

# Appel à projets d'innovation et de partenariat 2009

Organisme chef de file : ACTA  
Date de début de projet : Janvier 2010  
Durée 36 mois (maximum 36 mois)  
N°Thème : 1  
RMT :  
- Fertilisation & Environnement  
- Elevages & Environnement  
N° de la manifestation d'intérêt initiale 9109  
(Rapprochement avec 9027)

## Dossier finalisé

**IMPERATIF** : le dossier finalisé de candidature doit compter au maximum 25 pages et 5 pages d'annexe, sans photo, et être adressé en format word, d'un poids maximum de 3 Mega Octets (sauf les documents signés, qui doivent être en pdf).

---

### TITRE (concis, précis):

Améliorer la caractérisation des effluents d'élevage par des méthodes et des modèles innovants pour une meilleure prise en compte agronomique

**Titre abrégé** : Effluents d'élevage

---

### MOTS CLES : (5 au maximum)

Caractérisation des effluents d'élevage, modélisation de la composition, SPIR, amélioration des outils, nouvelles références

---

### ORGANISME CHEF DE FILE :

**Nom** : Association de Coordination Technique Agricole

**Adresse** : 149 rue de Bercy 75595 Paris Cédex 12

**Téléphone/fax** 01 40 04 50 00 / 01 40 04 50 11

**Mail (où sera adressé l'avis du jury)** : [fabienne.butler@acta.asso.fr](mailto:fabienne.butler@acta.asso.fr) ; [alain.mouchart@acta.asso.fr](mailto:alain.mouchart@acta.asso.fr)

### CHEF DE PROJET :

**Nom, Prénom** : BUTLER Fabienne

**Organisme employeur** : ACTA

**Adresse** : 149 rue de Bercy 75595 Paris Cédex12

**Téléphone/fax** : 01 40 04 50 47 / 01 40 04 50 11

**Mail** : [fabienne.butler@acta.asso.fr](mailto:fabienne.butler@acta.asso.fr)

---

### Pièces à joindre au dossier :

- Lettres d'engagement des partenaires (une lettre de chacun des partenaires précisant notamment la participation financière prévue)
- CV du seul chef de projet (sans photo)
- Tableau des responsables des actions du projet pour chaque organisme, précisant pour chacun le nom, les domaines de compétence et les expériences dans le domaine concerné
- Attestation du RMT d'affiliation

## **I PRESENTATION GENERALE DU PROJET**

### **I.1. Objectifs poursuivis :**

Le projet proposé est issu des deux RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement. Il s'inscrit aussi dans le thème 1 de l'appel à projets.

La finalité de ce projet est d'aider les agriculteurs à optimiser les épandages des effluents d'élevage, par une meilleure connaissance de leur composition, pour la fertilisation de leurs cultures. Une bonne valorisation agronomique des effluents d'élevage permet en effet de réaliser des économies d'engrais chimiques tout en limitant les risques de fuites d'éléments minéraux vers l'environnement. Au préalable, cela passe par l'amélioration du conseil sur les compositions et les doses d'effluents d'élevages à épandre, prescrits par les laboratoires utilisateurs d'outils et les techniciens d'organismes de développement. Or, la diversité de composition et de comportement dans le sol des effluents d'élevage n'est pas suffisamment prise en compte dans les outils dynamiques de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation des impacts environnementaux. Par ailleurs, l'intérêt de l'analyse chimique classique au laboratoire se heurte surtout à la question délicate du prélèvement d'échantillons, *a fortiori* dans le cas de produits très hétérogènes, et les résultats ne sont pas toujours représentatifs de la réalité. Pour s'affranchir de ces difficultés, il est nécessaire de s'investir aujourd'hui dans la mise au point de méthodes de prédiction alternatives de la composition des effluents. En plus de connaître le plus précisément possible la valeur fertilisante des effluents, des méconnaissances persistent quant à la prédiction de l'épandabilité de certains et les transformations préalables qui sont nécessaires pour une meilleure qualité d'épandage.

C'est pourquoi ce projet vise plusieurs objectifs :

- Améliorer la caractérisation des effluents par (i) la prédiction de leur composition via la modélisation à partir d'informations sur les caractéristiques de l'élevage d'une part, la mise au point d'une méthode d'analyse rapide des effluents, la Spectrométrie Proche Infra-Rouge (SPIR) d'autre part, (ii) par une meilleure connaissance de leur aptitude à l'épandage ;
- Acquérir de nouvelles références sur les effluents peu connus, amenés à se développer dans le contexte actuel des filières en termes de composition et d'épandabilité ;
- Mieux prendre en compte la diversité de composition des effluents dans les outils opérationnels de raisonnement de fertilisation et d'évaluation des impacts environnementaux : cela passe par l'élaboration d'une typologie et l'intégration des connaissances acquises dans les outils et modèles portés par les RMT (Azofert, Régifert, Azosystem, modèle MELODIE), et ceux des partenaires du projet (MOLDAVI, Azolis, Planilis, MesP@rcelles) ;
- Transférer les connaissances acquises aux professionnels utilisateurs d'effluents d'élevage, prescripteurs de conseils (agriculteurs et techniciens) et formateurs en agronomie, promouvoir les produits organiques issus des élevages à destination des agriculteurs non producteurs (céréaliéristes).

### **I.2. Les enjeux et la motivation des demandeurs (par rapport aux besoins des agriculteurs, de l'agriculture et du monde rural) :**

Les engrais de ferme constituent une ressource d'éléments fertilisants et amendants produits et disponibles sur un territoire : ils représentent 95 % des produits résiduels organiques épandus sur les sols français, à la fois dans les régions d'élevage, mais de plus en plus dans les régions de grandes cultures où ils présentent un intérêt croissant pour les agriculteurs. La nature et la composition des produits organiques issus des exploitations d'élevage est extrêmement large et induite par de nombreux facteurs liés à la conduite d'élevage, au mode de stockage et aux traitements mis en œuvre. Une méconnaissance de cette diversité et une mauvaise classification de ces effluents peuvent engendrer une mauvaise valorisation et des écarts notables entre les apports et les besoins des cultures en éléments fertilisants.

D'un point de vue environnemental, l'amélioration de la caractérisation des produits organiques permet de mieux les valoriser, donc de limiter le recours aux engrais minéraux et de réduire la contribution de ces produits aux transferts d'éléments minéraux vers les eaux et l'atmosphère.

La question de la valorisation des produits organiques s'avère particulièrement pressante non seulement dans le contexte environnemental actuel – avec notamment les orientations fixées par le Grenelle de l'environnement, les politiques européennes et la prise en compte des émissions de gaz à effet de serre et de l'épuisement des ressources à l'échelle mondiale – mais aussi dans le contexte économique. En effet, l'envolée des prix des matières premières et notamment des engrais minéraux, le renchérissement du coût de l'énergie et la volatilité des prix des produits agricoles amènent les agriculteurs et le développement agricole à repenser la gestion de la fertilisation.

Bien que la valorisation agronomique des effluents d'élevage ne soit pas un nouveau sujet d'étude pour les partenaires, tous les problèmes liés à l'utilisation de ces produits organiques ne sont pas pour autant résolus, notamment du fait :

- de la diversité des engrais de ferme, liée aux systèmes d'élevages (alimentation, type de bâtiments, pratiques d'élevage, etc.) et la méconnaissance de nouveaux produits issus de traitements,
- des incertitudes importantes sur les quantités épandues et l'hétérogénéité d'épandage de ces produits, conséquence de leur aptitude ou leur comportement à l'épandage variables, c'est-à-dire leur épandabilité ;
- que les outils de pilotage de la gestion des effluents doivent intégrer une connaissance plus fine des produits organiques issus des activités d'élevage disponibles.

### I.3. Présentation des actions

Ce projet repose sur un programme de travail organisé autour de quatre volets complémentaires et indissociables :

#### **Volet 1 : Détermination des critères pertinents pour mieux décrire les effluents d'élevage dans les outils de raisonnement de la fertilisation ou d'évaluation d'impacts environnementaux.**

Les travaux prévus dans ce volet sont :

- L'analyse de la sensibilité des outils portés par le RMT Fertilisation & Environnement (Azofert, Régifert, Azosystem) à la précision des données d'entrée concernant la caractérisation des effluents d'élevage ;
- La construction et la rédaction d'un cahier des charges relatif à la description des effluents d'élevage dans ces outils : amélioration de la typologie des effluents et définition des critères de description.

Ce travail spécifique prendra en compte les travaux de modélisations déjà réalisés et engagés dans le cadre du RMT « Elevages & Environnement ».

#### **Volet 2 : Prédiction de la composition et de l'épandabilité des effluents d'élevage.** Les travaux prévus dans ce volet sont :

- La construction et la validation d'un modèle de prédiction de la composition des effluents à partir des données d'élevage pour les trois grandes filières animales bovine, porcine et avicole ;
- L'analyse de l'épandabilité par de l'expertise et de la bibliographie ;
- La calibration de la Spectrométrie Proche Infra Rouge (SPIR), comme méthode de détermination rapide de la composition chimique et biochimique des effluents ainsi que le test de l'utilisation de la SPIR pour la prédiction directe *in situ* (au champ et au bâtiment).

#### **Volet 3 : Acquisition de nouvelles références.** Les travaux prévus dans ce volet sont :

- L'inventaire et la hiérarchisation des produits nouveaux selon leur intérêt dans le cadre du projet,
- L'étude de l'épandabilité et de la composition d'une sélection de produits par les expérimentations et les analyses labo.

#### **Volet 4 : Intégration des connaissances dans les outils opérationnels et transfert vers les professionnels**

Les travaux prévus dans ce volet sont :

- L'élaboration de la typologie des effluents via la synthèse des résultats et l'intégration des acquis dans le paramétrage des outils portés par les RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement ;
- La rédaction et la diffusion de fiches techniques sur les différents effluents en lien avec la typologie ;
- L'organisation de réunions d'informations et de démonstrations à destination des agriculteurs, des techniciens et des enseignants.

### I.4 Partenariats

#### I.4.1 Partenaires retenus :

- *Partenaires techniques impliqués dans la réalisation du projet (destinataires de financements CAS DAR avec lettre d'engagement)*

ACTA, INRA (Rennes, Laon, Bordeaux), LDAR, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne (CRAB), ARVALIS Institut du Végétal, Cemagref, CIRAD Réunion, laboratoire SAS, Chambre d'Agriculture du Loiret, Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, Chambre d'Agriculture de Vendée

- *Partenaires associés au comité de pilotage du projet* : ACTA, Chambre d'Agriculture de l'Aisne, LDAR et CETIOM pour le RMT Fertilisation & Environnement ; IFIP pour le RMT Elevages & Environnement ; ADEME ; Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (Casdar)

- *Partenaires financiers* : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (CASDAR), ADEME

#### **I.4.2. Préciser les modalités retenues pour le partenariat**

Ce projet s'inscrit dans le cadre à la fois du RMT Fertilisation & Environnement, porté par L'ACTA, organisme porteur du projet, et du RMT Elevages & Environnement porté par l'IFIP (cf attestations des RMT).

La plupart des partenaires techniques impliqués dans la réalisation du projet sont membres des RMT Fertilisation & Environnement et/ou Elevages & Environnement : ACTA, INRA (Rennes, Laon, Bordeaux), LDAR, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, Chambres d'Agriculture de Bretagne, ARVALIS Institut du Végétal.

Pour ce projet Casdar, le partenariat sera établi par conventionnement entre l'ACTA, chef de file et les différents partenaires techniques du projet.

#### **I.4.3. Evolution du partenariat :**

Entre la manifestation d'intérêt initiale (9019) et le projet déposé, le partenariat a évolué avec :

- l'intégration des principaux partenaires techniques de la manifestation d'intérêt n°9027 portant sur « *La gestion agronomique des digestats issus d'unités de méthanisation agricole* » : Chambre d'Agriculture du Loiret, Chambre d'Agriculture de Vendée, Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine suite aux rapprochements des deux projets ;
- la mobilisation du CIRAD de la Réunion et du laboratoire d'Arvalis ayant les compétences et l'équipement nécessaire dans le domaine de la Spectrométrie Proche Infra-Rouge (SPIR) ;
- le laboratoire SAS pour la réalisation d'une partie des analyses chimiques ;
- la sollicitation d'un autre partenaire financier : l'ADEME.

