

# FERTILISATION AZOTOBACTÉRIENNE RAISONNÉE (FAR) À L'AIDE D'INDICATEURS ET D'ANALYSE MULTICRITÈRE

Pierre-Philippe CLAUDE<sup>1</sup>

## Le concept

Bien qu'un consensus existe autour de la méthode Comifer (2013) du bilan pour le calcul des doses prévisionnelles d'engrais azoté (dX), cette approche est aujourd'hui controversée (Ravier et al. 2015, 2016, 2017). D'autre part, la *fertilisation raisonnée* (FR) au sens du Comifer ne comptabilise pas véritablement l'activité des azotobactéries telluriques, notamment en présence de *résidus de culture (cellulosiques) au sol* (RCS). En effet, ce bilan estime que les gains d'N par *fixation non symbiotique* ( $F_{ns}$ ) ne font que compenser les pertes gazeuses d'N par *dénitrification* ( $G_s$ ), et que globalement le bilan agronomique de la  $F_{ns}$  est en ce sens nul ou négligeable.

Enfants pauvres de la microbiologie des sols, ces azotobactéries non-symbiotiques ont longtemps été confinées à la famille *Azotobacteraceae*. Or, nous savons aujourd'hui que le potentiel azotobactérien d'un sol en présence de RCS est bien supérieur aux quelques kg-N/ha/an rapportés. Cette sous-estimation du potentiel azotobactérien peut expliquer pourquoi la biofertilisation azotobactérienne par inoculation des RCS (Claude et Fillion 2004) n'est toujours pas aussi répandue qu'espéré. Un nouveau mode de calcul de dX intégrant cette notion de *potentiel azotobactérien* (**pAZB<sup>TM</sup>**) est donc proposé. La dose prévisionnelle d'engrais-N, appelée **dN** pour marquer la différence, sera mieux adaptée à la FR en présence de RCS. dN peut maintenant être calculée en fonction de l'*efficacité de l'azotobactérisation* (**eAZB<sup>TM</sup>**) des RCS. Par synergie, dN contribuera au développement de la *fertilisation azotobactérienne raisonnée* (FAR, alias *integrated azotobacterial fertilization* - IAF).

En collaboration avec Agronutrition SAS (31390 Carbone, France), l'eAZB sur blé et colza d'hiver a été évaluée en France de 2011 à 2015 pour différents types de RCS ; eAZB est ici le rapport entre témoins sans (t) et traitements avec (T) azotobactérisation des RCS. A partir de ces résultats, Polyor SARL conçu divers *indicateurs élémentaires* d'eAZB. Ces différents indicateurs élémentaires ont par la suite été intégrés à l'aide de *scores normalisés* (Si) et de *pondérations multivariées* (Pi) en un seul *indicateur agrégé*, **iAZB<sup>TM</sup>** (EP17196251.7). eAZB peut maintenant être estimé directement d'iAZB. De telles méthodes d'évaluation multicritère (Lairez et al. 2015) permettant des gains d'information et plus de précision n'ont jamais été appliquées directement au calcul de doses prévisionnelles d'engrais-N.

Les indicateurs élémentaires utilisés ici pour la formation d'iAZB (iVAZ, iPAZ, iRES, etc.) ont été dérivés de données pédoclimatiques provenant pour l'essentiel de simples bulletins d'analyses de terres et de stations météorologiques. Dans le cadre de son effort de R&D, Polyor a conçu à cet effet divers kits de prélèvement et de diagnostic de pAZB et eAZB faisant pour la plupart eux aussi l'objet de procédures auprès de l'Oeb<sup>2</sup>.

Ces valeurs d'eAZB estimées directement d'iAZB permettent d'estimer dN comme suit ;

$$dN = a \times pRDT - pAZB$$

sachant que  $a = [b_{Arvalis} / eAZB_{RUN}]$  et  $pAZB = [pRDN - pRDN/eAZB_{RDN}]$ . pRDT et pRDN sont, respectivement, les objectifs de rendements *agronomiques* ( $Q_{x_{grain}}/ha$ ) et *protéiques* ( $kg-N_{grain}/ha$ ), et  $eAZB_{RDN}$  et  $eAZB_{RUN}$  les valeurs d'eAZB fonction de RDN et RUN (rendements *unitaires* ;  $kg-N_{grain}/uN^3$ ). La valeur **a** est dérivée du coefficient Arvalis ( $b_{Arvalis}$ , ou *besoin unitaire* -  $uN/Q_{x_{grain}}$ ) divisé par  $eAZB_{RUN}$ . Notons que pAZB est ici en sorte la contribution (fourniture) en N des azotobactéries résidusphériques, y compris celles réintroduites par l'inoculation des RCS.

Connaissant via iAZB eAZB, a et pAZB, nous pouvons ainsi ajuster dN ;

- (i) en modulant les besoins unitaires ( $b_{Arvalis} \rightarrow a$ ) selon l'augmentation d' $eAZB_{RUN}$ , et ;
- (ii) en modulant la contribution des azotobactéries ( $pAZB \sim F_{ns}$ ) en fonction d' $eAZB_{RDN}$ .

