

N-PÉRENNES, UN OUTIL DE RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION AZOTÉE EN CULTURES PÉRENNES : APPLICATION À LA VIGNE ET À CERTAINS ARBRES FRUITIERS

J.-Y. Cahurel¹, F. Bidaut², X. Crété³, N. Damay⁴, P. Dubrulle⁵, V. Dumot⁶, O. Garcia⁷, B. Genevet⁸, J.-P. Goutouly⁹, P. Guilbault¹⁰, M. Heurtaux¹¹, J.-F. Larrieu¹², C. Le Roux⁴, J.-M. Machet⁵, I. Méjean¹³, A. Metay¹⁴, G. Morvan¹⁵, D. Plenet¹⁶, W. Trambouze¹⁷

¹ Institut Français de la Vigne et du Vin

² Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire

³ Centre Expérimental Horticole de Marsillargues

⁴ Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche de l'Aisne

⁵ Institut National de la Recherche Agronomique, Agro-Impact, Laon

⁶ Bureau National Interprofessionnel du Cognac

⁷ Comité Champagne

⁸ Chambre d'Agriculture du Gard

⁹ Institut National de la Recherche Agronomique, Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne, Bordeaux

¹⁰ Chambre d'Agriculture de Gironde

¹¹ ACTA-les instituts techniques agricoles

¹² Chambre d'Agriculture du Tarn-et-Garonne

¹³ Chambre d'Agriculture de la Drôme

¹⁴ Montpellier SupAgro – UMR SYSTEM

¹⁵ Chambre d'Agriculture de l'Yonne

¹⁶ Institut National de la Recherche Agronomique, Plantes et Systèmes de culture Horticoles, Avignon

¹⁷ Chambre d'Agriculture de l'Hérault

Introduction

Même si leurs exigences sont plus faibles que celles des grandes cultures, les plantes pérennes ont besoin d'azote pour se développer (Champagnol, 1984). A la différence des grandes cultures, les plantes pérennes accumulent des réserves, notamment azotées, pendant leur cycle végétatif dans différents compartiments de la plante, les stockent pendant la phase hivernale dans leurs parties pérennes (tronc, racines...) et les remobilisent au démarrage du cycle suivant (Jordan et al., 2009).

La gestion de l'azote est rendue d'autant plus délicate pour ces plantes (vignes, arbres fruitiers) que la notion de qualité du fruit qui en dépend, revêt une importance particulière. Il s'agit d'obtenir un développement satisfaisant de la plante en termes de vigueur et de rendement, tout en garantissant la qualité, dépendante de l'objectif de production visé. Or l'équilibre à trouver reste difficile, car il existe une corrélation inverse entre le développement végétatif et la qualité du produit. Ainsi un excès d'azote est préjudiciable sur le plan qualitatif (mauvaise maturité) et peut sensibiliser les plantes à certains bio-agresseurs. A l'opposé, une carence aura un effet négatif à la fois sur le plan qualitatif (fermentescibilité des moûts (Spayd et al., 1991), arômes des vins) et sur le plan quantitatif (baisse de rendement non viable économiquement). Ces problèmes de carence sont relativement récents et plus particulièrement liés au développement de nouvelles méthodes d'entretien du sol (remplacement du désherbage chimique sur toute la surface par l'enherbement des inter-rangs) et/ou aux évolutions climatiques (Chantelot et al., 2004).

Les outils existants permettent surtout d'avoir une connaissance du statut azoté de la plante pérenne à un stade-clé (Van Leeuwen et al., 2011). Ils ne sont cependant pas systématiquement utilisés car ils restent très dépendants des conditions du milieu (climat, sol), de culture (cépage, porte-greffe) et du millésime (Soing, 1999). Ils ne se suffisent donc pas à eux-mêmes pour aboutir à un diagnostic et un conseil en termes de fertilisation à apporter. D'autre part, ils n'ont pas un caractère générique suffisant pour être utilisés hors du domaine sur lequel ils ont été expérimentés.

Objectifs du projet

Ce projet, né du RMT Fertilisation et Environnement, mais en associant plusieurs partenaires externes à ce réseau, vise à mettre au point un prototype d'outil de gestion de la fertilisation azotée pour les plantes pérennes, en se basant sur un outil déjà existant et innovant, utilisé sur les grandes cultures (AzoFert® - Machet et al., 2007). L'accent est mis sur le fait que le projet doit aboutir à un prototype à caractère générique et non spécifique d'une région.