#### **I.4.4. Inscription éventuelle de ce projet au sein d'un projet plus vaste présenté dans le cadre d'un autre appel à projet.**

Ce projet ne s'inscrit pas dans un autre projet plus vaste présenté dans le cadre d'un autre appel à projet

## **II- MOTIVATIONS ET INNOVATIONS**

### **II.1. Situation actuelle du projet – Etat des connaissances :**

**Les nouveaux outils** de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation des impacts environnementaux comme ceux développés dans le cadre du RMT « Fertilisation et Environnement » (Azofert, Régifert, Azosystem) sont des outils basés sur une modélisation dynamique des transformations des matières organiques apportées aux sols. Pour cela, des cinétiques de minéralisation ont été paramétrées pour un certain nombre de produits organiques (PRO) types mais **la diversité de composition des effluents d'élevage** à l'intérieur d'une même catégorie **n'est pas suffisamment prise en compte**. De plus, la caractérisation des produits organiques dans ces outils nécessite des paramètres chimiques et biochimiques permettant de prédire précisément les cinétiques de minéralisation. Pour RegiFert en particulier, il y a d'une part des besoins d'actualisation des paramètres "PRO" liés au fonctionnement actuel du logiciel, et d'autre part des souhaits d'acquisition de références en vue d'évolution du logiciel (effet acidifiant/alcalinisant des PRO).

**Les références existantes** établies au niveau national concernant la caractérisation des effluents d'élevage, sont **plus ou moins récentes et précises selon les types d'effluents et les filières animales**. Avec l'évolution des bâtiments suite à la mise aux normes, les références issues de la brochure « Fertiliser avec les engrais de ferme » (Institut de l'Elevage, ITAVI, ITCF, ITP, 2001), établies par ailleurs à partir d'un nombre limité de produits notamment pour les produits bovins, nécessitent d'être mises à jour. L'étude réalisée en 2006 sur la Caractérisation de fertilisants organiques (Decoopman B, CRAB), a porté sur 15 produits dont 12 à base de déjections animales.

Cet état des lieux général doit être complété par une approche par filière puisque les problèmes liés à la caractérisation des effluents d'élevage sont spécifiques aux systèmes d'élevage :

**En élevage bovin**, la nature des déjections produites en bâtiment dépend principalement du mode de logement, du type d'animaux et d'alimentation et du niveau de paillage. De fait, les exploitations bovines et laitières, à l'origine de plus de deux tiers de l'azote organique produit au niveau national, produisent une grande diversité de déjections allant des effluents liquides peu chargés aux fumiers très compacts de litière accumulée. Les travaux de mise aux normes réalisés à la faveur du PMPOA 1 puis du PMPOA 2, ont permis toutefois de resserrer la gamme d'effluents produits et de favoriser les produits dont on est en mesure d'assurer une bonne valorisation à l'épandage (Manneville et Al. 2008 Evaluation du PMPOA, 2008).

Néanmoins, des difficultés d'épandage demeurent principalement pour les produits intermédiaires entre les fumiers et les lisiers : les fumiers mous, à faible teneur en matière sèche (MS), sont inadaptés aux épandeurs classiques et donc mal valorisés du fait d'une très mauvaise répartition lors de l'épandage au champ ; les lisiers

bovins plus ou moins pailleux (taux de MS élevés) occasionnent des bouchages importants des équipements préconisés aujourd'hui pour limiter la volatilisation de l'azote. Pour pallier ces difficultés d'épandage, les techniques de séparation de phase gravitaire ou mécanique se développent, aboutissant à des nouveaux produits dont la composition et le comportement à l'épandage sont actuellement mal connus.

Parallèlement, la mise en conformité a conduit à pratiquer le mélange de certains effluents (lisiers et effluents peu chargés...) et au développement de certains ouvrages de stockage (fumière couverte...). Il convient donc de mieux apprécier l'évolution de caractéristiques et de composition des produits lors de cette phase de stockage.

En élevage porcin, les déjections sont majoritairement recueillies sous forme de lisier. Cet effluent a fait l'objet de nombreux travaux tant sur les techniques et matériels d'épandage que sur sa composition et son efficacité agronomique.

Les dernières références disponibles (Composition des effluents porcins, Levasseur P, ITP 2005), basées sur plus de 3500 valeurs d'analyses, ont permis d'identifier et de caractériser respectivement 10 et 15 types d'effluents porcins bruts et transformés. Toutefois, au sein de chacune des catégories d'effluent, il existe encore une forte variabilité de composition d'un élevage à l'autre ou d'une fosse à l'autre. Pour des raisons pratiques et compte tenu de la multitude de facteurs de variation, il devient difficile de sérier davantage les catégories. Ces variations devraient être pour une bonne part prise en compte par modélisation.

Les produits issus des élevages sur litières, ainsi que ceux issus du traitement des lisiers ont également fait l'objet d'étude en terme de composition chimique, voire de comportement agronomique, mais il existe peu de synthèse à ce sujet. Depuis peu, des techniques d'évacuation rapide des déjections, consistant à racler les fèces d'un côté et les urines de l'autre se développent. C'est en fait une technique de séparation de phases immédiate. Le sous-produit solide, concentré en phosphore, est pourtant mal connu du point de vue chimique et physique. Il est donc nécessaire d'acquérir des références tant sur la composition que sur l'épandabilité pour améliorer la valorisation de ces nouveaux produits.

En élevage avicole, la caractérisation des fumiers, lisiers et fientes de volaille a fait l'objet d'une étude en 2003 (ITAVI, OFIVAL) mais l'évolution des techniques et conduites d'élevage ainsi que des formules alimentaires modifient la nature et la composition des rejets. Par exemple, l'utilisation d'activateurs de litière se développe, sans que l'on connaisse parfaitement les effets de cette pratique. On observerait en effet avec ces produits une évolution intéressante des litières avec moins de pertes d'azote. Afin d'appréhender les effets de cette pratique au niveau zootechnique (bien-être animal, ambiance du bâtiment) et agronomique (évolution des fumiers), l'ITAVI coordonnera un projet déposé à ce même appel à projet.

Par ailleurs, du fait d'une raréfaction des sciures et copeaux de bois (utilisés de plus en plus pour des valorisations énergétiques) les éleveurs de volailles de chair s'interrogent sur la faisabilité **de nouvelles litières** à base de pailles de miscanthus voire de colza. Il convient alors de cerner les répercussions sur la qualité sanitaire et le bien-être des animaux de ces nouvelles litières, et de connaître les qualités agronomiques des fumiers, les évolutions en cours de stockage et la possibilité de compostage de ces fumiers. Les éleveurs s'interrogent aussi sur l'intérêt de la séparation de la litière avec les fientes suivie de la granulation des fientes. Ces nouvelles techniques de transformation des fumiers de volaille constituent des solutions pour résoudre certains des problèmes se posant aujourd'hui aux éleveurs : le stockage, l'épandage et le transport. Ces techniques présentent un intérêt agronomique important car elles permettent d'épandre plus facilement (avec un épandeur à engrais minéraux), de manière homogène, des quantités limitées de produits (cf. réglementation sur le phosphore notamment). Ces techniques constituent enfin une solution pour le maintien des transferts des déjections avicoles vers ces zones de grandes cultures, une des solutions de résorption pour les élevages avicoles en excédents structurels<sup>1</sup>, actuellement menacée par l'agrément Qualimat-Transport<sup>2</sup>.

Actuellement, seule l'analyse chimique d'un échantillon au laboratoire permet de connaître la composition d'un produit, ce qui représente pour l'agriculteur, un coût relativement élevé (analyse de base MS, N, P, K entre 50 et 60€) et un délai d'attente des résultats de 2 à 3 semaines. De plus **l'échantillonnage est une opération délicate** car le produit peut être plus ou moins hétérogène selon les origines, les transformations subies et les conditions de stockage. Par exemple, les fumiers de volaille présentent une forte hétérogénéité, car les poulaillers sont constitués de zones bien différenciées (les zones de couchage, d'abreuvement et d'alimentation solide). S'il est conseillé de vidanger le bâtiment en arête de poissons afin de mélanger au mieux ces trois zones (L'aviculture et le respect de

<sup>1</sup> Selon les professionnels des amendements et engrais organiques fabriqués à base d'effluents d'élevage, environ 300 000 tonnes de ces produits ont été exportés hors de Bretagne en 2008. L'un de ces professionnels assure à lui seul 30 % de ces transferts qui se décomposent de la manière suivante : 49 % sont des fientes de poules pondeuses, 36 % des fumiers de volailles compostés et 10 % des produits porcins.

<sup>2</sup> L'agrément Qualimat-Transport impose maintenant, pour des raisons sanitaires que les déjections transportées aient subi un traitement thermique en vue d'une hygiénisation.

l'environnement, n°HS de STA, 2001), le fumier à l'état brut, c'est-à-dire non composté, reste un produit très hétérogène avec des parties lourdes (plaques de fientes) et des parties très légères (paille), chacune de ces parties n'apportant pas la même quantité d'éléments fertilisants par unité de masse. De plus, lors du stockage en tas, la composition du produit évolue de manière différenciée entre la surface et le centre du tas. Dans ces conditions, il est très difficile d'obtenir un échantillon représentatif du produit à épandre. Le plus souvent, les meilleures prédictions de la composition se font *a posteriori* à partir d'échantillons prélevés au champ le jour de l'épandage. Les agriculteurs sont en attente de nouvelles méthodes de prédiction de la composition des effluents rapides et peu coûteuses, qui simplifient voire suppriment la procédure d'obtention d'un échantillon composite et représentatif destiné au laboratoire. Par exemple, des systèmes de mesure embarqués sur les matériels d'épandage permettraient de mesurer « en continu » la composition du produit épandu et ainsi d'ajuster les quantités à apporter aux cultures en fonction des résultats obtenus *in situ*.

Dans les trois filières, d'importants **travaux de modélisation** (Mélodie Casdar n°360 2005, Moldavi UMT ITAVI/INRA) ont été engagés afin de simuler de manière dynamique les flux d'azote, de carbone, de phosphore et de potassium puis les consommations d'eau dans les élevages. Les méthodes et bilans utilisés dans ces modèles alimenteront utilement les travaux complémentaires sur le calculateur de la composition des effluents : cet outil devra être simple et rapide pour une utilisation directe par les acteurs du développement agricole.

Parallèlement à ces approches par modélisation, une **méthode basée sur la spectroscopie infrarouge (SPIR)**, reposant sur la mesure de la réflectance spectrale d'un échantillon de produit dans le visible (400-700 nm) et le proche infrarouge (700-2500 nm), connaît un développement rapide depuis quelques années, car elle se révèle pertinente pour prédire les caractéristiques chimiques de matériaux divers (fourrages, produits agricoles et alimentaires, résidus végétaux, matière organique du sol, litière forestière...) (cf annexe 1). Le développement de cette méthode s'explique principalement par son faible coût (entre 20 à 25€ par analyse) et sa facilité de mise en œuvre. La mesure spectrale est en effet très rapide, ne requiert pas nécessairement de préparation particulière de l'échantillon, car elle peut être réalisée sur un échantillon non séché et non broyé, et peut même être réalisée en conditions extérieures (appareils portables). L'utilisation de la SPIR pour prédire la composition chimique des effluents d'élevage a récemment fait l'objet de développements dans certains pays européens et aux Etats-Unis ; ces travaux montrent que la SPIR permet d'obtenir une très bonne qualité prédictive pour la teneur en matière sèche, en matière organique et en azote total, et une qualité prédictive moins bonne, mais qui demeure correcte, pour d'autres paramètres, tels que les teneurs en azote ammoniacal, phosphore et potassium. L'analyse bibliographique permet donc de penser que la démarche de calibration de la SPIR proposée dans ce projet débouchera sur des équations de prédiction de bonne qualité, et qui pourront faire l'objet d'applications opérationnelles.

Donc, les connaissances actuelles sur les systèmes d'élevage, les modèles et les données disponibles sur les flux d'éléments ainsi que la maîtrise de la technique spectrométrie infrarouge permettent aujourd'hui de bien appréhender par estimation la composition des effluents d'élevage.

Au niveau agronomique, des travaux menés notamment par l'Inra et Arvalis Institut du Végétal, sont en cours sur la **dynamique du devenir des produits organiques et des éléments fertilisants dans le sol**. Ils se basent sur des expérimentations au champ mais également sur des données acquises au laboratoire (composition biochimique, courbes de minéralisation notamment). Des paramétrages de courbes de minéralisation (C, N) ont ainsi été réalisés pour certains produits organiques (AzoFert V1.5, STICS, MELODIE, Etude des cinétiques de minéralisation nette de l'azote organique des produits résiduels organiques à court terme *in situ* et en conditions contrôlées, Paumard T, Arvalis Institut du Végétal / ESA, 2008). D'autres travaux de paramétrage devront être mis en place, notamment pour les nouveaux produits, mais cette acquisition de références sera faite dans le cadre d'autres projets. Par ailleurs, des travaux sont à mener sur les pertes d'azote sous forme gazeuse à l'épandage : cet aspect fera l'objet d'un travail spécifique, piloté par Arvalis, dans le cadre de l'AAP Recherche Finalisée Innovation (dépôt 2009).

