

Appel à projets d'innovation et de partenariat 2010

Dossier finalisé

Organisme chef de file : ACTA
Date de début de projet : 1^{er} janvier 2011
Durée : 36 mois
RMT: QUASAPROVE (affiliation)
N° de(s) la manifestation(s) d'intérêt
initiale(s) : 10054

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):

Etude de la multicontamination (mycotoxines et contaminants chimiques) des productions végétales de grande culture en conditions de plein champ

MOTS CLES : (5 au maximum)

Mycotoxines, éléments traces, oléagineux, céréales, multicontamination, guide de bonnes pratiques

ORGANISME CHEF DE FILE : (les renseignements suivants sont à fournir impérativement)

Nom : ACTA

Adresse : 149 rue de Bercy – 75595 Paris Cedex 12

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

Mail (où sera adressé l'avis du jury) : emilie.donnat@acta.asso.fr ; alain.mouchart@acta.asso.fr

CHEF DE PROJET : (les renseignements suivants sont à fournir impérativement)

le CV du chef de projet est à fournir en annexe

Nom, Prénom : DONNAT Emilie

Organisme employeur : ACTA

Adresse : 149 rue de Bercy – 75595 Paris Cedex 12

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

Mail : emilie.donnat@acta.asso.fr

CHEF DE PROJET ADJOINT :

Nom, Prénom : DENAIX Laurence

Organisme employeur : INRA UMR 1220 TCEM

Adresse : CR INRA Bordeaux – BP 81 – 33883 Villenave d'Ornon Cedex

Téléphone/fax : 05 57 12 25 10 / 05 57 12 25 00

Mail : denaix@bordeaux.inra.fr

Pièces à joindre au dossier :

- Lettres d'engagement des partenaires (une lettre de chacun des partenaires précisant notamment la participation financière prévue) En pièce jointe au dossier
- CV du seul chef de projet (sans photo) Annexe 2 du dossier
- 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 Annexe 1 du dossier
- Attestation du Comité décisionnel du RMT d'affiliation 'QUASAPROVE' En pièce jointe au dossier

I PRESENTATION GENERALE DU PROJET

I.1. Objectifs poursuivis : (soyez bref et précis)

Le projet vise à anticiper et gérer de manière optimale la multicontamination des grains ou graines en plein champ (céréales et oléagineux), à la fois par les mycotoxines de *Fusarium* et par les éléments traces (principalement As, Cd, Pb). Cette approche multicontaminants n'a jamais été conduite sur des mêmes parcelles. Elle permet de recueillir des données descriptives et explicatives des contaminations en plein champ et des effets croisés.

Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

1. **Définir, optimiser et standardiser des méthodes de prélèvement de végétaux pour une analyse multicontaminants** afin d'acquérir *in fine* des valeurs de référence sur les niveaux de contamination en éléments traces (As, Cd, Pb) et sur les contaminations croisées entre mycotoxines (trichothécènes, fumonisines) et éléments traces.
2. **Constituer et utiliser un réseau national et pérenne de parcelles de référence** pour le suivi de la qualité des productions végétales afin d'alimenter la base en données descriptives et explicatives et d'identifier les situations à risque (climat, sol, pratiques) pour une gestion optimisée des niveaux de contamination.
3. **Construire des indicateurs prédictifs précoces** des niveaux de contamination des cultures en plein champ afin de prévenir les niveaux de contamination pour une meilleure gestion et d'orienter précocement les lots récoltés selon leurs niveaux de contamination.

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

Enjeux : L'enjeu global du projet concerne la gestion des risques sanitaires pouvant avoir un impact sur la santé des consommateurs. La demande sociale d'une alimentation de qualité est de plus en plus forte. Compte tenu de la toxicité de certains des éléments traces ou toxines, leur concentration est réglementée pour l'alimentation humaine (R 1881/2006 – EC 1881/2006) et l'alimentation animale (EC 32/2002). L'agriculture doit alors produire des végétaux dont la concentration en contaminants dans les produits récoltés est inférieure à cette réglementation. De plus, le contexte est très propice à un durcissement de la réglementation concernant la teneur en éléments traces des produits agricoles à destination de l'alimentation humaine et animale, aussi bien au niveau national qu'eupéen. Par exemple, sur la base d'une étude épidémiologique récente, l'European Food Safety Authority (EFSA) a publié le 30 Janvier 2009, une recommandation spécifiant que l'exposition humaine au cadmium (Cd) par voie alimentaire ne devrait pas dépasser 2.5 µg de Cd par kilogramme de masse corporelle par semaine, seuil presque 3 fois inférieur au précédent proposé par l'OMS (7 µg Cd.kg⁻¹ de masse corporelle). Ces recommandations risquent donc de conduire à une diminution des valeurs limites dans les réglementations européennes.

La sécurité sanitaire est également une préoccupation du 'Grenelle de l'Environnement' dont un des objectifs est de "*renforcer les connaissances dans le domaine des liens entre l'environnement et la santé*".

Au niveau national, l'enjeu est donc d'anticiper en mettant en œuvre des pratiques permettant de minimiser la contamination afin d'assurer des productions végétales conformes à une réglementation plus exigeante dans un contexte où les pratiques agronomiques encouragées pourraient augmenter le risque de contamination (recyclage des matières organiques pour les métaux, diminution des traitements phytosanitaires pour les mycotoxines, réduction de l'irrigation pouvant entraîner des épisodes de stress hydriques et générant ainsi des conditions favorables à un risque accru de contamination par les mycotoxines).

Motivation : Les partenaires ont pour ambition d'unir leurs compétences et expériences autour de la création et de l'utilisation d'un nouvel « instrument agronomique » pérenne et national, à savoir le réseau de parcelles, sur lequel le programme de travail s'appuiera pour arriver à anticiper et gérer de manière optimale la multicontamination naturelle en plein champ des grains ou graines.

Pour cela, il est indispensable de s'appuyer sur une diversité de situations de culture, tant du point de vue des sols que du point de vue du climat, pour identifier des situations conduisant à un risque de contamination des productions végétales de grande culture et proposer des bonnes pratiques pour les limiter. Il n'existe aujourd'hui aucune étude rassemblant des données sur les mycotoxines, les éléments traces dans les végétaux et les paramètres climatiques et pédologiques potentiellement explicatifs, d'où la proposition de ce projet.

Les résultats obtenus seront valorisés à travers la conception d'un guide de bonnes pratiques agricoles répondant aux attentes des agriculteurs en termes de conseil et d'accompagnement.

I.3. Présentation des actions

Les travaux menés dans le cadre de ce projet feront l'objet d'une action unique découpée en cinq volets complémentaires.

L'objectif central du projet est d'identifier des situations conduisant à un risque de contamination des productions végétales de grande culture et de proposer des bonnes pratiques pour les limiter. Pour cela, il est indispensable de s'appuyer sur une diversité de situations de culture, tant du point de vue des sols que du point de vue du climat. Les hypothèses de travail sont en effet que des paramètres climatiques et des paramètres pédologiques peuvent influencer sur le prélèvement des éléments traces et le développement des champignons mycotoxinogènes. Si l'impact des conditions climatiques sur le développement des *Fusarium* et la production de toxines est clairement établi, peu de données existent sur le poids du facteur pédologique. Le sol représente pourtant un réservoir important d'inoculum fusarien. De plus, il est possible que ces contaminations (éléments traces et mycotoxines) ne se développent pas indépendamment mais qu'une contamination par des éléments traces sensibilise le végétal à une attaque fongique et à la production de mycotoxines. C'est la raison pour laquelle le projet prévoit d'analyser conjointement les deux types de contaminants.

Les travaux s'appuieront sur un réseau de parcelles mis en place à l'échelle du territoire national à l'occasion de ce projet et distribué sur **un minimum de dix sites** (figure 1). Sur ces parcelles seront cultivées des céréales (maïs, blé dur et blé tendre) ou des oléagineux (tournesol, colza) dont des échantillons seront récoltés pour analyses. L'ensemble des cultures est concerné par la problématique éléments traces, seules les céréales sont concernées par la problématique mycotoxines.



Figure 1 : distribution des dix sites sur le territoire.

Or, il apparaît qu'il n'existe pas de protocole de prélèvement commun à toutes les productions permettant d'évaluer les différents types de contamination.

Le **volet 1** du projet consistera donc en la **définition, la validation et l'optimisation d'une méthode d'échantillonnage** des végétaux commune pour une analyse multicontaminants.

Le **volet 2** rassemblera les mesures effectuées sur les végétaux ciblés, les sols et les données climatiques dans une **base de données à vocation explicative**, construite en début de projet. L'analyse de ces données permettra de proposer des **relations statistiques** entre variables mesurées et **d'identifier les situations** conduisant aux contaminations les plus élevées.

Enfin, **en volet 3 et 4**, des **hypothèses explicatives des niveaux de contamination** seront testées et des **indicateurs seront déduits**. Au cours du **volet 3**, l'hypothèse d'un **effet d'un stress oxydatif** induit par la contamination en éléments traces du sol sur l'infestation des plantes par *Fusarium* et la contamination des grains en mycotoxines sera étudiée.

La seconde hypothèse suppose une relation entre la contamination précoce de la plante en élément trace ou en champignon mycotoxinogène et la contamination finale des grains. C'est pourquoi, **le volet 4** propose de

suivre, décrire et modéliser les cinétiques de prélèvement des éléments traces et de développement de *Fusarium in planta* sur quelques parcelles du réseau, en situations contrastées.

L'ensemble des informations collectées au cours de ce projet viendra **alimenter un guide de bonnes pratiques à destination des agriculteurs**, dont la rédaction sera réalisée au cours du *volet 5*.

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, CETIOM, ARVALIS-Institut du Végétal, Chambre Régionale d'Agriculture d'Aquitaine, Université de Pau et des Pays de l'Adour-LCABIE, ENITA de Bordeaux, EPLEFPA des Pyrénées-Atlantiques, INRA Centre de Bordeaux (UMR TCEM, UR MycSA, USRAVE, UE 1086 de Bordeaux), US Agroclim, UE 0802 d'agronomie de Toulouse, , UE 006 Fourrages et Environnement de Lusignan, UE Environnement et Agronomie d'Avignon, UE d'Epoisses, UE Domaine de Brunehaut de Mons, UMR 1095 GDEC Clermont-Ferrand.
- **Partenaires associés au comité de pilotage du projet :** ADEME, ENSAIA, INRA INFOSOL
- **Partenaires financiers :** Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (CAS DAR)

I.4.2. Préciser les modalités retenues pour le partenariat (par exemple : unité mixte technologique, réseau mixte technologique)

Le projet est soutenu par le RMT 'QUASAPROVE' (Qualité sanitaire des productions végétales de grande culture), pour lequel il revêt une importance stratégique puisque ce projet s'appuie sur « l'instrument agronomique » original proposé par le RMT et va venir enrichir les résultats obtenus dans les chantiers opérationnels du RMT. Une partie du partenariat fait partie du réseau.

I.4.3. Evolution du partenariat : (préciser si le partenariat a évolué entre la manifestation d'intérêt initiale et le projet déposé)

Suite à l'avis du jury, le partenariat a été élargi et ouvert :

- Afin d'élargir les conditions pédoclimatiques prospectées, **six unités expérimentales INRA** (UE 0802 d'agronomie de Toulouse, UE 1086 de Bordeaux, UE 006 Fourrages et Environnement de Lusignan, UE Environnement et Agronomie d'Avignon, UE d'Epoisses, UE Domaine de Brunehaut de Mons) ainsi que l'**UMR GDEC INRA-Université de Clermont Ferrand** sont venues rejoindre le projet pour renforcer le réseau de parcelles du RMT 'QUASAPROVE'.

- Les compétences des partenaires se sont aussi enrichies grâce aux spécialistes d'agroclimatologie de l'**US Agroclim** d'Avignon afin de mieux analyser les relations contamination/climat et proposer des scénarii d'évolution climatique sur les parcelles étudiées.

Ces nouveaux partenaires ne font pas partie du RMT 'QUASAPROVE'.

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. Préciser les autres volets, en expliquant le cadre, l'intitulé, l'organisme porteur, le nom du responsable. Préciser en quoi cela apporte un intérêt supplémentaire en termes de développement agricole et rural pour la partie présentée au présent appel à projet. Expliquer, en l'argumentant, la pertinence et l'intérêt du projet global au regard, d'une part, du sujet traité et d'autre part, du renouvellement souhaité des approches thématiques et des pratiques existantes.