Indirectement, cet outil devrait permettre d'accompagner le développement de la technique de l'enherbement, qui complexifie le raisonnement de la fertilisation azotée mais qui participe efficacement à la réduction de l'utilisation des herbicides et à la protection physique des sols par maintien d'un couvert plus important. En arboriculture fruitière, l'outil devrait permettre de mieux adapter les apports d'engrais au cours du cycle de croissance en intégrant de manière plus dynamique l'évolution des prélèvements en fonction de la charge en fruits et les fournitures d'azote par le sol. De plus, cet outil permettra d'harmoniser le raisonnement entre cultures, en lien notamment avec la Directive Nitrate et l'action des GREN (groupes régionaux d'expertise nitrates).

Programme de travail

Le programme de travail est structuré en 4 volets complémentaires, organisés autour de l'adaptation d'AzoFert®, un outil d'aide à la décision déjà existant, dynamique et basé sur la méthode du bilan, utilisé sur les grandes cultures, au cas des plantes pérennes.

- **Volet 1** : Programmation d'un module plantes pérennes. Après une phase d'analyse du cahier des charges et du logigramme associé, il s'agit de vérifier la faisabilité conceptuelle et technique d'un prototype d'AzoFert® intégrant les plantes pérennes.
- **Volet 2** : Adaptation du paramétrage aux cultures pérennes. Il s'agit de modifier certains paramétrages et surtout d'intégrer les nouveaux paramètres pour compléter le catalogue cultures pour les besoins en azote, le catalogue sols ou le catalogue produits organiques de façon à prendre en compte les spécificités des plantes pérennes.
- **Volet 3** : Validation des sorties du prototype à partir de données expérimentales. Le travail de validation a été effectué principalement en viticulture mais un début de validation de l'outil a été engagé en arboriculture afin de tester sa généralité aux principales cultures pérennes (pommier, pêcher).
- **Volet 4** : Transfert et diffusion des résultats.

Ce projet, démarré fin 2012, s'est terminé fin 2016. Il a été financé par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt dans le cadre de l'appel à projet CASDAR Recherche Finalisée et Innovation.

Résultats obtenus

Programmation d'un module plantes pérennes

Une analyse critique des cahiers des charges arbres fruitiers et vigne, rédigés par l'INRA - Unité Agro-Impact en amont du projet, a été réalisée par l'ensemble des partenaires. Les différents postes constitutifs de la méthode du bilan ont été discutés dans le cas des plantes pérennes. Le cahier des charges a été analysé pour la vigne et l'arboriculture sur différents points : concept de vigueur, réserves azotées, reliquats azotés, dates d'ouverture et de fermeture du bilan d'azote, prise en compte de l'enherbement dans les vignes et vergers, caractérisation du sol. Du fait d'un manque de données bibliographiques, certaines hypothèses ont été émises.

Les principales modifications apportées au cahier des charges des grandes cultures, en lien avec les spécificités des plantes pérennes, sont présentées dans le tableau 1 (liste non exhaustive).

Tableau 1 : Principales modifications du cahier des charges liées aux spécificités des plantes pérennes

	Viticulture	Arboriculture
Ouverture du bilan	débourrement	floraison
Fermeture du bilan	véraison	début de jaunissement des feuilles
Gestion de l'enherbement	Hypothèse : la zone enherbée est un compartiment isolé et il n'y a pas d'interaction avec le compartiment arbo/viti	
Estimation des besoins en azote	voir figure 3	Pommiers : $80 + 0,6 \times \text{Rdt}$ Pêchers : $90 + 1,3 \times \text{Rdt}$
Réserves	Hypothèse d'égalité des réserves entre début et fin du cycle annuel	Prises en compte dans la relation précédente
Retour au sol des feuilles	Prise en compte du % feuilles restituées sur la parcelle	
Vigueur	Non prise en compte. A prendre en compte dans le conseil finalisé	
Densité de plantation	Intégrée indirectement dans le calcul de la surface spécifique	
Travaux en vert	Non pris en compte	

Une première version du prototype AzoFert® N-Pérennes a été livrée par le LDAR en septembre 2015. Suite aux premiers tests, des améliorations de l'interface et du moteur ont été réalisées. La gestion de l'enherbement n'est pas encore opérationnelle dans le prototype faute de temps. La proportion de feuilles restant sur la parcelle est un des paramètres sur lesquels il est possible de jouer (la restitution par les feuilles est de l'ordre de 15-30 kg N/ha suivant la vigueur des vignes, par exemple), même si sa connaissance exacte est très délicate.