Outre l'aspect agronomique, le raisonnement de la fertilisation par le biais des engrais de ferme comporte une composante technique au travers de la mise en œuvre de l'épandage. Si les progrès réalisés par rapport à la prise en compte des effluents d'élevage permettent de mieux quantifier leur devenir au champ (en particulier avec des outils reposant sur une approche dynamique des fournitures d'azote dans le sol), une **incertitude** reste grande quant à la **prédiction de l'épandabilité des produits**, c'est-à-dire, indirectement, de la qualité de l'épandage : en effet, la fourniture d'éléments fertilisants moyennée à l'échelle de l'hectare n'est un indicateur fiable que si l'engrais est uniformément réparti sur la parcelle. De plus, alors que cette notion d'épandabilité n'est pas simple à définir, il s'avère que l'on raisonne souvent de manière contraire en parlant de la "non-épandabilité" des produits : liquides trop visqueux, présentant un risque de bouchage ou de sédimentation, trop hétérogènes avec un risque de ségrégation à la projection ou de mauvais écoulement... Aujourd'hui, il existe différentes méthodes de

caractérisation physique des produits organiques permettant de mieux appréhender leur aptitude à l'épandage (cf Annexe 1) et de préconiser par la suite le matériel d'épandage adapté.

Enfin, les journées régulièrement organisées sur le thème de la valorisation agricole des produits organiques et des engrais de ferme en particulier, témoignent de l'importance du sujet : le colloque ADEME en 2004, la journée de Colmar du 27 novembre 2007, la journée sur les produits résiduels organiques le 17 mars 2009 organisée par le Comifer et l'Académie d'agriculture, et le colloque du 28 avril 2009 de l'Académie d'Agriculture sur « Les élevages intensifs et environnement. Les effluents d'élevage : menace ou richesse ? ».

### Quelques références bibliographiques :

- Fertiliser avec les engrais de ferme, Institut de l'Elevage, ITAVI, ITCF, ITP, 2001.
- L'aviculture et le respect de l'environnement, n° HS de STA, 2001
- Composition des effluents porcins et de leurs coproduits de traitement, Levasseur P, ITP, 2005
- Caractérisation des fumiers, lisiers et fientes de volailles, ITAVI, Etude OFIVAL, 2003
- Caractérisation de fertilisants organiques, Decoopman B, CRAB, 2006
- Etude des cinétiques de minéralisation nette de l'azote organique des produits résiduels organiques à court terme in situ et en conditions contrôlées, Paumard T, Arvalis Institut du Végétal / ESA, 2008.
- Analyse des composés azotés de fumiers de volailles de chair par spectrométrie dans le proche infra-rouge (SPIR). Application à l'étude de la variabilité intra- et inter-élevage –D. Bastianelli, P. Lescoat, I. Bouvarel, C.Hervouet, JRA 2007)
- Produits résiduels organiques : dossier Perspectives Agricoles N° 326 Sep 2006 : ARVALIS, INRA
- Relations entre caractéristiques de matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale. INRA Décembre 2004 - Thèse de Samuel Abiven
- Guide des matières organiques : 2001 - ITAB
- Evaluation du Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole). Compte Rendu Institut de l'Elevage n° 190833012. Collection Résultats. Manneville V., Lequenne D., Le Gall A., Lucbert J. (2008).

## **II.2. Intérêt social, environnemental, économique, technique, scientifique :**

Le projet proposé montre son intérêt et sa contribution à plusieurs niveaux :

- **social** : protection de l'environnement, image de l'agriculture.
- **environnemental** : meilleure utilisation des effluents d'élevage comme fertilisants des cultures, réduction de l'utilisation des engrais chimiques, réduction de la consommation des ressources naturelles, limitation des risques de pollutions.
- **économique** : réduction des intrants (engrais minéraux), réduction des coûts d'analyse des effluents
- **technique** : prédiction de la composition des effluents d'élevage par des méthodes et outils innovants, simples et rapides (la modélisation à partir des données d'élevage et l'utilisation de la Spectrométrie Proche Infra Rouge) ; acquisition de nouvelles références sur les effluents d'élevage transformés et peu connus ; amélioration des conseils prescrits par les techniciens et les laboratoires.
- **scientifique** : amélioration du paramétrage des nouveaux outils de raisonnement de la fertilisation et de diagnostic environnemental concernant la caractérisation des effluents d'élevage, notamment ceux du RMT Fertilisation & Environnement ; actualisation des modèles de simulation des flux environnementaux portés par le RMT Elevages & Environnement ; valorisation des avancées scientifiques dans le domaine de la Spectrométrie Infra Rouge (SPIR) (calibration de cette méthode à une nouvelle matrice : les effluents d'élevage) ; orientation de travaux futurs sur la caractérisation physique des effluents et la transformation des effluents d'élevage en vue d'une meilleure qualité d'épandage et valorisation agronomique,.

## **II.3. Originalité du projet (par rapport aux expériences similaires) : en quoi est-il innovant ?**

Ce projet est novateur parce qu'il se trouve à la conjonction des deux RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement : il vise à améliorer les outils et modèles innovants de raisonnement de la fertilisation ou d'évaluation d'impacts environnementaux développés dans le cadre des deux RMT.

L'originalité de ce projet repose aussi sur des méthodes innovantes utilisées pour prédire la composition des effluents d'élevage, de manière simple et rapide, puis sur leur complémentarité : la modélisation des systèmes d'élevage et la Spectrométrie Proche Infra Rouge.

Ce projet s'appuie aussi sur une démarche innovante car il propose de valoriser les données existantes disponibles, de croiser des démarches régionales et nationales et d'associer une démarche d'acquisition de références à une démarche de communication, via la mobilisation conjointe des partenaires de la recherche et du développement concernés.

## **II.4. Liens (éventuels) avec les actions du programme de développement agricole et rural 2009 financé par le ministère de l'agriculture et de la pêche : montrer en quoi les actions proposées sont complémentaires mais distinctes des actions prévues dans le programme**

Ce projet se situe très en amont de l'utilisation des effluents d'élevage : il s'intéresse à l'amélioration de la caractérisation des effluents et de leur prise en compte dans les outils opérationnels de raisonnement de la fertilisation azotée et de diagnostic environnemental. Il est donc très complémentaire des autres projets situés plus en aval de l'utilisation des effluents puisque s'intéressant aux effets des épandages dans l'environnement :

- projet Casdar n°7089 « *Gestion durable des sols avec apports de produits organiques issus d'élevage* » porté par Arvalis Institut du Végétal : ce projet étudie les effets à long terme des apports de produits organiques issus d'élevage sur le statut organique des sols, ses répercussions sur leur fertilité, et vise à élaborer des références et de nouveaux indicateurs pour la conduite de la fertilisation.
- le projet déposé à l'AAP Recherche finalisée et innovation des instituts techniques agricoles 2009 porté par Arvalis - Institut du Végétal concernant « *L'évaluation et la maîtrise de la volatilisation ammoniacale lors des épandages des engrais organiques et minéraux* ».

Par ailleurs, le volet 3 du projet concernant l'acquisition de références et l'étude de nouveaux produits est très complémentaire de deux autres projets répondant à l'AAP Casdar 2009 :

- n°9071 porté par l'ITAVI et intitulé « *les litières en élevage : identification, test et évaluation des techniques ou des pratiques consistant à mieux gérer les litières avec moins de matériaux* »;
- n°9065 porté par la CRA de Bretagne et intitulé « *Intérêts conjugués d'une évacuation rapide des déjections animales et de leur méthanisation (évaluation technique, économique et environnementale)* ».

Dans ces deux projets il n'est en effet pas prévu de caractériser ces nouveaux produits issus de transformation.

Une attention particulière sera donc portée à l'articulation des travaux de tous ces projets avec ceux présentés ici. Par ailleurs, des rapprochements ont eu lieu avec le projet Casdar n°9027 porté par la CA 45 et intitulé « *La gestion agronomique des digestats issus d'unités de méthanisation agricoles* » (cf évolution du partenariat §I.4.3 et du programme de travail §II.1.1 volet 3.2).

## **III PROGRAMME DE TRAVAIL ET ORGANISATION**

### **III.1. Présentation des actions :**

Les travaux menés dans le cadre de ce projet feront l'objet d'une action unique (§ III.1). Ils se dérouleront selon un calendrier prévisionnel de 3 ans (§ III.2). L'avancée des travaux sera évaluée par des indicateurs de suivi et d'évaluation (§ III.4).

#### **III.1.1 Présentation des travaux et organisation**

Comme présenté en I.3, ce projet repose sur un programme de travail organisé autour de quatre volets complémentaires et indissociables:

---

### **VOLET 1: DETERMINATION DES CRITERES PERTINENTS POUR MIEUX DECRIRE LES EFFLUENTS D'ELEVAGE DANS LES OUTILS DE RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION OU D'EVALUATION D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.**

---

La mise en œuvre des travaux du volet 1 se basera principalement sur les trois outils portés par le RMT Fertilisation & Environnement (AzoFert, Azosystem et RégiFert). En effet, ces outils sont très complémentaires et représentatifs des outils dynamiques existants ou en cours de développement : AzoFert et RégiFert sont respectivement des outils de raisonnement de la fertilisation azotée et phosphatée, tandis qu'Azosystem est un outil de diagnostic et d'évaluation des pertes en azote des systèmes de culture. RégiFert gère aussi le bilan carbone des terres ainsi que les éléments Cu, Zn, Mn. Concernant les effluents, ces outils ne sont donc pas renseignés par les mêmes paramètres de composition.

Le volet 1 se déroulera en deux phases :

#### **Phase 1.1. Détermination du niveau d'information et de précision requis par les outils (Azofert, Azosytem, Régifert)**

Les travaux de cette première phase consistent à :

- Analyser la sensibilité des modèles à la précision des données d'entrée concernant les quantités apportées et la composition des effluents d'élevage (composition chimique et biochimique)



- Définir si des paramètres complémentaires sont à acquérir et/ou optimiser
- Faire le lien avec d'autres dossiers concernant la biodisponibilité de l'azote des effluents : projet Casdar n°7089 « *Gestion durable des sols avec des apports organiques issus d'élevages* » qui traite des effets moyen terme et long terme, Projet minéralisation court terme (Etude Arvalis-INRA, mémoire de Tony Paumard). Cela permettra également de mieux estimer les paramètres influençant la minéralisation de l'azote.

### **Phase 1.2. Établissement d'un cahier des charges de la typologie des effluents d'élevage nécessaire à chaque outil**

Les travaux de cette deuxième phase consistent à :

- Produire une liste hiérarchisée des informations nécessaires
- Rédiger un cahier des charges de la typologie des effluents d'élevage
- Faire valider le cahier des charges par l'ensemble des partenaires techniques

La coordination sera assurée par le LDAR et l'INRA UMR SAS de Rennes

Les partenaires techniques associés seront : INRA (Rennes, Laon et Bordeaux), LDAR, ARVALIS, ACTA, CRAB, IE, IFIP, ITAVI, Cemagref.

#### **Tableau de synthèse du volet 1 :**

DETERMINATION DES CRITERES PERTINENTS POUR MIEUX DECRIRE LES EFFLUENTS D'ELEVAGE DANS LES OUTILS DE RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION OU D'EVALUATION D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX			
Phases	Travaux	Partenaires techniques associés	Coordination
1.1. Détermination du niveau d'information et de précision requis par les outils (Azofert, Azosystème, Régifert)	Analyse de la sensibilité des modèles à la précision des données d'entrée Liens avec les autres projets	INRA (Rennes, Laon et Bordeaux), LDAR, ARVALIS, ACTA, CRAB, IE, IFIP, ITAVI, Cemagref.	<i>INRA Rennes et LDAR</i>
1.2.Établissement d'un cahier des charges de la typologie des effluents d'élevage	Liste hiérarchisée des informations nécessaires Rédaction du cahier des charges		

### **VOLET 2 : PREDICTION DE LA COMPOSITION ET DE L'EPANDABILITE DES EFFLUENTS D'ELEVAGE**

L'objectif de ce volet est de proposer des méthodes et outils permettant d'améliorer la caractérisation des produits organiques en vue de leur épandage.

Ce volet comprend trois sous-volets :

- 2.1 : Modélisation de la composition des effluents d'élevage destinés à l'épandage
- 2.2 : Caractérisation physique des effluents d'élevage
- 2.3 : Prédiction de la composition des effluents par la SPIR

#### **SOUS-VOLET 2.1 : MODELISATION DE LA COMPOSITION DES EFFLUENTS D'ELEVAGE**

L'objectif est de construire et de valider un outil de simulation de la composition des effluents porcins, bovins et avicoles destinés à l'épandage. Ce simulateur s'appuiera notamment sur les typologies et modèles de recherche existants (MELODIE, MOLDAVI en cours de construction) et sera destiné au développement agricole.

Il s'agit de prédire la composition des effluents en fonction de différents critères (type d'animaux, alimentation, mode de logements, etc.). Cet outil permettra de s'affranchir des analyses de déjections dont la variabilité importante a été démontrée par plusieurs études. Cette variabilité provient notamment de la difficulté d'échantillonnage.

**Les principaux paramètres simulés seront :** Taux de Matière Sèche (MS), teneurs en N, P, K, Cu et Zn.

En fonction des données disponibles et de l'avancée des travaux d'autres projets, la possibilité d'intégrer l'élément carbone sera étudiée et la précision quant aux différentes formes de ces éléments pourra être intégrée.