---

<sup>1</sup> Polyor SARL, 5 allée du Lys Rouge, 54000 NANCY / 06 74 57 70 90 / [polyor.claude@laposte.net](mailto:polyor.claude@laposte.net)

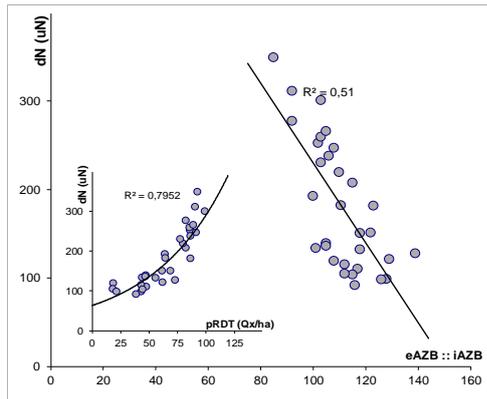
<sup>2</sup> Office européen des brevets

<sup>3</sup>  $uN = 1 \text{ kg-N/ha}$

Il est ainsi possible de calculer dN en fonction d'eAZB, i.e. selon l'efficacité escomptée de l'azotobactérisation des RCS. Notons que dN ne sera pas nécessairement *inférieure* à dX ; dN est donc compatible avec un certain « Plan Protéines » blé tendre.

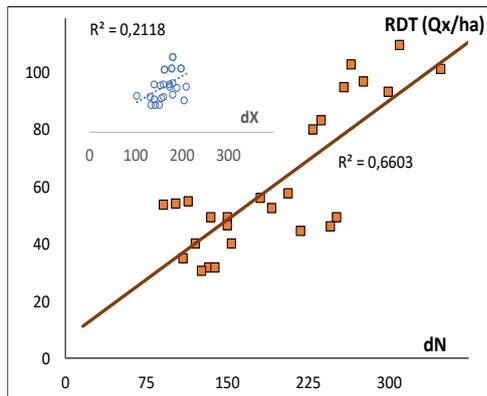
L'utilisation de tels indicateurs agrégés (iAZB → eAZB) pour le calcul de dN est nouvelle et inventive. Déjà proposés pour l'évaluation multicritère de la *durabilité* d'agrosystèmes (Lairez et al. 2015) ou la *qualité* de sols arables (Schloter et al. 2003), ils n'ont jamais servi à l'ajustement précis des doses prévisionnelles d'engrais azotés. Ce nouveau concept de FAR n'abandonne pas pour autant la notion d'objectif de rendement (pRDT) au profit d'un suivi plus tenu de l'*indice de nutrition azotée*, INN (Arvalis 2016), et n'entraîne aucune augmentation de la charge de travail de l'utilisateur. Au contraire.

## Illustration et modélisation



**Figure A :** Illustration du concept FAR pour le blé tendre d'hiver en France. L'augmentation d'eAZB™ indiquée par iAZB™ minore dN en raison de l'action des azotobactéries résidusphériques sur le coefficient **a** et pAZB™. Une augmentation du potentiel (*alias* objectif) de rendement (pRDT), attribuable en partie aux dites azotobactéries, va

augmenter dN (en abîme). Les données initiales proviennent des susdites essais agronomiques (2011 à 2015). L'augmentation de dN selon pRDT (objectif de rendement) est prévisible et calibrée (abîme) ; dN intègre donc une réduction des besoins unitaires ( $b_{Arvalis} \rightarrow a$ ) et une contribution en N des azotobactéries (pAZB ~ Fns), sans dosage des reliquats d'Nm en sortie hiver (RSH).



**Figure B :** Modélisation Stics™ (Brisson et al. 2008) à titre de validation. Les rendements agronomiques (RDT ; Qx/ha), ainsi que protéiques (RDN ; uN / figure 5, *poster*), sont beaucoup plus déterminés (cf.  $R^2$ ) par dN que par dX (abîme). dN est donc vraisemblablement plus pertinente que dX. Les taux de protéine et les rendements unitaires (RUN ;  $uN_{grain}/uN_{fertilisant}$ , ou

NUE) sont aussi plus élevés avec dN (*poster* / figures 6 et 7), cela en dépit d'une augmentation des RDT du fait d'une dN supérieure à dX (186 versus 168 uN). dN permet néanmoins de réduire les reliquats post-récolte d' $N_{minéral}$  (RPR ; uN, *poster* / figure 8). Plus simple à mettre en œuvre que la méthode du bilan, la FAR continuera à réconcilier fertilisation-N et protection de l'environnement, y compris via la matière organique du sol.

\*\*\*

## Références

- Arvalis 2016.** Gérer la fertilisation du blé sans la méthode du bilan. Réussir Grandes Culture (307) : 32-34
- Brisson et al. 2008.** Conceptual basis, formalisation and parameterization of Stics. Éd. Quae 78026 Versailles.
- Claude et Fillion 2004.** Effet de l'apport d'un inoculum bactérien aux résidus de culture de maïs-grain au sol sur le rendement et la qualité de blés d'hiver panifiables en France. Agrosolutions 15 (1) : 23-29
- Comifer 2013.** Calcul de la fertilisation azotée. Le Comifer, Diamant A, 92909 Paris La Défense Cedex
- Lairez et al. 2015.** Agriculture et développement durable. Éditions Quae 78026 Versailles
- Ravier et al. 2015.** Les travaux des GREN, révélateurs de controverses autour de la méthode du bilan. 12èmes Rencontres de la fertilisation raisonnée, 18 & 19 novembre 2015, Lyon (France)
- Ravier et al. 2016.** Mismatch between a science-based decision tool and its use: The case of the balance-sheet method for nitrogen fertilization in France. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences (In press)
- Ravier et al. 2017.** Early nitrogen deficiencies favor high yield, grain protein content and N use efficiency in wheat. European J. Agron. 89 : 16–24
- Schloter et al. 2003.** Indicators for evaluating soil quality. Agric. Ecosyst. Environ. 98 : 255–262