

INDEX-N[®] :

Raisonnement dynamique de la fertilisation azotée

Présentation Index-N[®] au groupe NS du COMIFER - 9 juin 2022

Diffusion autorisée avec mention obligatoire des sources

INDEX-N® : Origines

- ▶ **1958:** Prof. René Boon (Service Pédologique de Belgique) étudie l'azote comme élément nutritif des plantes. Plus de 800 champs d'essais d'azote sont menés sur différents types de sols, différentes cultures, avec des engrais azotés organiques et minéraux à différentes doses.



Diffusion autorisée avec mention obligatoire des sources

INDEX-N® : Origines - premières constatations et améliorations continues

- ▶ Très fortes variabilités des besoins en azote d'une culture à l'autre
- ▶ La zone utile où l'azote est absorbé est plus profonde que 23 cm!
- ▶ Effet de dilution de l'azote dans la plante
- ▶ L'absorption de l'azote est fonction du stade de développement de la plante

INDEX-N[®] : Déploiement

- ▶ **1975** : validation des résultats sur toute culture, création et déploiement de l'outil INDEX-N en Belgique
- ▶ **1977-1980** : validation en sols calcaires et déploiement en France avec AGRO CONSEIL

INDEX-N[®] : Déroulement

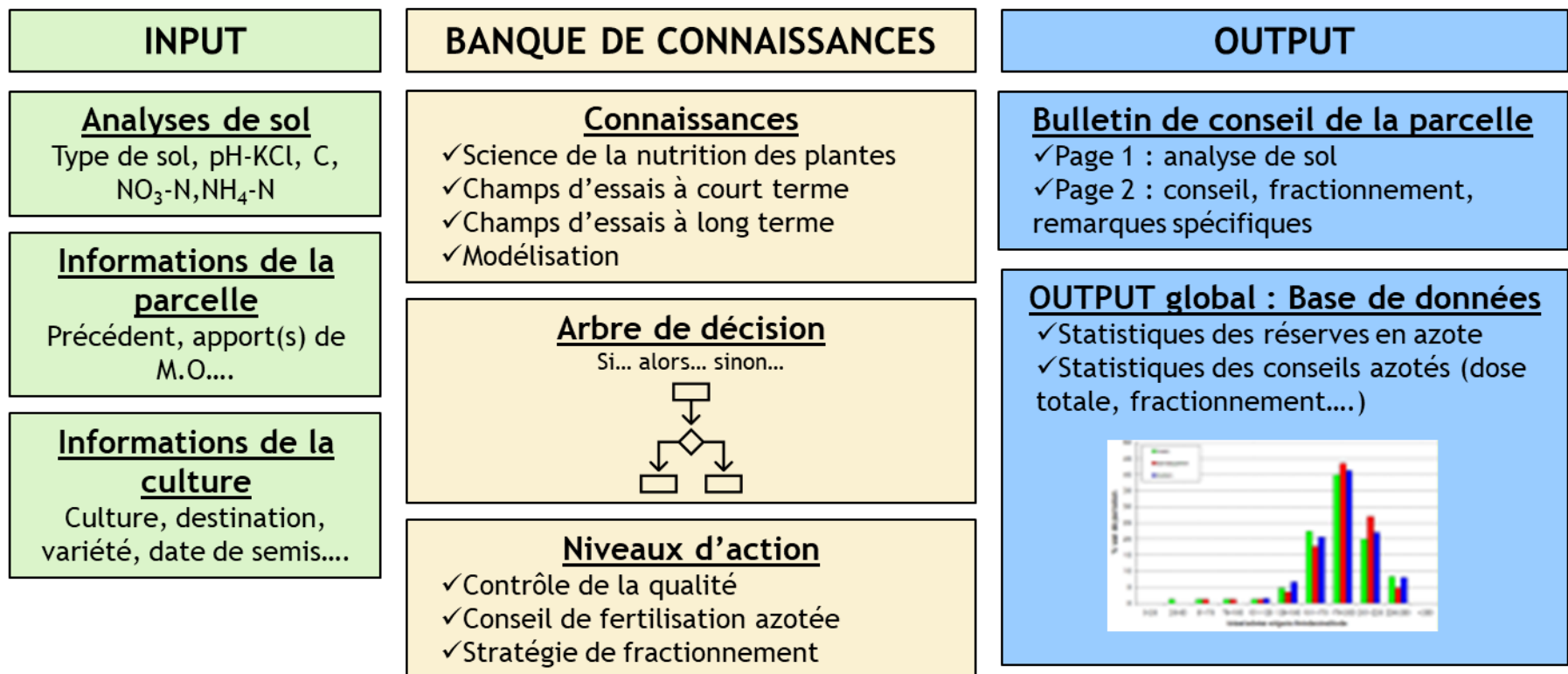
- ▶ Prélèvements de sol : protocole et préleveurs habilités
- ▶ Analyse et interprétation
- ▶ Calcul de l'INDEX-N[®]
- ▶ Calcul de la dose
- ▶ Calcul du fractionnement avec indication des stades d'apport