D'autre part, il faudrait associer aux effluents une évaluation de leur « épandabilité » au travers d'indicateurs qui restent à préciser, voire de désigner ou de hiérarchiser les matériels d'épandage les plus adaptés. Cette notion est essentielle puisqu'elle permet de choisir le matériel d'épandage le mieux adapté à une bonne valorisation agronomique de déjections.

### **Le simulateur devra être sensible aux facteurs suivants :**

- type d'animaux (catégories, stade physiologique,...)
- mode de logement (type de bâtiment, niveau de paillage, litière)
- alimentation et abreuvement
- stockage des déjections (type de stockage, durée, etc...)

Ces facteurs seront à préciser pour chaque espèce animale (porc, bovin, volaille)

Ce sous volet 2.1 se déroulera en trois phases :

- **Phase 2.1.1 : Inventaire des données existantes** (Année 1 du projet et poursuite en année 2 si besoin)

Il s'agit de faire un inventaire des différents facteurs ayant un impact sur la composition (y compris le taux de dilution) mais aussi les caractéristiques physiques ayant une influence sur leur épandabilité. Par données existantes on entend : des modèles, des équations, des jeux de données expérimentales, des bases de données qui peuvent alimenter l'outil en construction. Cet inventaire portera sur les données relatives aux compositions et volumes des déjections générées à l'excrétion puis à chacune des étapes de gestion des effluents d'élevage, jusqu'à leur épandage. Cela impliquera de faire la synthèse des pertes gazeuses ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $N_2O$ ,...) ou a contrario des phénomènes de dilution (principalement lavage et eau de pluie).

Cette première phase permettra d'identifier les modules existants (cf. les projets en lien avec le RMT Elevages & Environnement tels que Mélodie - Moldavie - CASDAR consommation d'eau) qui pourront être intégrés au simulateur (éventuellement après modification) et ceux qui devront être créés.

L'acquisition de données « terrain » pourra être nécessaire pour des effluents peu connus (par exemples issus de méthanisation ou d'évacuation rapidement de lisier frais).

Compte tenu de la diversité des systèmes de production et des modes d'élevage (notamment pour les exploitations bovines). On pourra s'appuyer sur différentes données existantes (étude PMPOA, enquêtes bâtiment SCEES) afin d'identifier les pratiques les plus répandues et de cibler celles qui seront intégrées dans le simulateur.

Cette phase fera l'objet d'un stage de fin d'études de 6 mois pour chacune des filières.

- **Phase 2.1.2 : construction du simulateur / acquisition de données** (Années 2 et 3 du projet)

Cette phase plus opérationnelle, consistera à intégrer les modules existants et à en développer d'autres. Elle fera l'objet d'un deuxième stage de fin d'études de 6 mois pour chacune des trois filières

- **Phase 2.1.3 : Validation du simulateur** (Année 3 du projet)

Cette dernière phase consistera à valider le simulateur par la confrontation avec les références actuelles et se déroulera de la façon suivante :

- Chaque organisme fait un point sur les données existantes pour sa filière. Pour les références manquantes, il sera fait appel aux experts des partenaires techniques associés ;
- Le cadre commun (organisation et structure du simulateur) est défini pour toutes les productions ;
- Chaque filière construit la partie du simulateur propre à sa production (en s'assurant de la cohérence avec les autres productions) ;
- Chaque organisme fait appel aux experts des partenaires techniques associés pour l'acquisition de données manquantes.

Les résultats acquis via la SPIR (sous-volet 2.2) permettront de compléter les données pour construire l'outil. Dans ce cas, les prélèvements de fumier, lisier devront être complétés par un questionnaire sur les conditions d'élevage (alimentation, bâtiment...).

Dans le cadre du projet, les partenaires vont privilégier le développement des formalismes et des équations du modèle. La version livrable sera vraisemblablement une version excel. La durée du projet (3 ans), ne permet pas d'envisager la construction d'un outil informatique élaboré, intégrant une interface utilisateur conviviale. Les partenaires envisagent la réalisation de cette phase essentielle, à l'issue du projet.

La *coordination* du sous-volet 2.1 sera assurée par l'IFIP et l'Institut de l'Elevage.

Les *partenaires techniques associés* seront : Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, CRAB (pôles Recherche appliquée Porc-Aviculture et Agronomie).

## **SOUS-VOLET 2.2 : ANALYSE DE L'EPANDABILITE DES EFFLUENTS D'ELEVAGE**

L'objectif est ici d'établir l'état des connaissances sur l'épandabilité des effluents d'élevage. Ce sous volet se déroulera en deux phases :

### **Phase 2.2.1- Atelier de travail et expertise au cas par cas**

Cette étape débutera par le déroulement d'un premier atelier de travail sur l'épandage des effluents organiques. Cet atelier réunira une dizaine de personnes travaillant soit sur les technologies d'épandage (Cemagref, Station des Cormiers de la CRA de Bretagne) soit sur la production des effluents (IE, ITAVI, IFIP). Des experts extérieurs aux projets ayant une vision très large des situations d'épandage de produits pâteux à solides pourront également se joindre à cet atelier. Le but sera de mener un échange de fond sur l'épandage et l'épandabilité des effluents et de poser les bases du travail à venir. Les principales difficultés liées à l'épandage seront abordées et une attention particulière sera portée aux produits posant problème.

Par la suite, des dires d'experts seront utilisés pour montrer quels critères peuvent être pris en compte afin d'améliorer l'épandabilité des produits considérés : une demande d'expertise au cas par cas sera faite par les instituts partenaires du projet. L'objectif sera de rétroagir sur les traitements et de fournir des préconisations en termes d'épandage, basées sur la qualité ou les caractéristiques du produit à épandre.

### **Phase 2.2.2- Etude bibliographique**

Une étude bibliographique internationale sera réalisée afin de poser les problèmes rencontrés lors de l'épandage des matériaux. Un état des lieux sera établi, notamment par le biais d'une enquête de terrain. Une attention particulière sera portée sur la vision des entrepreneurs dont plusieurs ont une grande expérience en matière d'épandabilité. Dans ce cadre-là, un lien pourra être établi avec le projet ANR EcoDéfi portant sur l'éco-conception et le développement de méthodologies de fabrication innovantes de machines d'épandage. On notera également qu'il y a chez les constructeurs des personnes qui s'intéressent de près aux produits que leurs machines sont capables ou non d'épandre suite à des demandes de clients : il faudra en cibler quelques-unes de particulièrement pertinentes pour les enquêter au delà des acteurs d'EcoDéfi. Cette étude aura notamment pour but de souligner le lien entre le matériau et la machine et de chercher dans le contexte international quelles réponses ont pu être apportées au problème de la qualité de l'épandage.

Pour la réalisation de cette étape, différents sites seront identifiés de façon à cibler des effluents donnés. Ce travail sera principalement réalisé lors d'un stage de 6 mois et d'un CDD (2 mois), basés sur le site du Cemagref de Montoldre (éventuellement, un stage de 8 mois pourrait être envisagé).

La *coordination* de ce sous-volet sera assurée par le Cemagref et la CRA de Bretagne (Station des Cormiers)

Les *partenaires techniques associés* seront : Cemagref, CRAB, Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI

## **SOUS-VOLET 2.3 : PREDICTION DE LA COMPOSITION DES EFFLUENTS PAR LA SPECTROMETRIE PROCHE INFRA ROUGE (SPIR)**

Les travaux concernent dans un premier temps la **calibration de la méthode SPIR pour prédire les paramètres de composition des effluents d'élevage**.

La prédiction directe par la SPIR (au champ ou en bâtiment) sera testée dans un deuxième temps.

L'objectif est avant tout d'établir des équations de prédiction des principaux paramètres de composition des effluents par la calibration de la mesure SPIR sur les valeurs de paramètres déterminés par les méthodes d'analyse chimique de référence. Pour une bonne qualité productive de la méthode, cela requiert de travailler sur un effectif relativement important de produits (150 environ) et de mettre en œuvre cette démarche pour chacun des types de produits issus des filières d'élevage : fumiers de bovins, fumiers de volailles, fumiers de porc, lisiers de porc... Cela conduit donc à collecter et analyser un nombre important d'échantillons.

Afin de limiter le nombre de produits analysés et le coût de cette action, nous proposons dans le cadre de ce projet de calibrer la méthode SPIR pour les effluents d'élevage les plus représentatifs des filières d'élevage bovins, porcins et avicoles, par l'étude de 3 catégories de produits qui constituent la majeure partie du gisement des effluents : les fumiers de bovins (300 Mt/an), les lisiers de porc (19 Mt/ an), les fumiers de volailles (2,6 Mt/an).

La démarche pourra être ultérieurement étendue à d'autres types de produits (fumiers compostés, refus de centrifugation de lisier, lisiers de volailles, composts de lisier, digestats de méthanisation agricole...)

***La calibration de la méthode SPIR se déroulera en trois phases :***

### **Phase 2.3.1 (mars 2010 à février 2011) :**

Tous les partenaires seront impliqués dans cette phase, qui requiert en outre le recrutement d'un technicien ou ingénieur en CDD (basé au LDAR)

Cette phase comprendra :

- la réflexion sur l'élaboration de la base de données de produits, à partir des typologies existantes,
- l'organisation et la planification de la campagne de prélèvement et de collecte des échantillons
- la collecte, la préparation des échantillons pour analyse, et l'archivage sous forme congelée et séchée

#### Phase 2.3.2 (1<sup>er</sup> semestre 2011)

Cette phase consistera à analyser les échantillons, acquérir les données spectrales et élaborer une base de données.

#### Phase 2.3.3 (2<sup>ème</sup> semestre 2011 et année 2012)

Cette dernière phase comprendra l'analyse statistique des données (encadrement stagiaire ingénieur par INRA SAS), la publication et la valorisation des résultats.

**Les paramètres étudiés seront :** Teneur en matière sèche (MS), en azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>), azote total (Nt), matière organique (MO), phosphore (P) et potassium (K).

**Les laboratoires impliqués pour les analyses seront :** LDAR Laon, SAS Ardon, Pôle Analyse et Méthodes d'Arvalis Boigneville, CIRAD Réunion.

NB : Les méthodes et les modes de préparation des échantillons entre laboratoires seront harmonisés.

**La démarche de calibration sera progressive :**

- 200 produits seront collectés par catégorie (soit 600 produits collectés en tout) et feront d'abord l'objet d'un screening par la mesure SPIR. Les mesures spectrales, réalisées sur échantillons bruts et séchés, seront utilisées pour faire une analyse de la diversité au sein de chaque catégorie, permettant de choisir parmi les 200 produits, les 150 produits les plus intégrateurs de la variabilité de réponse spectrale ;
- Les analyses de référence seront faites en double sur un sous échantillon de 120 produits, correspondant à l'effectif minimum pour effectuer une calibration. Une première calibration de la mesure SPIR sera effectuée avec cet effectif (stagiaire statisticien – 3 mois) ;
- Cette calibration initiale sera affinée par extension à l'effectif de 150 produits ; les 30 produits n'ayant pas été utilisés lors de l'étape précédente seront d'abord analysés une fois ; les produits pour lesquels l'écart entre la composition mesurée et prédite par l'équation de prédiction sera important seront analysés une 2<sup>ème</sup> fois. L'équation de prédiction définitive sera alors déterminée sur cet effectif de 150 produits.

Cette démarche progressive évite de conduire la calibration en « aveugle » et permet d'optimiser l'information donnée par la mesure spectrale, peu coûteuse et utilisée en amont de la démarche de calibration à proprement parler.

La répartition proposée des analyses entre labos est la suivante : 40 % pour le LDAR , 27 % pour SAS , 33 % pour le CIRAD Réunion.

Ces travaux seront *coordonnés* par l'INRA SAS Rennes et le LDAR.

Les *partenaires impliqués* seront : INRA SAS Rennes, CIRAD Réunion, LDAR Laon, ARVALIS, Institut de l'Élevage, IFIP, ITAVI et Chambres Agriculture de Bretagne

Dans un deuxième temps, **la méthode SPIR** calibrée précédemment, **sera testée in situ** (dans les bâtiments ou au champ) pour **prédire directement la composition des effluents**

En effet, lors de l'épandage, l'évaluation de la dose d'azote réellement apportée est délicate du fait de la difficulté d'échantillonnage des produits et du coût relativement élevé des analyses. En relation avec les travaux conduits sur l'épandabilité, on cherchera donc à utiliser la SPIR comme méthode de mesure rapide appliquée directement au champ ou en bâtiment, avec un appareil portable. La mise au point de cette méthode pour une application au champ ou en bâtiment permettrait de lever un verrou important, en réduisant considérablement l'incertitude sur un paramètre d'entrée important des outils.

