



DGER/SDI/BIPI/CASDAR

N° du projet : 1207

Titre du projet : **N-Pérennes** : Conception et mise au point d'un outil de raisonnement de la fertilisation azotée en cultures pérennes. Application à la vigne et à certains arbres fruitiers.

COMPTE RENDU FINAL DU PROJET

Juillet 2017

Organisme chef de file : Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV)

Nom et organisme du chef de projet : Cahurel Jean-Yves (IFV)



A - Note synthétique

Contexte du projet

Même si leurs besoins sont plus faibles que ceux des grandes cultures, les plantes pérennes requièrent de l'azote pour se développer. A la différence des grandes cultures, les plantes pérennes accumulent des réserves, notamment azotées, pendant leur cycle végétatif dans différents compartiments de la plante et les stockent pendant la phase hivernale dans leurs parties pérennes (tronc, racines...).

La gestion de l'azote est rendue d'autant plus délicate pour ces plantes (vignes, arbres fruitiers) que la notion de qualité du fruit 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 du fruit, dépendante de l'objectif de production visé. Or l'équilibre à trouver reste difficile, car il existe en général 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 bioagresseurs. A l'opposé, une carence aura un effet négatif à la fois sur le plan qualitatif (fermentescibilité des moûts, 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).

Les outils existant actuellement et permettant d'avoir une connaissance du statut azoté de la plante pérenne (analyse foliaire, pesée des bois de taille...) ne sont pas systématiquement utilisés. En effet ils restent très dépendants des conditions du milieu (climat, sol), de culture (cépage ou variété, porte-greffe) et du millésime. 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.

Enjeux du projet

L'enjeu principal du projet est d'améliorer le raisonnement de la fertilisation azotée des plantes pérennes et en particulier de la vigne et des arbres fruitiers, pour d'une part éviter des baisses de productivité et de qualité liées à une sur-fertilisation ou une sous-fertilisation, et d'autre part limiter les pertes d'azote. Un autre enjeu important est l'adoption par un plus grand nombre de viticulteurs de l'enherbement dans les inter-rangs, et de la prise en compte de cette pratique quasiment généralisée en arboriculture.

Objectifs du projet

Le projet N-Pérennes, issu du Réseau Mixte Technologique « Fertilisation & Environnement », vise à mettre au point un prototype d'outil de gestion de la fertilisation azotée pour les plantes pérennes, en se basant sur AzoFert[®], un outil d'aide à la décision déjà existant et innovant, utilisé sur les grandes cultures et basé sur la méthode du bilan. L'accent est mis sur le fait que le projet doit aboutir à un prototype à caractère générique et non spécifique d'une région, utilisable par les laboratoires et les techniciens de conseil.

Résultats obtenus

Un prototype du moteur de calcul basé sur le fonctionnement d'AzoFert[®] a été développé. Des modules spécifiques aux plantes pérennes ont été programmés de façon à prendre en compte et à quantifier les différents compartiments azotés de la plante : bois de l'année, feuille, fruit, parties pérennes.

Le prototype se présente sous forme informatique, avec accès par internet. L'utilisateur doit renseigner plusieurs catégories de données : localisation, sol, culture (itinéraire cultural, rendement visé).

Une interface opérationnelle et conviviale a été développée, même si des améliorations restent à faire. L'intégration de fertilisants organiques spécifiques à la vigne n'a pas pu être réalisée, mais les

données nécessaires ont été collectées. Le module enherbement n'est pas totalement finalisé, mais le raisonnement a été testé.

Les tests de sensibilité ont permis de mettre en évidence les paramètres ayant le plus d'impact sur les sorties du prototype : type de sol, taux de cailloux, données climatiques, reliquats azotés à l'ouverture du bilan.

La comparaison des préconisations du prototype aux résultats des expérimentations a permis d'analyser la qualité prédictive du modèle développé et d'identifier les situations où des améliorations restent à réaliser.

Sur vigne, on constate que les préconisations sont correctes (écarts inférieurs à 10 kg N/ha entre le conseil donné par le prototype et l'apport réellement réalisé) 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 %, avec un écart moyen de 30 kg N/ha). Le cas inverse où le prototype ne préconise pas d'apport alors qu'un apport est nécessaire dans la situation est plus rare (7 %, avec un écart moyen de 42 kg N/ha). Le cas où un apport est nécessaire et que le prototype conseille une dose trop faible ou trop forte est relativement restreint (16 %, avec un écart moyen de 33 kg N/ha). 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).

Sur arbres fruitiers, où un nombre limité de situations a été testé, 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, avec un écart moyen de 67 kg N/ha). 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.

Les résultats obtenus avec le prototype N-Pérennes sont encourageants en viticulture comparativement à des préconisations empiriques. En arboriculture, le manque de références expérimentales a induit un faible nombre de validations réalisées. Pour que le prototype devienne un outil opérationnel, il reste à réaliser à la fois du travail de programmation et de paramétrage, et une validation sur un plus grand nombre de situations, notamment en conditions réelles d'utilisation de l'outil. L'intérêt du prototype basé sur une décomposition et une quantification des différents compartiments du bilan d'azote pour les plantes pérennes, est qu'il est maintenant possible de mettre en place des expérimentations permettant de préciser certains paramètres du modèle et donc de mieux structurer l'acquisition des références à venir. D'autres perspectives, élargissant l'objectif du prototype, sont également envisageables.

B – Compte rendu technique détaillé

I – Les modalités d'organisation

I.1. Conventions avec les partenaires recevant des financements du CAS DAR

La convention de financement a été signée par l'IFV, pilote du projet, avec le Ministère chargé de l'Agriculture (DGER), le 31 octobre 2012.

Toutes les conventions entre l'IFV et les partenaires recevant des financements CASDAR, soit 12 conventions, ont ensuite été signées avant la fin 2012 : ACTA, BNIC, CA 26, 30, 33, 34, 71, 82, 89, CEHM, INRA, LDAR.

Un avenant à la convention (prolongation du projet. Voir I.3) a été également signé par tous les partenaires en 2015.

La liste de toutes ces conventions est jointe au rapport financier.

I.2. Modalités de pilotage

Le Comité de Pilotage était constitué d'un représentant par organisme partenaire technique, d'un représentant du partenaire financier et de représentants du RMT Fertilisation et Environnement, du groupe Azote du Comifer et du CTIFL.

Association de Coordination Technique Agricole (ACTA)	Emmanuel de Chezelles puis Mathilde Heurtaux
Bureau National Interprofessionnel du Cognac (BNIC)	Vincent Dumot
Chambre d'Agriculture de la Drôme (CA 26)	Isabelle Méjean
Chambre d'Agriculture du Gard (CA 30)	Bernard Genevet
Chambre d'Agriculture de Gironde (CA 33)	Pascal Guilbault
Chambre d'Agriculture de l'Hérault (CA 34)	William Trambouze
Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire (CA 71)	Florent Bidaut
Chambre d'Agriculture du Tarn-et-Garonne (CA 82)	Jean-François Larrieu
Chambre d'Agriculture de l'Yonne (CA 89)	Guillaume Morvan
Centre Expérimental Horticole de Marsillargues (CEHM)	Xavier Créte
Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne (CIVC)	Olivier Garcia puis Maxime André
Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée (COMIFER)	Marc Hervé
Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL)	Yann Bintein, Christiane Raynal
Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (DGER)	Christophe Pinard puis Nathalie de Turckheim
Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV)	Jean-Yves Cahurel
Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)	Jean-Marie Machet, Pascal Dubrulle, Daniel Plenet, Jean-Pascal Goutouly
Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche (LDAR)	Nathalie Damay, Caroline Le Roux
Montpellier SupAgro	Aurélié Metay
Réseau Mixte Technologique Fertilisation & Environnement	Bernard Verbèque

Le Comité de Pilotage était animé par l'IFV et avait pour rôle de valider les résultats obtenus durant l'année écoulée et le programme de travail de l'année suivante. Il s'appuyait pour cela sur les travaux effectués et présentés par les partenaires du projet. Le comité de pilotage a eu également en charge d'apporter son avis sur les documents à communiquer et sur les suites à donner au projet.

Le protocole d'accord signé entre les partenaires en 2016, en particulier concernant l'utilisation des données fournies et l'utilisation du prototype, a été discuté au sein du Comité de Pilotage.

Les dates des 5 réunions du Comité de Pilotage organisées au cours du projet, ainsi que la teneur des discussions, les participants et les indicateurs de suivi ou d'évaluation, sont données dans le tableau 1.

La seule demande de modification du projet a porté sur une prolongation de 12 mois (voir I.3).

Par ailleurs, d'autres réunions se sont tenues au cours du projet de façon spécifique à certains sujets (voir tableau 1) : viticulture, arboriculture, cahier des charges, élaboration agro-informatique du prototype, tests et validation, organisation du colloque de restitution.

Tableau 1 : Réunions organisées au cours du projet (en bleu : réunion téléphonique)

Dates	Objectifs	Participants	Indicateur suivi/évaluation
13/02/2013	Comité de pilotage Lancement du projet Formation à AzoFert®	ACTA, BNIC, CA 26, 30, 33, 34, 71, 89, CEHM, CIVC, IFV, INRA Agro-Impact, INRA PSH, LDAR, Montpellier SupAgro DGER, INRA Bordeaux, RMT F&E	Compte rendu Feuille de présence
28/03/2013	Explications de certains points du cahier des charges vigne Validation du cahier des charges vigne : vigueur, réserves, reliquats azotés, ouverture et fermeture du bilan	CA 30, 33, 89, CIVC, IFV, INRA Agro-Impact, LDAR, Montpellier SupAgro	Compte rendu
02/05/2013	Validation du cahier des charges vigne : teneur en azote des organes, relation vigueur/rendement, stades phénologiques, prise en compte de l'enherbement, modification de la feuille de renseignements	CA 26, 30, 33, 34, CIVC, IFV, INRA Agro-Impact	Compte rendu
10/09/2013	Validation du cahier des charges arbres fruitiers : ouverture et fermeture du bilan, besoins en azote, compartiments, vigueur, restitutions par les résidus Fichier standard pour saisie des données expérimentales (données à fournir, données potentiellement utilisables)	CA 82, CEHM, CTIFL, GRCETA, IFV, INRA Agro-Impact, INRA PSH, La Pugère, LDAR, SERFEL	Compte rendu
22/10/2013	Préparation réunion téléphonique du 15/11/2013	IFV, INRA Agro-Impact	
15/11/2013	Finalisation de la validation du cahier des charges vigne Fichier standard pour saisie des données expérimentales (données à fournir) Calendrier	BNIC, CA 30, 33, 34, CIVC, IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
18/12/2013	Point de concertation avec les coordinateurs des différentes actions Points bibliographiques à approfondir Définition du calendrier pour récupérer les données expérimentales	IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
11/02/2014	Estimation des besoins en azote des différents compartiments Préparation prochain Comité de Pilotage	IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
21/03/2014	Comité de pilotage Gestion administrative et financière Validation du cahier des charges : vigueur, travaux en vert, densité de plantation, besoins en azote, reliquats azotés,	ACTA, BNIC, CA 26, 30, 33, 34, 71, 82, 89, CIVC, IFV, INRA Agro-Impact, INRA PSH, LDAR DGER, RMT F&E	Compte rendu Feuille de présence