INDEX-N[®] : Prélèvement

- ▶ Différents horizons de sol : 0-30 cm, 30-60 cm; 60-90 cm
- ▶ Profondeur d'échantillonnage en fonction de la culture et de la corrélation avec l'INDEX-N[®] (ex : 0-30 cm et 30-60 cm pour colza)
- ▶ Période d'échantillonnage : en fonction de la culture et de la période où la fertilisation azotée doit être appliquée
- ▶ Nombre de prélèvements élémentaires : au minimum 15
- ▶ Surface maximale pour fiabilité de conseil : 8 ha homogènes
- ▶ Réalisation par des préleveurs habilités par le réseau

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral

- ▶ L'INDEX-N[®] fournit la quantité d'azote disponible pour la culture au cours de sa période de croissance



INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - INPUT

- ▶ Les données des résultats d'analyse
- ▶ Les informations spécifiques de la parcelle
- ▶ Les informations sur la culture pour laquelle le conseil de fertilisation azotée est demandé

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - Banque de connaissances

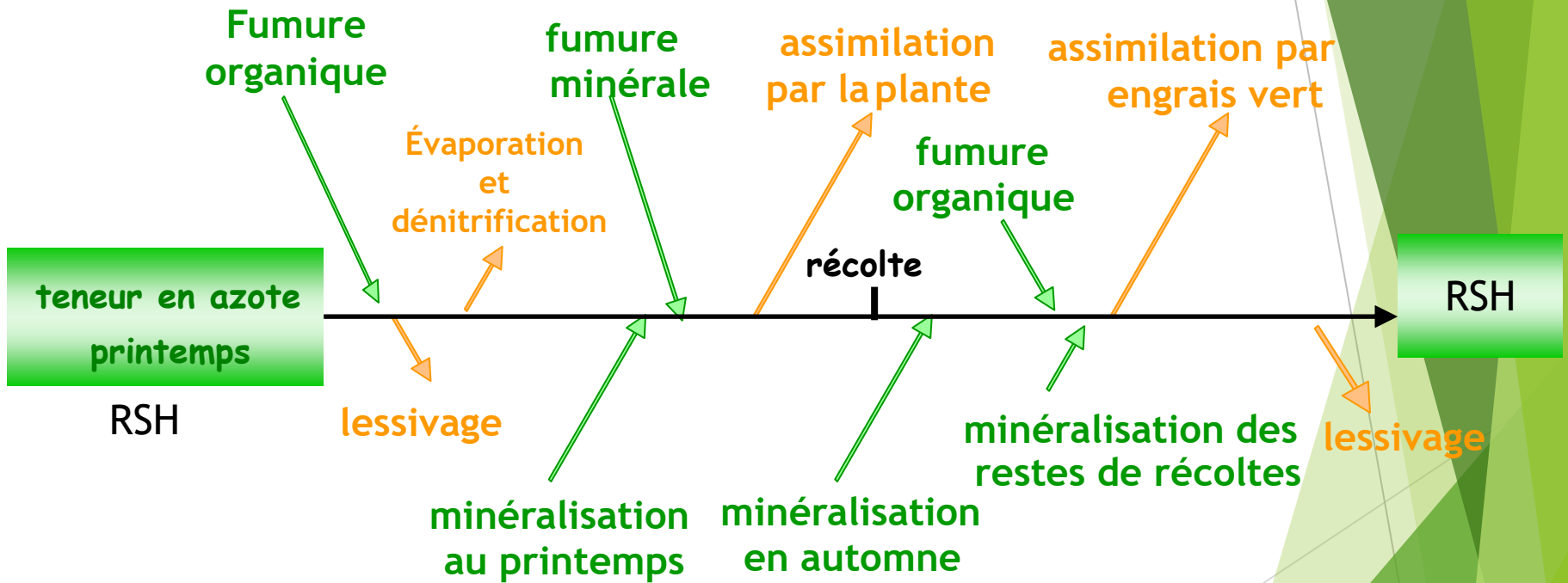
L'INDEX-N[®] est constitué de **18 facteurs** intégrant des données sol et plante

$$\text{N-INDEX} = \underbrace{x_1 + x_2}_{(1)} + \underbrace{x_3 + \dots + x_{16}}_{(2)} + \underbrace{x_{17} + x_{18}}_{(3)}$$