Deux applications seront effectuées :

- Mesure de la composition de litières dans les bâtiments d'élevage (volaille) : par le CIRAD Réunion
- Estimation de la teneur en N des fumiers de bovins après épandage : par l'INRA SAS Rennes

Les méthodes qui sont prévues sont :

- Utilisation de la calibration effectuée dans la sous action 2.3.1 pour paramétrer l'appareil portable
- Mesures SPIR effectuées en nombre important in situ (bâtiment ou champ)
- Evaluation de la qualité prédictive de la démarche SPIR par confrontation avec des mesures chimiques

Ces travaux seront conduits par l'INRA SAS Rennes et le CIRAD Réunion

L'intégralité du sous-volet 2.3 sera coordonnée par l'INRA SAS Rennes avec le LDAR pour la partie analyses en labo.

**Tableau de synthèse du volet 2 :**

PREDICTION DE LA COMPOSITION ET DE L'EPANDABILITE DES EFFLUENTS D'ELEVAGE DESTINES A L'EPANDAGE			
Sous volets	Travaux	Partenaires techniques associés	Coordination
2.1. Modélisation de la composition des effluents d'élevage	Inventaire des données existantes Construction du simulateur / acquisition de données Validation du simulateur	Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, CRAB (pôles Recherche appliquée Porc-Aviculture et Agronomie)	<i>IFIP et Institut de l'Elevage</i>
2.2. Analyse de l'épandabilité des effluents d'élevage	Atelier et expertise au cas par cas Etude bibliographique	Cemagref, CRAB, Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI	<i>Cemagref et CRAB (Station des Cormiers)</i>
2.3. Prédiction de la composition des effluents par la SPIR	Calibration de la méthode pour prédire des paramètres de composition des effluents d'élevage Prédiction « directe » de la composition des effluents au champ ou en bâtiment	INRA Rennes et Quimper, LDAR, CIRAD Réunion, SAS, ARVALIS, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, CRAB (pôle Agronomie)	<i>INRA Rennes Quimper et LDAR (pour la partie analyses au labo)</i>

### **VOLET 3 : ACQUISITION DE NOUVELLES REFERENCES**

Dans les différentes filières, certains produits posent problème pour garantir un épandage satisfaisant au plan agronomique et environnemental ou sont encore mal caractérisés car nouveaux ou très variables.

Un « nouveau produit » est défini comme étant (i) soit peu présent aujourd'hui dans les élevages, mais amené à se développer rapidement compte tenu des contextes spécifiques à chaque filière, (ii) soit plus ou moins développé mais les références que nous en avons actuellement sont incomplètes.

Généralement il n'existe peu ou pas de données concernant la composition de ces matières, et les techniques de transformation afin de les rendre conformes à une norme engrais ou amendement organique, ou d'en améliorer l'épandabilité ne sont pas encore calées. Or, elles sont indispensables pour bien conseiller les producteurs et alimenter le modèle (cf : volet 2).

Ce volet 3 se déroulera en deux phases :

- Phase 3.1. Inventaire des produits issus de nouveaux procédés de traitement.
- Phase 3.2. Etude de l'épandabilité et de la composition des produits sélectionnés dont l'épandage et la valorisation agronomique sont délicats ou peu voire pas connus.

#### **Phase 3.1. Inventaire et sélection des produits issus de nouveaux procédés de traitement**

Cet inventaire se réalisera après concertation avec les divers partenaires y compris des coopératives. Il intégrera le recensement des gisements actuels ou éventuellement à venir et débouchera sur une liste finalisée de produits à travailler. Des éléments d'analyses physico-chimiques seront collectés chaque fois que possible.

Les produits recensés seront ensuite hiérarchisés en fonction de l'évolution possible des volumes produits et/ou du manque d'informations les concernant. Les produits retenus feront l'objet d'une évaluation plus fine dans la suite de l'étude.

Le choix des aspects des produits à étudier sera réalisé en fonction de la connaissance à acquérir : par exemple, l'épandabilité des diverses présentations des fientes de volailles, ou les approches agronomiques (valeur agronomique et épandabilité) pour les digestats issus d'unités de méthanisation agricole.

Puis les laboratoires (LDAR, SAS, LCA, SADEF...), les divers instituts et les chambres seront contactés pour collecter des valeurs d'analyse afin de cerner la variabilité des produits étudiés. Des analyses complémentaires ne seront réalisées (en lien avec les autres volets) que si nécessaire.

Sans préjuger des choix futurs, les produits suivants sont pressentis :

- **Les lisiers plus ou moins pailleux issus des élevages bovins**, inadaptés aux épandeurs classiques et/ou préconisés doivent évoluer : Il s'agira de proposer des modes de productions différents ou des solutions améliorantes et de regarder l'incidence de ces modifications sur l'épandage et la transformation des déjections. L'objectif est de **mieux caractériser les produits issus de ces transformations**, d'apprécier leur variabilité et leur valeur agronomique ainsi que de comparer l'efficacité des systèmes de séparation (gravitaire ou mécanique). La valorisation agronomique de la fraction liquide issue d'une séparation de phase mécanique des lisiers bovins pailleux fait partie de l'objectif de travail. Il s'agit pour ce dernier, d'obtenir un produit épandable, pouvant notamment être valorisé sur prairies à l'aide d'une tonne équipée de pendillards (dispositif permettant de limiter la volatilisation de l'ammoniac).
- **La fraction solide issue des porcheries** équipées d'un système de raclage avec séparation directe urine/fécès. Ces bâtiments présentent le double avantage de diminuer les rejets de gaz dans l'atmosphère et d'extraire une proportion élevée de phosphore dans la fraction solide, ce qui en facilite la gestion.  
**Les fumiers pailleux des truies élevées en groupe**. La mise aux normes bien-être des truies en gestation entraînera un développement de ce type de bâtiment avec la production d'une litière aux caractéristiques spécifiques.  
**Les produits issus de la séparation de phases mécanique, provenant des élevages porcins et bovins**, notamment les co-produits solides ont déjà été caractérisé agronomiquement (cf. Rapport IF2O) mais leur épandabilité est mal connue. Par exemple des questions se posent sur la pertinence du bouchonnage.
- **Les fumiers issus des nouvelles litières de volaille de chair à base de miscanthus voire de colza** : il s'agit dans ce projet de connaître les qualités agronomiques des fumiers, les évolutions en cours de stockage et la possibilité de compostage de ces fumiers. L'intérêt de la séparation de la litière avec les fientes suivie de la granulation des fientes sera également étudié.  
Cette étude sur les fumiers de volailles sera menée en lien avec des observations en élevage (intérêt sanitaire). La faisabilité technico-économique sera menée également chez des éleveurs motivés par ces expérimentations. Ce volet serait complémentaire du projet CASDAR n°9071 qui ne tient pas compte de la valorisation des fumiers issus de ces nouvelles litières.
- **Les digestats de méthanisation** sont des nouveaux produits dont on ne connaît pour l'instant ni leur composition (mis à part une transformation de l'N (plus de NH<sub>4</sub>) et une perte de carbone) ni leur épandabilité. Comme les intrants dans les digestats ont une forte incidence sur leur composition et leur intérêt agronomique il sera au préalable réalisé une sélection des élevages significatifs dans leurs pratiques. Les diverses caractéristiques seront étudiées sur une dizaine de digestats représentatifs.

La *coordination* de cette première phase sera assurée par la CRAB et la Chambre d'Agriculture du Loiret.

Les *partenaires techniques impliqués* seront : CRA Bretagne (pôles Recherche appliquée Porcs-Aviculture et Agronomie), CA du Loiret, Cemagref (Montoldre), Institut de l'Élevage, IFIP, ITAVI, CA de Vendée, CRA de Lorraine.

### **Phase 3.2. Etude de l'épandabilité et de la composition des produits sélectionnés dont l'épandage et la valorisation agronomique sont délicats ou peu voire pas connus.**

*Les méthodes prévues* sont :

- Expérimentations en élevages ou en stations selon les produits à étudier ;  
Avis d'expert ou (et) mesures des caractéristiques physiques (pour les questions liées à l'épandabilité), analyses de composition (C/N, MS, N, P, K...), caractérisation biochimique, incubations C et N, et ce avant et après traitement.
- Etude technico-économique et impact des différentes pratiques sur les systèmes d'exploitation (en lien avec les études en cours)

Les suivis porteront sur quatre modalités différentes de traitement pour chacun des effluents retenus et une dizaine de digestats issus de méthanisation agricole

En réponse au premier séminaire (cf volet 2) sur l'épandage, un second atelier sera organisé, portant sur les nouveaux traitements et leur impact sur l'épandabilité des effluents. A l'issue de ce 2<sup>ème</sup> atelier, des préconisations seront proposées concernant les produits posant problème à l'épandage.

L'accent sera alors mis sur un ou plusieurs produits spécifiques pour lesquels des expérimentations au banc en station seront réalisées soit à la station des Cormiers (CRA Bretagne) pour les produits liquides soit au Cemob (CEMagref Organic Bench) sur le site du Cemagref de Montoldre pour les produits solides ou pâteux (à définir

selon type de produit et coût de transport). Les produits seront choisis durant le projet en fonction des conclusions d'étapes obtenues au cours du volet 2 ainsi que de la sélection établie en première étape du volet 3.

La coordination de cette deuxième phase sera assurée par la CRAB, la Chambre d'Agriculture du Loiret et le Cemagref.

Les partenaires techniques impliqués seront : CRA Bretagne (pôles Recherche appliquée Porcs-Aviculture et Agronomie), Cemagref (Montoldre), CA45, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI.

**Tableau de synthèse du volet 3 :**

ACQUISITION DE NOUVELLES REFERENCES			
Phases	Travaux	Partenaires techniques impliqués	Coordination
3.1. Inventaire des produits issus de nouveaux procédés de traitement.	Recensement des gisements actuels et à venir Hiérarchisation des produits nouveaux recensés Sélection de produits à étudier, étude approfondie	CRA de Bretagne (pôles Recherche appliquée Porcs-Aviculture et Agronomie), Cemagref	<i>CRA Bretagne et CA du Loiret</i>
3.2. Etude de l'épandabilité et de la composition des produits sélectionnés dont l'épandage et la valorisation agronomique sont délicats ou peu voire pas connus.	Expérimentations en élevages ou en stations selon les produits à étudier. Etude technico-économique et impact des différentes pratiques sur les systèmes d'exploitation (en lien avec les études en cours)	(Montoldre), CA du Loiret, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, CA de Vendée, CRA de Lorraine	<i>CRA Bretagne, CA du Loiret et Cemagref</i>

#### **VOLET 4 : INTEGRATION DES CONNAISSANCES DANS LES OUTILS OPERATIONNELS**

Ce volet a pour finalité d'intégrer dans les outils opérationnels de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation des risques environnementaux, les références acquises dans les premiers volets sur la composition et l'épandabilité des effluents.

L'objectif est ici d'élaborer une typologie qui sera à terme intégrée dans le paramétrage par défaut des outils, et qui permettra de mieux renseigner les paramètres d'entrée relatifs aux effluents dans ces modèles. La typologie proposée résultera d'un compromis entre les paramètres et le niveau de précision requis par les outils (cf volet 1) et la nécessité de proposer une clé de reconnaissance simple des produits, pour que l'agriculteur puisse facilement identifier le produit qu'il utilise et ne commette pas d'erreur lors du remplissage des fiches de renseignements.

L'autre objectif de ce volet est de faire la synthèse des connaissances acquises dans les volets précédents et d'en effectuer le transfert vers les professionnels.

Ce volet se déroulera en deux phases :

##### **Phase 4.1. Amélioration de la prise en compte des effluents dans les outils de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation des impacts environnementaux.**

Cette première phase comprend les travaux suivants :

- Synthèse des résultats des trois premiers volets *via* l'élaboration de la typologie des effluents et l'intégration des données de caractérisation dans le paramétrage des outils ;
- Test de la typologie avec les trois outils portés par le RMT Fertilisation & Environnement (AzoFert, Régifert, Azosystem), les outils d'Arvalis (Azolis, Planilis) et ceux des Chambres d'Agriculture (MesP@rcelles)
- Actualisation des modèles de simulation des flux environnementaux (MELODIE, MOLDAVI) portés par le RMT Elevages et Environnement
- Etablissement d'une grille de lecture des effluents que l'agriculteur apporte, en fonction des données d'élevage, et permettant de les traduire en des produits référencés et paramétrés dans les outils.

Cette phase sera coordonnée par l'INRA de Rennes et le LDAR

Les partenaires techniques impliqués seront : ACTA, INRA, LDAR, ARVALIS, IE, IFIP, ITAVI, Cemagref.

#### **Phase 4.2. Transfert des connaissances vers les professionnels**

Ce transfert se fera majoritairement à destination des techniciens, enseignants et élèves sous différentes formes selon les thématiques envisagées :

- **Utilisation du modèle de prédiction de la composition des effluents**

Des réunions d'information auprès de techniciens, enseignants et élèves seront organisées, des articles dans la presse professionnelle seront rédigés.

