

Appel à projets d'innovation et de partenariat 2009

Organisme chef de file : CETIOM
Date de début de projet : Janvier 2010
Durée : 36 mois (maximum 36 mois)
N° du thème: 1
et
RMT: Fertilisation et environnement

N° de la manifestation d'intérêt initiale : 9049

Dossier finalisé

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

TITRE (concis, précis): NO GAS (N₂O : mesure et modélisation en GrAndes culturesS)

MOTS CLES (5 au maximum) : Gaz à effet de serre ; Grandes cultures ; Pratiques culturales ; Réseau expérimental ; Modèles

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

Nom : CETIOM

Adresse : 12, avenue George V – 75008 PARIS

Téléphone/fax : 01 56 89 57 03 / 01 56 89 57 04

Mail (où sera adressée la liste des lauréats) : pouzet@cetiom.fr

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

Le CV du chef de projet est à fournir en annexe

Nom, Prénom : Francis Flénet

Organisme employeur : CETIOM

Adresse : Avenue Lucien Brétignières – 78850 THIVERVAL GRIGNON

Téléphone/fax : 01 30 79 95 59 / 01 30 79 95 90

Mail : flenet@cetiom.fr

Pièces à joindre au dossier :

- Lettres d'engagement des partenaires (une lettre de chacun des partenaires précisant notamment la participation financière prévue)
- CV du seul chef de projet (sans photo)
- Tableau des responsables des actions du projet pour chaque organisme, précisant pour chacun le nom, les domaines de compétence et les expériences dans le domaine concerné (en Annexe 1 du présent dossier finalisé)
- Attestation du RMT d'affiliation

I PRESENTATION GENERALE DU PROJET

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

L'objectif est de fiabiliser la connaissance et la prédiction des émissions directes de protoxyde d'azote (N₂O) par les grandes cultures en France, en fonction des conditions pédoclimatiques et des pratiques culturales. La finalité est d'une part d'améliorer les évaluations et les méthodologies d'inventaire de gaz à effet de serre (GES), et d'autre part d'identifier les pratiques et usages du sol qui réduisent les émissions et qui permettront de concevoir des systèmes de culture peu émetteurs.

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

L'État français a élaboré une stratégie de développement durable dont les objectifs, le cadre d'action et les instruments sont précisés dans le projet de loi relatif à la mise en œuvre du « Grenelle de l'environnement »¹. Dans ce texte, la lutte contre le changement climatique est considérée comme prioritaire. L'engagement de la France à diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 est notamment confirmé.

Le protoxyde d'azote est un gaz à effet de serre important puisqu'en France ses émissions contribuent pour 16% au pouvoir de réchauffement global (hors vapeur d'eau). L'agriculture est responsable d'environ 72% des émissions². Il s'agit donc du principal secteur économique émetteur de N₂O. Mais les émissions sont très variables, en particulier en fonction des pratiques culturales. Il semble donc y avoir des marges de progrès importantes. Sur la base de ces informations, on peut affirmer que l'agriculture a un rôle majeur à jouer dans la lutte contre le changement climatique, en particulier en adaptant les pratiques culturales pour diminuer les émissions de N₂O.

I.3. Présentation des actions

Nous proposons d'acquérir des références sur les émissions directes de N₂O représentatives de la diversité des conditions pédoclimatiques et culturales de l'agriculture française, et de compléter les connaissances relatives aux processus d'émission de N₂O dans le but d'améliorer les outils de modélisation déterministe. Ces informations permettront d'une part de préciser les inventaires nationaux des émissions de GES, et d'autre part de développer des stratégies de réduction des émissions de N₂O par les sols. Deux actions seront conduites. La première, expérimentale, précisera dans les principaux contextes de grande culture en France l'intensité des émissions, l'effet de certaines pratiques culturales et le potentiel d'émission des sols agricoles sur le long terme. Une base de données nationale sur les émissions de N₂O sera constituée. La deuxième action sera consacrée à la modélisation des émissions. Ces deux actions permettront d'accéder aux niveaux 2 (coefficients d'émission régionalisés) et 3 (modélisation des émissions) des méthodes d'évaluation des émissions du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, ou IPCC en anglais), et d'établir les bases pour concevoir des systèmes peu émetteurs.