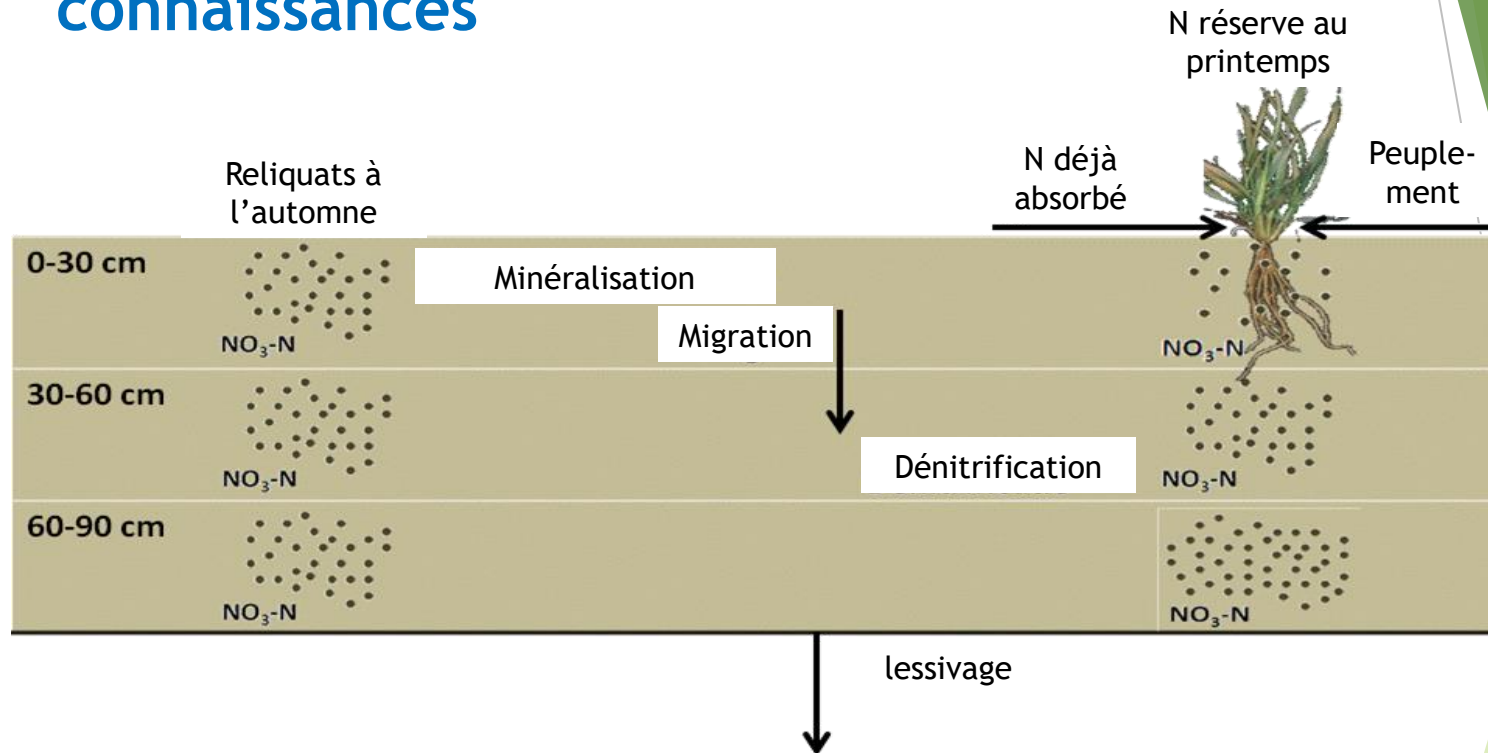
- (1) Au moment de l'échantillonnage : quantité d'azote minéral déjà disponible dans le sol et quantité d'azote déjà absorbée par la culture
- (2) facteurs déterminant la quantité d'azote minéral qui sera fournie par le sol au cours de la période de croissance de la culture
- (3) facteurs produisant des effets négatifs sur la disponibilité de l'azote minéral pour la culture au cours de sa période de croissance (pH faible, mauvaise structure...)



INDEX-N® : le système expert de l'azote minéral - Banque de connaissances



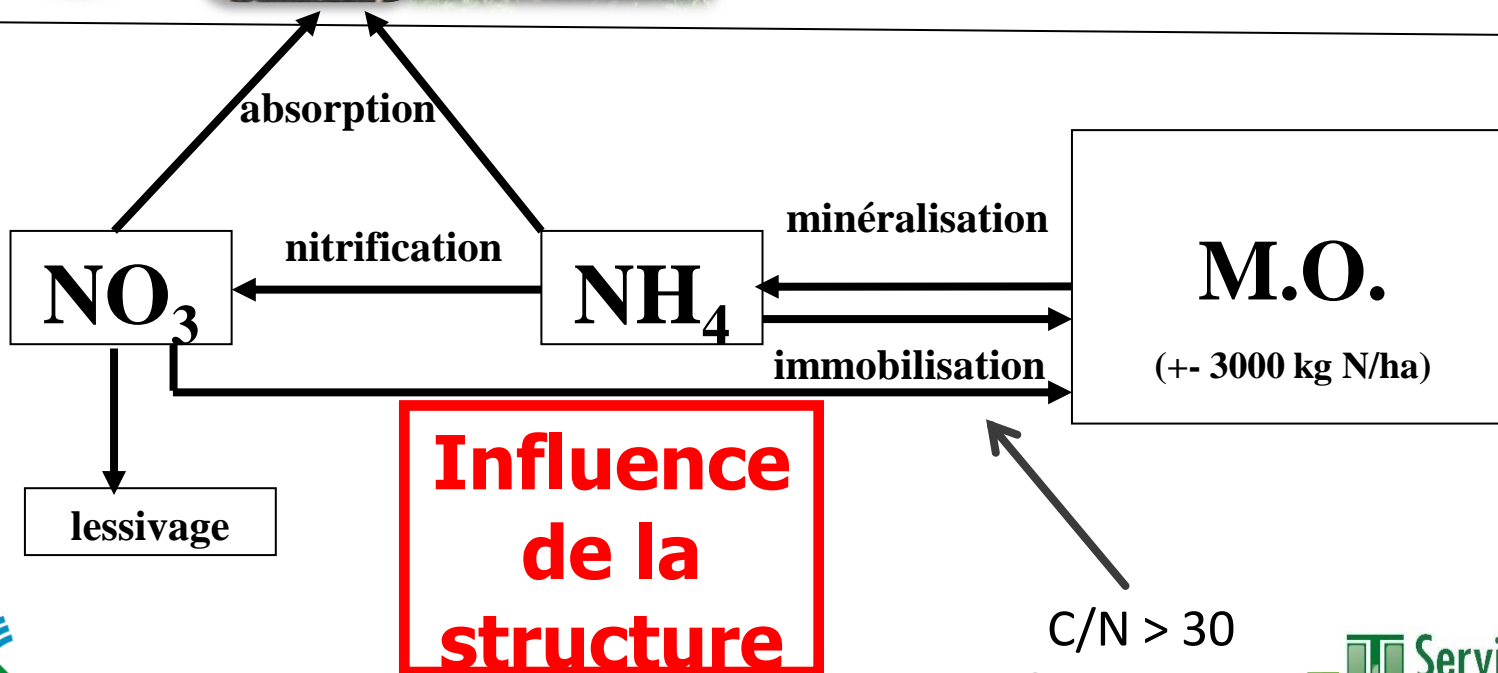
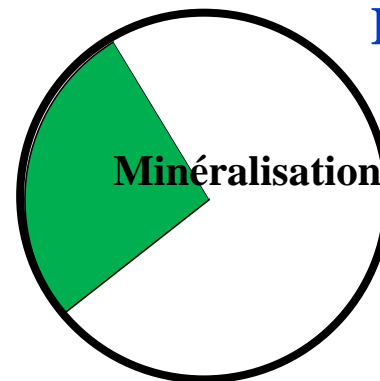
INDEX-N® : le système expert de l'azote minéral - Banque de connaissances