Ce projet vient **en complément d'un projet « Sécurité sanitaire des aliments en Aquitaine »** déposé à l'appel d'offre 2010 du conseil régional Aquitain, coordonné par l'INRA et impliquant les autres partenaires aquitains du présent projet, labellisé par le pôle de compétitivité « Prod'Innov, produits et procédés innovants pour la santé ». Le projet « Sécurité sanitaire des aliments en Aquitaine » se focalise sur les processus fondamentaux expliquant l'apparition de la contamination et des méthodes innovantes pour les contrôler (mécanismes moléculaires de biosynthèse et de régulation de la synthèse de mycotoxines, processus de compétitions entre oligoéléments et éléments traces toxiques, etc.). Il est donc complémentaire du présent projet. De plus, cet appel d'offre ne finance que des thèses et de l'équipement. Le projet CAS DAR viendra co-financer la bourse de thèse prévue pour l'UPPA-LCABIE.

II- MOTIVATIONS ET INNOVATIONS

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

S'alimenter de manière saine et sûre fait partie des préoccupations permanentes tant des consommateurs que des pouvoirs publics. Les conclusions du Grenelle de l'environnement viennent renforcer la nécessité de mettre en œuvre des actions pour assurer la protection du consommateur contre les risques sanitaires liés à la contamination des produits de base de l'alimentation humaine et animale. Or, les études sur les niveaux de contamination de l'alimentation française montrent que les végétaux de grande culture, bruts ou transformés, constituent une voie importante de la contamination alimentaire par les mycotoxines et les éléments traces (Leblanc et al., 2004). Il est donc essentiel de comprendre les facteurs responsables de ces contaminations. Les connaissances sur les deux types de contamination ne sont pas de même niveaux.

Mycotoxines de *Fusarium* :

Des projets récents, RARE fusariotoxines (2003/2007) et Qualité Sanitaire des Aliments en Aquitaine (2004/2008), ont permis des avancées conséquentes sur **chacune des composantes de l'interaction tripartite champignon/plante/conditions agro-environnementales**, interaction qui conditionne les niveaux de toxines accumulées dans les grains de maïs et de blé récoltés. Rappelons que trois grandes familles de toxines (trichothécènes, zéaralénone et fumonisines) concernent les maïs français, et que seulement deux, trichothécènes et zéaralénone, contaminent les céréales à petits grains. Parmi ces avancées et concernant la flore fusarienne de l'épi, les espèces susceptibles d'être rencontrées sur les céréales françaises ont été répertoriées et les espèces majoritaires ont été caractérisées (toxines, pathogénie) (Pons *et al.*, 2010). Néanmoins, de nombreuses zones d'ombre subsistent sur l'épidémiologie des espèces fongiques et les conditions de toxino-génèses. Avec la mise au point récente des **outils moléculaires** d'identification et de quantification (Nicolaisen *et al.*, 2009), l'appréhension de l'ensemble des interactions entre espèces fongiques (intra et inter genres) devrait être facilitée. Ces outils maintenant opérationnels devraient également être très utiles pour suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace de la mycoflore présente dans les épis et étudier les évolutions et les tendances durables (producteurs de trichothécènes A vs B par exemple). Pour ce qui est de la composante plante, les études de modulation de toxino-génèse ont fortement suggéré l'existence d'une résistance à l'accumulation de toxines (Boutigny *et al.*, 2008). La validation *in planta* des mécanismes démontrés *in vitro* ainsi que les bases génétiques de cette résistance représentent de nouveaux défis scientifiques. Comme indiqué précédemment, les outils de quantification de flore en permettant d'apporter une réponse qualitative et quantitative à l'impact des **facteurs agro-environnementaux**, faciliteront l'élucidation des mécanismes générant cet impact et surtout la définition de pratiques à moindre risque. Au niveau des pratiques agronomiques, les différents facteurs influençant la production de toxines ont été identifiés et hiérarchisés (Champeil *et al.*, 2004) grâce notamment à la constitution **de base de données multi-partenaires**. Parmi les facteurs les plus influents sur les variations de teneurs en déoxynivalénol (DON) du blé, on retrouve l'inoculum qui est lui-même très dépendant de la nature, de la quantité et de la gestion des résidus de la culture précédente, la sensibilité variétale au moment de la floraison (avec la mise en évidence également de la possibilité de contamination dite tardive), et la protection fongicide anti-*Fusarium* (données ARVALIS-Institut du végétal). Des grilles de décisions permettant de limiter le risque agronomique en combinant ces différents facteurs ont été constituées, diffusées et sont maintenant en application auprès des techniciens et des producteurs, le but étant d'appliquer les bonnes pratiques agronomiques afin de limiter le risque de production de toxines et de respecter la réglementation en application depuis 2006. Ces avancées concernent principalement le cas du déoxynivalénol sur blé tendre ainsi que des fusariotoxines du maïs (déoxynivalénol, zéaralénone, fumonisines). Des travaux de modélisation incluant des facteurs agronomiques et climatiques ont été effectués, conduisant à des résultats le plus souvent relativement peu satisfaisants. L'application de modèles publiés établis dans d'autres pays n'a pas conduit à de meilleurs résultats, démontrant bien la complexité et la difficulté de cette question. **Pour progresser dans la prédiction et la modélisation du risque de contamination, la voie à explorer repose maintenant dans l'étude de l'interaction tripartite champignon/plante/conditions agro-environnementales par une approche globale et ce, à l'aide des outils récemment mis au point de caractérisation de la mycoflore, sur des échantillons récoltés en conditions de plein champ.**

Eléments traces :

Les éléments traces sont naturellement présents dans les sols car ils proviennent en partie de la roche. De plus, les sols agricoles des pays industrialisés sont soumis à une pollution diffuse aux éléments traces du fait des retombées atmosphériques, d'intrants agricoles (engrais, produits phytopharmaceutiques, effluents d'élevage) et du rôle qui leur est alloué pour valoriser certains déchets urbains, tels que les boues de station d'épuration. Pour

les éléments traces métalliques, le sol est un milieu accumulateur (Robert, 1995 ; Baize, 1997). Un réseau national de mesures (RMQS : Réseau de Mesure de la Qualité des Sols) a ainsi été mis en place (Unité de service INRA INFOSOL Orléans) afin de suivre spatialement et temporellement la contamination diffuse. Il montre que ce niveau de contamination peut ne pas être négligeable dans certaines régions. L'accumulation des éléments traces dans les sols résulte en partie de la présence de ligands forts tels que les matières organiques. La pérennité de ce processus de stockage est actuellement mal connue et certains auteurs pensent qu'il s'agit d'une « bombe à retardement » (time bomb concept), les sols se chargeant en éléments traces tant que les complexes avec la matière organique sont stables (Chang et al., 1997). Leur minéralisation, pouvant intervenir avec une augmentation de la température du sol ou des cycles accrus de sécheresse/réhumectation, conduirait à une libération des éléments traces préalablement stockés. Dans un contexte de réchauffement climatique global, il semble important d'intégrer les effets des conditions climatiques sur la biodisponibilité des éléments traces. Des travaux menés au laboratoire montrent que, suivant les sols et les éléments, la biodisponibilité des métaux peut varier d'un facteur 8 entre 10°C et 30°C (Cornu et al., 2008). Cependant, **aucune expérimentation en conditions de plein champ n'a cherché à analyser une variation de biodisponibilité en fonction de paramètres climatiques.**

Sauf dans le cas de contaminations atmosphériques élevées, il semble que la majorité des éléments traces accumulés dans les grains de céréales proviennent du sol (Smolders, 2001). Mais la totalité des éléments présents dans le sol n'est pas disponible pour les végétaux. De nombreuses études ont démontré qu'il n'y a **aucun lien direct entre la teneur totale en éléments traces du sol et la concentration dans les végétaux**, notamment les concentrations dans les grains de céréales ou les graines oléagineuses (Grant et al., 1998). Pour qu'un élément trace soit absorbé par un végétal, il faut qu'il soit libéré de la matrice solide du sol (dont la matière organique) et qu'il passe en solution. Des paramètres tels que le pH, la teneur en matières organiques jouent un rôle plus important sur la biodisponibilité que la teneur totale : l'acidification des sols accroît la biodisponibilité des métaux alors qu'une augmentation de la teneur en matières organiques va limiter leur mobilité et biodisponibilité (McLaughlin et Singh, 1999). Le défi est donc de prédire la concentration des éléments traces dans les productions agricoles à destination de l'alimentation humaine. Il n'existe actuellement pas de modèle de prélèvement pour les éléments traces, alors qu'il en existe pour les éléments majeurs tels que l'azote et le phosphore. Ceci est en partie dû au manque de connaissances quant à la cinétique de prélèvement et de répartition des éléments traces dans le végétal en croissance. **Il est donc crucial d'obtenir des références en conditions de plein champ.**

Les végétaux accumulent différemment les éléments traces. La céréale la moins accumulatrice en métaux semble être le maïs et parmi les espèces de grande culture les plus accumulatrices en cadmium dans leurs grains ou graines sont le tournesol, le lin, le riz et le blé dur (Wolnik et al., 1983, Wolnik et al., 1985,). Les plans de surveillance ont ainsi mis en évidence des teneurs parfois proches des valeurs réglementaires (données Cetiom). Certains pays ont cartographié les teneurs en éléments traces dans certains végétaux cibles, comme le blé en Grande-Bretagne. Il a en particulier été démontré que 2 à 4 % des lots de blé dépassent une valeur seuil de 0.2 mg/kg dans certaines régions (Chaudri et al. 1995). Pour la France, il n'existe qu'une seule étude sur du blé qui a analysé les distributions en éléments traces dans différents sols et qui montre que 10 % des lots de blé dépassent la valeur seuil de 0.2 mg Cd/kg sans qu'aucune explication simple ne puisse être trouvée (Sappin-Didier et al., 2002).

De plus, des différences importantes s'expriment entre différentes variétés d'une même espèce. Pour le cadmium, on constate des variations d'un facteur 2 à 6 pour le blé tendre (Vinkel, 2001) et 3 à 4 pour le blé dur (Baize et al., 2003) ou d'un facteur 4 pour le grain de tournesol (Li et al., 1995). Mais ces gammes de variations sont dépendantes des sols et des conditions climatiques, sans qu'une explication claire n'ait pu être donnée. En effet, les quelques études faites sur le long terme montrent des fluctuations jusqu'à un facteur 3 entre différentes années. L'effet climatique est suspecté mais n'a pas été démontré clairement.

Ainsi pour les éléments traces, il manque actuellement d'études de référence prenant en compte, non seulement le sol, mais aussi les paramètres climatiques et les pratiques agricoles pour expliquer les niveaux de contamination variables observés dans les grains et graines de productions végétales de grande culture.

D'autre part, d'un point de vue de la traçabilité des productions, il est nécessaire de disposer d'outils permettant à la fois la détermination de la qualité (en terme de prévention d'une contamination avant commercialisation) et un suivi à long terme impliquant un stockage (DGA 2007). Toutes les étapes de cette chaîne d'évaluation doivent être maîtrisées afin de garantir un résultat juste, précis, représentatif et comparable. Cependant, aucun référentiel normatif n'existe en matière de plan d'échantillonnage et de prélèvement des végétaux. Certaines méthodes communautaires décrivent des procédures de contrôle des végétaux de l'échantillonnage à l'analyse (CE 796/2004 ou CE 401/2006). Mais elles sont souvent inapplicables sur le terrain (Veron-Delor 2007) et

spécifiques à un type de végétal ou de contaminant (Champeil 2004, Parat et al. 2008, INERIS 2005). Ainsi, chaque institut technique a établi son propre protocole pour le contrôle des productions de céréales ou d'oléagineux.

