à la fois la date d'apport et la quantité d'azote à apporter selon un grille de décision basée sur l'apparition de la différence

Concentration en nitrate du jus de pétiole ou de base de tige

⇒ Principe

Objectif : estimer le besoin ou déterminer la présence d'une carence en azote d'une plante à partir du stock d'ions nitrate présent dans la plante.

En début de cycle, lorsque la croissance est faible, la plante absorbe généralement plus d'azote qu'elle n'en assimile, elle se constitue un stock d'ions nitrate, en particulier dans certains organes (base de tige, pétiole). Puis, lorsque la plante croît, l'assimilation de l'azote s'accroît. Si la fourniture d'azote par le sol n'est pas suffisante, la teneur en ions nitrates de la base de tige ou du pétiole diminue. Sa mesure permet donc de pronostiquer à court terme une déficience en azote.

La mesure : Analyse de la teneur en nitrate du jus de base de tige ou du jus de pétiole

La dose préconisée : selon une grille de décision basée sur la teneur en nitrate, et les caractéristiques de chaque espèce pilotée (densité, variété, type de sol, commercialisation, ...)

Concentration en chlorophylle des feuilles (transmittance)

⇒ Principe

Objectif : Déterminer le statut de nutrition azotée d'une plante à partir de sa teneur en chlorophylle. La teneur en chlorophylle est étroitement liée à la quantité d'azote dans les feuilles, elle-même corrélée à l'indice de nutrition azotée de la plante.

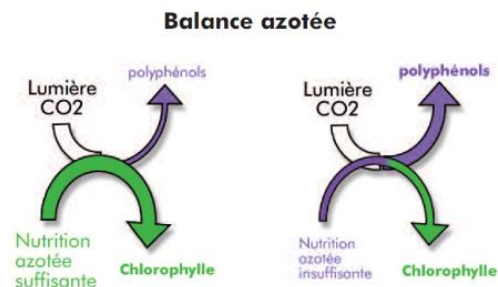
La mesure : réalisée à l'aide d'un chlorophylle-mètre (SPAD-502®), pince mesurant la transmittance à travers une feuille, de la lumière émise par deux diodes à deux longueurs d'onde bien précises, l'une (dans le rouge) spécifique à la chlorophylle, l'autre (dans l'infrarouge) où l'absorption chlorophyllienne est très faible, pour corriger l'absorption non chlorophyllienne

La dose préconisée : selon une grille de décision propre à chaque culture (variété)

Concentration en chlorophylle et en flavonols des feuilles par fluorescence

⇒ Principe

Objectif : Déterminer le statut de nutrition azotée d'une plante à partir de sa teneur en chlorophylle et de sa teneur en flavonols.



La mesure : réalisée à l'aide d'une pince mesurant la teneur en chlorophylle par transmittance, et la teneur en flavonols par fluorescence, pour donner un indice de statut azoté basé sur le rapport entre la teneur en chlorophylle et la teneur en flavonols (NBI)

La dose préconisée : selon une grille de décision propre à chaque culture (variété)

Concentration en chlorophylle des feuilles par réflectance

⇒ Principe

Objectif : Déterminer le statut de nutrition azotée d'une plante à partir de sa teneur en chlorophylle.

La mesure : Analyse de la lumière réfléchiée par un couvert végétal mesurée par des capteurs à des longueurs d'ondes bien précises (rouge pour la teneur en chlorophylle, et proche infrarouge pour l'estimation de la biomasse)

La dose préconisée : selon une grille de décision propre à chaque culture (variété) et selon le critère mesuré (biomasse sortie hiver, teneur en chlorophylle, ...)

Raisonnement dynamique de la fertilisation

⇒ Principe

Objectif : détermination de la dose d'azote à apporter par la mise à jour en temps réel des différents postes du bilan prévisionnel selon les conditions de l'année