Action 1 – Etude expérimentale de l'émission directe de N₂O

Objectifs opérationnels

- (i) Quantifier l'effet du sol, du climat et de certaines pratiques culturales sur l'émission directe de N₂O par les grandes cultures
- (ii) Obtenir des coefficients régionalisés d'émission directe de N₂O, pour les principaux contextes de grande culture
- (iii) Constituer une base de données de référence à l'échelle nationale

Description générale des activités (NB : le détail des activités de l'Action 1 est précisé au paragraphe III.1.)

Un réseau expérimental de 8 sites de mesures d'émissions directes de N₂O sera mis en place pendant 2 années dans les principales régions de grandes cultures de France métropolitaine (cf. Tableau 1 au paragraphe III.1.). Un site supplémentaire sera suivi en Guyane, dans le cadre d'une expérimentation qui vise à évaluer les impacts de l'implantation de grandes cultures dans ce département.

Les 5 espèces (ou groupes d'espèces) de grandes cultures qui sont les plus cultivées en France seront considérées dans le réseau d'expérimentations : la Betterave, le Blé (représentant les céréales à paille), le Colza, le Maïs et le Tournesol. Une sixième espèce, le Soja, sera également étudiée dans le site de Guyane. Les six cultures seront

¹ http://www.legrenelle-environnement.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/Projet_de_loi_cle0d1674.pdf

² <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=16003>

conduites selon un itinéraire technique représentatif qui sera établi «à dire d'expert», avec un objectif de rendement qui tiendra compte du potentiel pédoclimatique du site. Dans chaque site, le dispositif n'inclura pas toutes les cultures ni tous les éléments d'itinéraire technique susceptibles d'affecter les émissions directes de N₂O, car les moyens expérimentaux nécessaires seraient beaucoup trop importants. En conséquence, l'étude du travail du sol a été privilégiée, car à travers son effet sur l'aération du sol il peut fortement influencer les émissions de N₂O. Pour faire le lien entre les sites du réseau, une espèce témoin, le Colza, sera présente dans chacun des sites. Au total, 30 modalités (une modalité = un itinéraire technique sur une culture dans un site) seront étudiées chaque année, soit une moyenne d'environ 3 modalités par site.

Pour chaque modalité étudiée, des mesures d'émission directe de N₂O seront réalisées à une vingtaine de dates par an, selon la méthode des chambres statiques, largement utilisée dans le monde à cet effet, et couramment mise en œuvre par les équipes INRA partenaires du projet. Ce suivi se fera durant le cycle de la culture, mais aussi pendant l'interculture précédente et suivante. Des mesures complémentaires seront réalisées *in situ* ou au laboratoire dans le but de contribuer à expliquer la variabilité des émissions de N₂O et de calibrer les modèles : paramètres physico-chimiques du sol, paramètres microbiologiques du sol et paramètres physico-chimique des plantes (biomasse et teneur en azote). La mesure des variables pédologiques servira aussi à la construction d'un indicateur synthétique du potentiel des sols à émettre du N₂O sur le long terme.

Les mesures complèteront une base de données nationale d'émissions de N₂O constituée de résultats expérimentaux acquis précédemment, par les équipes partenaires du projet, ou par des partenaires extérieurs qui accepteront de les mettre à disposition. Cette base de données devrait permettre de développer une méthode de niveau 2 du GIEC.

Action 2 – Mise au point des modèles d'émission directe de N₂O pour les grandes cultures françaises

Objectifs opérationnels : Calibrer, améliorer, et valider les modèles d'estimation de l'émission directe de N₂O au niveau de la parcelle agricole, dans des situations représentatives des grandes cultures françaises (préparation du niveau 3 du GIEC).