	ouverture et fermeture du bilan Produits organiques spécifiques Base de données expérimentales		
11/08/2014	Restitution de la prise en main technique du moteur AzoFert® par le CDD Informatique Mise en place d'un planning de travail	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
18/09/2014	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Définition d'un formalisme Agro/Informatique pour faciliter la compréhension des concepts des deux parties Planification du travail Agro/Informatique	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
09/10/2014	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Planification du travail Agro/Informatique	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
17/11/2014	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Planification du travail Agro/Informatique	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
03/12/2014	Base de données expérimentales Reliquats azotés Points bibliographiques Demande de prolongation Préparation du prochain Comité de Pilotage	IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
16/12/2014	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Evolution de l'architecture de base du moteur Evolution de l'interface de génération des bulletins de sortie	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
03/03/2015	Comité de pilotage Gestion administrative et financière. Demande de prolongation. Protocole d'accord Contribution des résidus de culture à la fourniture d'azote par le sol Répartition des besoins en azote selon les différents compartiments de la plante Absorption d'azote par la vigne après vendanges Point reliquats azotés Base de données expérimentales	ACTA, BNIC, CA 26, 30, 33, 34, 71, CEHM, CIVC, IFV, INRA Agro-Impact, INRA PSH, LDAR Comifer N, RMT F&E	Compte rendu Feuille de présence
01/04/2015	Echange sur le document rédigé par Jean-Marie Machet Bilan sur l'avancement informatique Planification du travail Agro/Informatique	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
11/05/2015	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Planification du travail Agro/Informatique	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
11/06/2015	Bilan sur l'évolution de la programmation des modules	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu

	Planification du travail Agro/Informatique		Rapport de validation
22/07/2015	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Planification du travail Agro/Informatique	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
23/09/2015	Bilan sur l'évolution des corrections apportées au moteur Evolution de l'interface de génération des bulletins	INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu Rapport de validation
30/09/2015	Formation de l'IFV à l'utilisation du prototype Organisation de la formation du 8/12/2015	IFV, LDAR	Compte rendu
12/10/2015	Point sur les tests interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
28/10/2015	Point sur les tests interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
16/11/2015	Point sur les tests interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
01/12/2015	Point sur les tests interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
08/12/2015	Formation des partenaires à l'utilisation du prototype Définition des types de sol Prise en compte de l'enherbement Catalogue Produits organiques	ACTA, BNIC, CA 26, 30, 33, 34, 71, 89, CEHM, CIVC, IFV, INRA PSH, LDAR, Montpellier SupAgro	Compte rendu Feuille de présence Synthèse des retours des participants
09/12/2015	Bilan formation du 8/12 et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
06/01/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
22/01/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
05/02/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
19/02/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
07/03/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
23/03/2016	Comité de pilotage Gestion administrative et financière. Protocole d'accord Interface et moteur Paramétrage des types de sols Résultats des premiers tests et problèmes rencontrés Organisation du colloque de restitution (octobre 2016) Communication Perspectives	ACTA, CA 26, 30, 33, 34, 71, CEHM, IFV, LDAR Comifer N, DGER	Compte rendu Feuille de présence
29/03/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
01/04/2016	Préparation colloque de restitution	ACTA, IFV	Compte rendu
19/04/2016	Préparation colloque de restitution	ACTA, IFV	Compte rendu
21/04/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
19/05/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter Préparation formation du 9/06	IFV, LDAR	Compte rendu
02/06/2016	Point sur les tests prototype-interface et évolution à apporter Préparation formation du 9/06	IFV, LDAR	Compte rendu
09/06/2016	Formation des partenaires à l'utilisation du prototype	ACTA, BNIC, CA 33, 34, 71, 89,	Compte rendu

		IFV, INRA Bordeaux, LDAR,	Feuille de présence Synthèse des retours des participants
13/06/2016	Bilan formation du 9/06 et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
24/06/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
06/07/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
02/08/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
06/09/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
08/09/2016	Préparation colloque de restitution	ACTA, IFV	Compte rendu
29/09/2016	Préparation colloque de restitution	ACTA, IFV	Compte rendu
03/10/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, INRA Agro-Impact, LDAR	Compte rendu
10/10/2016	Point sur les tests prototype et évolution à apporter	IFV, LDAR	Compte rendu
25/10/2016	Comité de pilotage Gestion administrative et financière. Comptes rendus finaux Bilan du colloque de restitution Bilan du projet et suites à donner Communication à prévoir	ACTA, BNIC, CA 30, 33, 71, 82, CEHM, CIVC, IFV, LDAR, Montpellier SupAgro Comifer N, CTIFL, DGER, INRA Bordeaux, RMT F&E	Compte rendu Feuille de présence

I.3. Calendrier comparatif prévu/réalisé et analyse des écarts

Le programme de travail était structuré en 4 volets complémentaires, organisés autour de l'adaptation d'AzoFert® au cas des plantes pérennes, le travail de tests et de validation permettant de faire évoluer le paramétrage et les formalismes inclus dans le prototype :

- Volet 1 : Programmation d'un module plantes pérennes
- Volet 2 : Adaptation du paramétrage aux cultures pérennes
- Volet 3 : Validation des sorties du prototype à partir de données expérimentales
- Volet 4 : Transfert et diffusion des résultats.

Ce projet était prévu initialement sur 3 ans. Suite au retard d'embauche du CDD informatique prévu au sein du LDAR, consécutif à un arrêt maladie prolongé d'un des partenaires, une demande de prolongation de 12 mois a été discutée et validée lors du Comité de Pilotage du 3/03/2015. Elle a été adressée à la DGER le 27/03/2015 et acceptée par cette dernière le 2/04/2015. Un avenant a donc été signé dans ce sens d'une part entre la DGER et l'IFV le 19/05/2015, et, d'autre part, entre l'IFV et les partenaires recevant des financements CASDAR, début juin 2015.

C'est le seul écart constaté entre le calendrier prévisionnel et le calendrier réalisé.

Le planning de réalisation des travaux au cours des 4 années du projet est présenté en figure 1.

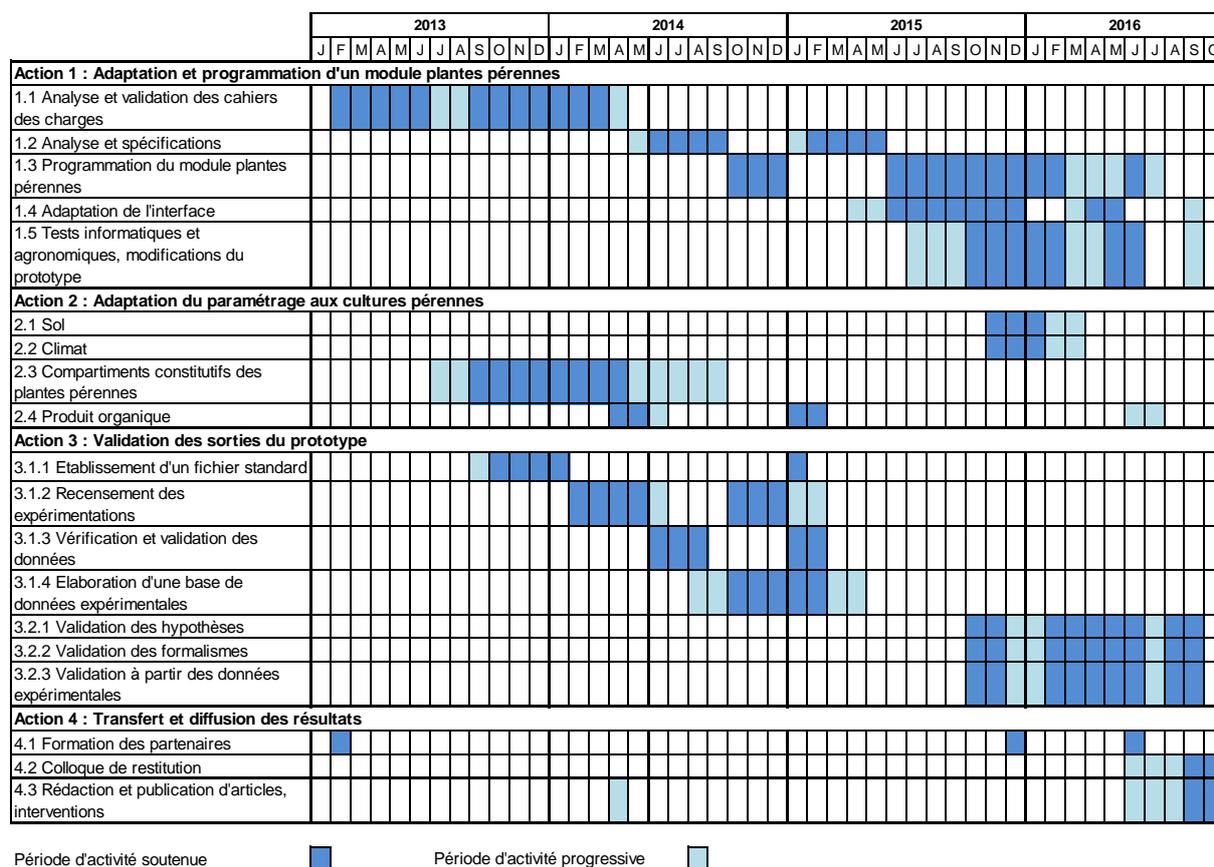


Figure 1 : Calendrier de réalisation du projet sur la période 2013-2016

I.4. Tableau de bord de suivi des moyens mis en œuvre

L'avancement du projet pour le pilotage de ce dernier peut être évalué au travers du tableau 2 présentant de façon synthétique le bilan des résultats obtenus par action et sous-action, et les indicateurs de suivi et d'évaluation. Les temps de travaux et les moyens financiers engagés sont détaillés dans le compte de réalisation.

D'autre part un récapitulatif des réunions réalisées dans le cadre du projet, donné dans le tableau 1, vient compléter ce suivi.