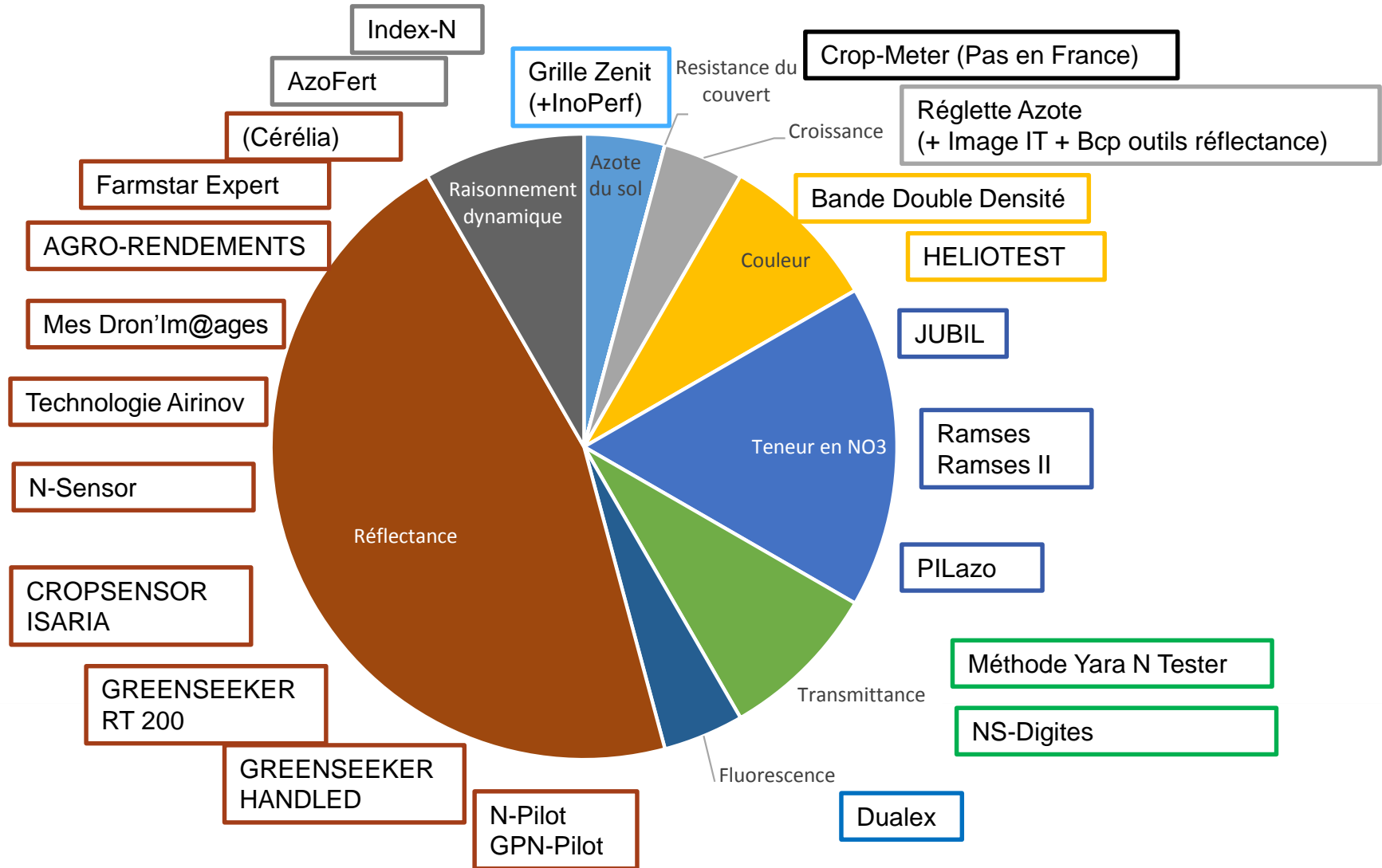
La mesure : mesure des différents postes estimés pour le calcul d'une dose prévisionnelle

- Potentiel de rendement
- Fourniture du sol (re-calculation de la minéralisation selon les conditions de l'année)

La dose préconisée : selon une grille de décision propre à chaque culture (variété)