Comme les mycotoxines et les éléments traces sont des contaminants réglementés, il est important de comprendre et prédire, pour chacun d'entre eux, le niveau de contamination des cultures. Or, l'analyse de l'état de l'art montre que les avancées ne se sont pas faites à la même vitesse et les voies d'études choisies ont été différentes. Le tableau suivant résume les connaissances actuelles pour les différents contaminants :

	Mycotoxines	Eléments traces
Réseau de surveillance des productions végétales à l'échelle du territoire national	Existant	A créer
Effet des paramètres climatiques sur le développement de la contamination	Démonstré	A tester
Effet des propriétés du sol sur niveau d'infection fongique ou développement des contaminations	A tester	Démonstré
Outils d'aide à la décision	Existants mais non généralisables et à perfectionner	Inexistants
Indicateurs précoces	Inexistants	En développement

Il apparaît clairement que l'effort de connaissance ne s'est pas focalisé sur les mêmes points : pour les mycotoxines, l'effet des paramètres climatiques a été privilégié alors que pour les éléments traces, se sont les paramètres sols qui ont été étudiés préférentiellement.

Afin de pouvoir mieux progresser, il nous semble donc indispensable de suivre conjointement ces deux types de contaminants. Des suivis en conditions de plein champ, prenant en compte des conditions climatiques variables, seraient donc nécessaires pour mieux appréhender à la fois les transferts d'éléments traces et le développement de champignons mycotoxinogènes, pour évaluer le poids des facteurs sols et climat dans cette accumulation de contaminants, pour alimenter des modèles de prélèvement en construction, proposer des outils de prévention et de gestion pertinents et *in fine* pour concevoir un guide de bonnes pratiques agricoles afin de conseiller et d'aider les agriculteurs à limiter les risques de contamination.

Références

- Baize, D. (1997) Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France): INRA Editions).
- Baize, D. (2009) Cadmium in soils and cereal grains after sewage-sludge application on French soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1): 175-18
- Baize, D., Bellanger, L.& Tomassone, R. (2009) Relationships between concentrations of trace metals in wheat grains and soil. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (2): 297-312.
- Boutigny A-L., Richard-Forget F. and Barreau C. (2008) Natural mechanisms for plant resistance to *Fusarium* mycotoxins accumulation. *European Journal of Plant Pathology*, vol. 121, n°4, pp. 411-423.
- Champeil A, Doré T., Fourbet JF, 2004. *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains, *Plant Scienc*, vol. 166, n°6, pp. 1389-1415.
- Champeil A. (2004) Contribution à la compréhension des systèmes de culture sur l'infection des cultures de blé tendre d'hiver par la fusariose et la contamination des grains par les mycotoxines associées- Thèse de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon.
- Chang, A. C., Hyun, H. N.& Page, A. L. (1997) Cadmium uptake for Swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: Plateau or time bomb? *Journal of Environmental Quality*, 26 (1): 11-19.
- Chaudri, A. M., Zhao, F. J., McGrath, S. P.& Crosland, A. R. (1995) The cadmium content of british wheat grain. *Journal of Environmental Quality*, 24: 850-855.
- Cornu, J. Y., Denaix, L., Schneider, A.& Pellerin, S. (2008) Temporal variability of solution Cd²⁺ concentration in metal-contaminated soils as affected by soil temperature: Consequences on lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposure. *Plant and Soil*, 307 (1-2): 51-65.
- DGAL (2007) Direction Générale de l'alimentation- Note de service DGAL/SDQPV/N2007-8126: Programme national de biovigilance 2007-2008.

- Grant, C. A., Buckley, W. T., Bailey, L. D. & Selles, F. (1998) Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 78 (1): 1-17.
- INERIS (2005) Campagne de prélèvement autour du site sinistré de SBM formulation- Rapport d'étude DRC-05-71165/DESP- R01A, 30 août 2005.
- Li, Y. M., Chaney, R. L., Schneiter, A. A. & Miller, J. F. (1995) Genotypic Variation in Kernel Cadmium Concentration in Sunflower Germplasm under Varying Soil-Conditions. *Crop Science*, 35 (1): 137-141.
- McLaughlin, M. J. & Singh, B. (1999). *Cadmium in soils and plants*: Kuwer Academic Publishers).
- Nicolaisen M., Suproniene S., Nielsen L., Lazzaro I., Spliid N., Justenen A. (2009) Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *Journal of microbiological methods*, vol. 76, n°3, pp. 234-240.
- Parat C., Lespes G. et Potin-Gautier M. (2008) Optimisation et validation d'un protocole d'échantillonnage et de préparation d'échantillons de graines de maïs et de tournesol en vu du suivi d'éléments trace métalliques. Rapport intermédiaire CASDAR 2007-09.
- Pons S., Pinson-Gadais L., Atanasova-Penichon V., Barreau C., Carollo P., Roucolle J., Sehabiague P., Richard-Forget F., (2010) Use of molecular and biochemical tools to assess the mycotoxins contents in French corn. *Phytopathology*, soumis.
- Robert, M. (1995) Le sol, une interface dans l'environnement: les grands types de pollution mettant en cause le sol. *Sciences*, 95 (1): 23-29.
- Sappin-Didier V., Brayette S., Jadé C., Baize D., Masson P., Mench M. (2002) Phytodisponibilité du cadmium pour le blé. Rôles des paramètres pédologiques et agronomiques. In *Les éléments traces dans les sols* ; Baisez D. et Tercé M. Ed. INRA Editions, 481-504.
- Smolders, E. (2001) Cadmium uptake by plants. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 14 (2).
- Veron-Delor (2007) *Mycotoxines fusariennes des céréales*, Arcachon, 11-13 septembre 2007.
- Vinkel, B. (2001) Analyse de la composition en éléments traces dans le grain de variétés de blé - Programme QUASAR, ISPED: 86.
- Wolnik, K. A., Fricke, F. L., Capar, S. G., Braude, G. L., Meyer, M. W., Satzger, R. D. & Bonnin, E. (1983) Elements in Major Raw Agricultural Crops in the United-States .1. Cadmium and Lead in Lettuce, Peanuts, Potatoes, Soybeans, Sweet Corn, and Wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31 (6): 1240-1244.
- Wolnik, K. A., Fricke, F. L., Capar, S. G., Meyer, M. W., Satzger, R. D., Bonnin, E. & Gaston, C. M. (1985) Elements in major raw agricultural crops in the United States. 3. Cadmium, lead, and eleven other elements in carrots, field corn, onions, rice, spinach, and tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33 (5).

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

La **demande sociale** d'une alimentation saine conduit à produire des productions végétales à faible teneur en contaminants. C'est également une **nécessité économique** afin de répondre à des cahiers des charges d'industriels ou des réglementations internationales parfois plus strictes que la réglementation nationale en vigueur et de se préparer ainsi à des évolutions futures de la réglementation.

Sur le plan **technique**, le présent projet permettra d'identifier des situations critiques pour l'accumulation de contaminants ou la production de toxines et de proposer des « bonnes pratiques » pour limiter ces contaminations à travers un guide pratique. De plus, il proposera une méthode de prélèvement des végétaux pour l'étude de la multicontamination, ce qui n'existe pas aujourd'hui, et qui permettra, à partir d'un seul échantillonnage au terrain, une évaluation exhaustive de la qualité sanitaire des productions végétales de grande culture.

Enfin, d'un point de vue **opérationnel et scientifique**, il permettra de tester, en conditions réelles, des hypothèses issues d'expériences de laboratoire, sur le développement des espèces fusariennes toxigènes et la biosynthèse des toxines ou sur l'accumulation des éléments traces dans les organes récoltés.

En outre, d'un point de vue **environnemental**, le projet permettra de mettre en évidence de potentiels effets des conditions climatiques, qui pourraient être exacerbés à l'avenir par des conditions climatiques fluctuantes.

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

Il n'existe pas en France de réseau de suivi de la qualité des productions végétales et aucune étude n'a traité, sur les mêmes échantillons, des contaminations conjointes par les éléments traces et les mycotoxines. Cette analyse **multicontaminants** est à ce titre une expérience originale en soi.

Se basant sur une étude **plein champ à moyen terme**, ce projet permettra de prendre en compte les variabilités interannuelles ainsi que l'**effet climatique**, qui sont rarement traités.

La plupart des expériences sur ces contaminants ont été réalisées en conditions contrôlées, souvent avec une inoculation ou une contamination artificielle du milieu. L'étude en **conditions réelles de culture**, à des niveaux réalistes de contamination diffuse, bien que complexes à analyser, est plus pertinente pour répondre vraiment à la demande du milieu agricole.

Enfin, la majorité des études se contente d'une analyse en fin de culture. Or, pour comprendre les mécanismes et agir au mieux pour les contrôler, il nous semble essentiel de **suivre la cinétique de contamination**, tant pour les mycotoxines que pour les éléments traces.

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

ACTA : Ce projet est en lien direct avec l'action 7 « Améliorer et caractériser la qualité des produits » du programme technique 2010 et prolonge les travaux du RMT QUASAPROVE que l'ACTA porte et anime.

ARVALIS-Institut du Végétal : Le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche finance ARVALIS –Institut du Végétal via le Programme National de Développement Agricole 2009-2013. Une opération de ce programme concerne « la maîtrise de la qualité sanitaire des grains et pommes de terre », incluse dans l'action « Créer des outils de prévention et maîtrise des risques ». Par rapport à ce programme, les approches multicontaminants et cinétique de contamination de ce projet sont complètement originales. Ce projet permet de nouer davantage de nouveaux partenariats, dans le prolongement des réflexions conduites dans le RMT QUASAPROVE. Ce projet est donc bien complémentaire et distinct du PNDA.

Le CETIOM reçoit un financement de la part du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche s'appuyant sur le Plan National de Développement Agricole. Le programme pluriannuel du CETIOM 2009-2013 comprend neuf actions qui ne bénéficient pas toutes de financement en 2009, dont l'action 5.3 "maîtriser la qualité et la sécurité des filières". Cette action comprend des travaux concernant la qualité sanitaire des oléagineux.

III PROGRAMME DE TRAVAIL ET ORGANISATION

III.1. Présentation des actions :

Le projet ne comprend qu'une seule action mais s'organise en cinq volets complémentaires.

Volet 1 : Définir, valider et optimiser un protocole et un guide d'échantillonnage des végétaux communs pour une analyse multicontaminants

Objectif : Développer et valider un outil opérationnel d'échantillonnage et de stockage commun pour le suivi multicontaminants (mycotoxines et éléments traces) de la parcelle.

Il s'agira plus spécifiquement de définir :

- le protocole d'échantillonnage : prélèvement et constitution d'un échantillon,
- un mode de conservation, valable à moyen et long terme, permettant une utilisation de l'échantillon *a posteriori*.

Méthode :

Protocole d'échantillonnage :

Afin d'éviter toute contamination ou perte, de garantir la reproductibilité du prélèvement et d'obtenir un échantillon composite homogène et représentatif de la production végétale sur une parcelle, les modalités suivantes seront définies:

- **prélèvement des végétaux sur une parcelle** (nombre de plantes, répartition sur la parcelle, précautions particulières lors de la manipulation, nature des contenants...),
- **constitution d'un échantillon** (réduction de la prise d'essai initiale, traitement tel qu'égrenage, mélange, homogénéisation...).

Mode de conservation :

Afin de préserver les contaminants (nature et concentration) initialement présents dans l'échantillon constitué jusqu'à l'analyse, les **modalités de conditionnement** (type de contenant, volume, séchage...) et de **stockage** (température, lumière, humidité...) seront également définies. Pour cela, un recensement ainsi qu'un bilan technique seront d'abord réalisés à partir des différents protocoles utilisés par les instituts techniques et de leur expérience en matière d'échantillonnage. De cette première étape, certains protocoles spécifiques (à un type de contaminant et un type de végétal) seront sélectionnés et un **protocole type multicontaminants**, si possible applicable aux céréales et oléagineux, sera défini. Ce protocole type sera testé et optimisé au champ par le biais de **tests statistiques** de comparaison sur :

- différentes parcelles du réseau : au moins une parcelle sur trois sites différents ayant soit des sols de caractéristiques variées (par exemple argileux, calcaire), soit des niveaux de contaminations très

différents,

- deux végétaux : typiquement dans un premier temps, maïs et tournesol,
- deux types d'organes (afin d'ouvrir éventuellement à d'autres végétaux) : parties consommées et autres parties aériennes (tige et feuille).

Le protocole d'échantillonnage et de stockage mis au point devra détailler toutes les étapes de manipulations entre le prélèvement au champ et l'analyse en laboratoire. Il sera conçu afin de faciliter la traçabilité des manipulations effectuées sur les échantillons.