La réserve en azote est fonction :

- des reliquats en nitrates présents à l'automne
- de la répartition des nitrates dans le profil du sol
- de la quantité de précipitations
- des caractéristiques de la parcelle

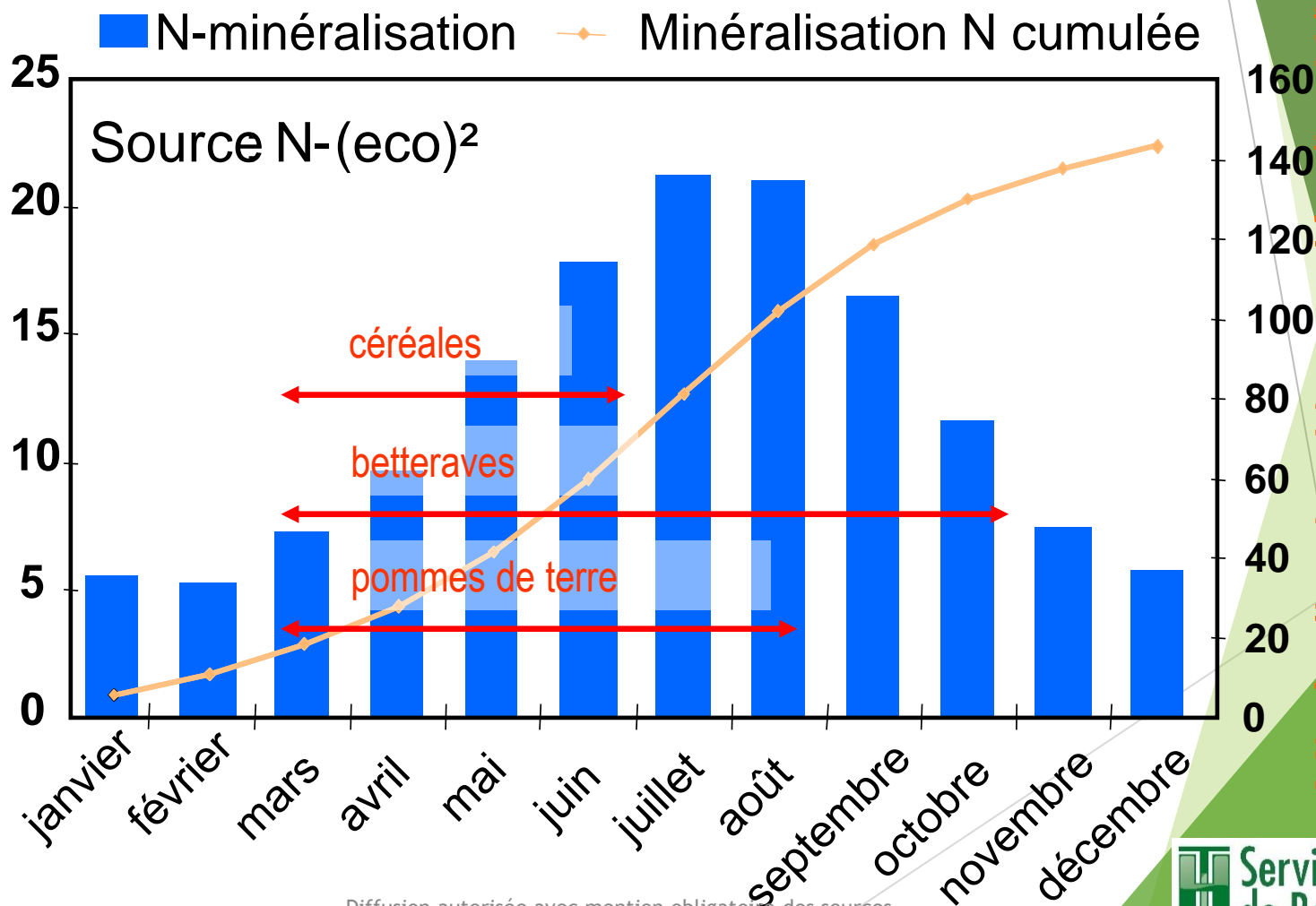
INDEX-N® : le système expert de l'azote minéral - Banque de connaissances