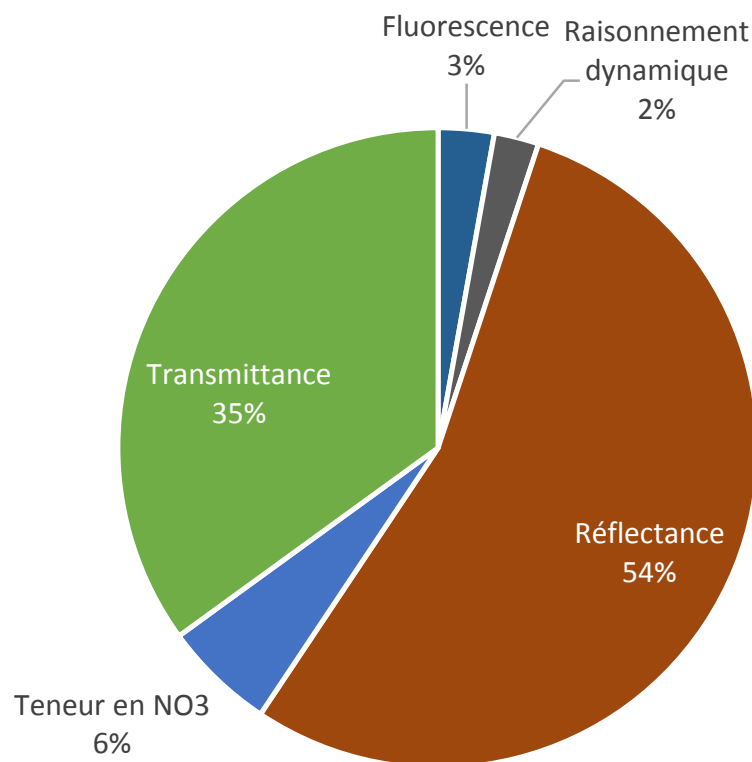
Caractéristiques des outils de pilotage

Répartition des outils (en Nb) par principes de base



Caractéristiques des outils de pilotage

Répartition des outils (en Nb) par principes de base



**Tous les outils ne sont pas représentés dans ce graphique, car les surfaces gérées par les outils ne sont pas toujours connues des concepteurs (vente d'outil à l'unité comme Jubil, N-Pilot, Héliotest, ... ou notion de surface peu pertinente pour les cultures pilotées comme PILazo, Grille Zénith).*

Caractéristiques des outils de pilotage

Principe de fonctionnement	Nom	Représentant	Stratégie initiale	Surfaces pilotées en 2015	Cultures pilotées						
						Calcul dose prévisionnelle	Estimation "azote absorbée" à l'ouverture du bilan	Pilotage d'une date d'apport	Ajustement de dose en cours de campagne	Spatialisation d'une dose	Traçabilité du conseil
Disponibilité en azote du sol	Grille Zénit®	SERAIL / CTIFL	Calcul d'une dose prévisionnelle à un stade clé pour atteindre la récolte ou un autre stade clé en fonction de la disponibilité en azote du sol au stade clé	?	Ail d'automne, Aubergine, Blette, Cardon, Céleri branche, Céleri rave, Chicorée d'été, Chou cabus, courgette de plein champ, Laitue, Melon, Oignon, Poireau.	X	X	X	X		X
Indicateur de croissance	Réglette azote	Terres Inovia	Calcul d'une dose prévisionnelle avec estimation de la biomasse du colza à l'ouverture du bilan	?	Colza	X	X				
Changement de couleur	HELIOTEST®	Terres Inovia	Détection d'une carence azotée par comparaison d'une bande fertilisée au semis, avec le reste de la parcelle non fertilisée au semis	NC	Tournesol	X		X	X		
	Bande double densité	CRAL Agro-Transfert	Détection précoce d'un besoin en azote par comparaison d'une bande dense par rapport au reste de la parcelle	?	Blé			X			
Teneur en Nitrate du jus de bas de tige	JUBIL®	INRA / Arvalis institut du végétal	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	NC	Blé tendre (BAU, BPS, BPC, BB), blé dur, orge de printemps, maïs grain, pomme de terre			X	X		
	Ramses® / Ramses II®	SMAG (Smart Agriculture)	Calcul d'une dose prévisionnelle avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	≈ 100 000 ha	Céréales d'hiver : blés, orges, triticales et seigles	X		X	X		X
Teneur en nitrate du pétiole	PILazo®	Centre Technique interprofessionnel des Fruits et Légumes	Calcul d'une dose prévisionnelle avant la mise en culture et ajustement de la dose en fonction de la mesure	NC	Aubergine, carotte, choux-fleur d'hiver, fraiser, melon, poivron, pomme de terre primeur, tomate, fraiser/production de fruits et pépinière de plants	X		X	X		X
Transmittance	Méthode Yara N-Tester®	Yara France, Yara International	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	≈ 600 000 ha	Blé tendre d'hiver, blé améliorant, blé dur, orge de printemps brassicole, maïs grain, pomme de terre			X	X		X
	NS-Digites®	SMAG (Smart Agriculture)	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	≈ 20 000 ha	Blé tendre d'hiver, blé dur				X		X
Fluorescence + transmittance	Dualex®	Force A	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	De 30 à 50 000 ha	Blé tendre d'hiver et vigne			X			