Description générale des activités (NB : le détail des activités de l'Action 2 est précisé au paragraphe III.1.)

La calibration des modèles débutera dès la première année. Elle s'appuiera dans un premier temps sur les séries de données existantes d'émissions directes de N₂O par les grandes cultures. Progressivement, la calibration des modèles pourra utiliser les mesures d'émissions obtenues dans l'Action 1 du projet. Les paramètres des modèles seront calibrés sur les données sol/plante et d'émissions de N₂O d'une partie des sites du réseau expérimental. La calibration des modèles sera ensuite validée en comparant les simulations et les mesures expérimentales obtenues pour les autres sites du réseau. Différentes méthodes de calibration des modèles sont en cours de développement par un des partenaires du projet. Elles seront testées et approfondies dans le cadre de l'Action 2. La validation des modèles permettra d'identifier les situations expérimentales mal simulées, et des améliorations au niveau des équations (code source) des modèles seront testées.

Ce travail de modélisation se fera pour 2 modèles : CERES-EGC-NOE et DNDC. Le modèle qui servira de base à ce projet est CERES-EGC-NOE, car il présente l'intérêt d'avoir été développé et validé dans des conditions françaises par différents partenaires du projet, en se focalisant sur les grandes cultures et sur les sorties environnementales vers les eaux et l'atmosphère. Il est de plus fondé sur une modélisation des plantes qui est moins frustrante que celle de DNDC. Le modèle DNDC a été choisi parce qu'il est largement utilisé à l'échelle européenne et qu'il a déjà été utilisé pour réaliser des inventaires d'émissions, notamment en Europe et Amérique du Nord.

Par ailleurs, un des enjeux forts de cette Action 2 du projet est d'améliorer la prise en compte des pratiques culturales par les modèles, en particulier la modélisation du travail du sol et ses effets sur les propriétés hydriques du sol et sur sa structure. Ces deux effets conditionnent fortement le fonctionnement des deux processus microbiens à l'origine de la production de N₂O dans les sols : la nitrification et la dénitrification. Des améliorations en ce sens du code source des modèles seront donc proposées et testées.

I.4 Partenariats

I.4.1 Partenaires retenus : (citer les organismes partenaires retenus dans le projet déposé en distinguant 4 catégories de partenaires):

- **partenaires techniques impliqués dans la réalisation du projet (destinataires de financements CAS DAR, avec lettre d'engagement)**
ARVALIS – Institut du Végétal ; CETIOM ; ITB ; InVivo ; Ferme expérimentale de Grignon

(AgroParisTech); ADEPRINA (Association pour le Développement de l'Enseignement du Perfectionnement et de la Recherche à AgroParisTech); les UMR INRA–AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures (EGC) et Agronomie (Grignon); l'UMR INRA–Université de Bourgogne Microbiologie des Sols et de l'Environnement (MSE, Dijon); l'UMR INRA–Agrocampus Ouest Sol Agro et Hydrosystème Spatialisation (SAS, Rennes); l'UR INRA Science du Sol (Orléans); l'US INRA Agro-Impact (Laon-Mons).

- **autres partenaires techniques (hors financements CAS DAR)**

Joint Research Center (JRC, Ispra, Italie); CITEPA.

Ce partenariat permettra une synergie entre les laboratoires de recherche et les acteurs du développement agricole. Les premiers apporteront une expertise sur les processus et facteurs de contrôle des émissions de N_2O , et ils mettront à disposition des données et des modèles opérationnels éprouvés. Les seconds apporteront une contribution majeure à la constitution d'une base de données sur les émissions de N_2O pour diverses conditions de pratiques et d'environnement dans le contexte de l'agriculture française. Ceux-ci s'occuperont en effet de la mise en place et de la gestion de la plupart des dispositifs expérimentaux. Ils apporteront également leur expertise sur les pratiques agricoles et les systèmes de culture. En outre, un retour vers les modèles est attendu (contribution des acteurs du développement agricole), pour juger de leur pertinence et de leur adéquation aux questions posées par les relations agriculture-environnement. Ce retour semble essentiel pour faire progresser les modèles de recherche et favoriser leur diffusion vers les utilisateurs en vue d'une utilisation opérationnelle allant jusqu'à servir de support à la réalisation d'inventaires (méthodologie de niveau 3 du GIEC) et à la conception et l'évaluation de systèmes peu émetteurs de N_2O .