Les connaissances acquises dans ce volet seront réinvesties dans les autres volets du projet dès les premières campagnes de prélèvement. *In fine*, le protocole validé conduira à **l'établissement d'un guide utilisable par les professionnels**. Il permettra également de définir le **cahier des charges pour la construction d'une future banque d'échantillons végétaux**.

Partenaires impliqués dans le volet 1 : UPPA-LCABIE, USRAVE, UMR MycSa, UMR TCEM, ENITAB, CETIOM, ARVALIS-Institut du Végétal

Organisation :

Ce volet sera piloté par l'UPPA-LCABIE et l'USRAVE. Les coordinatrices scientifiques seront Martine Potin-Gautier, Gaëtane Lespès et Mireille Barbaste. Les correspondants techniques : CDD IE recruté pour le projet (UPPA-LCABIE), Patrice Soulé (USRAVE)

Calendrier :

1ère année :

Recensement des protocoles existants (spécifiques) et élaboration *a priori* d'un protocole multicontaminants type

- Campagne n°1 de prélèvement maïs et tournesol sur deux parcelles du réseau
- Evaluation de la reproductibilité par étape des protocoles retenus
- Proposition d'un protocole multicontaminants (pour maïs et/ou tournesol)

2ème année :

- Campagne n°2 de prélèvement maïs et tournesol au champ : validation sur la totalité du réseau
- Evaluation de la justesse, de la reproductibilité et de la représentativité du protocole multicontaminants

3ème année :

- Campagne n°3 de prélèvement : validation sur toutes les espèces végétales suivies
- Evaluation de la robustesse du protocole multicontaminants
- Synthèse des résultats et élaboration du guide d'échantillonnage
- Elaboration du cahier des charges pour la réalisation de la future banque d'échantillons végétaux

Indicateurs de suivi : Synthèse des protocoles d'échantillonnage existants et proposition d'un protocole multicontaminants, tests de reproductibilité, représentativité et robustesse de ce protocole, rapports d'avancement des travaux et d'évaluation des protocoles testés, réunions de travail.

Indicateurs d'évaluation :

- Rapport de synthèse en vue de l'élaboration d'un guide d'échantillonnage et de stockage
- Validation d'un protocole multicontaminants d'échantillonnage et de stockage
- Elaboration du cahier des charges pour la réalisation d'une future banque d'échantillons végétaux

Volet 2 : Construire, alimenter et analyser une base de données descriptives et explicatives des contaminations en éléments traces et en mycotoxines de *Fusarium* des grains ou graines en plein champ pour en extraire des situations à risque ou des facteurs explicatifs.

Objectif : Recenser les niveaux de contamination des cultures en conditions de plein champ et identifier des facteurs explicatifs du risque de contamination.

Méthode :

Dix sites correspondant à des unités expérimentales de l'INRA, ferme expérimentale de lycées agricoles ou stations expérimentales des instituts techniques ARVALIS-Institut du végétal et CETIOM ont été sélectionnés afin de rendre compte de diversités climatiques et pédologiques. Sur chacun de ces sites, une à deux parcelles seront identifiées et suivies sur toute la durée du projet.

Les différentes parcelles du réseau seront **caractérisées du point de vue climatique, pédologique, agronomique**. Ainsi, les données climatiques sur la dernière décennie seront collectées à partir de la base de

données CLIMATIK gérée par l'unité Agroclim. Les sols seront prélevés selon la méthode du réseau de mesure de la qualité des sols en début de projet et analysés pour leurs caractéristiques physicochimiques classiques (pH, texture, CEC, teneur en matières organiques, teneurs en oxydes de fer et de manganèse, teneur en carbonates, phosphates extractibles), leur teneurs en éléments traces (As, Cd, Pb, Cu, Zn) totales et extractibles, la nature et quantité de la flore fusarienne toxigène contenue dans les résidus de culture encore présents (analyse QPCR espèces toxigènes spécifique). Une **enquête** viendra compléter cette approche afin de recenser toutes les interventions et pratiques culturales sur la parcelle. Tous les intrants seront collectés et analysés pour leurs teneurs en éléments traces afin de calculer les flux à la parcelle.

Sur l'ensemble du réseau, nous choisirons lors d'une réunion en juin de l'année précédant la mise en culture, les espèces et variétés qui seront suivies afin d'avoir la plus grande homogénéité sur l'ensemble du dispositif. L'objectif est que, durant les trois années du projet, nous puissions acquérir des **données sur le blé (dur et tendre), le maïs, le tournesol et le colza sur l'ensemble du territoire français**. Pour compléter le réseau, nous solliciterons ponctuellement des **réseaux régionaux** tels que le réseau de suivi des mycotoxines de parcelles en systèmes innovants économes en intrants de la chambre régionale d'agriculture d'Aquitaine, qui nous permettra d'approcher des pratiques diversifiées telle que l'agriculture biologique. Les végétaux seront prélevés au champ, selon le protocole mis au point au volet 1, au stade récolte pour les grains et graines. Un stade plus précoce sera également prélevé (plantule pour les éléments traces et épis à 30 jours avant récolte pour les mycotoxines) afin de disposer d'indicateurs précoces et analysés pour leurs teneurs en éléments traces par l'USRAVE et pour leur teneurs en mycotoxines par l'UR MycSA.

Ces différentes données seront **incorporées dans une base de données** Access construite pour le projet. Cette base de données sera également alimentée par les données recensées dans la littérature et les données acquises dans des projets précédents. Elle sera gérée par l'UMR TCEM.

Après la première campagne, une **première analyse de données** nous permettra (1) d'identifier les situations ayant conduit à des valeurs les plus élevées et (2) de tester des hypothèses entre les facteurs du milieu et l'apparition des contaminations. Cette analyse sera effectuée chaque année, après chaque campagne de récolte et permettra de valider les résultats obtenus en cours de projet. Ces résultats viendront alimenter le volet 5. La première campagne nous permettra également de sélectionner les sites qui seront étudiés de manière plus approfondie en volet 4.

Si des corrélations sont mises en évidence entre quantité d'ADN des *Fusarium* toxigènes mesurées 30 jours avant récolte et teneurs en toxines des grains matures, des **indicateurs précoces de risque mycotoxique, spécifiques à chaque famille de fusariotoxines (trichothécènes, fumonisines)**, pourront être définis et diffusés. Leur exploitation permettra une gestion précoce et optimisée des lots récoltés selon les niveaux de contamination des grains.

Participants impliqués dans le volet 2 : UMR TCEM, UR MycSa, US Agroclim, USRAVE, CETIOM, ARVALIS-Institut du végétal, Chambre Régionale d'Agriculture d'Aquitaine, UPPA-LCABIE, ENITAB, Lycée agricole de Pau-Montardon, UE 0802 d'agronomie de Toulouse, UE 1086 de Bordeaux, UE 006 Fourrages et Environnement de Lusignan, UE Environnement et Agronomie d'Avignon, UE d'Epoisses, UE Domaine de Brunehaut de Mons, UMR 1095 GDEC Clermont-Ferrand.

Organisation :

Ce volet sera piloté par l'UMR TCEM. La coordinatrice scientifique sera Laurence Denaix et Stéphane Thunot le correspondant technique.

Calendrier :

Une réunion d'harmonisation sera prévue chaque année en juin pour planifier les cultures, une réunion de synthèse des résultats interviendra en janvier pour présenter les résultats de l'année précédente. Ce volet durera pendant les trois années du projet.

1ère année :

Choix des parcelles. Prélèvement et analyse des sols. Culture sur tous les sites d'une céréale et/ou d'un oléagineux.

Prélèvements et analyses. Identification des situations extrêmes. Choix des parcelles pour le volet 4.

Construction de la base de données et alimentation avec des données de la bibliographie.

2ème année :

Intégration des données de la culture de la première année dans la base de données. Analyses statistiques des relations entre les données plantes/sols/climat. Propositions pour le volet 5.

Culture sur tous les sites d'une céréale et/ou d'un oléagineux. Prélèvements et analyses.

3^{ème} année :

Culture sur tous les sites d'une céréale et/ou d'un oléagineux. Prélèvements et analyses.

Intégration des données de la culture de la deuxième année dans la base de données. Analyses statistiques des relations entre les données plantes/sols/climat. Vérifications des hypothèses de la première analyse de données. Identification des situations à risque. Propositions pour le volet 5.

Synthèse des travaux.

Indicateurs de suivi : Nombre d'échantillons analysés, alimentation de la base en données, nombre de données collectées dans la base de donnée, réunions de travail.

Indicateurs d'évaluation :

- Notes de synthèse annuelle des résultats par site
- Note de synthèse nationale pour le volet 5
- Rapports d'analyse de la base de données
- Identification de situations à risque

Volet 3 : Tester l'effet d'un stress induit au niveau de la plante par la contamination métallique du sol sur la contamination des grains en mycotoxines de *Fusarium*

Objectif : Tester si une contamination par les éléments traces conduit à une sensibilisation des végétaux à l'installation de *Fusarium* et la production de mycotoxines.

Deux éléments sont à l'origine de cette hypothèse : (1) La présence de métaux dans les grains, même à l'état de traces, est potentiellement un facteur modulateur des voies de toxinogénèse (Vasavada et Hsieh, 1990 ; Pinson-Gadais et al., 2008), (2) La présence de métaux dans les sols induit un stress oxydant dans les tissus végétaux des blés cultivés sur ce sol et la biosynthèse des trichothécènes est fortement affectée par les espèces oxydantes (Pons et al., 2007).

Méthode :

Ce volet sera conduit sur du blé. Sur des placettes de sol sableux présentant **différents niveaux de contamination croissants en métaux** suite à un épandage répété de boues de station d'épuration, une espèce de blé **sensible à *Fusarium*** sera cultivée et inoculée à la floraison par une espèce de *Fusarium graminearum* productrice de trichothécènes (souche collection MycSA). Avant inoculation, des échantillons de blés seront prélevés pour doser dans les parties aériennes des marqueurs du stress oxydant. Les grains récoltés sur chaque placette seront **analysés pour leur teneur en éléments traces et leur teneur en trichothécènes** (analyse LC/MS) et comparés.

Si l'hypothèse de travail est vérifiée, il s'agira de **déterminer le seuil de contamination en éléments traces à partir duquel cette sensibilisation apparaît** afin de vérifier si ce niveau est observé dans certains sols cultivés français. Nous nous appuierons alors sur le réseau de parcelles du volet 2.

Participants impliqués dans le volet 3 : UR MycSa, UMR TCEM, UE 1086 Bordeaux, ARVALIS-Institut du Végétal.

Organisation : Ce volet sera piloté par l'UR MycSA, coordonné par Florence Forget-Richard. Laetitia Pinson-Gadais et Marie-Noëlle Verdal-Bonnin seront les correspondantes techniques de cette action.

Calendrier :

1^{ère} année :

Choix des parcelles. Prélèvement et analyse de sol. Culture de blé tendre. Suivi de la biodisponibilité des métaux dans les sols en cours de culture. Prélèvement d'échantillons végétaux avant inoculation pour analyse des indicateurs du stress oxydant et des teneurs totales en métaux. Inoculation des blés autour du 15 Juin selon l'état d'avancement des cultures (au stade floraison). Après récolte, analyses des teneurs en mycotoxines et métaux totaux et interprétation réalisées sur une période de deux mois.

2^{ème} année

Nouvelle campagne d'expérimentation avec un déroulement identique à l'année 1 pour la validation des résultats en adaptant éventuellement la gamme de contamination prospectée.

Indicateurs de suivi : Suivi de la culture, prélèvements d'échantillons, nombre d'épis multicontaminés en métaux et trichothécènes, réunions de travail

Indicateurs d'évaluation :

- Notes de synthèse régulières des résultats pour le volet 5
- Seuil de contamination en éléments traces conduisant à une surproduction de mycotoxines.

Volet 4 : Suivre, décrire et modéliser les cinétiques de prélèvement des métaux (As, Cd, Pb) et de développement de *Fusarium in planta*

Objectifs : Mieux identifier les périodes critiques pour l'apparition de la contamination, c'est-à-dire les périodes de prélèvement maximal des éléments traces (As, Cd, Pb) et d'expression de la toxinogénèse après infection en conditions climatiques réelles de plein champ.