Le module de gestion des cultures intermédiaires (engrais verts) est en revanche opérationnel. La figure 1 présente une page de l'interface du prototype destinée à recueillir les informations parcellaires.

The screenshot shows a web browser window displaying the AzoFert interface. The page title is 'Vos résultats WebAzolims (AzoFert®)'. The main content area contains a form for entering parcel data. Key sections include:

- Historique culturel de la parcelle:** Includes fields for 'Labour (OUI/NON/VIDE)' (set to NON), 'Enherbement' (set to VIDE), 'Devenir du résidu de taille' (set to 3, Toujours enfouis), and 'Niveau de développement'.
- Apports organiques (OUI/NON/VIDE):** Set to VIDE.
- Précédent culturel:** 'Culture précédente' is 'VIN, Vigne de test N-Pérennes'. Other fields include 'Rendement (t/ha)' (10), 'Fertilisation azotée (kgN/ha)' (0), 'Date de récolte' (06/09/2015), 'Devenir des résidus' (2, Laissés en surface), 'Date de déchaumage', 'Travail du sol', and 'Date de labour'.
- Produits organiques:** A table with columns: Nb (0), Type de Produit, Quantité (t ou m3/ha), Date, C (g/kg), N (g/kg), N-min (g/kg), and Libellé du produit.
- Culture intermédiaire:** Includes 'Présence (OUI/NON)', 'Nature', 'Rendement (t MS/ha)', 'Date d'implantation', and 'Date de destruction'.

Figure 1 : Exemple de page de l'interface du prototype

Le prototype est hébergé sur le site extranet du LDAR et uniquement accessible, par identifiant et mot de passe, aux partenaires sur la durée du projet.

L'interface est une adaptation du service du LDAR pour les interprétations réalisées sur les grandes cultures (figure 2).

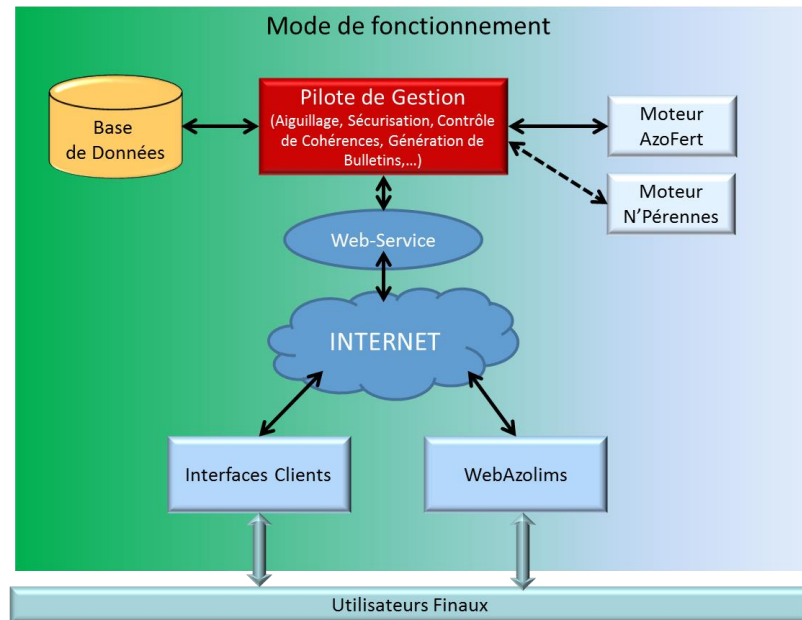


Figure 2 : Schéma de fonctionnement de l'interface de tests N-Pérennes

Adaptation du paramétrage aux cultures pérennes

Les données expérimentales regroupées dans la base de données constituée dans le volet 3, ont permis d'alimenter le paramétrage des sols et des climats. La dénomination des **types de sols** pouvant notablement varier d'une région à une autre, un travail de transcription des types de sols caractérisés dans le prototype vers les types de sols rencontrés dans les expérimentations de la base de données, a été réalisé.