Tableau 2 : Résumé des résultats obtenus, contribution et indicateurs

	Travaux prévus	Contribution des partenaires	Indicateurs de suivi/résultat
Action 1 : Adaptation et programmation d'un module N-Pérennes			
1.1	Analyse et validation des cahiers des charges	INRA, LDAR, BNIC, CA 26,30,33,34,71,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	CR des réunions 11/02, 09/10, 03/12 CR du CP 21/03/14, cahiers des charges viti et arbo
1.2	Analyse et spécifications	INRA, LDAR	CR des réunions mensuelles, logigramme validé
1.3	Programmation du module plantes pérennes	LDAR	
1.4	Adaptation de l'interface	LDAR	Différentes versions du prototype
1.5	Tests informatiques et agronomiques, modifications du prototype	INRA, LDAR, BNIC, CA 26,30,33,34,71,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	CR des réunions 8/12/2015 et 9/06/2016
Action 2 : Adaptation du paramétrage aux cultures pérennes			
2.1	Sol	INRA, LDAR, BNIC, CA 26,30,33,34,71,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	CR de réunion 8/12/2015 Base de données expérimentales
2.2	Climat	BNIC, CA 26,30,33,34,71,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	Base de données expérimentales
2.3	Compartiments constitutifs des plantes pérennes	INRA, LDAR, IFV, BNIC, CA 30,33,34,82, CEHM, CIVC, Montpellier SupAgro	CR du CP 3/03/2015, bibliographie
2.4	Produit organique	IFV	Paramétrage CR du CP 3/03/2015
Action 3 : Validation des sorties du prototype			
3.1	Etablissement d'un fichier standard	INRA, LDAR, IFV, BNIC, CA 30,33,34, 82, CEHM, CIVC	Fichier standard
	Recensement des expérimentations	BNIC, CA 26,30,33,34,71,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	
	Vérification et validation des données	BNIC, CA 26,30,33,34,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	
	Elaboration d'une base de données expérimentales	BNIC, CA 26,30,33,34,82,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	Base de données expérimentales
3.2	Validation des hypothèses	IFV	Rapport
	Validation des formalismes	IFV	Rapport
	Validation à partir des données expérimentales	IFV, BNIC, CA30, CA34	Rapport, rapport de stage BNIC
Action 4 : Transfert et diffusion des résultats			
4.1	Formation des partenaires	INRA, LDAR, ACTA, BNIC, CA 26,30,33,34,71,89, CEHM, CIVC, IFV, Montpellier SupAgro	CR réunions 13/02/2013, 8/12/15 et 9/06/2016, fiches de présence
4.2	Colloque de restitution	INRA, LDAR, ACTA, IFV, Montpellier SupAgro	Nombre de participants,

			plaquette de présentation du projet, résumés des interventions, diaporamas des présentations, retours des participants
4.3	Rédaction et publication d'articles, interventions	IFV, INRA PSH	Poster, textes, communications orales

I.5. Les modalités d'évaluation

Les modalités d'évaluation sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 : Indicateurs d'évaluation du projet

	Indicateurs d'évaluation
Pilotage du projet	Conventions entre partenaires Protocole d'accord Comptes rendus des réunions du comité de pilotage Rapports techniques annuels intermédiaires Rapport final du projet
Volet 1	Comptes rendus de réunions Rapport des travaux réalisés Cahier des charges validé Logigramme validé Interface plantes pérennes adaptée à partir de celle du LDAR. Prototype
Volet 2	Comptes rendus de réunions Rapport des travaux réalisés Bibliographie
Volet 3	Comptes rendus de réunions Rapport des travaux réalisés Fichier standard Base de données expérimentales Nombre d'expérimentations intégrées à la BD Nombre de sorties validées
Volet 4	Comptes rendus de réunions Nombre de formations réalisées Exposés oraux lors du colloque de restitution Diaporamas et résumés des interventions Retours sur le colloque de restitution Nombre de participants au colloque Nombre d'articles produits

II - Les partenariats :

II.1. Rôle et apport de chaque partenaire

Le rôle et les apports de chaque partenaire sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Rôle des partenaires du projet

Partenaire	Rôle
ACTA	Volet 4 : co-organisation et animation de la formation des partenaires, co-organisation du colloque
BNIC	Volets 1 et 2 : expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, au colloque, aux publications
CA 26	Volets 1 et 2 : expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise Volet 4 : participation à la formation des partenaires, au colloque, aux publications
CA 30	Volets 1 et 2 : expertise viticulture, acquisition de références Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, au colloque, aux publications
CA 33	Volets 1 et 2 : expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, au colloque, aux publications
CA 34	Volets 1 et 2 : expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, aux publications
CA 71	Volets 1 et 2 : expertise viticulture Volet 3 : expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, au colloque, aux publications
CA 82	Volets 1 et 2 : expertise arboriculture Volet 3 : fourniture de données expérimentales arboricoles, expertise Volet 4 : participation aux publications
CA 89	Volets 1 et 2 : expertise viticulture, acquisition de références Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, aux publications
CEHM	Volets 1 et 2 : expertise arboriculture Volet 3 : fourniture de données expérimentales arboricoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, au colloque, aux publications
CIVC	Volets 1 et 2 : expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, aux publications
IFV	Animation administrative et technique du projet Coordination générale : travaux, équipe de travail, rédaction des comptes rendus et des rapports Encadrement des CDD recrutés Volets 1 et 2: expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise, tests de validation Volet 4 : co-organisation et participation à la formation des partenaires, co-organisation et contribution au colloque, participation à la rédaction des publications
INRA Avignon – Unité PSH	Volets 1 et 2 : fourniture de données physiologiques, expertise arboriculture, acquisition de références Volet 3 : fourniture de données expérimentales arboricoles, expertise scientifique sur arbres fruitiers, tests de validation Volet 4 : participation à la formation des partenaires, aux publications, contribution au colloque
INRA Bordeaux	Volet 3 : expertise scientifique sur vigne Volet 4 : participation à la formation des partenaires, contribution au colloque

INRA Laon - Unité Agro- Impact	Co-encadrement de l'informaticien recruté Volet 1 : faisabilité, analyse et spécifications, programmation, tests Volet 2 : expertise scientifique agronomie Volet 3 : expertise scientifique agronomie Volet 4 : co-organisation et animation de la formation des partenaires, contribution au colloque, contribution aux publications
INRA Montpellier	Volets 1 et 2 : fourniture de données bilan azote, expertise viticulture Volet 3 : fourniture de données expérimentales viticoles, expertise scientifique sur vigne Volet 4 : participation à la formation des partenaires, aux publications, contribution au colloque
LDAR	Co-encadrement de l'informaticien recruté Volet 1 : faisabilité, analyse et spécifications, programmation, tests Volet 2 : expertise Volet 3 : expertise Volet 4 : co-organisation et animation de la formation des partenaires, contribution au colloque, contribution aux publications

II.2. Bilan du fonctionnement des partenariats : aspects positifs et points à améliorer

Tous les partenaires s'accordent sur leur intérêt porté au projet, ce qui s'est traduit par une bonne synergie entre les partenaires avec une dynamique et une motivation commune à atteindre les objectifs fixés. Les échanges, au cours des réunions organisées, ont été faciles et fructueux, démontrant l'implication et l'intérêt des partenaires pour ce projet. Ces échanges ont également été facilités du fait que certains partenaires avaient déjà eu l'occasion de travailler ensemble : groupe fertilisation, groupes régionaux, projets...

L'animation et le pilotage global du projet (gestion administrative, coordination générale des travaux conduits dans les volets et de l'ensemble des groupes de travail), ainsi que l'animation du volet 3, ont été assurés par l'IFV. Les réunions du Comité de Pilotage ont permis, outre les aspects présentés en I.2, d'avancer et d'échanger également sur différents points techniques.

L'INRA Laon - Unité Agro-Impact et le LDAR ont spécifiquement animé les volets 1 et 2 alors que l'ACTA et l'IFV ont animé le volet 4 sur la communication, en particulier en co-organisant le colloque de restitution.

Le travail des CDD encadré par l'IFV (Justine Henriët puis Baptiste Bertrand) a été particulièrement apprécié car, entre autres, permettant une certaine décharge de travail pour les partenaires entre les réunions. L'INRA Laon - Unité Agro-Impact et le LDAR ont encadré le CDD informatique (Axel Desjardins).

Un effort important de concertation a été réalisé au cours des réunions et par des échanges mail et téléphoniques, de façon à prendre en compte les variabilités régionales : modes de conduite, conditions climatiques, objectifs de production. Des consensus, facilités par la motivation des différents partenaires pour l'objectif fixé, ont donc été trouvés.

La complémentarité des connaissances, en particulier l'apport scientifique des partenaires de la recherche (INRA) et l'apport technique, lié aux particularités régionales, des différents partenaires, a permis une mutualisation nationale sur la thématique de la gestion de l'azote sur plantes pérennes.

Toutefois les discussions durant le projet ont plus porté sur la vigne que sur les arbres fruitiers. Cela s'explique par la faible représentation de cette culture au sein du projet (3 partenaires sur 15). L'absence du CTIFL dans le projet a été un handicap à ce niveau. Sa non-participation s'explique par la disparition d'une personne clé sur le sujet (qui avait élaboré la première version du cahier des charges arboriculture avec l'INRA) et des questionnements qui ont suivi quant à son remplacement. Néanmoins les résultats présentés au colloque de restitution par D. Plénet (INRA Avignon), et confirmant les références anciennes du CTIFL, sont issus d'une thèse financée par le CTIFL (bourse CIFRE : C. Demesthias « Analyse des services écosystémiques multiples en vergers de pommier »). Ce projet a permis d'identifier le faible nombre d'expérimentation pour acquérir de nouvelles références adaptées aux modes de conduite actuelles des vergers de pommiers et de pêchers et

donc de sensibiliser certains acteurs de la filière arboriculture pour ré-investir cette thématique qui revient au premier plan avec le développement d'une agriculture basée sur les principes de l'agroécologie et les services écosystémiques (bouclage des cycles biogéochimiques).

Le fait également que le chef de projet ait des compétences uniquement en viticulture, que le paramétrage soit plus complexe du fait du nombre d'espèces cultivées en arboriculture et que les partenaires en arboriculture soient plus axés sur le conseil que sur l'acquisition de données sur les besoins des cultures, explique également cette moindre représentation de l'arboriculture.

L'information sur les résultats des validations n'a pas été suffisamment diffusée auprès des partenaires. Ces validations se sont faites en fin de projet et à une période peu favorable aux échanges (période de vendanges), ce qui peut expliquer ce manque. Le retour des tests et des validations par chaque partenaire aurait été facilité par la mise en place d'un forum (comme dans le cas du projet N'EDU), en favorisant les échanges réguliers entre deux réunions ou deux formations.

III – Le déroulement du projet

Le programme de travail était structuré en 4 actions complémentaires :

- Volet 1 : Programmation d'un module plantes pérennes
- Volet 2 : Adaptation du paramétrage aux cultures pérennes
- Volet 3 : Validation des sorties du prototype à partir de données expérimentales
- Volet 4 : Transfert et diffusion des résultats.

Les travaux réalisés dans le cadre du Volet 4 sont présentés dans la partie IV – Les modalités de valorisation du projet.