Méthode :

Sur une partie du réseau présentant les situations les plus contrastées, nous suivrons sur les parties aériennes du blé la cinétique de contamination : la quantité d'éléments traces prélevés et l'infestation par les *Fusarium* (au niveau de l'épi). A différents stades végétatifs, nous effectuerons des prélèvements végétaux et les analyserons. Pour les éléments traces, nous chercherons à tester l'hypothèse que **le prélèvement des éléments traces est en partie lié à la vitesse de croissance du végétal** et que la composition finale des grains est liée à la composition du végétal à un stade plus précoce. Nous analyserons également de manière plus fine les relations entre les paramètres climatiques pouvant jouer sur le flux de transpiration (température, humidité de l'air) ou sur la biodisponibilité des éléments traces (température du sol, humidité du sol) et la composition du végétal en éléments traces. Ainsi, nous dégagerons des **indicateurs de risque de contamination** basés soit sur une analyse précoce du végétal à un stade critique soit sur des indicateurs climatiques.

Pour les mycotoxines, s'il est connu que les conditions climatiques (humidité, température) jouent un rôle sur la contamination enregistrée à la récolte, la cinétique de développement du champignon et d'expression des mycotoxines est encore mal connue, dans des conditions de plein champ, en conditions naturelles de contamination. Il s'agira donc de suivre **sur différents stades, de la floraison jusqu'à la maturation du grain, les niveaux de contamination en espèces fusariennes (QPCR espèces spécifiques) et de teneurs en mycotoxines**. Ces résultats permettront de caractériser des stades clefs de remplissage du grain et de progresser dans la définition de méthodes de diagnostic précoce d'état sanitaire des récoltes. Ces données viendront alimenter un modèle de développement des champignons. Des études étant en cours sur le modèle maïs dans le cadre d'autres projets impliquant l'UR MycSA et ARVALIS-Institut du végétal, nos études se focaliseront sur le pathosystème blé/*Fusarium graminearum*. Cette espèce fusarienne est l'espèce productrice de trichothécènes prédominante en France.

Les indicateurs de risque de contamination définis seront ensuite testés sur l'ensemble du réseau en dernière année du projet dans le cadre du volet 2.

Participants impliqués dans le volet 4 : UR MycSa, UMR TCEM, ARVALIS-Institut du Végétal, CETIOM, UPPA-LCABIE.

Organisation : Ce volet sera co-piloté par l'UMR TCEM et l'UR MycSA. Stéphane Thunot et Laetitia Pinson-Gadais en seront les correspondants techniques.

Calendrier : Ce volet débutera en deuxième année du projet.

2^{ème} année

Ce projet s'appuiera sur quatre parcelles du dispositif cultivées en blé.

Prélèvement des parties aériennes et du sol aux stades plantule, tallage, montaison, floraison, 20 jours après floraison et maturité pour l'analyse du prélèvement des éléments traces.

Prélèvement après floraison à 2 jours, 5 jours, 10 jours, 20 jours, 40 jours et à maturité pour la cinétique de développement des mycotoxines. Analyse QPCR (ADN fongique) et LC/MS (toxines) sur grains récoltés, stockés à - 20 °C dès prélèvement et broyés sous azote. Analyse des éléments traces dans les parties aériennes et dans le grain. Récupération des données climatiques pertinentes sur la durée de culture pour les quatre sites. Traitement des échantillons, analyse et modélisation des résultats.

3^{ème} année

Pour la cinétique mycotoxine, validation des résultats par une nouvelle campagne (en conditions climatiques différentes).

Pour la cinétique de prélèvement des éléments traces, nouvelle campagne de prélèvement en se focalisant cette fois sur un oléagineux, le tournesol. Cinq stades de prélèvement sont également prévus. Le protocole est ensuite identique.

Indicateurs de suivi : Nombre de prélèvements végétaux aux différents stades végétatifs et analyses, suivi des niveaux de contamination aux différents stades végétatifs, nombre de réunions de travail

Indicateurs d'évaluation :

- Notes de synthèse régulières des résultats pour le volet 5
- Périodes critiques de prélèvement maximal des éléments traces

- Indicateurs de développement des champignons mycotoxinogènes en conditions naturelles de contamination

Volet 5 : Rédaction d'un guide de bonnes pratiques agricoles à l'usage des professionnels agricoles

Objectif : Organiser et rassembler les résultats obtenus au cours du projet en un guide de bonnes pratiques agricoles pour l'anticipation et la gestion optimale de la contamination naturelle des grains ou graines en plein champ par les mycotoxines de *Fusarium* et les éléments traces (As, Cd et Pb), à l'usage des professionnels agricoles.

Méthode : Au fur et à mesure de l'avancement du projet, et en particulier à l'issue des volets 1 à 4 du programme de travail, les notes de synthèse rédigées pour synthétiser les principaux résultats issus de chacun de ces volets (indicateurs d'évaluation) serviront à élaborer **un guide de bonnes pratiques agricoles**.

A vocation opérationnelle, le guide présentera de manière organisée :

- d'une part, les **situations identifiées** conduisant à un risque de contamination des productions végétales de grande culture (céréales : maïs, blé dur, blé tendre et oléagineux : tournesol, colza) par les mycotoxines de *Fusarium* et/ou les éléments traces (As, Cd et Pb), **reliées aux paramètres climatiques et pédologiques**,
- d'autre part, **les bonnes pratiques agricoles préventives** permettant de limiter ces situations à risque et les **indicateurs** issus des méthodes de diagnostic précoce de l'état sanitaire des parcelles définies dans le projet.

Participants impliqués dans le volet 5 : tous les partenaires du projet.

Organisation : Ce volet est piloté par Emilie Donnat, ACTA.

Calendrier : étalé de février 2011 à Décembre 2013.

1^{ère} année : Réunion de lancement pour réfléchir sur les bonnes pratiques *a priori*, compte tenu des données de la littérature et synthétiser les verrous de connaissance. Rédaction d'une note de synthèse.

2^{ème} année : Réunion d'étape pour faire le point sur les résultats acquis dans les différents volets permettant de réorienter les recommandations. Rédaction d'une note de synthèse à l'issue de la réunion.

3^{ème} année : Réunion de synthèse sur les deux premières années de résultats et rédaction d'un premier guide de bonnes pratiques.

Communication à la fin du projet (articles, séminaire, rencontres du RMT...) pour présenter le guide de bonnes pratiques.

Indicateurs de suivi : points réguliers sur les informations et résultats qui alimenteront le guide lors des réunions plénières, validations de l'élaboration du guide par le comité de pilotage au cours du projet, nombre de participants au séminaire de fin de projet.

Indicateurs d'évaluation :

- Les notes de synthèse des volets 1, 2, 3 et 4
- Un guide des bonnes pratiques agricoles pour l'anticipation et la gestion optimale de la contamination naturelle des grains ou graines en plein champ par les mycotoxines de *Fusarium* et les éléments traces (As, Cd et Pb), à l'usage de la profession agricole

Récapitulatif du calendrier prévisionnel du projet :

2011												2012												2013											
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
VOLET 1																																			
Analyse des protocoles existants																																			
■																																			
Test d'un protocole d'échantillonnage																																			
■																																			
Validation du protocole d'échantillonnage																																			
■																																			
VOLET 2																																			
Construction et alimentation de la base de données																																			
■																																			
Cultures végétales et prélèvements																																			
■																																			
Analyse des échantillons de sols et de végétaux																																			
■																																			
Analyses statistiques des données et modélisation																																			
■																																			
VOLET 3																																			
Culture de blé sur sol contaminé																																			
■																																			
Analyse des sols et des végétaux																																			
■																																			
Interprétation																																			
■																																			
VOLET 4																																			
Cultures végétales et prélèvements																																			
■																																			
Analyses des échantillons de sols et de végétaux																																			
■																																			
Interprétation et modélisation des résultats																																			
■																																			
VOLET 5																																			
Réunions de synthèse																																			
■																																			
Rédaction de notes de synthèse bibliographiques ou issues des résultats du projet																																			
■																																			
<i>Comités de pilotage</i>																																			
X																																			

■ Période d'activité soutenue

■ Période de suivi plus ponctuel

III.2. Equipes techniques mobilisées : présentation par organisme (chambre, institut technique,...) et par action le cas échéant :

Distinguer les partenaires déjà mobilisés et les partenaires pressentis

Indiquer le nombre d'ETP prévus par catégorie (techniciens, ingénieurs, chercheurs)

La mobilisation du personnel par organisme a été comptabilisée en nombre de jours sur la durée totale du projet (3 ans), puis convertie en ETP par chaque organisme (soit 0,1 ETP sur 3 ans = 1,2 mois sur 3 ans)

	Personnel mobilisé	Nombre d'ETP sur 3 ans	
Instituts techniques			
ACTA	Emilie DONNAT	0,60 Ingénieur	
ARVALIS-Institut du Végétal	Bruno BARRIER-GUILLOT	0,10 Ingénieur	
	Emmanuelle GOURDAIN	0,30 Ingénieur	
	Equipe technique	0,21 Technicien	
CETIOM	Sylvie DAUGUET	0,75 Ingénieur	
	Equipe technique de la station du Magneraud	0,15 Technicien	
Chambres d'Agriculture			
Aquitaine	Catherine GONNOT Laure LARRIEU Laetitia SEGUINOT	0,22 Ingénieur	
Organismes de recherche publique			
INRA			
UMR TCEM	Laurence DENAIX	0,50 Chercheur	
	Christophe NGUYEN	0,10 Chercheur	
	Valérie SAPPIN-DIDIER	0,10 Chercheur	
	Stéphane THUNOT	1,00 Technicien	
	Sylvie BUSSIERE	0,40 Technicien	
	Cécile CORIOU	0,30 Technicien	
	UMR MycSA	Florence FORGET	0,46 Chercheur
		Laetitia PINSON-GADAIS	0,46 Technicien
	USRAVE	Marie-Noëlle VERDAL-BONNIN	0,61 Technicien
		Christine DUCOS	0,61 Technicien
Mireille BARBASTE		0,30 Ingénieur	
Pierre MASSON		0,30 Ingénieur	
US Agroclim	Patrice SOULÉ	0,50 Technicien	
	Patrick BERTUZZI	0,05 Ingénieur	
	Frédéric Huard	0,15 Ingénieur	
	Pierre REICH	0,10 Ingénieur	
	Daniel ROUX	0,10 Technicien	
UE 0802 d'Agronomie de Toulouse	André GAVALAND	0,05 Ingénieur	
	Eric BAZEERTHE	0,10 Technicien	
	Patrick BRUNO	0,10 Technicien	
	Jean-François LIEVIN	0,10 Technicien	
	Dominique FORGET	0,10 Ingénieur	
UE 1086 de Bordeaux	Jean-Claude EMILE	0,05 Ingénieur	
UE 006 Fourrages et Environnement de Lusignan			

UE Environnement et Agronomie d'Avignon	Guillaume AUDEBERT	0,10 Technicien
	Estelle ESBERARD	0,05 Assistant Ingénieur
UE d'Epoisses	Frédéric VENAULT	0,20 Technicien
	Marie-Hélène BERNICOT	0,05 Ingénieur
	Pascal FARCY	0,20 Technicien
UE Domaine de Brunehaut de Mons	Michel LELEU	0,05 Ingénieur
	Sébastien DARRAS	0,20 Technicien
UMR 1095 GDEC Clermont-Ferrand	Gilles CHARMET	0,05 Chercheur
	Bernard DEBOTE	0,10 Ingénieur
UPPA-LCABIE	Martine POTIN-GAUTIER	0,30 Enseignant-chercheur
	Cyril CUGNET	0,45 Enseignant-chercheur
	Gaëtane LESPES	0,51 Enseignant-chercheur
Etablissements d'enseignement agricole		
Lycée agricole de Pau-Montardon	Pierre CHERET	0,10 Ingénieur
ENITAB	Philippe CHERY	0,05 Enseignant-chercheur
	Stéphanie JALABERT	0,05 Ingénieur
	Jean-François LARCHE	0,05 Technicien

III.3. Organisation prévue, rôle de chaque partenaire technique (*présentation par action le cas échéant*) :

Le projet sera organisé autour de deux formes d'instance :

- **une cellule d'animation et de coordination** (ACTA, INRA UMR TCEM) assure le suivi opérationnel du projet. Il coordonne la mise en œuvre du programme général et suit les travaux des différents volets.
- **un groupe projet** se réunit autant que nécessaire aux différents volets. Sa composition en partenaires techniques est variable selon les volets et leurs domaines de compétence et d'implication.