Pour les **climats**, la fourniture par les partenaires des données climatiques liées aux sites d'expérimentation a permis de créer des fichiers de données décennaires, utilisées dans le prototype AzoFert® N-Pérennes. Ces données ont ensuite été mobilisées pour réaliser les simulations avec le prototype.

Pour les **compartiments constitutifs des plantes** pérennes, le travail a abouti à une répartition basée sur le rendement de la culture avec des approches différentes pour la vigne et les arbres fruitiers. En effet, pour le pommier et le pêcher, des relations étaient déjà établies par le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (voir tableau 1). Elles ont d'ailleurs été confirmées par les résultats acquis par l'INRA PSH d'Avignon sur des expérimentations systèmes de culture en pommiers conduits à l'INRA de Gotheron (Drôme) et à la station régionale d'expérimentation de la Pugère (Bouches-du-Rhône), en particulier pour paramétrer conjointement le modèle N-Pérennes et le modèle STICS (Simulateur multiDisciplinaire pour les Cultures Standard), ce dernier étant mobilisé dans le cadre d'une thèse CIFRE CTIFL-INRA Avignon (Demestihias, 2017). Les résultats acquis ont été présentés lors du colloque de restitution du projet (Plénet et al., 2016). Pour la vigne, les relations présentées dans la figure 3 sont issues de l'exploitation des données bibliographiques existantes.

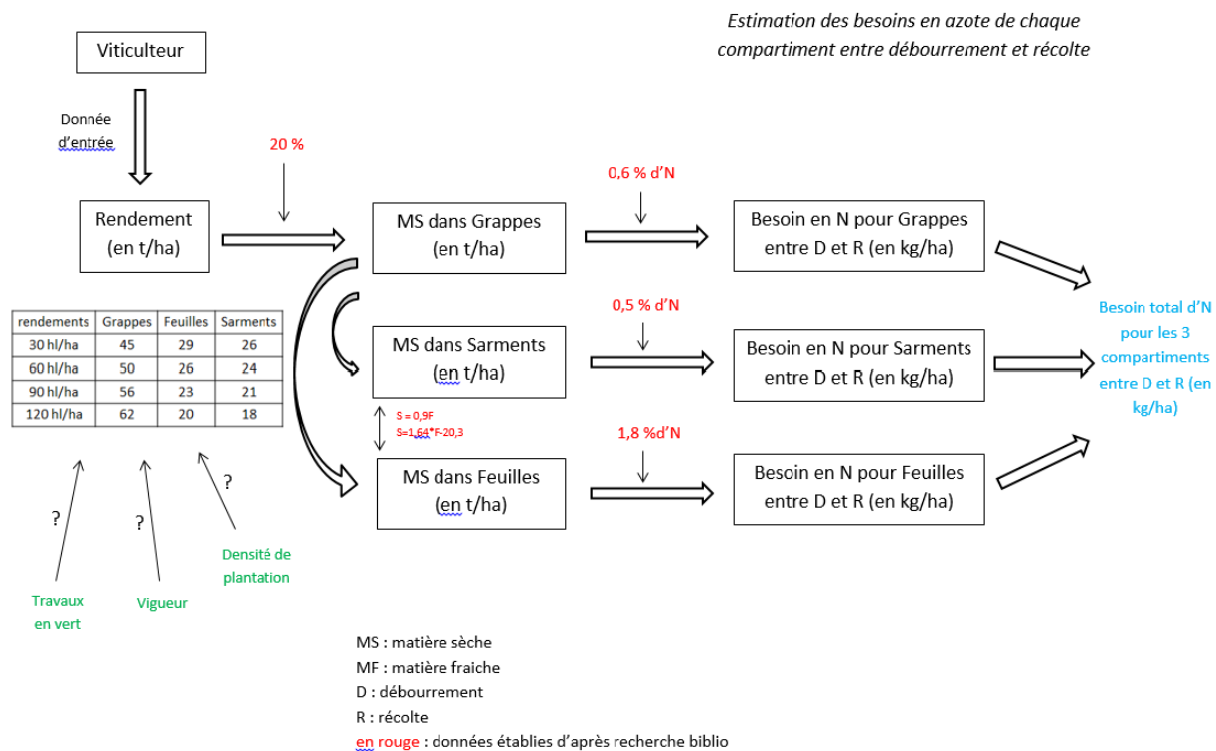


Figure 3 : Répartition de l'azote dans les différents compartiments constitutifs de la vigne