Caractéristiques des outils de pilotage

Principe de fonctionnement	Nom	Représentant	Stratégie initiale	Surfaces pilotées en 2015	Cultures pilotées						
						Calcul dose prévisionnelle	Estimation "azote absorbé" à l'ouverture du bilan	Pilotage d'une date d'apport	Ajustement de dose en cours de campagne	Spatialisation d'une dose	Traçabilité du conseil
Réflectance	N-Pilot® / GPN-Pilot®	Borealis L.A.T.	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	NC	Blé tendre, blé dur, blé de force, orge d'hiver, orge de printemps, triticale, colza (pour le N-Pilot®)		X Colza	X	X		X
	GREENSEEKER HANDHELD	Trimble	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	NC	Blé tendre d'hiver et blé améliorant		X Colza	X	X		X
	GREENSEEKER RT 200	Trimble	Calcul d'une dose prévisionnelle avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	NC	Maïs, Blé, Colza, Vignes		X Colza		X	X	X
	CROPSENSOR ISARIA	CLAAS France SAS	Mesure de l'azote absorbé au moment du passage, et calcul de la dose d'azote nécessaire pour atteindre le stade d'apport suivant ou la récolte	≈ 600 ha	Toutes les cultures « en vert » (blé tendre, blé dur, orge, avoine, triticale, soja) et éventuellement herbe et colza.	X	X Colza		X	X	X
	N-Sensor® et N-Sensor-ALS®	Yara International	Modulation intraparcellaire d'une dose d'azote « pivot »	≈ 50 000 ha	Blés d'hiver, orges d'hiver, triticales, seigles, blé de printemps et orges de printemps, colza, pomme de terre, maïs, canne à sucre, coton		X			X	X
	Technologie Airinov	Airinov	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	85 000 ha	Colza, blé tendre, blé dur et orge		X Colza		X	X	X
	Mes dron'im@ges	Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA)	Calcul d'une dose prévisionnelle (à l'aide d'un autre outil) avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	11 000 ha	Colza, blé tendre d'hiver		X Colza		X	X	X
	AGRO-RENDEMENTS®	Drone agricole	Calcul d'une dose prévisionnelle avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	75 000 ha	Blé tendre d'hiver, colza	X	X Colza		X	X	X
	Farmstar	Arvalis Airbus D et S	Calcul d'une dose prévisionnelle avec une mise en réserve de 40 uN, puis ajustement de la dose en fonction de la mesure	740 000 ha	Blé tendre, Blé dur, Blé améliorant, Orge et Colza	X	X Orge et Colza		X	X	X
Raisonnement dynamique de la fertilisation	Index-N®	Service Pédologique de Belgique, AGRO CONSEIL	Recalcul de la dose à chaque étape du fractionnement en fonction de l'évolution de différents critères (conditions climatiques, développement de la culture, ...)	≈ 40 000 ha	Multicultures (hors prairie)		X	X	X		X
	AzoFert®	INRA / LDAR / ITB	Recalcul de la dose à chaque étape du fractionnement en fonction de l'évolution de différents critères (conditions climatiques, développement de la culture, ...)	≈ 700 000 ha	Environ 40 cultures (en évolution)	X	X		X	X	X

Caractéristiques des outils de pilotage

En résumé

⇒ Une grande variabilité d'outils

- ✓ Dans leurs fonctions
- ✓ Dans leur ancienneté (1977 à aujourd'hui)
- ✓ Dans le déploiement (de qq ha à plusieurs centaines de milliers d'ha)
- ✓ Un même outil de mesure peut avoir des règles d'interprétation qui diffèrent