III.1. Action 1 : Adaptation et programmation d'un module plantes pérennes

a. Rappel des objectifs attendus

Cette action avait pour objectif la conception (formalismes) et la réalisation d'un prototype informatique, à partir de l'outil AzoFert®. Pour cela, cinq étapes ont été définies :

- 1.1. Analyse et validation du cahier des charges établi en amont par les partenaires : faisabilité et éventuellement adaptation du logigramme
- 1.2. Analyse et spécifications
- 1.3. Programmation du module plantes pérennes
- 1.4. Adaptation de l'interface LDAR
- 1.5. Tests informatiques et agronomiques, modifications du prototype.

b. Méthodes de travail utilisées

Le travail a été réalisé par échanges entre les différents experts et les partenaires, au cours de réunions, le plus souvent téléphoniques, ou par échange de mails. Des données bibliographiques ou fournies par les partenaires sont venues compléter ces échanges (établissement de bases de données) :

- reliquats azotés (environ 2 000 points de mesure recensés)
- relation vigueur/rendement (environ 1 100 points de mesure recensés).

Le travail conséquent de Justine Henriot (CDD) a permis de synthétiser ces données et de les exploiter.

Des prélèvements pour analyse des reliquats azotés ont été réalisés par certains partenaires en 2014 et 2015 de façon à accroître le nombre de références concernant ce paramètre.

Des réunions mensuelles (physique ou en visioconférence) entre l'Unité Agro-Impact et le LDAR ont été tenues pour piloter le travail de l'informaticien. Le retour des tests réalisés sur le prototype par Baptiste Bertrand (CDD) a permis d'améliorer l'interface.

Comme prévu dans le déroulement du projet, mais cependant avec retard, un agent informaticien a été recruté en CDD par le LDAR en juillet 2014 (Axel Desjardins) pour l'analyse et la programmation d'AzoFert pérennes.

L'analyse des modifications à effectuer, sur la base du moteur AzoFert® grandes cultures, s'est déroulée de juillet 2014 au début de l'année 2015.

Un prototype a été développé en 2015. Ce prototype a été mis à disposition de l'IFV en septembre afin de réaliser les 1^{ers} tests d'utilisation. Une session de formation pour les partenaires a été réalisée en décembre de la même année pour que le prototype puisse être testé par chacun des partenaires. Une période de validation et de modification des différents modules s'en est suivie, chaque réunion permettant de mettre en lumière les éléments à modifier ou à améliorer.

A l'issue de cette période, des jeux de tests réels et estimés ont été soumis au prototype afin de faire le bilan des acquis et des évolutions possibles du moteur.

c. Organisation mise en place par le chef de file et chaque partenaire: travail réalisé, moyens humains, matériels et financiers mobilisés

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 au cours des premières réunions et du comité de pilotage

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.

Sur le plan agronomique, les tâches suivantes ont été réalisées :

- Finalisation des formalismes de calcul des différents postes du bilan d'azote pour les cultures pérennes vigne et arbres fruitiers (pêchers et pommiers)
- Prise en compte des spécificités relatives aux plantes pérennes
- Finalisation des données d'entrée nécessaires au fonctionnement d'AzoFert pérennes

Sur le plan informatique, les tâches suivantes ont été réalisées :

- Mise en conformité du code informatique du moteur actuel avec le manuel agronomique afin de préparer au mieux le développement du prototype AzoFert pérennes. Le travail a porté sur la modification d'algorithmes et le réajustement de constantes au niveau des formules.
- Mise en place d'un fonctionnement permettant une traçabilité optimale pour le développement informatique sur le moteur AzoFert® avec un versionnement systématique des modifications.
- Validation de chaque version par des jeux de tests prédéfinis avant toute nouvelle modification.
- Echanges sur les prérequis agronomiques et informatiques nécessaires à la conception des différents postes de calcul d'AzoFert pérennes.
- Création d'un domaine de paramétrage spécifique aux tests.
- Association des communes des lieux d'expérimentation des partenaires avec l'environnement de test.
- Finalisation des formalismes de calcul des différents postes du bilan d'azote pour les cultures pérennes vigne et arbres fruitiers (pêchers et pommiers).
- Prise en compte des spécificités relatives aux plantes pérennes.
- Ajout de nouvelles données de sortie spécifiques au fonctionnement d'AzoFert pérennes.
- Adaptation de l'interface WebAzolims à la saisie des parcelles de tests et aiguillage des interprétations vers le moteur AzoFert pérennes.
- Mise en place d'une gestion personnalisée des fichiers climat, indépendante du domaine de paramétrage, pour faciliter les tests.
- Mise à disposition des partenaires d'un accès au prototype à l'aide de l'interface.
- Evolution d'interface suite aux différentes réunions pendant la phase de tests.
- Affinage des différents modules afin de fiabiliser le conseil suite aux tests sur des données d'essais.

D'autre part, la question des reliquats azotés en viticulture a été posée : valeur forfaitaire en fonction du type de sol et du climat ou mesures à réaliser par le viticulteur ? Dans l'optique de pouvoir répondre à cette question, certains partenaires ont mesuré des reliquats azotés sur leurs essais en

2014 et 2015 (BNIC, CA30, CA34, CA82, CA89). De façon à compléter la base de données sur une plus grande diversité de situations, des données ont également été récupérées auprès de :

- l'INRA de Reims (P. Thiébeau) : suivi mensuel de l'azote minéral du sol dans des essais sur vigne en Champagne (1998/1999, 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002)
- la Mission Eau Alsace (SDEA, SIPEP, Chambres d'Agriculture) : suivi des nitrates dans le sol (novembre à mars) sur différentes parcelles du vignoble alsacien (3 campagnes : 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014).

Les moyens humains, matériels et financiers sont spécifiés dans le compte de réalisation.

d. Etapes/actions et calendrier comparatif prévu/réalisé et analyse des écarts

Le calendrier réalisé est donné dans la figure 1, complété par le suivi des réunions présenté dans le tableau 1. Excepté le décalage dû au retard pris dans l'embauche du CDD informaticien (voir I.3) et qui a occasionné un retard d'une dizaine de mois, le calendrier est conforme à celui prévu.

e. Résultats obtenus

Les cahiers des charges (un pour la vigne et un pour les arbres fruitiers) sont validés, même si certaines hypothèses restent à vérifier.

Les principales modifications apportées au cahier des charges des grandes cultures, en lien avec les spécificités des plantes pérennes, sont données dans le tableau 5 (liste non exhaustive).

Tableau 5 : Principales modifications du cahier des charges liées aux spécificités des plantes pérennes

	Viticulture	Arboriculture
Ouverture du bilan	débourrement	floraison
Fermeture du bilan	vendanges	chute des feuilles
Gestion de l'enherbement	Hypothèse : l'azote fourni ou reçu au niveau de la partie enherbée constitue une exportation nette du système	
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	Connaissance du % feuilles restituées sur la parcelle	
Vigueur	Non prise en compte. A prendre en compte dans le conseil finalisé	
Densité de plantation	Non prise en compte	
Travaux en vert	Non pris en compte	

Une première version du prototype AzoFert pérennes destinée aux premiers tests a été livrée par le LDAR en septembre 2015. Des premières améliorations de l'interface et du moteur ont été réalisées suite aux tests. Les formalismes de gestion de l'enherbement et de prise en compte de la proportion de feuilles restant sur la parcelle, quoique définis dans le cahier des charges, n'ont pas pu être intégrés au 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 (figure 2).

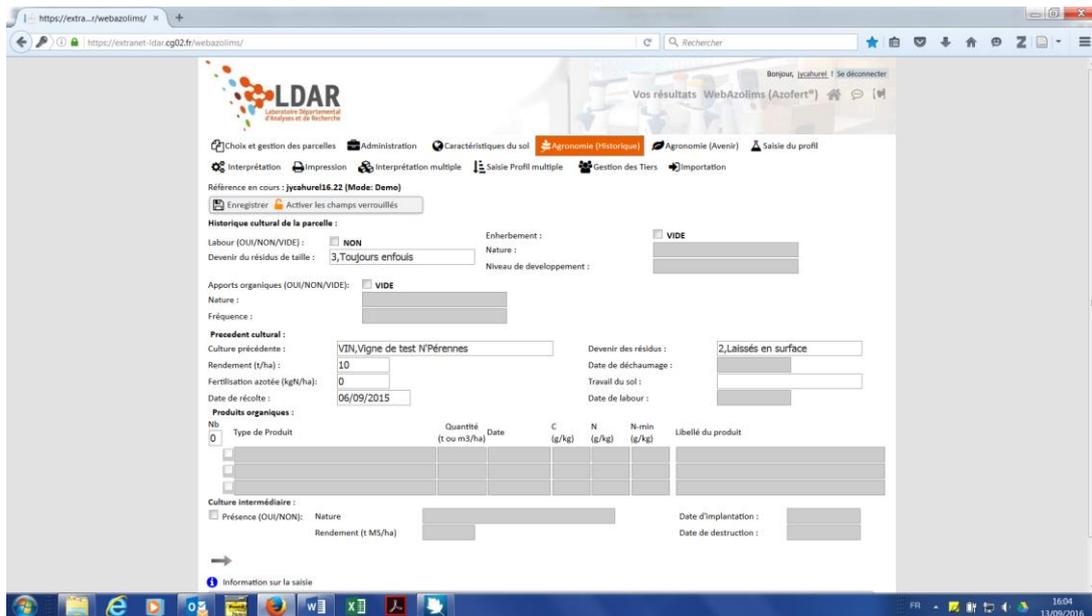


Figure 2 : Exemple de page de l'interface du prototype

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

L'interface est une adaptation du service mis à disposition des partenaires et des clients du LDAR dans le cadre des interprétations sur les grandes cultures (figure 3).