ACTA : Coordination et gestion globale du projet, pilotage du volet 5, rédaction des comptes-rendus et notes de synthèse, finalisation des livrables, communication interne et externe.

ARVALIS-Institut du végétal : Participation aux réunions de coordination et participation au volet 2 en mettant à disposition des parcelles sur le réseau d'essai ARVALIS, en assurant leur suivi et en alimentant la base de données, au volet 4 en apportant ses connaissances sur le développement de la maladie et en participant aux travaux de modélisation des teneurs en mycotoxines ainsi que dans le volet 5 en participant à la rédaction du guide de bonnes pratiques et en assurant sa diffusion vers le secteur agricole.

CETIOM : Participation aux réunions de coordination et travaux de rédaction des volets 1 (Définir, valider et optimiser une méthode d'échantillonnage des végétaux commune pour une analyse multicontaminants), volet 2 (Construire, alimenter et analyser une base de données descriptive et explicative des contaminations en éléments traces (As, Cd, Pb) et en mycotoxines de *Fusarium* des grains ou graines en plein champ pour en extraire des situations à risque ou des indicateurs précoces), volet 4 (Suivre, décrire et modéliser les cinétiques de prélèvement des métaux (As, Cd, Pb) et de développement de *Fusarium in planta*) et volet 5 (Rédaction d'un guide de bonnes pratiques agricoles). Dans le volet 2, le CETIOM met en place et suit une parcelle du réseau sur la station expérimentale du Magneraud (17).

Chambre régionale d'agriculture d'Aquitaine : Participation aux différentes réunions de coordination et aux travaux de rédaction des volets 2 et 5. Dans le cadre du volet 2, la chambre régionale d'agriculture d'Aquitaine mettra à disposition des « parcelles agriculteur » sur lesquelles seront testés des systèmes innovants économes en intrants (allongement des rotations, diminution des intrants : phytosanitaires et fertilisants, couverture du sol, ...). Les itinéraires de ces parcelles sont enregistrés et un complément d'analyses permettra de compléter la base de données mise en place sur ce volet 2. Participation aux comités de pilotage au titre de la CRAA.

EPLEFPA des Pyrénées-Atlantiques : Mise en place et suivi des cultures végétales sur parcelles expérimentales. Prélèvement des échantillons végétaux en cours d'expérimentation et à la récolte. Participation

aux discussions pour l'élaboration du guide de bonnes pratiques. Diffusion des résultats en direction de l'enseignement agricole et la formation professionnelle.

INRA UMR TCEM : Coordination des volets 2 et 4. Responsable des expérimentations sur les éléments traces. Gestionnaire de la Base de Données. Analyse de la biodisponibilité des éléments traces des sols et des teneurs en éléments traces dans les végétaux. Participation aux réunions, travaux de modélisation et élaboration du guide de bonnes pratiques.

INRA UR MycSA : Coordination du volet 3, responsable des expérimentations mycotoxines, analyse mycotoxines et ADN flore fusarienne toxigène. Participation aux réunions, travaux de modélisation et élaboration du guide de bonnes pratiques.

INRA USRAVE : Coordination du volet 1. Analyses végétales pour les teneurs totales en éléments traces. Participation aux réunions et élaboration du guide d'échantillonnage et du guide de bonnes pratiques.

INRA, US Agroclim : Récolte des paramètres climatiques sur toutes les parcelles du réseau pendant la durée des cultures. Analyses statistiques de relations climat/contamination. Réalisation de scénario d'évolution du climat pour certains sites. Participation aux réunions et aux discussions pour l'élaboration du guide de bonnes pratiques.

INRA UE 0802 d'agronomie de Toulouse, UE 1086 de Bordeaux, UE 006 Fourrages et Environnement de Lusignan, UE Environnement et Agronomie d'Avignon, UE d'Epouisses, UE Domaine de Brunehaut de Mons, UMR 1095 GDEC Clermont-Ferrand : Mise en place et suivi des cultures végétales sur parcelles expérimentales. Prélèvement des échantillons végétaux en cours d'expérimentation et à la récolte. Participation aux discussions pour l'élaboration du guide de bonnes pratiques.

UPPA-LCABIE : Coordination du volet 1. Analyses végétales pour les teneurs totales en éléments traces. Participation aux réunions et élaboration du guide d'échantillonnage et du guide de bonnes pratiques.

ENITAB : Prise en charge des analyses pédologiques, des prélèvements de sol et de leur interprétation. Participation aux réunions.

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

Le comité de pilotage regroupera l'ensemble des partenaires du projet et y associera l'ADEME, l'ENSAIA et l'INRA INFOSOL. Il sera le lieu d'orientation du projet, il en analysera et évaluera l'avancement.

Le comité de pilotage se réunira au minimum à quatre reprises : au lancement du projet, en fin de campagne des volets 2, 3 et 4 et en fin de projet.

Au lancement du projet, une **réunion initiale** regroupant l'ensemble des partenaires se tiendra afin d'organiser et de coordonner le travail en fonction de l'expertise de chaque organisme.

III.5 Modalités d'évaluation du projet

Fournir des "indicateurs d'évaluation" permettant d'évaluer les résultats en fin de projet :

Indicateurs techniques

- Nombre de comptes rendus, rapports et notes de synthèse à chaque volet du projet
- Opérationnalité, finalisation et communication à la profession agricole du guide de bonnes pratiques
- Exploitation du réseau de parcelles selon un gradient climatique
- Fonctionnalité de la base de données agro-climatiques et intégration aux travaux du RMT 'QUASAPROVE'
- Amélioration des méthodes de diagnostic précoce de l'état sanitaire des récoltes
- Utilisation opérationnelle de l'outil d'échantillonnage et de stockage pour une analyse multicontaminants

Indicateurs économiques et environnementaux

- Mise en évidence d'effets des conditions climatiques sur le développement des espèces fusariennes toxigènes et la biosynthèse des toxines ou sur l'accumulation des éléments traces dans les organes récoltés
- Contribution au développement agricole et rural national/local et aux objectifs du Grenelle de l'environnement : utilisation des résultats à des fins de démonstration/sensibilisation et des documents de référence produits

Indicateurs scientifiques et pédagogiques

- Production d'articles (revues, public cible, nombre d'exemplaires)
- Communications réalisées (notoriété des colloques, public, actes produits)
- Relais et valorisations des résultats via l'enseignement agricole (lycées et écoles)

IV COMPTE PREVISIONNEL DE REALISATION DU PROJET

IV.1 Compte prévisionnel détaillé par action:

Les crédits CAS DAR doivent représenter au maximum 60% du coût total hors salaires publics.

Une attention particulière sera portée au coût/ETP ; l'opportunité des montants des différentes actions pourra être sujette à une réévaluation.

TITRE DE L'ACTION : Etude de la multicontamination (mycotoxines et contaminants chimiques) des productions végétales de grande culture en conditions de plein champ

Désignation des partenaires par catégorie	Coût total en Euros	Temps Techniciens, Ingénieurs et chercheurs (en ETP)	Aide sollicitée CAS DAR en Euros	Autres concours financiers publics et privés obtenus ou en cours	Autofinancement (dont produits de prestations ou de ventes liées au projet)
Pilotage du projet					
ACTA	80 000	0,60	43 873		36 127
INRA TCEM - salaires publics	16 363	0,20			16 363
Missions confiées aux Chambres d'agriculture					
Chambre Régionale d'Agriculture d'Aquitaine	21 250	0,22	12 750		8 500
Missions confiées à un ou plusieurs ITA					
ARVALIS-Institut du Végétal	85 161	0,81	51 097		34 064
CETIOM	55 750	0,40	33 450		22 300
Missions confiées aux organismes de recherche publique					
INRA TCEM Bordeaux		2,20			
- salaires publics	96 661				113 024
- autres dépenses	83 824		46 103		37 721
INRA MycSA Bordeaux		2,14			
- salaires publics	107 255				107 255
- autres dépenses	78 832		44 934		33 898
INRA USRAVE Bordeaux		1,10			
- salaires publics	60 409				60 409
- autres dépenses	95 853		54 636		41 217
INRA US Agroclim		0,40			
- salaires publics	25 648				25 648
- autres dépenses	8 528		5 117		3 411

INRA UE 0802 Agronomie Toulouse		0,35			
- salaires publics	13 775				13 775
- autres dépenses	11 811		9 449		2 362
UE 1086 Bordeaux		0,10			
- salaires publics	7 923				7 923
- autres dépenses	5 512		4 410		1 102
UE 006 Fourrages et Environnement Lusignan		0,15			
- salaires publics	7 534				7 534
- autres dépenses	5 512		4 410		1 102
UE Environnement et Agronomie Avignon		0,25			
- salaires publics	9 403				9 403
- autres dépenses	11 811		9 449		2 362
UE d'Epoisses		0,25			
- salaires publics	11 106				11 106
- autres dépenses	11 811		9 449		2 362
UE Domaine de Brunehaut de Mons		0,25			
- salaires publics	10 274				10 274
- autres dépenses	11 811		9 449		2 362
UMR 1095 GDEC Clermont-Ferrand		0,15			
- salaires publics	10 350				10 350
- autres dépenses	5 512		4 410		1 102
Missions confiées à un ou plusieurs établissements d'enseignement technique ou supérieur					
UPPA- LCABIE		1,25			
- salaires publics	50 400				50 400
- autres dépenses	146 000		87 600	48 000	10 400
ENITAB		0,10			
- salaires publics	8 102				8 102
- autres dépenses	7 000		4 200		2 800
EPLEFPA des P.A		0,10			
- salaires publics	6 952				6 952
- autres dépenses	5 300		3 180		2 120
Total hors salaires publics	731 278		437 966	48 000	245 312
<i>Total des salaires publics</i>	<i>442 155</i>				<i>442 155</i>
Total Général	1 173 433	11,07	437 966	48 000	687 467

V.2. Tableau récapitulatif par action (à n'établir que s'il y a plusieurs actions)

Le projet n'est pas découpé en actions.

IV.3. Tableau récapitulatif par partenaire

Nom des partenaires	ACTA	CETIOM	Arvalis- Institut du Végétal	ENITAB	CRAA	LCABIE	EPLEFPA des Pyrénées Atlantiques	INRA 1220 TCEM Bordeaux	INRA MycSA Bordeaux	INRA USRAVE Bordeaux	INRA Agroclim Avignon
Coût total en €	80 000	55 750	85 161	15 102	21 250	196 400	12 252	196 848	186 087	156 262	34 176
Total hors salaire public	80 000	55 750	85 161	7 000	21 250	146 000	5 300	83 824	78 832	95 853	8 528
Total salaire public	0	0	0	8 102	0	50 400	6 952	113 024	107 255	60 409	25 648
Aide sollicitée CAS DAR	43 873	33 450	51 097	4 200	12 750	87 600	3 180	46 103	44 934	54 636	5 117
Autres concours financiers	0	0	0	0	0	48 000 Région Aquitaine	0	0	0	0	0
Autofinancement*	36 127	22 300	34 064	2 800	8 500	10 400	2 120	37 721	33 898	41 217	3 411

Nom des partenaires	INRA UMR 1095 GDEC Clermont- Ferrand	INRA UE 1086 Viticole Bordeaux	INRA UE Domaine de Brunehaut de Mons	INRA UE 0802 d'agronomie de Toulouse,	INRA UE 006 Fourrages et Environnement de Lusignan,	INRA UE Environnement et Agronomie d'Avignon	INRA UE d'Epoisses	Total général
Coût total en €	15 862	13 435	22 085	25 586	13 046	21 214	22 917	1 173 433
Total hors salaire public	5 512	5 512	11 811	11 811	5 512	11 811	11 811	731 278
Total salaire public	10 350	7 923	10 274	13 775	7 534	9 403	11 106	442 155
Aide sollicitée CAS DAR	4 410	4 410	9 449	9 449	4 410	9 449	9 449	437 966
Autres concours financiers	0	0	0	0	0	0	0	48 000
Autofinancement*	1 102	1 102	2 362	2 362	1 102	2 362	2 362	245 312

* Hors salaires publics

V – RESULTATS ATTENDUS ET SUITES DU PROJET (soyez bref et précis)

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

Le projet se base sur des expérimentations en plein champ. Son bon déroulement pourrait ainsi être perturbé par des années climatiques exceptionnelles, conduisant à des résultats atypiques dus, par exemple, à des années à faible infestation en champignons mycotoxinogènes permettant de peu discriminer les situations. Ces aléas climatiques sont inhérents à ce type d’expérimentation. Mais la diversité des situations climatiques choisies permettra de limiter ce problème.