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

Le projet est porté par l'UMT « Connaissance et GESTion des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) par les cultures (UMT GES- N_2O) » CETIOM–INRA, basée à Grignon. Ayant une portée nationale, il associe également des partenaires extérieurs au site de Grignon et il s'inscrit dans le cadre du RMT « Fertilisation et environnement ».

I.4.3. Evolution du partenariat

Le partenariat a été élargi entre la manifestation d'intérêt initiale et le présent dossier finalisé du projet. Des partenaires techniques (le CITEPA, le JRC d'Ispra et 4 équipes INRA basées à Dijon, Orléans, Laon-Mons et Rennes) ont accepté de se joindre à ce projet. Ces partenaires sont des acteurs reconnus de la recherche sur les émissions de N_2O par les grandes cultures et dans le domaine de l'action publique (le CITEPA et le JRC sont les centres de référence en matière d'inventaires de gaz à effet de serre en France et en Europe, respectivement). Cette extension de partenariat permet ainsi : (i) l'ajout de fortes compétences en matière de microbiologie des sols, de physique des sols, et de modélisation qui permettront de (ii) référencer l'ensemble des sols du dispositif expérimental et d'établir des indicateurs d'émission de N_2O ; (iii) de renforcer la portée nationale du projet; (iv) d'insérer ce projet dans le contexte européen de la recherche sur les émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture.

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.

Le projet bénéficiera de l'insertion européenne de l'UMR INRA–AgroParisTech EGC (Grignon) et du JRC (Ispra, Italie), en particulier dans le projet intégré NitroEurope. Il bénéficiera également de l'expertise des partenaires sur le cycle de l'azote dans les conditions de l'agriculture française, incluant les processus associés aux émissions de N_2O . Ce projet s'appuiera donc sur des programmes en cours liés au cycle de l'azote en France et en Europe, en apportant des compléments forts en matière de précision des émissions directes de N_2O par les grandes cultures.

Vis-à-vis du projet NitroEurope (6^{ème} PCRD; 2006–2011; www.nitroeuropa.eu; coordinateur Mark Sutton, NERC, Grande-Bretagne; correspondants à l'INRA EGC Pierre Cellier et au JRC Adrian Leip), le projet NO GAS viendra combler deux manques. Les modèles d'émission directe de N_2O développés dans le cadre de NitroEurope ne seront pas complètement validés dans les conditions de l'agriculture française et pour toutes les pratiques agricoles. La base de données constituée par le projet NO GAS sera un apport déterminant à cet égard. En outre, une expertise par des partenaires du développement pour juger de la pertinence des sorties des modèles d'émissions directes et de leur intérêt pour la conduite des cultures et l'évaluation de l'impact environnemental n'est pas présente dans la communauté du projet NitroEurope, alors qu'elle l'est ici.

Vis-à-vis d'autres projets en cours, le projet NO GAS sera conduit en lien avec deux autres projets déjà financés par le CAS DAR :

- « AZOSYSTEM » (AAP CAS DAR 2005 ; projet porté par le RMT Fertilisation et Environnement et coordonné par le CETIOM)
- « Gaz à Effet de Serre et Stockage de Carbone en exploitations agricoles » (AAP CAS DAR 2006 ; projet coordonné par l'Institut de l'Élevage).