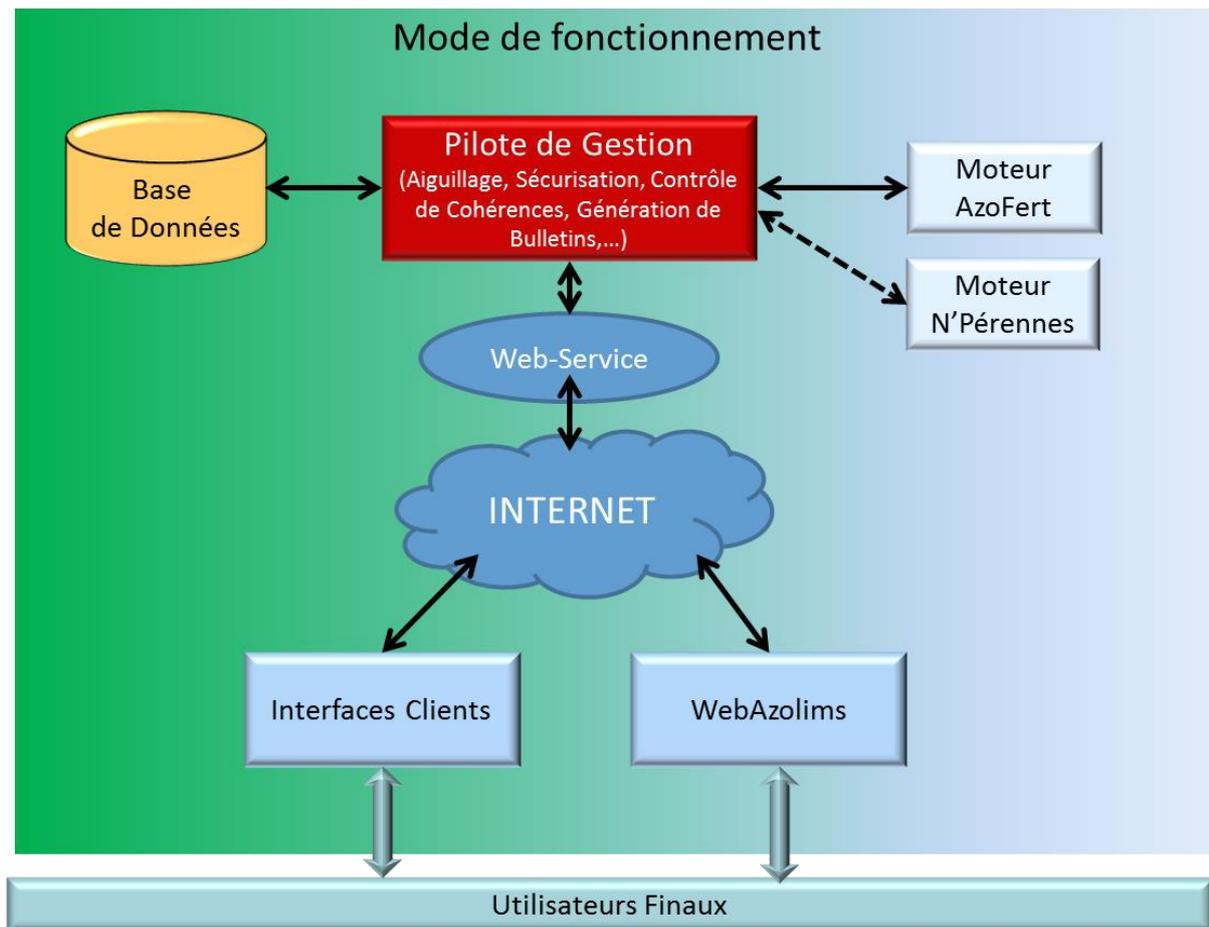


Figure 3 : Schéma de fonctionnement de l'interface de tests N-Pérennes

Les résultats de reliquats azotés collectés ou mesurés montrent que ces derniers sont faibles (< 25 kg N/ha) en général au débourrement de la vigne (85% des cas recensés). Cependant, dans le cas de sols argileux et/ou riches en matière organique, les valeurs peuvent être élevées (jusqu'à 70 kg N/ha).

f. Indicateurs de suivi

Les indicateurs de suivi sont donnés les tableaux 1 et 2 (voir I.2 et I.4).

g. Indicateurs de réalisation

Les indicateurs de réalisation sont donnés dans les tableaux 1 et 2 (voir I.2 et I.4). Les deux principaux concernent les livrables du projet : les cahiers des charges et le prototype informatique.

III.2. Action 2 : Adaptation du paramétrage aux cultures pérennes

a. Rappel des objectifs attendus

AzoFert-MOD et sa mise en forme informatique AzoFert-TEST sont basés sur l'utilisation d'un certain nombre de paramètres et de données d'entrée. AzoFert-TEST gère ces paramètres sous forme de tableaux ou sous forme de catalogues (sols, cultures, produits organiques, résidus de culture,...). Les catalogues contiennent également des valeurs par défaut pour certaines variables pour pallier le manque éventuel d'information en entrée.

En liaison avec l'action 1, cette action intègre des paramètres spécifiques aux plantes pérennes à différents niveaux : sols, climat, compartiments constitutifs des plantes pérennes, produits organiques.

b. Méthodes de travail utilisées

Le travail a été réalisé par échanges entre les différents experts. Des données bibliographiques (en particulier les résultats de la thèse de Garcia de Cortazar-Atauri) ou fournies par les partenaires sont venues compléter ces échanges (établissement de bases de données : teneur en azote des organes, stades phénologiques, relation vigueur-rendement). Concernant les produits organiques spécifiques à la viticulture et l'arboriculture, les paramètres ont pu être fournis à la fois à partir de données bibliographiques mais également d'expérimentations menées par l'IFV et de données fournies par les sociétés (OvinAlp et Frayssinet).

L'estimation des besoins en azote des cultures pérennes (répartition de la matière sèche, teneur en azote des différents organes) a ainsi pu être réalisée.

c. Organisation mise en place par le chef de file et chaque partenaire: travail réalisé, moyens humains, matériels et financiers mobilisés

Les travaux ont porté principalement sur les compartiments constitutifs des plantes pérennes et les produits organiques (sol et climat sont pris en compte par l'intégration des données issues des essais : différents sols, différents climats – action 3). Un travail important de bibliographie a été réalisé par Justine Henriet (CDD) sur cette action.

Les moyens humains, matériels et financiers sont spécifiés dans le compte de réalisation.

d. Etapes/actions et calendrier comparatif prévu/réalisé et analyse des écarts

Le calendrier réalisé est donné dans la figure 1, complété par le suivi des réunions présenté dans le tableau 1. Aucun écart n'a été constaté par rapport au calendrier prévisionnel.

e. Résultats obtenus

Les données expérimentales regroupées dans la base de données constituée dans l'action 3 (voir III.3), ont permis d'alimenter le paramétrage pour les sols et les 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 décennales, utilisées par AzoFert® et donc le prototype N-Pérennes. Ces données ont ensuite été intégrées dans la réalisation des simulations avec le prototype par un simple copier-coller.

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 CTIFL (voir tableau 5). 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 (Valence, 26) et à la station régionale d'expérimentation de la Pugère (Senas, 13), 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 de la thèse CIFRE (Ctifl-INRA Avignon) de Constance Demestihias. Les résultats acquis ont été présentés par l'INRA PSH lors du colloque de restitution (voir IV.1). Pour la vigne, un travail important d'exploitation des données bibliographiques existantes a été réalisé pour aboutir aux relations présentées dans la figure 4.

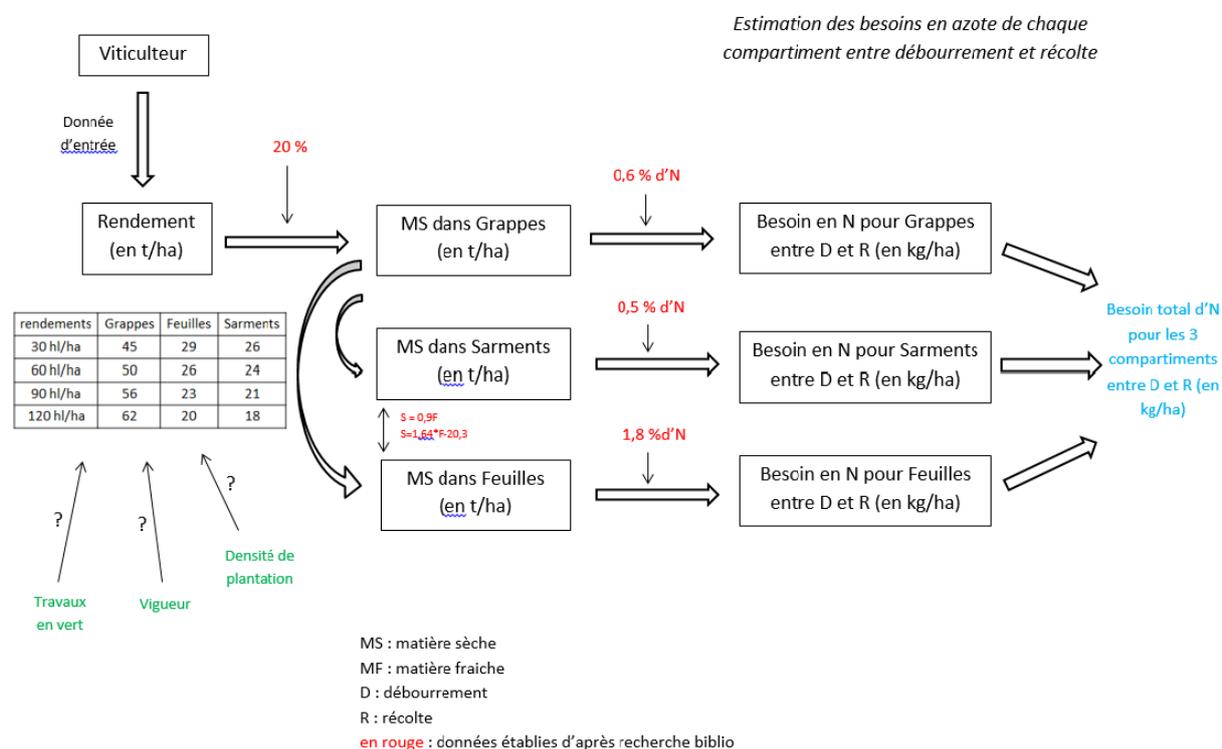


Figure 4 : Répartition de l'azote dans les différents compartiments constitutifs pour la vigne

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, dans l'état actuel des choses, d'utiliser le prototype pour les jeunes plantations.

La restitution d'azote par **les feuilles et résidus de taille (sarments)** a été intégrée mais ces paramètres demandent à être validés.

Pour la fourniture d'azote par les produits organiques, le travail s'est porté sur l'acquisition de paramètres (composition, courbes de minéralisation de l'azote et du carbone), à partir de données expérimentales, de la bibliographie et des fabricants, concernant 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 comme Orgaveg, Vegethumus et MV100 Ovinalp.

f. Indicateurs de suivi

Les indicateurs de suivi sont donnés dans les tableaux 1 et 2 (voir I.2 et I.4).

g. Indicateurs de réalisation

Les indicateurs de réalisation sont donnés dans les tableaux 1 et 2 (voir I.2 et I.4).

III.3. Action 3 : Validation des sorties du prototype

a. Rappel des objectifs attendus

Le travail de validation avait pour objectif de vérifier que le modèle est cohérent, c'est-à-dire que les doses préconisées correspondent bien aux résultats des expérimentations et à l'expertise des conseillers. En particulier, les hypothèses émises lors de l'établissement des cahiers des charges étaient à valider.

b. Méthodes de travail utilisées

Cette action est divisée en 3 étapes, elles-mêmes subdivisées en sous-étapes :

3.1. Recensement des données disponibles

Cette première étape est un préalable indispensable de la validation proprement dite. Elle s'est effectuée en 4 sous-étapes :

- 3.1.1. Etablissement d'un fichier standard à renseigner, à partir des données nécessaires au fonctionnement de l'outil : caractéristiques de la parcelle, données expérimentales
- 3.1.2. Recensement des expérimentations pouvant entrer dans le cadre de la validation (engrais azotés, amendements organiques, enherbement), auprès des différents partenaires, et renseignement du fichier standard
- 3.1.3. Vérification et validation des données, en collaboration avec les partenaires
- 3.1.4. Elaboration d'une base de données expérimentales

3.2. Validation des formalismes

3 niveaux peuvent être distingués dans cette phase :

- 3.2.1. Validation des hypothèses, spécifiques aux cultures pérennes, émises dans le cahier des charges d'AzoFert® (en lien avec le volet 1).
- 3.2.2. Validation des formalismes du bilan azoté simulé par l'outil, dans le cas de la vigne :
- 3.2.3. Validation à partir des données d'expérimentations regroupées dans la base de données (voir 3.1)

c. Organisation mise en place par le chef de file et chaque partenaire: travail réalisé, moyens humains, matériels et financiers mobilisés

Un premier travail a été réalisé par échanges entre les différents experts et les partenaires, au cours de deux réunions téléphoniques (une pour les arbres fruitiers et une pour la vigne).