Ces différentes relations ne sont valables que pour des plantes adultes. Le manque de références concernant les jeunes plantes, en croissance, que ce soit en viticulture ou en arboriculture, ne permettent pas, à ce stade, d'utiliser le prototype pour les jeunes plantations.

La restitution d'azote par **les feuilles et résidus de taille (sarments)** a été intégrée mais demande à être validée.

Pour la fourniture d'azote par les **produits organiques**, le travail a consisté en l'acquisition de paramètres (composition, courbes de minéralisation de l'azote et du carbone). Ces données sont issues d'expérimentations, de la bibliographie et des fabricants. Elles concernent les produits organiques spécifiques à la viticulture et à l'arboriculture : compost de marcs de raisins, écorces de feuillus, écorces de résineux et certains produits du commerce.

Données d'entrée du modèle

Dans un premier temps, un fichier type a été élaboré de façon à recueillir les données des différentes expérimentations permettant de valider le modèle : caractéristiques de la parcelle, données « sol », données « climat », données annuelles « plante » (rendement, stades phénologiques, restitution des bois de taille, reliquats azotés...). Les différents paramètres renseignés sont présentés dans le tableau 2.

Les partenaires ont fourni leurs données expérimentales, organisées et saisies de façon homogène pour alimenter le prototype. Une base des données a ainsi été construite.

Tableau 2 : Principaux paramètres renseignés dans la base de données

Caractéristiques parcelle	Données sol	Données météo (pas de temps décadaire)	Données annuelles
Commune	Argile	Température moyenne	Rendement
Organisme	Sable	Précipitations	N assimilable
Lieu-dit	Calcaire	ETP	Restitution des bois de taille
Intitulé essai	Azote total	Rayonnement global	Poids des bois de taille
Modalités	Carbone org.	Données annuelles et données moyennes	Date débourrement (viti)
Années d'expé.	Profondeur		Date vendanges (viti)
Année plantation	Charge en cailloux		Date floraison (arbo)
Ecartements	Densité apparente		Date chute des feuilles (arbo)
Pente	Humidité (CC, PF)		Reliquats azotés
Espèce			Irrigation : dose, teneur en nitrate
Cépage ou variété			
Porte-greffe			
Entretien du sol			

Validation des sorties du prototype

Des tests ont ensuite été réalisés par l'IFV et les partenaires de façon, d'une part, à mettre en évidence d'éventuels problèmes au niveau de l'interface, et, d'autre part, de valider les sorties du prototype, en particulier leur cohérence. Cette validation a nécessité un tri des expérimentations, toutes n'étant pas aptes à la validation.

Le compartiment « enherbement de l'inter-rang » n'ayant pas pu être implémenté dans le prototype avant les simulations, les quantités d'azote du sol non disponibles pour la culture ont été calculées à l'aide d'un tableur et les résultats ont été intégrés aux sorties du prototype lors de sa validation.

Au total, 27 expérimentations ont été recensées en viticulture, représentant 135 modalités. Le nombre de situations (modalité x année) est de 987. Les types de modalité sont répartis de la façon suivante :

- 24 % témoin sans apport d'azote
- 35 % fertilisation azotée
- 24 % amendement organique
- 4 % entretien du sol (enherbement en général)
- 7 % fertilisation azotée x amendement
- 2 % fertilisation azotée x entretien du sol
- 4 % amendement x entretien du sol

En arboriculture, 3 expérimentations ont été recensées, exclusivement sur pommier, représentant 17 modalités et 43 situations (modalité x année). Les expérimentations portent exclusivement sur la fertilisation azotée (dose d'apport).