- **Utilisation de la SPIR comme méthode de détermination rapide de la composition des effluents**

Des démonstrations en élevages et à la station de Guernevez où se trouve un grand panel d'effluents (fumiers, composts, lisiers, digestats issus de méthanisation...) seront organisées. Des vidéos sur l'utilisation de cette technique seront disponibles sur les sites internet des RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement.

- **Rédaction et diffusion des fiches techniques sur les différents effluents et les méthodes mises au point pour améliorer l'épandabilité et/ou la valeur agronomique du produit.**

Des fiches « produits » sous forme informatique seront mises à disposition des professionnels sur les sites internet des différents partenaires (Synagri, RMT Fertilisation & Environnement, RMT Productions animales & Environnement). Des exemplaires papiers seront diffusés auprès de techniciens, enseignants, élèves et utilisateurs d'effluents.

- **Sensibilisation des acteurs aux notions d'épandabilité**

Des journées de démonstration seront organisées à la Station des Cormiers ainsi que des formations, valorisation technique et scientifique des travaux au travers d'articles.

Cette deuxième phase sera *coordonnée* par l'ACTA et la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne

Les *partenaires techniques associés* seront : ACTA, CRAB, INRA Rennes, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, Cemagref, CA du Loiret, CA de Vendée, CRA de Lorraine

**Tableau de synthèse du volet 4 :**

INTEGRATION DES CONNAISSANCES DANS LES OUTILS OPERATIONNELS			
Phases	Travaux	Partenaires techniques associés	Coordination
4.1. Amélioration de la prise en compte des effluents dans les outils de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation des impacts environnementaux.	Synthèse des résultats des 3 volets via l'élaboration de la typologie des effluents et l'intégration des résultats dans le paramétrage des outils Test de la typologie avec les 3 outils portés par le RMT, les outils d'Arvalis, les outils des Chambres d'Agriculture	LDAR, INRA Rennes, Quimper, Laon, Bordeaux, ARVALIS, Institut de l'Elevage, ITAVI, IFIP, CRAB, Cemagref	<i>LDAR, INRA Rennes</i>
4.2. Transfert des connaissances vers les professionnels	Rédaction de fiches produits Organisation de réunions d'informations et de démonstrations	ACTA, CRAB, INRA Rennes, Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, Cemagref, CA45, CA85, CRA Lorraine	<i>ACTA, CRAB</i>

#### **III.1.2. Calendrier prévisionnel de réalisation**

2010					2011					2012													
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Pilotage du projet</b>																							
<b>Volet 1 : Besoins de paramétrage des outils</b>																							
<i>Analyse de sensibilité des outils</i>																							
<i>Etablissement du cahier des charges</i>																							
<b>Volet 2 : Prédiction de la composition et de l'épandabilité des effluents</b>																							
<i>Modélisation de la composition des effluents</i>																							



2010												2011												2012											
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Caractérisation physique des effluents</i>																																			
<i>Prédiction de la composition par la SPIR</i>																																			
<b>Volet 3 : Acquisition de nouvelles références</b>																																			
<i>Inventaire des nouveaux produits à étudier</i>																																			
<i>Etudes d'épandabilité et de composition de produits intermédiaires ou nouveaux</i>																																			
<b>Volet 4 : Intégration des connaissances dans les outils opérationnels</b>																																			
<i>Amélioration de la prise en compte des effluents dans les outils portés par le RMT</i>																																			
<i>Transfert des connaissances vers les professionnels</i>																																			

■ Période d'activité soutenue

□ Période de suivi plus ponctuel

### III.1.3 Indicateurs de suivi et d'évaluation

	<b>Indicateurs de suivi</b>	<b>Indicateurs d'évaluation</b>
<b>Pilotage du Projet</b>	Nombre de conventions signées entre partenaires Nombre de réunions du comité de pilotage par an Cumul des temps passés sur le projet par organisme Rapports techniques et financiers annuels	Conventions entre partenaires Compte-rendus des réunions du comité de pilotage Rapport final du projet
<b>Volet 1</b>	Nombre de réunions organisées Protocole de l'analyse de sensibilité des outils aux données d'entrées Cumul des temps passés sur le projet par organisme	Compte-rendus de réunions Cahier des charges de la typologie des effluents d'élevage
<b>Volet 2</b>	Nombre de réunions organisées Protocole de collecte de typologies/données et d'utilisation des modèles existants Protocole de modélisation des effluents Protocole d'acquisition de nouvelles données Nombre d'expertises Protocole d'application de la SPIR au laboratoire et au champ Cumul des temps passés sur le projet par organisme	Compte-rendus de réunions Rapports des travaux réalisés Document présentant les facteurs de variation des valeurs des effluents et les leviers d'action Modèle de prédiction de la composition des effluents Rapport établi à la suite de l'atelier sur l'épandabilité, comptes-rendus pour les interventions d'expertise, rapport bibliographique sur l'épandabilité Intégration des données sur l'épandabilité dans le modèle élaboré dans le volet 1 Equations de calibration de la SPIR (relations entre paramètres chimiques et données spectrales) Base de données sur la composition des effluents élaborée à partir des données SPIR Rapport sur la faisabilité d'une application opérationnelle de la SPIR comme méthode de détermination de la composition des effluents au labo et <i>in situ</i>

	<b>Indicateurs de suivi</b>	<b>Indicateurs d'évaluation</b>
<b>Volet 3</b>	Nombre de réunions organisées Protocole de collecte de typologies/données existantes Protocole d'acquisition de nouvelles données Protocole de caractérisation physique (épandabilité des effluents) Cumul des temps passés sur le projet par organisme	Compte-rendus de réunions Rapports des travaux et études réalisés Cahier de charges sur l'étude des nouveaux produits Intégration des résultats dans le modèle élaboré dans le volet 1 Documents de préconisations en termes d'épandage ou de transformation des produits
<b>Volet 4</b>	Nombre de réunions organisées Cumul des temps passés sur le projet par organisme	Compte-rendus de réunions Rapports des travaux réalisés Typologie des effluents d'élevage valorisable dans les outils et modèles, document de diffusion avec grille de lecture des effluents Fiches « produits », fiches techniques Réunions d'informations, démonstrations réalisées auprès des professionnels

### III.2. Equipes techniques mobilisées :

<b>Partenaire</b>	<b>Principaux responsables des équipes techniques</b>	<b>ETP par catégorie (ingénieur, technicien, chercheur)</b>
ACTA	Fabienne Butler	0,8 ETP Ingénieur
INRA Laon	Jean-Marie Machet	0,4 ETP Chercheur
INRA SAS Quimper/Rennes	Virginie Parnaudeau Thierry Morvan Youssef Fouad	0,9 ETP Ingénieur 0,9 ETP Ingénieur 0.1 ETP Chercheur
INRA Bordeaux	Pascal Denoroy	0.25 ETP Chercheur
LDAR	Nathalie Damay CDD	1,2 ETP Ingénieur 0,8 Technicien
CIRAD Réunion	Laurent Thuriès CDD	0.8 ETP Chercheur 0.3 ETP Technicien
SAS	Mathieu Valé	0.1 ETP Ingénieur
Institut de l'Elevage	Christelle Raison	0.6 ETP Ingénieur
IFIP	Pascal Levasseur	0.75 ETP Ingénieur
ITAVI	Claude Aubert	0.45 ETP Ingénieur
ARVALIS	Alain Bouthier Robert Trochard Christine Le Souder Séverine Trupin	0.1 ETP Ingénieur 0.05 ETP Ingénieur 0.05 ETP Ingénieur 0.1 ETP Ingénieur
Cemagref	Emélie Dieudé-Fauvel Philippe Héritier CDD	0.4 ETP Ingénieur 0.1 ETP Technicien 0.2 ETP Ingénieur
Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne	Bertrand Lebris Elodie Dezat Bertrand Decoopman Pierre Havard Jean-Yves Cosniers	0,3 ETP Ingénieur 0,3 ETP Ingénieur 0,3 ETP Ingénieur 0,2 ETP Ingénieur 0,1 ETP Technicien
Chambre d'Agriculture du Loiret	Laurent Le Jars	0.3 ETP Ingénieur
Chambre d'Agriculture de Vendée	David Du Clary	0.1 ETP Ingénieur
Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine	Richard Cherrier	0.15 ETP Ingénieur

### III.3. Organisation prévue, rôle de chaque partenaire technique :

Le projet s'appuiera sur une équipe de projet composée des partenaires techniques cités au paragraphe III.2. L'ACTA se chargera de l'animation et de la coordination globale du projet, assurera la gestion administrative du projet et coordonnera la rédaction des rapports techniques et financiers annuels ainsi que du rapport final.

Un binôme de partenaires techniques responsable a été désigné par volet ou sous volet afin d'animer et de coordonner les travaux correspondants et de veiller au bon déroulement des travaux grâce aux indicateurs de suivi et d'évaluation. Pour cela, des réunions de travail seront organisées tout au long du projet par groupes de travail (volet ou sous-volet) pour échanger sur les différents points d'expertise et coordonner l'avancée des travaux.

Au démarrage du projet, l'ensemble des partenaires techniques du projet se réuniront pour préciser la planification des travaux sur la durée du projet et la répartition des tâches pour l'année 2010.

Annuellement, une réunion du comité de pilotage sur une ou deux journées sera animée par l'ACTA (cf §III.4)

Le tableau ci-dessous récapitule le rôle des différents partenaires dans le projet :

Partenaire	Rôle
ACTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Animation administrative et technique du projet</li> <li>• Animation du comité de pilotage du projet (voir § III.4)</li> <li>• Coordination de la rédaction des rapports techniques et financiers annuels, du rapport final.</li> <li>• Participation à la rédaction des comptes-rendus de réunions</li> <li>• Coordination et mise en œuvre des travaux de la phase 2 du volet 4 avec la CRAB et la CA45 : transfert des connaissances vers les professionnels</li> <li>• Participation aux travaux des volets 1 et 4 : élaboration d'une typologie des effluents et amélioration des outils</li> <li>• Lien avec les autres projets Casdar cités en § II.4</li> <li>• Communication sur le projet au sein du RMT Fertilisation &amp; Environnement</li> </ul> Valorisation scientifique et technique du projet
INRA Laon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1 et 4 et participation aux travaux : élaboration d'une typologie des effluents et amélioration des outils Azofert et Azosystem portés par le RMT</li> <li>• Valorisation scientifique du projet :</li> </ul>
INRA SAS Quimper/Rennes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2 et 4 et mise en œuvre des travaux : élaboration d'une typologie des effluents d'élevage, amélioration de l'outil Azosystem porté par le RMT, calibration de la SPIR comme méthode de détermination rapide de la composition des effluents d'élevage</li> <li>• Co-coordination des volets 1, 2.3 et 4.1</li> <li>• Co-encadrement de stagiaires ingénieurs sur le volet 2.3</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
INRA Bordeaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1 et 4 et participation aux travaux : élaboration d'une typologie des effluents d'élevage, amélioration de l'outil Régifert porté par le RMT</li> <li>• Valorisation scientifique du projet</li> </ul>
LDAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2 et 4 et mise en œuvre des travaux : élaboration d'une typologie des effluents d'élevage, amélioration des outils Azofert, Régifert et Azosystem portés par le RMT, calibration de la SPIR comme méthode de détermination rapide de la composition des effluents d'élevage</li> <li>• Co-coordination des volets 1, 2.3 et 4.1</li> <li>• Gestion opérationnelle d'un CDD de 8 mois pour le volet 2.3</li> <li>• Réalisation de prestations d'analyses chimiques et spectrales pour les volets 2.3 et 3</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
CIRAD Réunion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans le volet 2.3 et mise en œuvre des travaux : calibration de la SPIR comme méthode de détermination de la composition des effluents d'élevage et de prédiction directe in situ</li> <li>• Réalisation de prestations d'analyses chimiques et spectrales pour le volet 2.3</li> <li>• Gestion opérationnelle d'un CDD d'un mois pour le volet 2.3</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
Laboratoire SAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2,3 et 4</li> <li>• Réalisation de prestations d'analyses chimiques pour le volet 2.3</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
Institut de l'Élevage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2, 3 et 4</li> <li>• Co-coordination et mise en œuvre des travaux du volet 2.1 : modélisation de la composition des effluents d'élevage</li> <li>• Participation aux travaux du volet 2.3 : collecte des échantillons pour la SPIR</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>