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 donnés dans le tableau 6.

Tableau 6 : 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			

Les partenaires ont fourni leurs données expérimentales à Justine Henriët (sous forme de tableaux et comptes rendus). Cette dernière a organisé et saisi ces données de façon homogène pour alimenter le prototype, ce qui a entraîné de nombreux échanges avec les partenaires. Une base de données expérimentales a ainsi été réalisée.

Des tests ont ensuite été réalisés par l'IFV (dont le CDD Baptiste Bertrand) 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 en premier lieu un tri des expérimentations, toutes n'étant pas aptes à la validation.

Des échanges téléphoniques réguliers entre l'IFV et le LDAR ont permis de prendre en compte les résultats des tests et de vérifier la validité des formalismes.

Même si son module n'était pas fonctionnel dans le prototype, la gestion de l'enherbement est tout de même un paramètre qui a été pris en compte dans les validations du prototype, par un calcul sur feuille Excel. Dans les postes Azote fourni par le sol et Autres fournitures d'azote, la quantité d'azote correspondant au pourcentage de surface enherbée a ainsi été soustraite du calcul du prototype.

Les moyens humains, matériels et financiers sont spécifiés dans le compte de réalisation.

d. Etapes/actions et calendrier comparatif prévu/réalisé et analyse des écarts

Le calendrier réalisé est donné dans la figure 1, complété par le suivi des réunions présenté dans le tableau 1. Aucun écart n'a été constaté par rapport au calendrier prévisionnel.

e. Résultats obtenus

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 5). Le taux de cailloux influe sur la minéralisation de l'humus, ainsi que les données climatiques. Les jours normalisés jouent beaucoup dans la minéralisation de l'humus du sol (minéralisation 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 6), la date de fin de lessivage (suivant que l'on prenne le stade 5-6 feuilles ou la date de début de floraison).

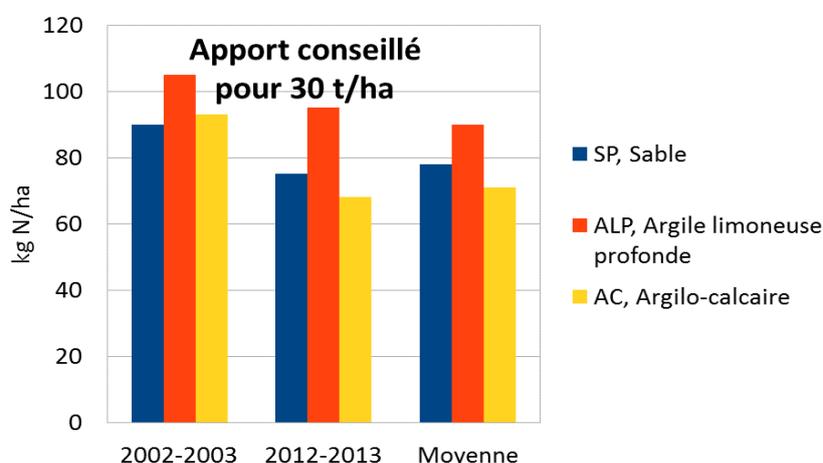


Figure 5 : Variation de l'apport préconisé par le prototype en fonction du type de sol et des caractéristiques climatiques du millésime

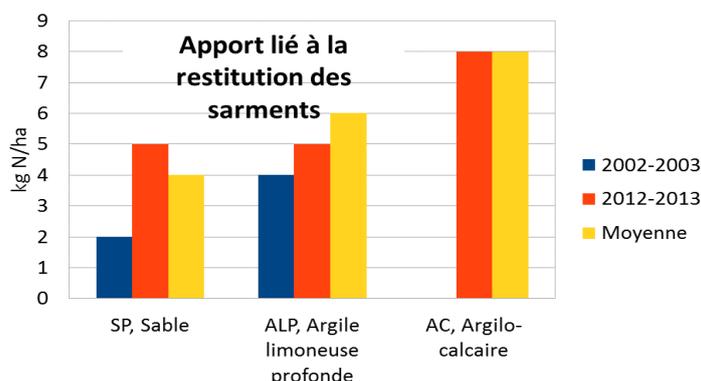


Figure 6 : Variation de l'apport lié à la restitution des sarments en fonction du type de sol et des caractéristiques climatiques du millésime

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 et on n'observe alors aucune augmentation de rendement avec un apport d'azote. 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).

Pour la validation, 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.

Ce travail de validation a été réalisé par l'IFV (notamment le CDD Baptiste Bertrand) et par le BNIC pour les résultats du Cognac (stagiaire Franck Issler).

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

Sur vigne (tableau 7), 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 7 : Répartition des résultats des validations pour la viticulture

		Ecart moy (kg N/ha)	Ecart min (kg N/ha)	Ecart max (kg N/ha)
Préconisations correctes	51 %			
Apport conseillé alors qu'en réalité pas d'apport	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 8), 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.

Tableau 8 : Répartition des résultats des validations pour l'arboriculture

		Ecart moy (kg N/ha)	Ecart min (kg N/ha)	Ecart max (kg N/ha)
Préconisations correctes	25 %			
Apport conseillé alors qu'en réalité pas d'apport	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.

Par ailleurs, et en préalable à la phase de validation, des tests de fonctionnement de l'interface ont été réalisés par l'IFV de façon à vérifier la conformité technique du prototype : tests de connexion, tests d'enregistrement des parcelles, contrôle des libellés. L'interface a ainsi pu être améliorée et adaptée au cas des plantes pérennes.

f. Indicateurs de suivi

Les indicateurs de suivi sont donnés dans les tableaux 1 et 2 (voir I.2 et I.4).

g. Indicateurs de réalisation

Les indicateurs de réalisation sont donnés les tableaux 1 et 2 (voir I.2 et I.4).

IV - Les modalités de valorisation du projet

IV.1. Les différents modes de diffusions, les diffusions, le public concerné (données chiffrées si possible)

Même si l'objectif du projet était d'aboutir à un prototype, l'action 4 du projet avait pour but la mise en place d'actions pour faire connaître l'avancée des travaux : formation des partenaires, colloque de restitution, rédaction et publication d'articles, interventions. Cet aspect doit permettre en particulier de préparer une validation plus large de l'outil. L'étape de validation en conditions réelles de l'outil proprement dite n'était pas intégrée au projet.

D'autre part, une page N-Pérennes a été créée sur le site du RMT Fertilisation et Environnement pour héberger et mettre en commun les différents documents relatifs au projet, à disposition des partenaires. Dans ce cadre, l'ACTA, en tant que porteur du RMT F&E, a apporté son appui au chef de projet dans la gestion de la page internet, la mise en ligne des différents documents de travail (conventions, comptes rendus de réunion, diaporamas...), la création de comptes utilisateurs et l'octroi de codes d'accès aux partenaires du projet.

Formation des partenaires

La formation des partenaires a été réalisée en plusieurs étapes.

Tout d'abord, lors du premier Comité de Pilotage, le 13 février 2013, une présentation conjointe des concepteurs de l'outil (INRA - Unité Agro-Impact et LDAR) a été faite pour présenter l'outil AzoFert®, en détaillant notamment la partie avec les adaptations spécifiques prévues pour les cultures pérennes, le fonctionnement et la fiche de renseignements.

Les partenaires du projet ont ensuite été formés à l'utilisation de l'interface de saisie et du prototype de calcul, une première fois le 8 décembre 2015. 19 personnes y ont participé. Une nouvelle session a été proposée, le 9 juin 2016 à Paris, de façon à présenter les avancées depuis la formation de décembre 2015 et pour une meilleure prise en main du prototype par les partenaires. 11 personnes y ont participé. Le plus faible nombre de participants par rapport à la formation précédente est fortement lié à une grève de la SNCF ce jour-là.

Communications de présentation du projet

Un poster, présentant le projet N-Pérennes (objectifs, principaux travaux, résultats attendus, partenaires), a été présenté lors de l'Assemblée Générale du RMT Fertilisation et Environnement, le 8 avril 2014, devant 47 personnes (enseignants, techniciens et chercheurs).

Une présentation orale des avancées du projet a été réalisée à l'Assemblée Générale du RMT Fertilisation et Environnement, le 8 janvier 2015 à Paris, devant 60 personnes (enseignants, techniciens et chercheurs).

Une communication orale du projet, centrée plus spécialement sur l'arboriculture, a été présentée à l'occasion d'une journée organisée par le GIS Fruits sur les futurs outils d'aide à la décision de la filière fruits, le 24 novembre 2015 à Paris, devant une centaine de personnes (chercheurs, techniciens et industriels).

Le poster, présentant le projet N-Pérennes (objectifs, principaux travaux, résultats attendus, partenaires), a été exposé aux 12^{èmes} Rencontres Comifer-Gemas, les 18 et 19 novembre 2015 à Lyon (enseignants, chercheurs, techniciens (IT, CA, laboratoires), distributeurs et industriels / 430 personnes) : Conception et mise au point d'un outil de raisonnement de la fertilisation azotée en cultures pérennes.

Un poster, présentant les avancées du projet au niveau de l'arboriculture, a également été exposé au cours de cette manifestation par l'INRA PSH : Dynamique d'accumulation de matière sèche et d'azote par le pommier dans des systèmes de culture à faible niveau d'intrants.

Ces deux posters ont également fait l'objet d'un article chacun dans les actes de ces Rencontres.

Le projet et son état d'avancement ont également été présentés à l'Assemblée Générale du GIEE ArboNovateur du 28 janvier 2016.

Un article de synthèse sur l'adaptation du modèle AzoFert® à l'arboriculture, rédigé par la Chambre d'Agriculture du Tarn-et-Garonne, est paru dans Réussir Fruits et Légumes en janvier 2017 (Larrieu J-F., 2017. Un outil pour raisonner sa fertilisation azotée. *Réussir Fruits et Légumes*, n° 368, pages 34-35).

Colloque de restitution

Le colloque de restitution des résultats du projet, organisé par l'IFV et l'ACTA, s'est tenu à Paris le 18 octobre 2016.