INDEX-N® : le système expert de l'azote minéral - Banque de connaissances

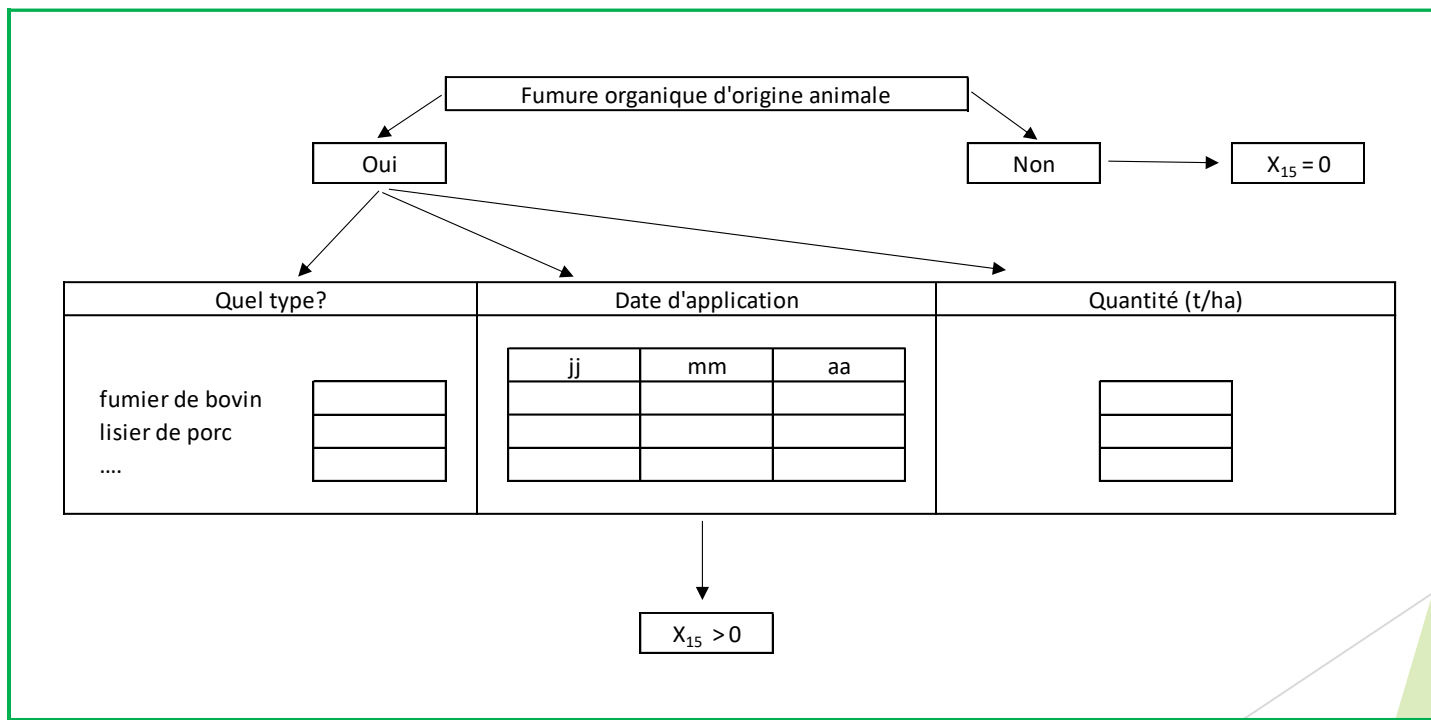
Minéralisation mensuelle moyenne

Minéralisation mensuelle (kg N/ha)



INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - Banque de connaissances

Exemple d'arbre de décision



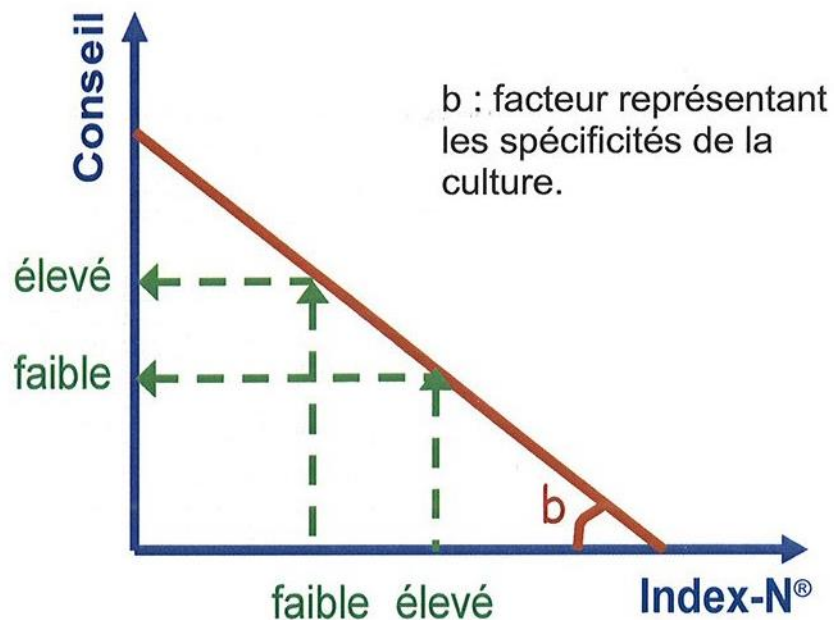
INDEX-N® : le système expert de l'azote minéral - OUPUT