⇒ Des similitudes dans les méthodes d'utilisation des outils

- ✓ La plupart sont basés sur le **calcul d'une dose prévisionnelle avec une mise en réserve**
- ✓ L'ajustement se fait principalement sur les apports de fin de cycle, donc encore peu de solution pour piloter les autres apports

Analyse transversale des essais de validation des outils recensés



⇒ Des méthodes d'évaluation qui diffèrent

✓ Outils développés en France avec essais en courbe de réponses N sur le rendement et/ou qualité avec validation de 3 hypothèses :

- Valeur mesurée < au seuil de déclenchement : N est limitant, le traitement N+ doit montrer une augmentation de rendement
- Valeur mesurée > au seuil de déclenchement : N est non limitant, le traitement N+ ne doit pas montrer une augmentation de rendement
- Sur les traitements avec mise en réserve, les performances (rendement et qualité) du pilotage doivent être en moyenne \geq aux performances du traitement non piloté

✓ Outils développés à l'étranger (Allemagne, Belgique) et tests en grandes parcelles dans les exploitations

⇒ Des outils conçus avant tout pour améliorer la productivité

✓ Règle de décisions basées sur le rendement (et la qualité)

- Le rendement et la qualité sont systématiquement mesurés
- Les critères environnementaux sont rarement mesurés

Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation

Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation

A quelle question doit répondre l'évaluation ?

⇒ Répondre au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables ?

« Tout apport d'azote (réalisé) supérieur à la dose prévisionnelle totale calculée [...] doit être dûment justifié par l'utilisation d'un outil de raisonnement dynamique ou de pilotage de la fertilisation, par une quantité d'azote exportée par la culture supérieure au prévisionnel ou, dans le cas d'un accident cultural intervenu postérieurement au calcul de la dose prévisionnelle, par la description détaillée, dans le cahier d'enregistrement, des événements survenus (nature et date notamment). »

Arrêté du 19 décembre 2011

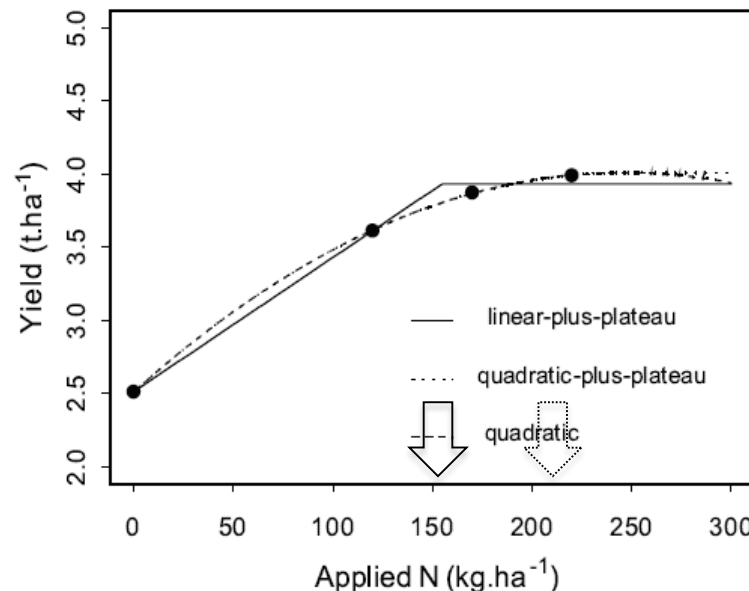
✓ Si oui, l'évaluation ne doit pas se faire obligatoirement sur des aspects environnementaux

Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation

Approche possible d'évaluation de critères d'efficacité de la fertilisation

⇒ Comparaison dose recommandée à une dose optimale

- ✓ Essai de courbe de réponse à l'azote
- ✓ Avantage : méthode déjà employée pour l'évaluation de plusieurs outils
- ✓ Nécessité d'harmoniser les méthodes analytiques, car plusieurs lectures possibles



Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation

A quelle question doit répondre l'évaluation ?

⇒ Répondre à un double objectif (efficacité de la fertilisation et impact minimal sur l'environnement) ?

«En comparaison avec une situation, où, seul le calcul prévisionnel de la dose d'azote est utilisé, l'utilisation d'un outil de raisonnement dynamique et/ou de pilotage de la fertilisation azotée en cours de végétation, permet-elle d'améliorer l'efficacité de la fertilisation, sans impact négatif sur l'environnement ?»