<b>Partenaire</b>	<b>Rôle</b>
IFIP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2, 3 et 4</li> <li>• Co-coordination et mise en œuvre des travaux du volet 2.1 : modélisation de la composition des effluents d'élevage</li> <li>• Participation aux travaux du volet 2.3 : expertise du protocole de collecte des échantillons</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
ITAVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2, 3 et 4</li> <li>• Mise en œuvre des travaux du volet 2.1 : modélisation de la composition des effluents d'élevage</li> <li>• Participation aux travaux du volet 2.3 : collecte des échantillons pour la SPIR</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
ARVALIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2 et 4, participation aux travaux : élaboration d'une typologie des effluents et test avec les outils Azolis et Planilis d'Arvalis ; calibration de la SPIR comme méthode de détermination rapide de la composition des effluents d'élevage</li> <li>• Réalisations de prestations d'analyses spectrales pour le volet 2.3 (SPIR)</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
Cemagref	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertise dans les volets 1, 2.2, 3 et 4 du projet</li> <li>• Co-coordination et mise en œuvre des travaux des Volets 2.2 et 3 : prédiction de l'épandabilité des effluents d'élevage et étude de l'épandabilité de nouveaux produits sur l'épandabilité des effluents</li> <li>• Valorisation scientifique et technique du projet</li> </ul>
Chambre régionale d'Agriculture de Bretagne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans les volets 1, 2, 3 et 4, participation aux travaux : élaboration de la typologie des effluents, test avec l'outil Mes@parcelles de la CRAB et amélioration des outils, collecte des échantillons pour la SPIR</li> <li>• Co-coordination des Volets 2.2 et 3 et mise en œuvre des travaux d'acquisition de références sur des nouveaux produits et de transfert des connaissances vers les professionnels</li> <li>• Valorisation scientifique, pédagogique et technique du projet</li> </ul>
Chambre d'Agriculture du Loiret	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans le volet 3, participation aux travaux d'acquisition de références sur des nouveaux produits (organisation de l'étude spécifique des digestats de méthanisation agricole)</li> <li>• Valorisation scientifique, pédagogique et technique du projet</li> </ul>
Chambre d'Agriculture de Vendée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans le volet 3, participation aux travaux d'acquisition de références sur des nouveaux produits (digestats de méthanisation agricole)</li> <li>• Valorisation scientifique, pédagogique et technique du projet</li> </ul>
Chambre régionale d'Agriculture de Lorraine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport d'expertises dans le volet 3, participation aux travaux d'acquisition de références sur des nouveaux produits (digestats de méthanisation agricole)</li> <li>• Valorisation scientifique, pédagogique et technique du projet</li> </ul>

#### **III.4. Nature, composition et modalités de fonctionnement de(s) l'instance(s) de pilotage :**

Le comité de pilotage du projet sera constitué des différents partenaires du projet, du représentant de la mission DAR chargé du suivi du projet, ainsi que d'un représentant de l'ADEME, autre partenaire financier. Seront associées à ce comité de pilotage les représentants des deux RMT porteurs de ce projet : CA de l'Aisne, LDAR et CETIOM pour le « RMT Fertilisation et environnement » et l'IFIP pour le RMT « Elevages et environnement ». Ce comité de pilotage sera animé par l'ACTA. Il se réunira au moins une fois par an pour valider les résultats obtenus durant l'année écoulée et le programme de travail de l'année à venir. Il s'appuiera sur les travaux effectués et présentés par les partenaires du projet.

Les liens avec les deux RMT seront assurés par ailleurs par les différentes équipes partenaires du projet et aussi membres des deux RMT : ACTA, Arvalis Institut du Végétal, IE, IFIP, ITAVI, INRA, LDAR, CRAB.

#### **III.5 Modalités d'évaluation du projet**

L'évaluation du projet sera assurée par le comité de pilotage du projet, dont une des missions sera de contrôler si les objectifs sont atteints, notamment à travers les indicateurs déjà identifiés (cf. § III.1.3). Ce comité de pilotage pourra renforcer sa procédure d'évaluation en cours de projet. Par ailleurs, les travaux relatifs à ce projet donneront lieu à des publications scientifiques et techniques qui seront soumises à des comités de lecture et dont les avis auront valeur d'évaluation complémentaire.

## V – RESULTATS ATTENDUS ET SUITES DU PROJET

### V.1 Difficultés que pourrait rencontrer le projet et moyens d’y répondre :

Les difficultés que le projet pourrait rencontrer concernent :

- la modélisation de la composition des effluents d'élevage (volet 2.1) qui suppose de bien prendre en compte tous les facteurs de variation, de les hiérarchiser et d'intégrer leur indépendance. Toutefois, les partenaires disposent d'un solide savoir faire du fait des travaux de modélisation engagés depuis déjà quelques années.
- La mise en œuvre du volet 2.3 (Spectrométrie Proche Infra Rouge) avec notamment le prélèvement, la collecte et l'acheminement aux labos des 600 échantillons d'effluents. Néanmoins, tous les partenaires du développement seront mobilisés et un CDD sera recruté sur une longue période (9 mois) pour garantir le bon déroulement de l'opération.
- La question de la qualité de l'épandage des produits organiques (volets 2.2 et 3) : bien qu'elle soit essentielle, elle ne peut être traitée intégralement dans ce projet à travers l'étude du triptyque produit/machine/réglage. Les partenaires ont néanmoins choisi d'aborder cette thématique sous l'angle de la caractérisation physique en se limitant à une sélection d'effluents.

### V.2 Résultats attendus :

Les principaux résultats attendus du projet sont :

- La mise au point d'un modèle de prédiction de la composition à partir des données d'élevage et de l'épandabilité des effluents d'élevage, conformément au cahier des charges de paramétrage des outils de raisonnement de la fertilisation ou d'évaluation d'impacts environnementaux ;
- La production d'équations de prédiction des principaux paramètres de composition des effluents par la calibration de la Spectrométrie Proche Infra Rouge sur les valeurs de paramètres déterminés par les méthodes d'analyse chimique de référence. Le projet devrait ainsi valider la faisabilité technique de la SPIR comme méthode de détermination rapide de la composition des effluents d'élevage au laboratoire et *in situ* ;
- Des nouvelles références en termes de composition et d'épandabilité sur des produits issus de nouveaux procédés de traitements des effluents ou de nouvelles litières ;
- La constitution d'une base de données sur la composition et l'épandabilité des effluents issue du simulateur, des données SPIR et des références acquises sur les nouveaux produits ;
- Le reclassement des effluents d'élevage dans une typologie associée à une grille de lecture ;
- L'intégration des résultats dans le paramétrage des nouveaux outils de gestion des effluents et d'évaluation d'impacts environnementaux : Azofert, Régifert, Azosystem outils du RMT Fertilisation & Environnement ; outils Arvalis (Azolis, Planilis) ; outils des Chambre d'Agriculture (mes@Parcelles) ;
- L'actualisation des modèles de simulation des flux environnementaux portés par le RMT Elevages & Environnement et les partenaires du projet : MELODIE, MOLDAVI ;
- La rédaction et la diffusion de fiches « effluents d'élevage » et des méthodes mises au point pour améliorer la valeur agronomique et/ou l'épandabilité des produits ;
- L'organisation de réunions d'informations, de formations et de démonstrations sur les acquis du projet à destination des professionnels.

### V.3 Valorisation et communication prévues (sur le projet, sur les résultats) :

Trois types de valorisations sont notamment attendus sur le projet et ses résultats :

- Une **valorisation technique** à travers le rapport final du projet ainsi que dans le cadre de revues de vulgarisation (Cap Agro, Cap Elevage, Atout Porc Bretagne, TeMA) ou de journées techniques à destination des techniciens de développement et de laboratoire, des agriculteurs et des entreprises agricoles, sur : l'utilisation du simulateur de la composition des effluents ; la faisabilité de la technique SPIR pour prédire au labo ou directement au champ ou en bâtiment, la valeur des effluents ; les préconisations en termes d'épandage ou de transformation des produits ; Les données acquises permettront d'alimenter la mise à jour de la brochure inter-instituts « Fertiliser avec les engrais de ferme » que les partenaires envisagent à moyen terme.
- Une **valorisation scientifique** dans le cadre de conférences (journées GEMAS/COMIFER, journées de la Recherche Avicole et Porcine, Rencontres Recherche Ruminants ...) ou de revues scientifiques sur les avancées de la SPIR comme méthode de caractérisation de la composition des effluents. Les travaux du projet permettront aussi de définir de nouvelles méthodes d'analyses « multi-éléments » pour la description des effluents et de formaliser une démarche de caractérisation générique des effluents applicable à tout nouveau produit.

- Une **valorisation pédagogique** dans le cadre de formations et de démonstrations à destination des agriculteurs, des techniciens et enseignants en agronomie sur les aspects typologie des effluents et la prise en compte de la diversité de composition dans les outils de raisonnement de la fertilisation. Le simulateur de composition des effluents, la typologie et les différentes fiches techniques constitueront de nouveaux supports de formations en agronomie.

Par ailleurs, l'APCA, dans le cadre de sa mission « déchets » et via son réseau de diffusion nationale pourra valoriser les résultats du projet afin de promouvoir l'utilisation des produits organiques issus d'élevages par les agriculteurs non producteurs, les céréaliers notamment.

Enfin, dans le cadre de séminaires et/ou de comités stratégiques/d'orientation des RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement ainsi que sur leur site internet, des communications régulières sont prévues sur le projet et ses résultats à destination des organismes de la recherche, du développement et de l'enseignement agricole membres des RMT.

#### **V.4 Amélioration attendue et valorisation ultérieure des compétences :**

Ce projet permettra d'améliorer la caractérisation des effluents d'élevage et la prise en compte de leur diversité en termes de composition, de comportement dans le sol et d'épandabilité, dans tous les outils et modèles de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation d'impacts environnementaux.

Il permettra aussi de mettre au point une nouvelle technique de prédiction de la composition des effluents plus rapide et moins coûteuse que les analyses chimiques classiques et de tester la faisabilité d'une application *in situ*.

Enfin, la meilleure connaissance de certains produits organiques permettra d'orienter les choix en termes de transformation des produits en vue d'une meilleure qualité d'épandage et valorisation agronomique.

Ce projet contribuera ainsi à améliorer le conseil du technicien et l'utilisation des effluents d'élevage par les agriculteurs comme fertilisants complets des cultures en substitution partielle ou totale des engrais minéraux.

#### **V.5 Évolution attendue des compétences de l'organisme porteur du projet, ainsi que celles des partenaires associés :**

Ce projet associant de nombreux partenaires du développement et de la recherche permettra d'améliorer leurs expertises et leurs appuis dans le domaine, tant au niveau scientifique (INRA, LDAR, CEMAGREF, CIRAD Réunion) que technique et pédagogique (ACTA, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, Arvalis-Institut du Végétal, CRA de Bretagne, CA du Loiret, CA de Vendée, CRA de Lorraine). Au niveau scientifique, les avancées porteront essentiellement sur (i) le paramétrage de nouveaux outils dynamiques de raisonnement de la fertilisation ou de diagnostic environnemental concernant les effluents d'élevage, (ii) la modélisation des flux environnementaux dans les élevages (ii) l'application de la méthode SPIR à la caractérisation des effluents et (iii) l'étude de l'épandabilité et la caractérisation physique des effluents. Au niveau technique, les avancées porteront sur la modélisation de la composition des effluents et le conseil en termes de transformation et de valorisation agronomique des produits. Au niveau pédagogique, les avancées porteront sur le transfert de méthodes, d'outils et de connaissances quant à la prédiction de la valeur et la valorisation agronomique des effluents.

#### **V.6 Suites attendues du projet :**

L'étude sur la caractérisation physique des effluents d'élevage devra être prolongée par un projet transversal sur l'épandabilité des produits, les cinétiques d'évolution au cours du stockage et les évolutions nécessaires en termes de matériels ou de transformation des produits : ce projet envisagé par le Cémagref, pourra s'inscrire éventuellement à l'AAP Casdar 2010.

Par ailleurs, au vu des résultats concernant la caractérisation de nouveaux produits issus de traitement, il pourra être opportun d'étudier les cinétiques de minéralisation et d'évolution pour mieux appréhender l'efficacité agronomique.

Concernant la SPIR, les travaux de calibration pourront être élargis à d'autres catégories d'effluents (composts, fientes de volaille, lisiers de bovin) qui ne seront pas été pris en compte dans le présent projet faute de moyens. Par ailleurs, le test de prédiction directe de la SPIR *in situ* prévu dans ce projet devra être validé par la suite, par une application à une gamme de produits plus importante. Ces travaux futurs seront conduits par l'INRA.

Plus globalement, les suites du projet seront définies dans le cadre des RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement

## **VI Article destiné à une éventuelle publication**

Pour une même catégorie d'effluents d'élevage existe une diversité de composition qui n'est pas bien prise en compte dans les nouveaux outils de raisonnement de la fertilisation et d'évaluation des impacts environnementaux, basés sur une modélisation dynamique des transformations des matières organiques apportées aux sols. Or, les références nationales existantes concernant la caractérisation des effluents sont plus ou moins récentes et précises selon les types d'effluents et les filières animales, surtout avec l'évolution des bâtiments suite à la mise aux normes et le développement de nouveaux procédés de traitement. De même, l'épandabilité de certains produits et les transformations préalables qui sont nécessaires pour une meilleure qualité d'épandage sont mal connues.

Ce projet élaboré dans le cadre des RMT Fertilisation & Environnement et Elevages & Environnement a pour finalité d'aider les agriculteurs à optimiser les épandages d'effluents d'élevage par une meilleure prédiction de la composition, et d'améliorer le conseil prescrit par les laboratoires et les techniciens utilisateurs d'outils. Une meilleure valorisation agronomique des effluents permet en effet de réaliser des économies d'engrais chimiques tout en limitant les risques de fuite vers l'environnement.