39 personnes y ont participé : chercheurs, techniciens (IT, CA, laboratoires), industriels, agriculteur, journaliste. Un questionnaire de satisfaction a été renseigné par 15 personnes. Les réponses sont globalement positives, en particulier sur la qualité et l'intérêt des présentations, l'organisation générale et le temps réservé aux échanges. Toutefois une "animation/présidence de séance" aurait été utile pour lever des incompréhensions entre questionneurs et questionnés. Il est également noté un petit décalage entre les exposés très détaillés du matin, qui montrent la complexité du sujet, et la démonstration du logiciel l'après-midi qui paraît trop simplificateur.

Les résumés des interventions ont été distribués aux participants ainsi qu'une plaquette de présentation du projet.

Tous les documents, présentations concernant le colloque ainsi que les communications de présentation du projet sont disponibles librement à l'adresse suivante : <http://www.rmt-fertilisationetenvironnement.org/moodle/course/view.php?id=108> .

Différents articles parus dans les revues La Vigne, Viti et les bulletins d'information d'interprofession (BIVB pour la Bourgogne, Inter pour le Beaujolais) ont fait état de ce colloque et des résultats du projet.

IV.2. Exploitation et valorisation des résultats

Plusieurs exploitations sont envisagées pour 2017 :

- étude sur l'approche sol au sein du GIEE ArboNovateur par 5 étudiants (en arboriculture)
- utilisation du prototype dans le cadre de projet répondant à l'Appel à Projet Dépérissement, lancé par FranceAgriMer (en viticulture)
- utilisation du prototype par l'INRA Colmar (en viticulture)
- utilisation du prototype par le CTIFL (en arboriculture)
- étude avec utilisation du prototype par la Chambre d'Agriculture de l'Yonne (en viticulture)

- utilisation du prototype pour l'enseignement supérieure agricole (formation Viticulture-Œnologie de Montpellier SupAgro).

Voir également V. Perspectives.

IV.3. Les transferts prévus

D'autres actions de communication sont prévues en 2017 et 2018 :

- présentation des résultats du projet N-Pérennes à l'Assemblée Générale du RMT Fertilisation et Environnement, le 10 mai 2017
- article à prévoir dans Innovations Agronomiques en septembre 2017
- présentation des résultats du projet N-Pérennes au salon Tech&Bio, le 20 septembre 2017 à Bourg-Lès-Valence
- présentation des résultats du projet N-Pérennes aux 13^e Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse (COMIFER-GEMAS), les 8 et 9 novembre 2017 à Nantes (communication orale acceptée)
- article scientifique à proposer dans la version Open Access du Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin
- présentation des résultats du projet N-Pérennes à proposer au SITEVI 2017
- présentation des résultats du projet N-Pérennes à proposer au SIVAL 2018
- présentation des résultats du projet N-Pérennes à proposer au Workshop Azote en 2018 (organisé en France).

La base de données expérimentales créée n'a pas vocation à être diffusée, son objectif étant la validation du prototype.

V – Les perspectives

V.1. Les points forts et les points faibles du projet

Un effort important de concertation a été réalisé de façon à prendre en compte les variations régionales : modes de conduite, conditions climatiques, objectifs de production. Des consensus, facilités par la motivation des différents partenaires pour l'objectif fixé, ont donc été trouvés.

Les points forts et les points faibles sont présentés ci-dessous.

Points forts

- Le point fort du projet est l'échange entre les différents partenaires (mutualisation nationale sur la thématique de la gestion de l'azote sur plantes pérennes)
- Facilité et rapidité des échanges entre les acteurs du volet 1.
- Bonne dynamique et motivation commune à atteindre les objectifs. Forte implication de la plupart des partenaires.
- L'adaptation de la méthode du bilan aux plantes pérennes et la prise en compte de leurs spécificités sont innovantes.
- Mise à disposition d'un prototype d'outil de gestion de la fertilisation azotée à la parcelle des plantes pérennes.
- L'utilisation de l'interface web permet d'optimiser et de mettre à disposition l'outil à tous les partenaires afin d'avoir une plate-forme commune de tests.
- L'accessibilité de l'outil qui ne nécessite qu'une connexion et un navigateur internet pour fonctionner.

- Objectif atteint : mise au point d'un prototype d'outil de gestion de la fertilisation azotée pour les plantes pérennes. Le prototype fonctionne dans la plupart des situations pédologiques, avec une valeur d'apport recommandé cohérente.
- Élément objectif de quantification des apports.
- Intérêt pédagogique de l'outil : il alimente la réflexion technique pour l'approche de la fertilisation azotée, permet de mieux comprendre l'impact de choix sur la valorisation azotée du sol ou des apports en fonction des conditions pédoclimatiques. L'outil permet ainsi d'optimiser les pratiques.
- Par la richesse de ses débats et de ses échanges, le colloque de restitution a montré tout l'intérêt de l'outil pour ce type de culture.
- Intérêt des formations pour s'approprier le prototype.
- Intérêt des CDD qui renforcent les capacités de travail des titulaires en poste auprès des différents partenaires.

Points faibles

- Ne pas pouvoir faire tourner le modèle en cours de saison en arboriculture (du fait du fractionnement des apports azotés réalisé sur ces cultures) pour comparer les mesures de terrain et le prévisionnel en temps réel, de façon à raisonner l'intérêt ou non du dernier apport d'azote.
- Manque de références locales en données d'entrées du modèle (reliquat azoté).
- Projet surtout orienté vers la vigne, au détriment des arbres fruitiers.
- Pour l'instant, il n'y a pas de solutions prévues pour finaliser le prototype et le rendre opérationnel sur le terrain.

V.2. Les difficultés rencontrées

Même si le projet s'est déroulé convenablement, certaines difficultés ont été rencontrées à différents niveaux.

Fonctionnement

Deux phases sont à distinguer dans le projet : une première phase, assez longue, très théorique avec la validation du cahier des charges (expertise) et la collecte de données ; suivie d'une deuxième phase beaucoup plus courte mais plus pratique, qui a plus intéressé les organismes de développement (plus concret). Il a peut-être manqué d'interactivité entre ces deux phases : choix des expérimentations à valider, paramétrage du prototype (sol). Des réunions téléphoniques entre les réunions du Comité de Pilotage auraient été bénéfiques dans ce sens.

Il aurait été intéressant de consacrer plus de temps initialement (budget prévisionnel) à cette phase concrète de tests et de validation de la part des partenaires. Ceci dit, l'objectif était d'aboutir à un prototype et le travail est satisfaisant au final. Si un nouveau projet de finalisation du prototype est mis en place, il faudra en tenir compte et peut-être diminuer le nombre de partenaires mais augmenter leur temps consacré au projet pour multiplier le nombre de tests. Cependant la multiplication des partenaires était nécessaire dans ce projet pour prendre en compte la diversité des situations, notamment viticoles, en lien avec l'objectif de généralité du prototype.

La première phase de travail s'est heurtée à un manque d'informations et de références quantitatives sur les cultures pérennes par rapport aux objectifs du projet, conduisant à un travail assez fastidieux de leur collecte, à partir de sources assez disparates. En particulier, le manque d'études concernant la

mise en réserves annuelle de l'azote par la vigne a conduit à une hypothèse (égalité des réserves entre ouverture et fermeture du bilan), d'une part, qu'il faudra vérifier sur le long terme et, d'autre part, qui limite l'utilisation de l'outil à des vignes adultes.

Les problèmes de santé d'un des partenaires ont retardé le projet (voir I.3), en lien avec le recrutement du CDD informatique (Axel Desjardins), mais sans conséquence sur les résultats-mêmes du projet.

Paramètres

Le choix du type de sol, très important pour le fonctionnement de l'outil et ses sorties, a posé certains problèmes aux partenaires. En viticulture, la description du type de sol est le plus souvent liée à ses caractéristiques pédologiques. Or il s'agissait bien ici de faire le lien entre la connaissance que l'on a du sol et de son fonctionnement puis de se rapprocher de la typologie INRA-LDAR utilisée dans AzoFert®.

Après discussions, un arbre de décision a été créé à partir de la hiérarchisation des paramètres (calcaire, argile, sable) servant à définir la typologie des sols. Un tableau à double entrée (% argile / % calcaire) a été proposé de façon à faciliter la détermination du type de sol.

Les problèmes rencontrés pour la détermination du type de sol poussent à s'intéresser aux travaux réalisés au sein du RMT Sols et Territoires sur le projet TypTerres. La méthode mise en place dans ce projet se base sur l'utilisation des données de la base DONESOL (notamment Référentiels Régionaux Pédologiques au 1/250 000). L'adaptation ne sera donc pas forcément facile à partir des données des cartes pédologiques réalisées dans les différents vignobles, même si elle reste indispensable.

Au cours du projet, la détermination des reliquats azotés à l'ouverture du bilan a souvent été discutée. Ces déterminations ne sont pas réalisées dans la pratique. Au démarrage du projet, l'idée était d'essayer d'éviter, si possible, d'ajouter des analyses. Les données recueillies au cours du projet montrent que si, pour des sols peu fertiles (caillouteux, texture légère, faible profondeur) les reliquats azotés sont faibles en début de campagne, pour des sols plus fertiles (argileux, profonds, riche en matière organique) ces reliquats ne sont pas négligeables et peuvent alors jouer de façon importante sur les préconisations du prototype (différence de préconisation pouvant s'élever à 25 kg N/ha).

Une décision devra être prise d'ici la finalisation de l'outil opérationnel. Plusieurs options, éventuellement complémentaires, sont proposées :

- Réaliser une étude de variabilité en fonction du type de sol, du milieu et de la couverture hivernale
- Proposer des valeurs forfaitaires faibles dans le cas de sols légers et/ou caillouteux et/ou peu profonds et réaliser des mesures dans les autres cas
- Réaliser une mesure la première année (dans le sens où l'utilisation de l'outil pour une parcelle sera à prévoir sur plusieurs années) et passer au 2^e point ci-dessus par la suite. Cependant des études montrent que si on ne cale pas régulièrement ce type de modèle, le risque de dérive est important.

Le module Feuilles, permettant d'intégrer la restitution d'azote liée aux feuilles restant sur la parcelle, n'a pas été finalisé. Ce module est important à mettre en œuvre car cette restitution peut ne pas être négligeable. En particulier, certaines validations donnant un conseil d'apport trop important pourraient être expliquées par la non-prise en compte de la restitution des feuilles. Il reste tout de même difficile de déterminer ou d'estimer cette part de feuilles restant sur la parcelle.

Le module Enherbement n'a pas pu être inséré dans le prototype, même si les bases du raisonnement concernant l'implication de ce dernier dans la méthode du bilan ont été définies (voir tableau 5 – III.1.e). Le paramètre enherbement a tout de même été pris en compte dans la validation (voir III.3.c).

Il y a cependant nécessité de valider sur un plus grand nombre de situations le fait de séparer les deux compartiments (partie enherbée / partie désherbée) sans prendre en compte d'interaction entre les deux (conformément à l'hypothèse émise dans le cahier des charges - voir tableau 5 en III.1.e). Par ailleurs, le cas du retournement de l'enherbement serait à étudier. Cela est possible avec N-Pérennes.

V.3. Les suites envisagées

Certaines pistes ont déjà été mentionnées dans le paragraphe précédent, en lien avec les difficultés rencontrées.