Des tests de sensibilité ont permis de mettre en évidence les paramètres ayant le plus d'impact sur les sorties du prototype. Il s'agit du type de sol, qui peut faire varier l'apport préconisé d'une trentaine de kg/ha (voir figure 4). Le taux de cailloux ainsi que les données climatiques influent sur la minéralisation de l'humus. Les jours normalisés ont un poids important dans la minéralisation de l'humus du sol (qui peut varier d'un facteur 6). Les reliquats azotés à l'ouverture du bilan peuvent entraîner une variation de la dose préconisée d'une vingtaine de kg/ha. A l'inverse, d'autres paramètres ont peu d'influence sur la préconisation en vigne : la restitution des sarments (maximum : 8 kg/ha – voir figure 5), la date de fin de lessivage (suivant que l'on prenne le stade 5-6 feuilles ou la date de début de floraison).

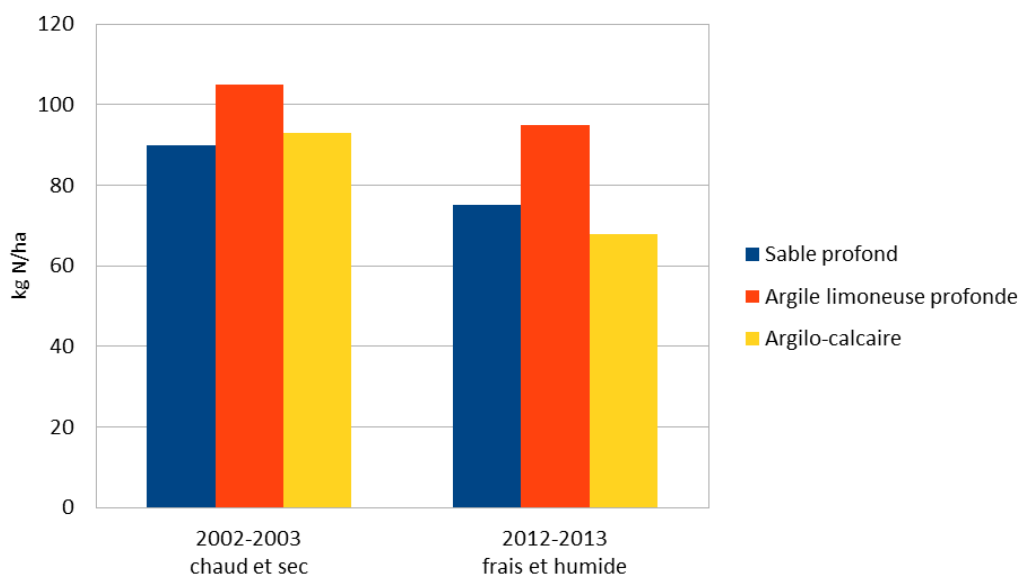


Figure 4 : Variation de l'apport préconisé par le prototype en fonction du type de sol et des caractéristiques climatiques du millésime, pour un objectif rendement de 30 t/ha

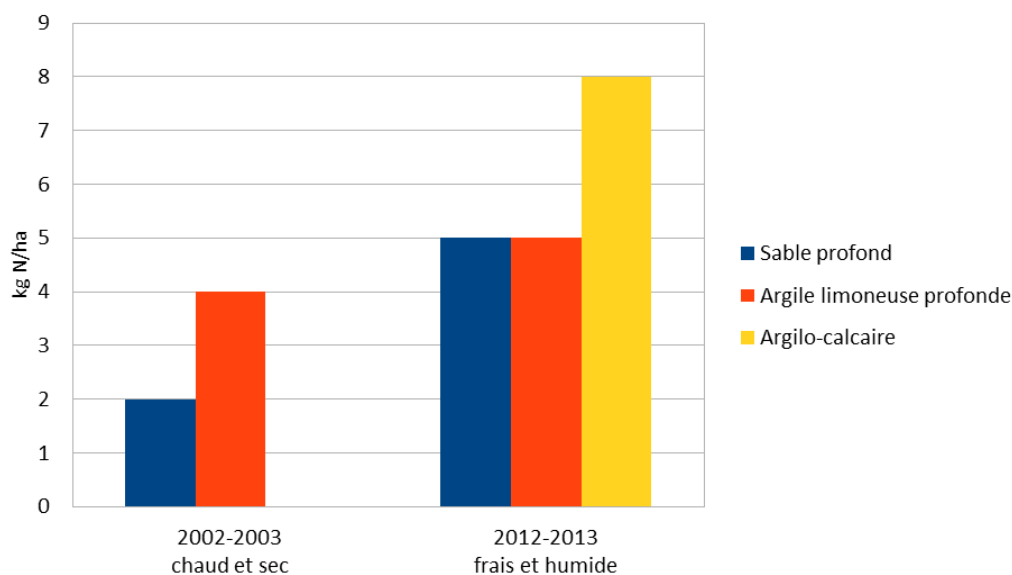


Figure 5 : Variation de l'apport lié à la restitution des sarments en fonction du type de sol et des caractéristiques climatiques du millésime