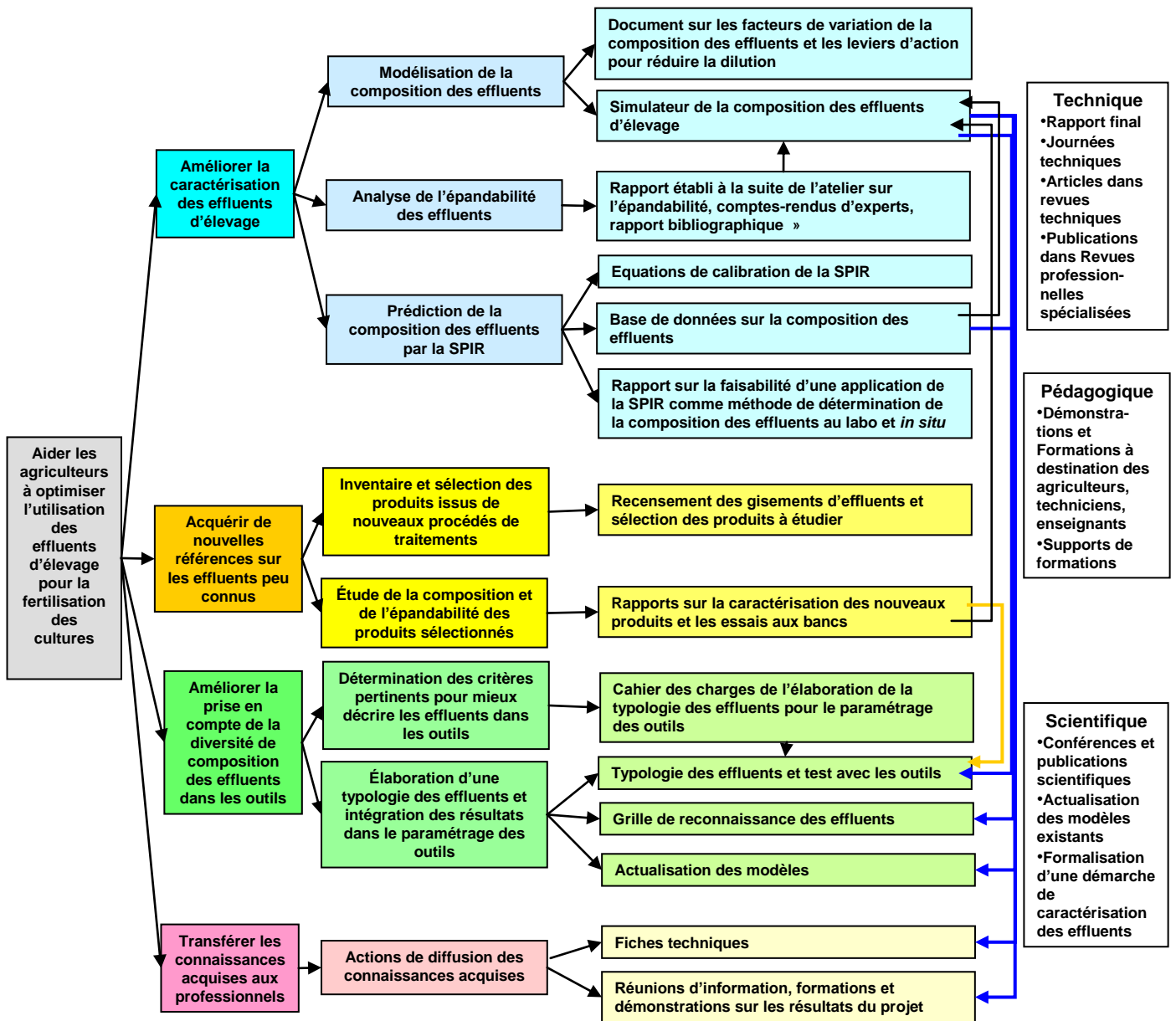
Un des objectifs du projet est de mettre au point un outil de prédiction de la composition des effluents à partir des données d'élevages et des modèles existants puis, de le compléter par une analyse de l'épandabilité. En parallèle, des travaux de calibration la Spectrométrie Proche Infra Rouge (SPIR) pour prédire les paramètres de composition des effluents seront conduits ainsi que le test de cette méthode directement au champ au dans le bâtiment. Ces données seront ensuite enrichies par des nouvelles références sur la composition et l'épandabilité des produits peu connus. Tous ces résultats serviront à élaborer une typologie des effluents d'élevage qui sera intégrée dans les outils de gestion des effluents et de simulation des flux environnementaux des RMT (Azofert, Régifert, Azosystem, MELODIE) et de partenaires du projet (Azolis, Planilis, mesP@rcelles, MOLDAVI). Pour transférer les connaissances acquises aux professionnels, des fiches techniques seront rédigées et diffusées, des réunions d'informations, des formations et des démonstrations seront aussi organisées.

Piloté par l'ACTA, ce projet s'appuiera sur l'expertise scientifique et technique de : ACTA, INRA (Rennes-Quimper, Laon, Bordeaux), LDAR, Institut de l'Elevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS Institut du Végétal, Cemagref, CIRAD Réunion, Laboratoire SAS, Chambres Régionales d'Agriculture de Bretagne et de Lorraine, Chambres d'Agriculture du Loiret et de Vendée.

Ce projet bénéficiera du soutien financier du Ministère de l'Agriculture de la Pêche (CASDAR) et de l'ADEME.

## **VII. Schéma "Finalités-Actions"**

<b>Finalité</b>	<b>Volets</b>	<b>Objectifs généraux / opérationnels</b>	<b>Résultats / Indicateurs</b>	<b>Modes de valorisation</b>
-----------------	---------------	---	--------------------------------	------------------------------





## Annexe 1

### La Spectroscopie Proche Infra Rouge (SPIR) par Virginie Parnaudeau et Thierry Morvan (INRA)

Les travaux relatifs à l'utilisation de la SPIR pour prédire la composition chimique des effluents d'élevage permettent de conclure à la très bonne qualité prédictive de la méthode appliquée sur des lisiers de porc et de bovins frais (non séchés), pour les teneurs en matière sèche, C, N total, N ammoniacal et phosphore (Sorensen et al, 2007). Reeves et Van Kessel (2000) ont également montré que la teneur en MS, N total et N ammoniacal de produits bovins (lisier et fumiers) peut être prédite de manière très précise par la SPIR, mais concluent à une moins bonne qualité prédictive des teneurs en P et K. Une étude (Bastianelli et al, 2007) a porté sur l'évaluation de cette technique (SPIR) pour la mesure des composés azotés du fumier de volailles. L'analyse d'une centaine d'échantillons a permis la mise au point de la technique SPIR (calibration de l'appareil). Les performances des calibrations obtenues ont été très bonnes, avec des relations entre mesures SPIR et mesures de référence (critères :  $R^2$  et erreur type) de 0.99 et 0.09 pour l'azote total ; 0.99 et 0.02 pour  $NH_3$  ; 0.97 et 0.32 pour l'acide urique ; 0.98 et 0.06 pour azote protéique ; 0.92 et 0.88 pour les matières minérales respectivement. Les calibrations obtenues ont servi à l'analyse de 245 échantillons prélevés dans 18 élevages (poulets et dindes), permettant l'étude des facteurs de variation de la composition des fumiers.

La SPIR peut aussi être utilisée pour décrire les processus d'humification, par la prédiction du rapport entre acides fulviques et humiques (Inbar et al), et pour caractériser la composition biochimique (soluble, celluloses, hémicelluloses, lignines), qui présente un intérêt fort dans la prédiction du devenir à court terme de la MO et de la disponibilité en N des produits organiques (Thuriès et al, 2002, Bruun et al, 2005, Morvan et al, 2005, Parnaudeau et al, 2004, Lashermes et al, 2009). Le coût élevé des analyses de composition biochimique constitue cependant un frein important à leur développement, et ce verrou pourrait donc être levé par le développement de l'approche spectrale.

L'intérêt de la SPIR ne se limite pas seulement à son utilisation comme méthode d'analyse rapide de la composition de produits organiques. Des travaux récents suggèrent en effet que la richesse de l'information spectrale peut être valorisée pour prédire la disponibilité en N d'un effluent (Sorensen et al, 2007), voire pour déterminer directement les paramètres cinétiques de la biodégradation de résidus végétaux dans le sol (Henriksen et al, 2007).

L'utilisation de la mesure spectrale à des fins prédictives requiert la mise en œuvre d'une démarche de modélisation statistique fondée sur la mise en relation des données spectrales avec les données de composition déterminées par les méthodes d'analyse de référence, et qui repose généralement sur l'application du modèle PLS (Partial Least Square). La calibration de la méthode et l'évaluation de la qualité prédictive du modèle nécessitent donc de disposer d'une base de données spectrale et de composition constituée d'un effectif important.

### Méthodes de caractérisation physique des effluents d'élevage par Emilie Dieudé-Fauvel (Cemagref)

Techniquement, c'est le triptyque matériau-machine-réglages qui définit la qualité des épandages. Pourtant, compte-tenu de la variabilité des matériaux à épandre, et notamment de l'hétérogénéité de certains effluents, à ce jour, l'épandabilité des produits est un critère flou, difficile à qualifier et à quantifier. De plus, il est difficilement envisageable de prédire la qualité de l'épandage à partir des seules mesures caractérisant les produits, sans tenir compte des caractéristiques de la machine. Ainsi, sur le terrain, à l'instar du document "Fertiliser avec les engrais de ferme", on distingue les effluents à épandre selon quelques critères simples mais arbitraires et trop imprécis sur le plan technique : ils sont liquides, mous, compacts, très compacts... Finalement, à ce jour, les préconisations en termes de choix d'épandeurs reposent donc essentiellement sur l'expérience et le recul des professionnels du domaine plutôt que sur une vraie caractérisation des matériaux.

Il existe pourtant des méthodes destinées à déterminer les **caractéristiques physiques** des effluents. Parmi elles, les mesures les plus fréquemment réalisées se limitent à la détermination de la densité et celle de la siccité, ce dernier critère étant souvent considéré comme une référence pour déterminer le choix du type d'épandeur (Corpen, 1997).

Pour obtenir des résultats un peu plus précis, différents outils de terrain ont été mis au point (Malgeryd et al., 1996) : le fluidimètre (destiné à mesurer la "fluidité" des effluents liquides), une boîte permettant d'estimer la capacité de colmatage des effluents liquides ("clogging meter"), et la boîte de caractérisation pour les fumiers (sorte de rhéomètre géant). Ces outils ont été complétés par la boîte de Casagrande (permettant de déterminer l'angle de frottement interne et la cohésion du produit), le Foëne (utilisé pour estimer le collant et la présence de longues fibres), le slump test, plus utilisé sur les boues (permettant d'estimer le seuil d'écoulement du produit), le pénétromètre et le test de compressibilité (Devaux et Héritier, 2007). Ces outils de terrain nécessitent des échantillons de taille relativement importante (plusieurs litres ou kilogrammes, jusqu'à  $1\text{ m}^3$  pour le colmatage) afin de contourner l'hétérogénéité des produits : ils donnent des résultats assez grossiers mais permettent d'estimer des tendances.

Parallèlement, des mesures plus fines peuvent être effectuées à l'aide de techniques de laboratoire comme la rhéologie et la texturométrie : lorsque c'est possible, ces outils permettent de mesurer un pouvoir collant, une tenue en tas, des propriétés d'écoulement (seuil, viscosité), une densité apparente, une siccité, etc. A cette échelle, les résultats sont plus précis mais les échantillons sont de plus petite taille (quelques centaines de grammes par mesure, voire moins). Pour contourner l'hétérogénéité des produits, il faudra alors effectuer plusieurs mesures et donc plusieurs prélèvements (ce qui souligne l'importance de l'échantillonnage pour un même produit) afin d'obtenir un résultat représentatif de l'effluent considéré. De plus, par tradition, les techniques de laboratoire ont jusqu'à présent été peu utilisées pour étudier le comportement des engrais de ferme. En s'appuyant sur des travaux antérieurs réalisés avec d'autres matériaux (cf. le manuel de caractérisation des boues à l'usage du praticien) et en cumulant les approches, il semble donc que de nombreuses pistes puissent être creusées pour développer les connaissances liées aux effluents d'élevage.

#### **Bibliographie :**

Physical properties of solid and liquid manures and their effects on the performance of spreading machines, Malgeryd J. Wetterberg C, J. Agric. Eng. Res. 1996.

Caractérisation des matériaux organiques, Devaux JF et Héritier P, Cemagref, 2007.

Guide de caractérisation rhéologique des boues résiduelles à l'usage des professionnels de la R&D et du terrain, Baudez JC, Dieudé-Fauvel E, Héritier P, 2007.