Ces deux projets visent à la production d'outils pour estimer soit les pertes d'azote sous toutes ses formes à l'échelle du système de culture (AZOSYSTEM), soit l'émission des gaz à effet de serre et le stockage du carbone dans les exploitations agricoles (2^e projet). Les résultats obtenus dans le projet NO GAS permettront de préciser et de fiabiliser les estimations d'émission de N₂O incluses dans les outils développés par ces autres projets.

II- MOTIVATIONS ET INNOVATIONS

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

- Diagnostic initial

Actuellement la France ne dispose pas d'une base suffisante en mesures d'émissions directes de N₂O pour préciser les coefficients internationaux du GIEC ou pour valider un modèle de simulation. En conséquence, l'ADEME et le CITEPA recommandent d'utiliser par défaut les coefficients d'émission proposés par le GIEC (méthode de niveau 1) dans les inventaires de GES (ADEME *et al.*, 2008 ; CITEPA, 2009), qui calculent les émissions comme un pourcentage des apports azotés anthropiques (GIEC, 2006). Les études ainsi réalisées présentent des résultats très imprécis (le coefficient d'émission directe de N₂O est de 0,01 kg N-N₂O (kg N apporté)⁻¹, avec un intervalle de confiance de 0,003 à 0,03 ; GIEC, 2006), dispersés et probablement peu représentatifs des conditions françaises. De plus, ces méthodes ne permettent pas de prendre en compte d'autres voies de progrès pour réduire les émissions que la réduction de la quantité d'azote apportée.

- Bibliographie

Le protoxyde d'azote est un gaz trace de l'atmosphère qui présente un potentiel de réchauffement global sur un siècle d'environ 300 fois celui du dioxyde de carbone (Germon *et al.*, 2003 ; CITEPA, 2009). La production de N₂O dans les sols provient de l'activité microbienne (Germon *et al.*, 1999). La dénitrification en est le principal mécanisme : le N₂O est un composé intermédiaire dans la chaîne de réduction qui va de NO₃⁻ à N₂. Ces réactions s'observent en milieu anaérobie. D'autres mécanismes peuvent également produire du N₂O, en particulier la nitrification ; cette production s'observe préférentiellement dans les sols faiblement humides et de pH alcalin. La microflore du sol peut également réduire le N₂O en N₂ au cours de la dernière étape de la dénitrification. L'intensité des émissions nettes de N₂O est donc la résultante du fonctionnement des mécanismes de production et de consommation de N₂O. L'émission nette de N₂O dépend de la teneur du sol en nitrate, dont la présence favorise la production de ce gaz. Cet effet, souligné par de nombreux auteurs, est précisé par Lemke *et al.* (1998) qui estiment que 65 % de la variabilité spatiale des émissions s'explique par la quantité d'azote nitrique. Deux caractéristiques du fonctionnement des sols sont également déterminantes (Germon *et al.*, 1999) : (i) le fonctionnement hydrique a tout d'abord un rôle essentiel, car la dénitrification s'observe à partir d'un taux de saturation de la porosité par l'eau de 60 à 65 % ; (ii) la capacité du sol à réduire le N₂O en N₂ est d'autre part déterminante, puisqu'elle peut varier de 0 à 100 %. Cela suggère donc que chaque type de sol pourrait être caractérisé par un potentiel à émettre du N₂O sur le long terme, en fonction de ses propriétés physico-chimiques et microbiologiques. Enfin, la température, qui a un effet sur tous les processus biologiques, est également un facteur majeur de l'émission de N₂O (Cannavo *et al.*, 2008), de même que la présence de matière organique qui intervient généralement comme donneur d'électrons dans le processus de dénitrification.