Pour la validation proprement dite, un premier travail a consisté à trier les expérimentations. En effet certaines expérimentations n'ont pu être prises en compte dans la validation du fait d'un manque de données. Ce manque a porté principalement sur les données climatiques (essentiellement l'ETP). Cela n'a pas complètement exclu l'expérimentation de la validation mais seulement les années où les données étaient incomplètes. Certaines expérimentations dont le type de sol n'était pas décrit de façon suffisamment précise ont également dû être écartées.

Une deuxième sélection a ensuite été réalisée à partir des résultats de l'expérimentation. En effet le prototype ne prend pas en compte les facteurs limitants autres que l'azote : une dose d'apport croissante d'azote devrait augmenter le rendement. Or ceci n'est pas toujours le cas dans les

expérimentations. Le facteur limitant est alors en général la disponibilité en eau, mais cela peut être également lié à des problèmes de maladies ou de coulure. Ces cas ont donc été écartés. Là encore, cela n'exclut pas complètement une expérimentation mais uniquement les années où aucun effet n'est mis en évidence.

Au final, 17 % des situations recensées ont pu être utilisées en viticulture (soit 166 situations) et 37 % en arboriculture (soit 16 situations).

De façon à valider le prototype, pour chaque situation exploitable, le prototype a été utilisé en fixant un objectif de rendement égal au rendement réellement mesuré. L'écart entre l'apport préconisé par le prototype et l'apport effectivement réalisé a été calculé. La règle de validation est la suivante : si la valeur absolue de cet écart est inférieure à 10 kg N/ha, le conseil donné par le prototype est considéré comme correct. Dans le cas contraire, le conseil est jugé inadapté. Cette valeur de 10 kg/ha a été déterminée en fonction des impacts prévisibles sur la plante et la faisabilité d'un tel apport d'un point de vue pratique.

La comparaison des préconisations du prototype aux résultats des expérimentations donne des résultats mitigés.

Sur vigne (tableau 3), on constate que les préconisations sont correctes dans 51 % des cas. Le cas où le prototype préconise un apport alors qu'il n'y en a pas besoin n'est pas négligeable (26 %). Le cas inverse où le prototype ne préconise pas d'apport alors qu'un apport est nécessaire dans la situation est plus rare (7 %). Le cas où un apport est nécessaire et que le prototype conseille une dose trop faible ou trop forte est relativement restreint (16 %). Dans les cas où le conseil n'est pas correct, le prototype a généralement tendance à conseiller une dose trop forte.

Le prototype ne préconise souvent aucun apport (42 % des cas) mais la plupart du temps à bon escient (82 % des cas).

Tableau 3 : Répartition des résultats des validations pour la viticulture et écarts entre la préconisation du prototype et la dose réelle appliquée

	Fréquence	Ecart moy (kg N/ha)	Ecart min (kg N/ha)	Ecart max (kg N/ha)
Préconisations correctes	51 %			
Apport conseillé mais en réalité inutile	26 %	30	10	82
Pas d'apport conseillé alors qu'apport nécessaire	7 %	42	25	60
Apport conseillé trop important ou trop faible	16 %	33	10	82

Sur arbres fruitiers (tableau 4), les préconisations sont correctes dans un quart des cas. Le cas où un apport est nécessaire et que le prototype conseille une dose trop faible ou trop forte est le plus fréquent (44 % des cas). Les deux autres cas sont à peu près distribués de façon identique. Dans les cas où le conseil n'est pas correct, le prototype a généralement tendance à conseiller une dose trop faible, contrairement à la vigne, ce qui reste à expliquer.