Une autre suggestion portant sur l'utilisation de N-Pérennes pour prévoir la lixiviation de l'azote en période hivernale a été faite (par exemple des pertes de l'ordre de 30 kg/ha ont été simulées avec STICS par le BNIC). Là encore, N-Pérennes est en mesure de le faire moyennant quelques adaptations (en particulier supprimer le bornage actuel de dates qui existe dans le prototype et faire fonctionner l'outil sur une période différente).

Un travail reste à faire pour étoffer les références et ainsi affiner les sorties, et faire passer ce prototype à l'état de réel outil utilisable pour le conseil, en ayant une réflexion sur les différentes formes d'apport azoté possible, en lien avec les pratiques sur plantes pérennes. En particulier, les formes organo-minérale et organique sont fréquemment utilisées sur ce type de culture, la forme organique étant obligatoire en agriculture biologique. Les pouvoirs publics poussent à l'utilisation d'azote sous forme organique plutôt que minérale (cf. plan Energie Méthanisation Autonomie Azote). N-Pérennes ne fournit actuellement que des conseils d'apport d'azote sous forme minérale. Il faudrait prévoir une adaptation du prototype, en particulier des formalismes relatifs aux produits organiques, pour conseiller sur ce type de cultures des formes organo-minérales et/ou organiques, surtout dans le contexte d'agriculture biologique. Cette adaptation sera également utile dans AzoFert® dans le contexte des grandes cultures.

Il paraît souhaitable de poursuivre le partenariat actuel (avec le CTIFL en plus pour l'arboriculture), en intégrant éventuellement des lycées agricoles. Ceci est tout de même à définir suivant les objectifs poursuivis. Il conviendra de créer un groupe de travail pour évaluer les besoins.

Il est important, au vu de l'expérience tirée de ce projet de :

- Améliorer la qualité des données d'entrée : ce qui implique de prendre en compte de nouvelles situations.
- Tester la robustesse du prototype.
- Tester en prédictif sur des cas réels : à coupler ou pas avec l'obtention de données d'entrée précises. Phase de pré-développement. Et phase de communication. Dans ce cas, il faut prévoir des comparaisons de doses pour juger de la pertinence des sorties de N-Pérennes (par exemple comparaison de la dose conseillée par N-Pérennes avec la dose issue de l'expertise de l'agriculteur ou du conseiller).

Il est possible également de partir des expérimentations encore en cours en ciblant sur les besoins de connaissances primordiales. Mais le nombre d'expérimentations est limité (uniquement celles du BNIC).

Il faut bien avoir en tête que le pas de temps est assez long (au moins 3 ans) pour obtenir des résultats par rapport aux périodes de financement classiques.

Enfin, certains paramètres mériteraient d'être intégrés au modèle :

1) La qualité

Seul le rendement est pris en compte pour déterminer les besoins. La notion de qualité des fruits étant très importante pour les plantes pérennes, cette notion devrait également être une donnée d'entrée. En fait elle est déjà plus ou moins intégrée dans la fixation du rendement visé. Il serait intéressant d'étudier s'il est nécessaire de l'intégrer de façon plus importante et comment (classes d'objectifs produit ? différenciation blanc et rouge pour la vigne ?) ou si l'expertise du conseiller, en lien avec le rendement visé, est suffisante.

Pour des rendements élevés, dans la pratique on arrive à une sorte de seuil (étude BNIC). Ne faudrait-il pas le prendre en compte en fixant un seuil maximal pour les besoins ?

2) La vigueur

Côté arboriculture, il faudrait prévoir d'intégrer la vigueur. Sur ces cultures, c'est surtout l'aspect outil de pilotage qui paraît le plus intéressant : détermination du besoin ou pas de faire un 2^e, 3^e ou un 4^e apport (sachant que les besoins en fonction du stade phénologique sont connus pour le pommier). Il est possible de faire fonctionner N-Pérennes sur différentes périodes avec des données météorologiques actualisées mais cela demande une adaptation, notamment au niveau des sorties de l'outil.

Ce positionnement des apports serait intéressant à réfléchir en viticulture (en particulier pour les formes organiques). Mais attention car N-Pérennes et AzoFert® ne simulent pas (encore) une dynamique de besoin.

3) La pente et l'exposition

La pente n'est pas prise en compte. Or de nombreuses parcelles viticoles se situent en coteau. Il serait intéressant d'intégrer ce paramètre, ainsi que l'exposition, mais juste au niveau des commentaires de sortie pour expliquer l'influence de ce facteur sur l'ETP (augmentation de cette dernière du fait de l'augmentation de rayonnement liée à la pente et à l'exposition) et donc le résultat. Pente et exposition devraient donc être proposées en données d'entrée.

4) L'absorption azotée post-vendanges en viticulture

La présentation de J-P. Goutouly lors du colloque de restitution a mis en évidence l'importance que pouvait avoir l'absorption azotée post-vendanges en viticulture. C'est également le cas en arboriculture, où un manque d'azote à l'automne peut perturber la mise à fleur l'année suivante. Actuellement cette absorption n'est pas vraiment prise en compte dans N-Pérennes du fait du manque de références (en fait elle est comprise dans l'hypothèse de l'égalité des réserves à l'ouverture et à la fermeture du bilan). De plus cette absorption dépend de facteurs tels que la météorologie de l'automne, la date de vendange. Et l'estimation de la quantité d'azote absorbée à cette époque est difficile : J-P. Goutouly donne le chiffre de 30 % de réserves en moins quand une défoliation complète est pratiquée à la vendange (dans ce chiffre est compris également la part d'azote des feuilles qui est mis en réserves, avant leur chute, dans les parties pérennes). Une solution serait de donner en commentaire, en fonction des données climatiques, un risque plus ou moins fort de stress azoté lié à cette absorption post-vendanges. Une étude pourrait être conduite de façon à prendre en compte l'évolution du climat sur ce paramètre, à partir d'un jeu de données moyennes de conditions climatiques à différentes périodes (1970-1980, 1980-1990, 1990-2000 par exemple), et à déterminer la nécessité de travailler ce point. La prise en compte de cette absorption post-vendanges sur l'année N-1, à partir des données climatiques réelles, est également à envisager.

Par ailleurs, l'utilisation de N-Pérennes en tant qu'outil pédagogique a été proposée lors du colloque de restitution. Cela rejoint l'objectif du projet N'EDU, où certains outils, dont AzoFert®, sont utilisés dans ce sens dans le cas des grandes cultures. La proposition est jugée intéressante (intégration de N-Pérennes dans N'EDU) mais quelque peu prématurée : il faudrait attendre que N-Pérennes soit finalisé.

Enfin, une réflexion sur la mise en exploitation d'une version opérationnelle et finalisée du prototype et les besoins humains et financiers associés sont à mener.

De façon à poursuivre ce travail et de prendre en compte ces différentes perspectives, quelques suggestions peuvent être émises :

- Appel à projet CASDAR Innovation et Partenariat 2017, dont l'un des objectifs est de favoriser le développement des résultats de la recherche. Cela paraît être une suite logique après être passé par l'appel à projet Recherche finalisée et Innovation. Par contre il n'est pas acté que cet AAP soit reconduit en fin d'année prochaine, les ressources du CASDAR devant être plus faibles en 2016.
- Appel à proposition sur les dépérissements (viticulture uniquement) en lien avec le Plan National Dépérissement du vignoble. Cet AAP a été publié début décembre. La nutrition azotée est un facteur en lien avec les axes 1 et 2 de l'ambition 4 du plan. N-Pérennes pourrait être utilisé pour passer au crible les différents observatoires en place au niveau

national et régional sur la partie nutrition azotée, qui peut être un facteur de stress dans certaines situations. D'autres facteurs agronomiques de stress seront étudiés en parallèle (notamment la disponibilité en eau), l'idée étant d'étudier l'impact de ces stress sur les dépérissements de la vigne. Cette proposition est à développer mais plus sur l'axe Observatoire. Toutefois une première approche a été proposée sur 2 réseaux de parcelles, proposition incluse dans le projet LONGVI (Longévité du vignoble : la comprendre pour l'améliorer) déposé en réponse à l'AAP Dépérissement.

- ADEME, agences de l'eau : en lien avec les problèmes de nitrate dans l'eau. Possibilité de financer des analyses et d'acquérir des données. A voir en fonction des Appels à Projets.

C – Compte rendu financier

Fourni séparément.

D – Fiche de synthèse de fin de projet en 1 page seulement

AAP RFI 2012 n° 1207

Projet : 2012 → 2016

Montant global : 552 144 €

Subvention CASDAR : 299 663€

N-Pérennes : Conception et mise au point d'un outil de raisonnement de la fertilisation azotée en cultures pérennes. Application à la vigne et à certains arbres fruitiers

Organisme chef de file : *Institut Français de la Vigne et du Vin*

Chef de projet : CAHUREL Jean-Yves

Partenaires : ACTA, IFV, INRA (Avignon, Bordeaux, Laon, Montpellier), BNIC (Bureau National Interprofessionnel du Cognac), Chambres d'agriculture (26, 30, 33, 34, 71, 82, 89), CIVC (Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne), LDAR, CEHM (Centre Expérimental Horticole de Marsillargues)

Objectifs :

Ce projet, né du RMT Fertilisation et Environnement, 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®) et basé sur la méthode du bilan. L'accent est mis sur le fait que le projet doit aboutir à un prototype à caractère générique et non spécifique d'une région.

Résultats et valorisations attendus :

Le prototype se présente sous forme informatique, avec accès par internet. L'utilisateur doit renseigner plusieurs catégories de données : localisation, sol, culture (itinéraire cultural, rendement visé). Une interface opérationnelle et conviviale a été développée, même si des améliorations restent à faire.

Les 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, en particulier le taux de cailloux qui influe sur la minéralisation de l'humus, ainsi que les données climatiques et les reliquats azotés à l'ouverture du bilan. A l'inverse, d'autres paramètres ont peu d'influence sur la préconisation en vigne, tels que la restitution des sarments et la date de fin de lessivage. Certains paramètres ont été difficiles à prendre en compte, comme par exemple la restitution d'azote au sol par la chute des feuilles ou la notion de vigueur.

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

Sur vigne, on constate que les préconisations sont correctes (écarts inférieurs à 10 kg N/ha entre le conseil donné par le prototype et l'apport réellement réalisé) dans 51 % des cas. Dans les cas où le conseil n'est pas correct, le prototype a généralement tendance à conseiller une dose trop forte.

Sur arbres fruitiers (pommier), les préconisations sont correctes dans un quart des cas. Dans les cas où le conseil n'est pas correct, le prototype a généralement tendance à conseiller une dose trop faible.

Les résultats obtenus avec le prototype N-Pérennes sont encourageants en viticulture comparativement à des préconisations empiriques. 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, notamment en conditions réelles d'utilisation de l'outil. D'autres perspectives, élargissant l'objectif du prototype, sont également envisageables.