V.2 Résultats attendus :

- Un **guide de bonnes pratiques agricoles** à destination des professionnels agricoles, répondant à leurs attentes en termes de conseil et d’accompagnement dans l’anticipation et la gestion optimale de la contamination naturelle des grains ou graines en plein champ par les mycotoxines de *Fusarium* et les éléments traces (As, Cd et Pb),
- Un **protocole de prélèvement standardisé** de l’échantillon végétal sur une même parcelle pour une analyse multicontaminants pouvant être normalisé,
- Un **protocole de traitement standardisé** de l’échantillon,
- Une **banque d’échantillons** d’après un cahier des charges défini,
- Une **base de données descriptives et explicatives** de teneurs en éléments traces et mycotoxines,
- Des **valeurs seuils** de niveaux de contamination en éléments traces conduisant à une augmentation du risque de synthèse de trichothécènes,
- Des **relations entre des paramètres climatiques ou pédologiques et la contamination** des grains ou graines en mycotoxines et éléments traces,
- Des **outils de diagnostic précoces**.

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

Renseigner clairement les publications, séminaires, formations, autres modes de valorisation qui seront mis en œuvre, en précisant le public cible, les échéances.

Les résultats obtenus au cours de ce projet seront diffusés, après validation, par les différents partenaires, dès 2012 :

- par la voie du **RMT ‘QUASAPROVE’** à travers le site Internet du RMT où sera téléchargeable gratuitement le guide de bonnes pratiques, à travers les rencontres annuelles du RMT pour communiquer sur les résultats intermédiaires et finaux du projet, à travers les réunions du comité stratégique du RMT pour informer et relayer les avancées du projet au niveau des directeurs et responsables de partenaires clés,
- par voie de publications **scientifiques** dans des revues de rang A en agronomie et environnement, colloques et conférences internationales notamment dans le cadre du COST 905 Mineral-improved crop production for healthy food and feed,
- par voie de publications **techniques** auprès des acteurs de la filière, sous la forme de synthèses, du guide de bonnes pratiques, d’articles dans des revues techniques agricoles et de journées de formation,
- par la voie de l’**enseignement agricole**, à travers les partenaires du projet et du RMT ‘QUASAPROVE’ (lycées agricoles, écoles d’ingénieurs et universités), sous forme de conférences ou de cours.

V.4 Amélioration attendue et valorisation ultérieure des compétences :

Ce projet contribuera à améliorer l’anticipation et la gestion de manière optimale de la contamination naturelle des grains ou graines en plein champ par les mycotoxine de *Fusarium* et les éléments traces (As, Cd, Pb principalement).

Il permettra aux différents partenaires (instituts techniques agricoles, chambres d’agriculture, organismes de recherche, enseignement agricole) l’acquisition de compétences nouvelles sur la sécurité sanitaire des grandes cultures, la standardisation des approches pour le suivi des contaminations au champ et la transmission de connaissances aux lycéens et futurs agriculteurs via l’enseignement agricole.

En effet, le partage de préoccupations communes sur certains contaminants entre filières végétales permet de gagner en efficacité sur l’acquisition, le développement et la diffusion de nouveaux outils, indicateurs et méthodes.

Les synergies favorisées entre les différents partenaires viendront consolider le réseau de compétences initié par le

RMT 'QUASAPROVE' et de le mobiliser pour les organisations professionnelles, les organismes économiques ou les pouvoirs publics.

Ce projet contribuera ainsi à améliorer le conseil de l'agriculteur et du technicien grâce à l'exploitation de données descriptives et explicatives de terrain. De par ses finalités appliquées, le projet participera par conséquent aux objectifs du Grenelle de l'environnement visant à renforcer les connaissances dans le domaine des liens entre l'environnement et la santé.

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

Ce projet associant des partenaires du développement, de la recherche et de l'enseignement permettra d'améliorer leurs expertises et leurs appuis dans le domaine, tant au niveau scientifique (INRA, ITA, LCABIE) que technique (ITA, ACTA, Chambre d'agriculture d'Aquitaine) et pédagogique (EPLEFPA des Pyrénées-Atlantiques et le réseau des fermes expérimentales associées, ENITAB, UPPA-LCABIE). Au niveau scientifique et technique, les avancées porteront sur les connaissances acquises en termes d'identification de situations à risque liées à la contamination des productions végétales de grande culture et sur les moyens pour limiter leur apparition. Au niveau pédagogique, les avancées porteront sur le transfert de méthodes, d'outils et de connaissances quant à l'anticipation et la gestion des contaminants au champ.

Enfin, les porteurs de ce projet consolideront leur compétence d'animation de réseau réunissant différents partenaires du public et du privé.

V.6 Suites attendues du projet :

Décrivez comment seront assurés les relais techniques et financiers à l'issue du projet CAS DAR :

L'évaluation de la multicontamination des grandes cultures au niveau national sera réalisée pour la première fois grâce à la constitution de ce réseau. Il faudra au cours du projet évaluer l'intérêt d'intégrer ce réseau de suivi national à celui du RMT 'QUASAPROVE' dans l'idée de le pérenniser et chercher alors les moyens de le financer sur le long terme, dans le but notamment de comprendre l'effet d'une évolution du climat et de pouvoir alerter sur les évolutions des contaminations des grandes cultures. D'autres partenaires institutionnels pourront alors être sollicités.

VI Article destiné à une éventuelle publication

Article, présentant en une demi-page la problématique, les enjeux, les acteurs et les résultats attendus.

Les mycotoxines et les éléments traces sont des contaminants dont la teneur dans les organes récoltés est réglementée pour l'alimentation animale et humaine. L'enjeu global du projet concerne donc la gestion des risques sanitaires pouvant avoir un impact sur la santé des consommateurs. Le durcissement des réglementations européennes entraîne la nécessité de mieux connaître l'état et le déterminisme de cette contamination. Le projet vise ainsi à anticiper et gérer de manière optimale la multicontamination par les éléments traces et les mycotoxines. Cette approche multicontaminants qui, à notre connaissance, n'a jamais été conduite, permettra de recueillir des données descriptives et explicatives des contaminations en plein champ et de leurs effets croisés. Le projet se focalisera sur les mycotoxines de *Fusarium* et les éléments traces réglementés : cadmium, plomb et arsenic.

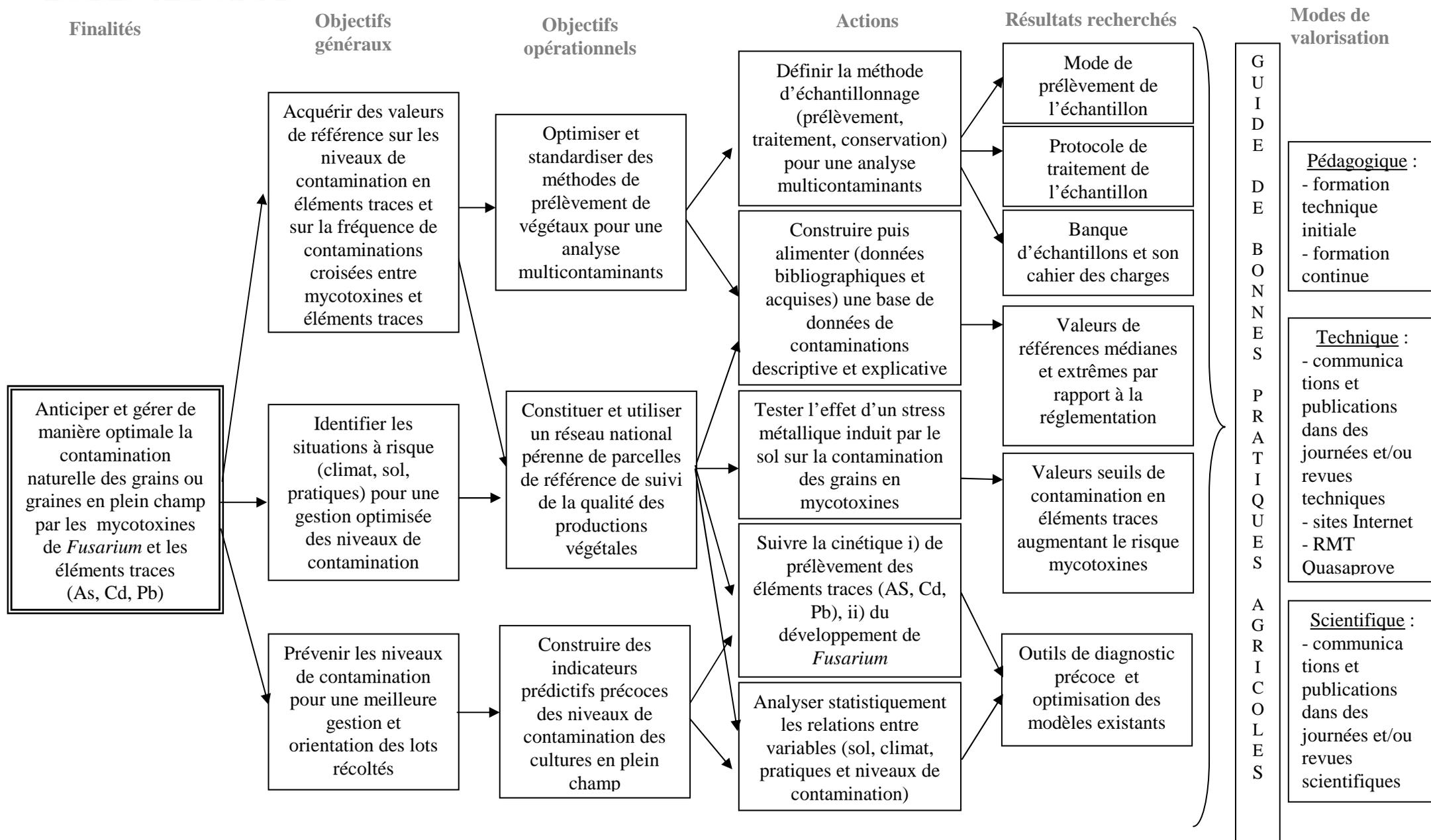
L'objectif central du projet est de mettre en évidence des situations conduisant à un risque de contamination des productions végétales de grande culture, d'identifier des facteurs explicatifs de ces contaminations (facteurs sol, climat ou conditions de culture) et de proposer des bonnes pratiques pour les limiter. Afin de disposer d'une diversité de situations pédologiques et climatiques, les travaux s'appuieront sur un réseau de parcelles pérennes de référence mis en place à l'échelle du territoire national. Les données recueillies sur ce réseau seront synthétisées dans une base de données explicatives. Pour garantir la reproductibilité du prélèvement et la traçabilité des échantillons et mesures, un guide d'échantillonnage des végétaux sera défini et validé pour une analyse multicontaminants et utilisé sur le réseau de parcelles. A partir d'expérimentations dédiées, des indicateurs prédictifs précoces des niveaux de contamination des cultures en plein champ seront construits et testés sur une partie du réseau présentant le maximum de variabilité.

Pour mener à bien ce projet, l'ACTA, le CETIOM, ARVALIS-Institut du végétal, la Chambre Régionale d'Agriculture d'Aquitaine, l'EPLFPA des Pyrénées-Atlantiques, l'ENITA de Bordeaux, l'Université de Pau et des Pays de l'Adour-LCABIE et l'INRA (trois unités de recherche, deux unités de services et six unités expérimentales) se sont associées pour apporter leur expertise et réaliser des expérimentations communes.