Une étude post-projet, réalisée par la Chambre d'Agriculture du Tarn-et-Garonne sur 12 situations, met cependant en évidence une bonne adéquation entre les préconisations du prototype et le conseil préconisé par le conseiller (75 % de préconisations correctes).

Tableau 4 : Répartition des résultats des validations pour l'arboriculture et écarts entre la préconisation du prototype et la dose réelle appliquée

	Fréquence	Ecart moy (kg N/ha)	Ecart min (kg N/ha)	Ecart max (kg N/ha)
Préconisations correctes	25 %			
Apport conseillé alors mais en réalité inutile	19 %	99	93	111
Pas d'apport conseillé alors qu'apport nécessaire	12 %	49	37	62
Apport conseillé trop important ou trop faible	44 %	67	15	129

Au final, les résultats obtenus avec le prototype N-Pérennes sont encourageants en vigne comparativement à des préconisations empiriques. En arboriculture, le manque de références expérimentales a induit un faible nombre de validations réalisées et des résultats mitigés.

Conclusion et perspectives

L'adaptation de la méthode du bilan aux plantes pérennes par la prise en compte de leurs spécificités est une démarche innovante. Elle a abouti à la construction d'un prototype permettant l'aide à la gestion de la fertilisation azotée de ce type de culture.

Une interface opérationnelle et conviviale a été développée, même si des améliorations restent à apporter.

Les résultats obtenus avec le prototype N-Pérennes sont encourageants en viticulture comparativement à des préconisations empiriques mais suppose une connaissance précise des caractéristiques du sol. En arboriculture, le manque de références expérimentales a induit un faible nombre de validations réalisées. Pour que le prototype devienne un outil opérationnel, il restera à réaliser à la fois du travail de programmation et de paramétrage, et une validation sur un plus grand nombre de situations et en conditions réelles d'utilisation de l'outil, en particulier en lien avec la prise en compte des interactions de la gestion de la fertilisation avec les modalités de fertilisation et les autres pratiques viticoles (notamment celles d'entretien du sol) ou l'irrigation. D'autres perspectives, élargissant l'objectif du prototype, sont également envisageables : outil de pilotage, utilisation en agriculture biologique par exemple.

Pour en savoir plus : <http://www.rmt-fertilisationetenvironnement.org/moodle/course/view.php?id=108>

Références bibliographiques

- Champagnol F., 1984. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*, 351 pages.
- Chantelot E., Celette F., Wery J., 2004. Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen. 19^{èmes} Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, 8-10 décembre 2004.
- Demestihias C., 2017. *Analyse des conflits et synergies entre services écosystémiques multiples en vergers de pommiers*. Thèse de doctorat, INRA Avignon – CTIFL - Université d'Avignon, Avignon, France.
- Jordan M.-O., Wendler R., Millard P., 2009. The effect of autumn N supply on the architecture of young peach (*Prunus persica* L.) trees. *Trees* 23, 235-245.
- Machet J.-M., Dubrulle P., Damay N., Duval R., Recous S., Mary B., Nicolardot B., 2007. Présentation et mise en œuvre d'AzoFert®, nouvel outil d'aide à la décision pour le raisonnement de la fertilisation

azotée des cultures. 8^{èmes} rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre GEMAS-COMIFER, Blois, 20-21 novembre 2007.

Plénet D., Demestihis C., Chareyron M., Bussi C., Simon S., 2016. Dynamique d'accumulation de matière sèche et d'azote dans les vergers de pommiers. Colloque de restitution Casdar N-Pérennes : un outil de raisonnement de la fertilisation azotée en cultures pérennes, application à la vigne et à certains arbres fruitiers. RMT Fertilisation, 18 octobre 2016, Paris.

Soing P., 1999. Fertilisation des vergers, environnement et qualité. Ctifl, Paris, 86 pages.

Spayd S.E., Wample R.L., Nagel C.W., Stevens D., Evans R.G., 1991. Vineyard nitrogen fertilization effects on must and wine composition and quality. International Symposium of Nitrogen in Grapes and Wine, Seattle, USA, 18-19 juin 1991, 196-199.

Van Leeuwen C., Friant P., 2011. Les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble : état de l'art. Colloque IFV Sud-Ouest "L'azote : un élément clé en viticulture et en œnologie", Toulouse, 8 décembre 2011, p. 18-23.