Conseils de fertilisation azotée pour une culture et une saison de végétation prenant en compte un certain nombre de paramètres de la culture/conduite culturale :

- utilisation d'un régulateur de croissance (céréales)
- densité de semis / le peuplement réel de la culture
- caractéristiques variétales (ex : destination des pdt : chips, fécule, consommation...)
- sensibilité à la verse
- ...

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - OUPUT

$$\text{Conseil N} = A - b * \text{INDEX-N}$$



INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - OUPUT

- ▶ Exemple de la sensibilité à la verse des choux de Bruxelles - influence également sur le diamètre des choux (critères de qualité) - problème pour la récolte mécanique



Influence de la fertilisation azotée sur la longueur de tige des choux de Bruxelles, variété Lunet. À gauche 280 kgN/ha, à droite 0 kgN/ha. Notez la déformation de la tête avec une forte fertilisation azotée. Champs d'essais SPB à Avennes (Belgique)

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - OUPUT (résultats d'analyse)

Résultats d'analyses et Interprétation

Profondeur	Type de sol	Nitrates - N (NO ₃ ⁻ -N) kg/ha	Ammonium - N (NH ₄ ⁺ -N) kg/ha	Acidité (pH-KCl)	Carbone organique total (TOC) %
0-30 cm	Limon	112	16	6.6 assez faible	0.96
30-60 cm	Limon	27	4	INDEX-N* 263 plus élevé que la normale	
60-90 cm	--	--	--		
Réserve d'azote minérale (0-60 cm)		139	20		

Exemple :
échantillonnage
réalisé en cours
de culture
après
plantation PDT



* L'INDEX-N est une mesure de la quantité d'azote disponible pour la culture sur cette parcelle. L'INDEX-N prend en compte la réserve actuelle d'azote minéral (N-nitrates et N-ammonium), l'azote minéral qui sera libéré pendant la saison de croissance via la minéralisation et les pertes d'azote qui peuvent survenir

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - OUPUT (bulletin de conseils)

Conseil de fumure azotée : pommes-de-terre

Pour le calcul du conseil de fumure azotée, sont pris en compte la date de semis/plantation prévue ainsi que la quantité d'azote déjà absorbée par la culture.

Variété	Destination	Dose totale	Fractionnement	
NICOLA	chair ferme	57 kg N/ha	fumure de base	0 kg N/ha
			fumure complémentaire	57 kg N/ha

Les conseils ci-dessus visent un rendement agro-économique et environnemental optimal en tenant compte des caractéristiques de la parcelle analysée (réserve, minéralisation, types de sol, profondeur des horizons....)

Remarques spécifiques à la culture pour les conseils de fumure azotée

* appliquer la fumure complémentaire au début de la formation des tubercules

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - OUPUT (résultats d'analyse)

Résultats d'analyses et Interprétation

Profondeur	Type de sol	Nitrates - N (NO ₃ ⁻ -N) kg/ha	Ammonium - N (NH ₄ ⁺ -N) kg/ha	Acidité (pH-KCl)	Carbone organique total (TOC) %
0-30 cm	Limon	8	< 4	6.6 assez faible	0.95
30-60 cm	Limon	13	< 4	INDEX-N* 120 très faible	
60-90 cm	Limon	57	< 4		
Réserve d'azote minérale (0-90 cm)		78	< 12		

Exemple sur blé

Réserve du sol

N-minéralisation attendue



* L'INDEX-N est une mesure de la quantité d'azote disponible pour la culture sur cette parcelle. L'INDEX-N prend en compte la réserve actuelle d'azote minéral (N-nitrates et N-ammonium), l'azote minéral qui sera libéré pendant la saison de croissance via la minéralisation et les pertes d'azote qui peuvent survenir

Diffusion autorisée avec mention obligatoire des sources

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - OUPUT (bulletin de conseils)

Conseil de fumure azotée : blé d'hiver

Pour le calcul du conseil de fumure azotée, sont pris en compte la date de semis/plantation prévue ainsi que la quantité d'azote déjà absorbée par la culture.

Variété (date de semis)	Régulateur	Dose totale	Fractionnement	
EXTASE (15/10)	x2	208 kg N/ha	prem. fraction	90 kg N/ha
			deux. fraction	58 kg N/ha
			trois. fraction	60 kg N/ha

Les conseils ci-dessus visent un rendement agro-économique et environnemental optimal en tenant compte des caractéristiques de la parcelle analysée (réserve, minéralisation, types de sol, profondeur des horizons....)