Les résultats attendus sont :

- Un guide de bonnes pratiques agricoles à destination des professionnels agricoles, répondant à leurs attentes en termes de conseil et d'accompagnement dans l'anticipation et la gestion optimale de la contamination naturelle des grains ou graines en plein champ par les mycotoxines de *Fusarium* et les éléments traces (As, Cd et Pb),
- Un protocole de prélèvement standardisé de l'échantillon végétal sur une même parcelle pour une analyse multicontaminants pouvant être normalisé,
- Un protocole de traitement standardisé de l'échantillon,
- Une banque d'échantillons d'après un cahier des charges défini,
- Une base de données descriptives et explicatives de teneurs en éléments traces et mycotoxines,
- Des valeurs seuils de niveaux de contamination en éléments traces conduisant à une augmentation du risque de synthèse de trichothécènes,
- Des relations entre des paramètres climatiques ou pédologiques et la contamination des grains ou graines en mycotoxines et éléments traces,
- Des outils de diagnostic précoces.

VII. Schéma ‘Finalités-Actions’



Annexe 1 : Tableau des responsables des équipes techniques mobilisées précisant pour chacun le nom, les domaines de compétence et les expériences dans le domaine concerné

	Responsable des équipes techniques mobilisées	Domaines de compétences	Expériences dans le domaine concerné
Instituts techniques			
ACTA	Emilie DONNAT	Coordination/Animation	Animatrice du RMT 'QUASAPROVE' Pilotage de projets CAS DAR
ARVALIS – Institut du végétal	Bruno BARRIER-GUILLOT	Sécurité sanitaire des céréales	Coordination du projet RARE
CETIOM	Sylvie DAUGUET	Sécurité sanitaire des oléagineux	Pilotage du Plan de Surveillance de la qualité sanitaire des Oléagineux (PSO) depuis 2002 Coordination du projet CASDAR 2007-2010 « Suivi des éléments traces (Pb, Cd, As, Cu, Zn) dans la filière porcine du Sud-Ouest. »
Chambres d'Agriculture			
Aquitaine	Laëtitia SEGUINOT	Agronomie	Coordination d'un programme de mise en place de parcelles « économes en intrants » et lien avec la qualité des productions. Animation du réseau « Surveillance biologique du territoire » avec le suivi de la pression en bio-agresseurs pour les différentes conditions pédo-climatiques de la région Aquitaine.
	Laure LARRIEU	Environnement	
	Catherine GONNOT	Agriculture biologique	
Organismes de recherche			
INRA	Laurence DENAIX	Environnement, Ecotoxicologie des métaux	Coordination de plusieurs projets sur le transfert sol-plante des métaux - Animation chantier RMT Quasaprove, Coordination programme éléments traces région Aquitaine
	Florence FORGET	Mycotoxinogénèse, espèces fusariennes toxigènes	Animation réseau fusariotoxines national, Animation chantier Mycotoxines RMT Quasaprove, Coordination programme mycotoxines région Aquitaine
	Mireille BARBASTE	Analyse des éléments traces dans les végétaux	Participation à la rédaction du guide d'échantillonnage de plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux (Ademe)
	Patrick BERTUZZI	Agrométéorologie	Participation au programme STICS
	Gilles CHARMET	Génétique et Ecophysiologie des	Participation à plusieurs projets sur la génétique et l'éco-

		céréales	physiologie des céréales
	André GAVALAND	Gestion de dispositifs expérimentaux de longue durée	Gestion des dispositifs de longue durée : Phosphore (1969) et Légumineuses et Systèmes de Grande Culture bas intrants"(2004)
	Dominique FORGET	Gestion de dispositifs expérimentaux de longue durée	Gestion des dispositifs de longue durée d'épandage de boues de STEP (Couhins) (1974)
	Jean-Claude EMILE	Gestion de dispositifs expérimentaux de longue durée	Animateur Principal du projet « Observation et expérimentation agro-environnementale »
	Estelle ESBERARD	Gestion de dispositifs expérimentaux de longue durée	Participation à des programmes de recherche sur les céréales, les oléagineux et les protéagineux
	Michel LELEU	Gestion de dispositifs expérimentaux de longue durée	Participation à différents projets de Génétique et Amélioration des Plantes
	Marie-Hélène BERNICOT	Gestion de dispositifs expérimentaux de longue durée	Participation au réseau PIC-PI (Protection Intégrée des Cultures-Production Intégrée) de l'INRA
UPPA/CNRS LCABIE	Gaëtane LESPES	Métriologie Assurance qualité	Participation à des travaux de validation à l'AFNOR et l'ISO
	Martine POTIN- GAUTIER	Analyse éléments traces	Programmes internationaux et nationaux sur le suivi environnemental des éléments traces
Enseignement agricole			
ENITAB	Philippe CHERY	Pédologie	Mise en place du RMQS Aquitain
EPLEFPA des Pyrénées- Atlantiques	Pierre CHERET	Enseignement et développement agricole	Directeur Adjoint de l'EPLEFPA des Pyrénées- Atlantiques

Annexe 2 : CV du chef de projet

Emilie DONNAT

Née le 19 mars 1980

ACTA

149 rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12

Tél : 01 40 04 50 40

E-mail : emilie.donnat@acta.asso.fr

FORMATION

2007 Spécialisation « **Responsable qualité, sécurité, environnement en agriculture et agroalimentaire** », SupAgro Montpellier

2003 DESS « Technologies appliquées aux organes végétaux », Université Pierre et Marie Curie, Paris 6 – Jussieu

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES

Depuis

sept 2007 **Chargée de mission « Qualité, Traçabilité, Sécurité sanitaire » - ACTA (Paris, 75)**

- Animatrice générale du RMT Quasaprove : Qualité sanitaire des productions végétales de grande culture (16 partenaires)
- Chef de projet et coordinatrice du projet « Faisabilité et pertinence d'un diagnostic de dangers sanitaires basé sur les principes HACCP en exploitation agricole » financé dans le cadre de l'appel à projets CAS DAR 2007
- Chef de projet et coordinatrice du projet « Evaluation fine des performances énergétiques des entreprises agricoles par l'utilisation des NTIC : le projet EnergÉTIC » financé dans le cadre de l'appel à projets CAS DAR 2008
- Finalisation du projet « Analyse des outils et données pour la traçabilité en exploitation agricole », financé dans le cadre de l'appel à projets ADAR 2004
- Participation au groupe de travail « Traçabilité » du COS Agroalimentaire AFNOR
- Participation aux groupes de travail sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique et sur le coût de l'impact du changement climatique
- Participation aux comités opérationnels du Grenelle de l'environnement « Certification environnementale des exploitations agricoles » et « Performance énergétique des exploitations agricoles »
- Participation aux groupes de travail sur la certification environnementale : élaboration du dispositif par niveau
- Participation à la plateforme d'échanges AFNOR « Activités agricoles - Qualité et Environnement » : mise en cohérence des démarches qualité/environnement au niveau national

2007 **Responsable qualité - groupe Rougeline (Marmande, 47)**

2006 **Ingénieur d'expérimentation - AREFE (Hattonville, 55)**

2004-2005 **Ingénieur de recherche - CTIFL (Rungis, 94)**

COMPETENCES

Expertise technique

- Démarches qualité et environnement, assurance qualité, management de la qualité, HACCP
- Systèmes de traçabilité
- Sécurité sanitaire : contaminants et contamination
- Pilotage énergétique

Expertise scientifique

- Analyser et synthétiser des informations scientifiques et techniques

- Concevoir des programmes de recherche appliquée : définition de programmes de travail, coordination et suivi des actions
- Constituer les avant-projets et projets en réponse à des appels d'offre

Management

- Encadrer, coordonner et animer des équipes pluridisciplinaires
- Présenter publiquement ses projets et résultats

Communication

- Diffuser les résultats de recherche : rédaction de comptes-rendus, d'articles, de rapports

PUBLICATIONS

ACTA, Manuel « Mes documents en exploitations, description et éléments de gestion dans le cadre du projet « Analyse des outils et données pour la traçabilité en exploitation agricole », participation à la diffusion sur Internet

ACTA, « Analyse des outils et données pour la traçabilité en exploitation agricole », rédaction du compte-rendu technique final du projet

Annexe 2 : CV du chef de projet-adjoint

**Laurence
DENAIX**

43 ans

**Ingénieur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon
Docteur en Sciences de la Terre de l'Université Paris VI
Spécialité pédologie,
HDR de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.**

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE :

- Décembre 2008 -...** Directeur de recherche 2^{nde} classe – UMR INRA/ENITAB Transfert Sol Plante et Cycle des Eléments Minéraux dans les écosystèmes cultivés
Centre de Bordeaux – Aquitaine.
- Janvier 2000 - décembre 2008** Chargée de recherche 1^{ère} classe – UMR INRA/ENITAB Transfert Sol Plante et Cycle des Eléments Minéraux dans les écosystèmes cultivés
Centre de Bordeaux – Aquitaine.
- Septembre 1998 - décembre 1999:** Chargée de recherche 2^{nde} classe – Unité d'Agronomie INRA, équipe « Biogéochimie des Eléments Traces dans les Agrosystèmes »
Centre de Bordeaux – Aquitaine.
- Août 1993 – septembre 1998** Chargée de recherche 2^{nde} classe , responsable du laboratoire de Minéralogie - Unité de Sciences du Sol INRA
Centre de Versailles.
- Novembre 1989 - juillet 1993** Attachée Scientifique Contractuelle INRA détachée au Centre de Recherche sur la Matière Divisée (UMR 131 CNRS./Université d'Orléans).

FORMATION - DIPLOMES :

- Janvier 2007** Habilitation à Diriger des Recherches - *Université de Pau et des Pays de l'Adour*
- Janvier 1993** Thèse de doctorat en Sciences de la Terre - *Université Paris VI*
- Septembre 1989** D.E.A. de pédologie - *Université Paris VI*
- Septembre 1989** Ingénieur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.
Diplôme d'Agronomie Approfondie en Science du Sol

ACTIVITES D'ANIMATION DE LA RECHERCHE :

- 2002-2009 :** Responsable de l'équipe « Biogéochimie et transfert sol-plante des Eléments Traces »
- 2004-2007 :** Coordinatrice du projet « Transfert Sol-Plante des Métaux » du programme interorganismes Toxicologie Nucléaire (16 laboratoires, 78 participants).
- 2004-2007 :** Animatrice d'un sous-projet « Contamination de l'écosystème terrestre » (5 laboratoires, 21 participants) dans un projet ECODYN.
- 2004-2008 :** Animatrice puis coordinatrice du projet « Sécurité sanitaire des aliments » de la Région Aquitaine (12 laboratoires et instituts techniques, plus de 50 participants).

ENCADREMENT :

- 27 étudiants dont 2 post-doctorats et 4 thèses,
- 21 étudiants en stages Master, Licence, BTS ou écoles d'ingénieur,
- 10 participations à des jurys de thèses, 1 participation à un jury d'HDR.

PUBLICATIONS :

- 32 articles dans des revues internationales de rang A à comité de lecture,
- 3 articles dans des revues de rang B ou des revues de vulgarisation,
- 4 chapitres d'ouvrages,
- 30 résumés longs à des conférences internationales à comité de lecture.

PARTICIPATION A L'ENSEIGNEMENT :

Enseignant vacataire des Universités Bordeaux 1, Bordeaux 2, Bordeaux 3, Paris XI et de l'ENITAB.

Membre de l'équipe pédagogique du Master 1 « Systèmes écologiques »

Co-responsable de l'unité d'enseignement « Sol et gestion des écosystèmes terrestres » (2002-2007) puis de l'unité d'enseignement « Ecotoxicité des milieux continentaux » (2008).

PARTICIPATION A DES ACTIVITES COLLECTIVES :

Membre élu des Conseils Scientifiques du Centre de Bordeaux et du département Environnement et Agronomie.
Membre de commissions de recrutement de maîtres de conférences, chargés de recherche 2^{ème} classe, ingénieurs, techniciens.

Lecteur arbitre pour Environmental Science and Technology, Journal of Environmental Quality, Environmental Pollution, Chemosphere, European Journal of Soil Science, Plant and Soil, Colloids and Surface A, Geoderma, Etudes et Gestion des Sols.

Expert pour l'évaluation de projets PNETOX, ECCO, GESSOL ou ANR SEST et CES.

Membre du comité de pilotage du Plan de Surveillance de la qualité sanitaire du CETIOM.

PRIX OU DISTINCTIONS

Lauréate du prix Häüy 1993 (Prix de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie).

Lauréate de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, Prix J. Rose 1993.