✓ Si oui, l'évaluation doit être multicritère (critères à définir)

- Critères d'évaluation de l'efficacité de la fertilisation (*rendement, qualité, marge brute, ...*)
- Critères d'évaluation environnementaux (*qualité de l'eau, qualité de l'air, modèles ?*)

et ne peut donc pas être basée sur une dose optimale (valeur différente selon le critère considéré)

Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation



Les approches possibles d'évaluation multicritère

⇒ Approche inspirée de la méthode d'évaluation des variétés pour l'inscription au catalogue

- ✓ Consiste à comparer au moins la situation où la culture est conduite selon le calcul de la dose prévisionnelle, avec la situation où la culture est conduite à l'aide de l'outil évalué
- ✓ L'avantage est qu'elle permet une analyse multicritère
- ✓ L'inconvénient principal est qu'il implique la mise en place de nouveaux essais et donc un investissement non négligeable.

Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation

Proposition de critères d'évaluation

⇒ Evaluation de l'efficacité de la fertilisation

✓ Le rendement

- Relativement simple à évaluer
- Déjà évalué par l'ensemble des outils

✓ La qualité (teneur en huile, protéine, calibrage, taux de sucre, ...)

- Evalué par la plupart des outils
- Parfois indissociable du rendement (impératifs de qualité)

✓ Marge brute (Indicateur de la compétitivité d'un itinéraire culturale) ?

- Soumis à de fortes variations des prix de la culture et de l'engrais

⇒ Evaluation environnementale

- Cf. Diapo suivante

Critère à minima

Pistes de réflexion pour les méthodes d'évaluation

Proposition de critères d'évaluation

⇒ Evaluation de l'efficacité de la fertilisation

- Cf. Diapo précédente

⇒ Evaluation environnementale

✓ Quantification de la lixiviation d'azote par mesures directes ou indirectes ?

- Reliquats post récoltes ou post absorption ? (consommateur de temps)
- Lysimètres, bougies poreuses ? (difficultés de réplication en plein champs)
- Quantification par modélisation (STICS, ...) ? (validation du modèle à toutes les conditions pédo-climatiques)

✓ Quantification des flux d'azote liés à la volatilisation ?

- Capteurs passifs (Badges ALPHA) ? (pertinence ?)

✓ Estimation des pertes d'azote par modélisation

- Le complément à 100 du Coefficient apparent d'utilisation de l'azote (CAU) : **(1-CAU)*Dose**

Critère à minima

Perspectives

⇒ Pour aller plus loin dans la caractérisation des outils

- ✓ Faire un appel (presse, ...) aux concepteurs d'outils existant pour approcher l'exhaustivité du recensement des outils
- ✓ Réaliser un diagnostic des usages auprès des « utilisateurs » pour mieux appréhender :
 - Les avantages et les limites de chacun des outils
 - Les raisons principales de l'utilisation de l'outil (raisonnement, conformité directive nitrate, ...)

⇒ Pour aller plus loin dans la mise en œuvre d'une méthode d'évaluation des outils

- ✓ Nommer une expertise technique qui déterminera le cahier des charges de la validation
- ✓ Choix de l'objectif d'évaluation (efficacité ou multicritère)
- ✓ Choix des critères d'évaluation et protocole de mesure
- ✓ Définition des seuils d'acceptabilité pour chaque critère retenu
- ✓ Choix des caractéristiques techniques obligatoires de l'outil (traçabilité, respect des préconisations d'utilisation, ...)

⇒ Réfléchir à d'autres méthodes de pilotage de la fertilisation ?

✓ Aujourd'hui, tous les outils de pilotages s'appuient sur la méthode des bilans avec ajustement d'une dose en cours de campagne

- Avec les limites qu'elle présente, estimation du rendement, estimation du RSH, ... (Cf. *Travaux C RAVIER 2016*)
- Méthode basée sur l'hypothèse que la culture ne doit jamais être carencée tout au long de son cycle (Jeuffroy et Bouchard 1999)

✓ Les outils employés permettent-ils de couvrir toutes les situations culturales ?

- Cultures associées,

Echanges



sce

Aménagement
& environnement

www.sce.fr

GROUPE KERAN