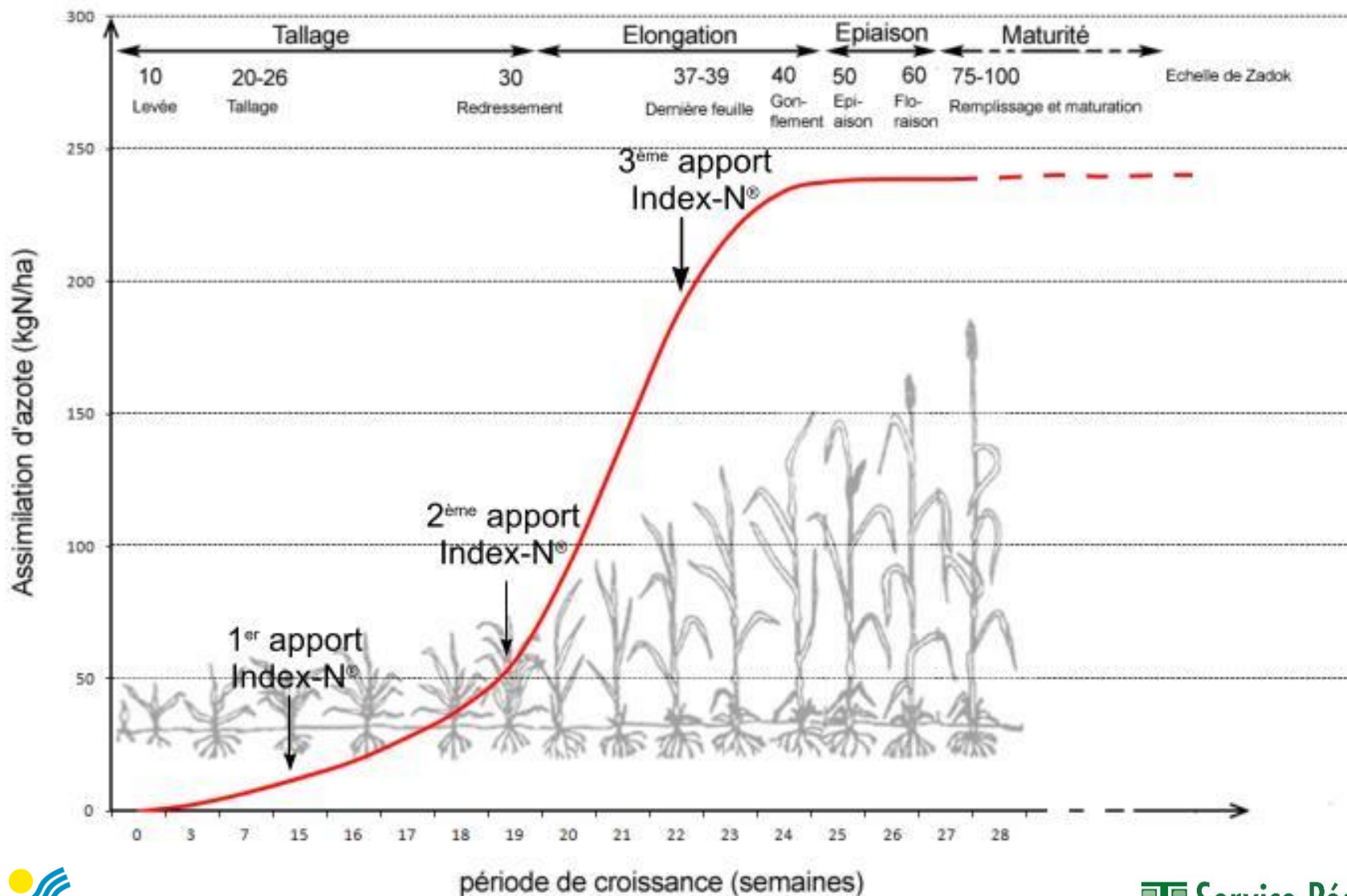
Remarques spécifiques à la culture pour les conseils de fumure azotée

* La fertilisation azotée doit être appliquée de préférence de manière fractionnée aux stades de développement suivants du blé :

- prem. fraction : reprise de végétation
- deux. fraction : redressement
- trois. Fraction : dernière feuille

* le pH est assez faible. Pour calculer précisément la dose de chaulage, il est nécessaire d'effectuer une analyse de sol standard Ferti-Soil[®]

Courbe d'assimilation de l'azote par le blé



Facteurs influençant le fractionnement sur céréales

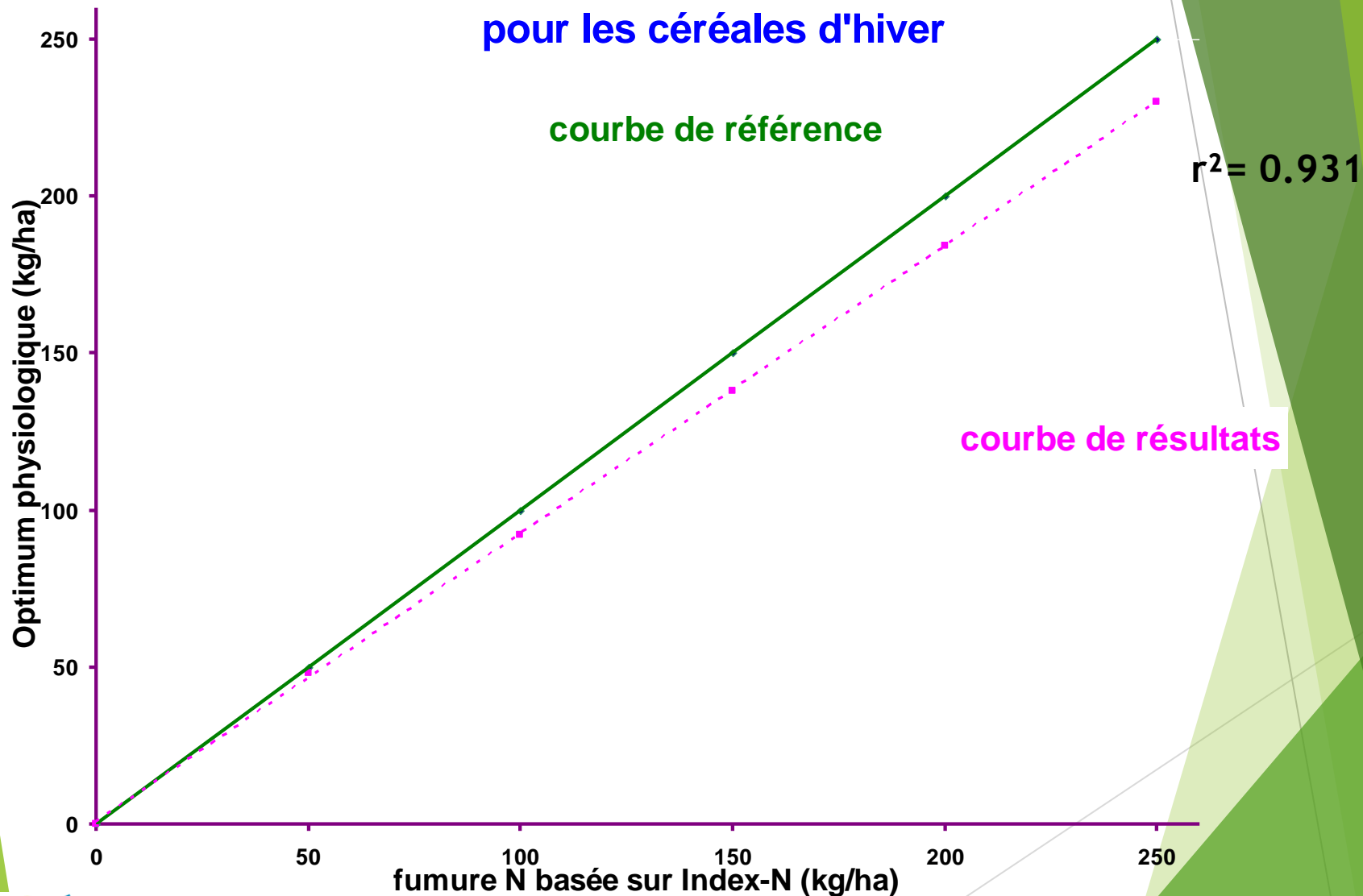
	F1 reprise de végétation	F2 redressement	F3 dernière feuille
besoin d'azote	90-120	170-210	280-330
0-30	X	-	-
30-60	XX	X	-
60-90	-	XX	X
minéralisation	X	XX	XXX
assimilation d'azote	date de semis, développement		
variété	potentiel de tallage	sensibilité à la verse	qualité, destination (BPS, BPA, biscuit, ...)
verse	XX	XX	

INDEX-N[®] : le système expert de l'azote minéral - Adaptation aux conditions réelles de l'année

- ▶ Le modèle de lessivage permet de recalculer le fractionnement (année exceptionnelle) en prenant en compte :
 - les précipitations entre le prélèvement et la 1^{ère} fraction; ainsi qu'entre les 1^{ère} et 2^{ème} fractions
 - les types de sol sur le profil
 - la profondeur de sol de l'échantillonnage...
- ▶ Le fractionnement est donné pour des stades phénologiques de la plante (redressement pour le blé, stade D1 pour le colza...) : la date dépend des conditions climatiques (pluie, température, ensoleillement...) de l'année. Cette date varie donc d'une année à l'autre
- ▶ Le système expert permet de réajuster le fractionnement (par exemple si le premier apport n'a pas pu être respecté par l'agriculteur)



Corrélation entre la fumure azotée basée sur l'Index-N et la fumure azotée physiologiquement optimale pour les céréales d'hiver



INDEX-N[®] : conclusions

- ▶ L'ensemble des facteurs mesurés et modélisés permet le calcul de la dose totale et de son fractionnement selon le sol, la culture (céréales, betteraves, pommes-de-terre, maïs, cultures légumières de plein champ...) et la destination de celle-ci
- ▶ L'INDEX-N[®] est indépendant de l'objectif de rendement
- ▶ Les connaissances et les mesures effectuées sur la parcelle servent à alimenter le modèle de lessivage et de modélisation de la répartition de l'azote dans le profil pour la saison de croissance de la culture
- ▶ L'INDEX-N[®] est utilisable en cours de culture (tant que le délai d'application de l'azote est encore réalisable)
- ▶ L'INDEX-N[®] est utilisable par tout agriculteur (depuis 1975 en Belgique, depuis 1977 en France)
- ▶ L'INDEX-N[®] répond à toutes les exigences de la Directive Nitrates (annexe III)