En conséquence, le sol, le climat et les pratiques culturales ont une grande influence sur l'intensité des émissions de N₂O. Celle-ci dépend notamment de la quantité d'azote apportée, mais aussi des modalités de fertilisation (formes d'engrais et dates d'apport), du travail du sol, de l'irrigation et de la gestion des matières organiques exogènes (Vale *et al.*, 2007 par exemple). C'est pourquoi l'estimation de l'émission de N₂O à partir des facteurs d'émission de niveau 1 proposés par le GIEC (2006) relève d'une vision réductrice, car avec une telle approche la seule voie envisageable de réduction de l'émission de N₂O serait de réduire l'apport d'azote. Le niveau 2 suggéré par le GIEC pour établir les inventaires nationaux consiste à adapter les facteurs d'émission aux conditions de chaque pays. Il nécessite de pouvoir justifier de mesures ayant une représentativité et une signification statistique

bien établie. Une telle adaptation a été réalisée au Canada pour l'émission directe de N_2O , c'est-à-dire à l'échelle des parcelles qui reçoivent des apports anthropiques d'azote (Rochette *et al.*, 2008a). La méthode mise au point dans ce pays calcule un coefficient d'émission directe en fonction du ratio entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle, de la texture du sol et de la topographie (les zones basses qui sont plus humides émettent plus de N_2O). Ce coefficient permet de calculer une émission directe de N_2O moyenne, qui est ensuite corrigée par l'effet d'autres facteurs selon un modèle additif. Ces autres facteurs sont le travail du sol, l'irrigation, la gestion estivale de la parcelle (jachère ou non), les déjections des animaux domestiques et l'effet des sols organiques. Cette méthode a été utilisée pour réaliser l'inventaire des émissions de N_2O par les sols agricoles canadiens de 1990 à 2005 (Rochette *et al.*, 2008b).

Pour affiner l'estimation des émissions en fonction des pédoclimats et des pratiques agricoles, le GIEC propose également une méthode dite de niveau 3 qui consiste à utiliser un modèle de simulation des émissions de N_2O . Il existe plusieurs modèles simulant la production nette de N_2O par la microflore du sol *via* la dénitrification et la nitrification (Heinen, 2006). Certains modèles calculent les émissions de N_2O en estimant l'activité des communautés bactériennes nitrifiantes et dénitrifiantes sous l'effet de facteurs environnementaux. D'autres modèles calculent les vitesses de dénitrification et de nitrification par une fonction multiplicatrice entre une valeur potentielle et des fonctions de réponse aux conditions physiques et chimiques du sol (température, humidité et pH), et aux substrats (teneurs en ammonium et nitrate). La vitesse de dénitrification potentielle est essentiellement liée à l'activité microbiologique du sol, et se mesure en conditions anaérobies avec une concentration en nitrate non limitante. L'un de ces modèles, NOE (Hénault *et al.*, 2005), a été construit, calibré et validé avec des données obtenues dans les conditions françaises. Il a été intégré au modèle de culture CERES-EGC (Gabrielle *et al.*, 2006). Un tel modèle permet d'étudier les liens entre l'émission directe de N_2O et un ensemble de paramètres de l'itinéraire technique, notamment les modalités de fertilisation azotée, et de prédire l'ensemble des pertes d'azote au niveau de la parcelle ainsi que les variables de production de la culture. Une telle approche intégrée a également été développée avec le modèle DNDC³. Utilisé notamment par le JRC de la commission européenne⁴ (Leip *et al.*, 2008), DNDC est en passe de devenir un outil privilégié par les européens pour l'estimation des flux de GES. Mais, la validité de CERES-EGC-NOE et de DNDC dans les conditions agricoles françaises reste largement à vérifier. Par exemple, Hénault *et al.* (2005) ont observé une bonne adéquation entre les simulations et les mesures d'émissions de N_2O cumulées sur une année. Mais, cette évaluation a montré la forte variabilité des émissions et a été réalisée sur quelques situations qui sont loin de représenter la diversité des conditions de culture. Par ailleurs, si les cumuls étaient corrects, les valeurs instantanées d'émission étaient souvent mal simulées. La difficulté de correctement simuler les cinétiques d'émission, alors que les cumuls sont bien représentés, a également été constatée en Inde (Jagadeesh Badu *et al.*, 2006) et en Belgique (Beheydt *et al.*, 2007) avec le modèle DNDC. Ces modèles doivent donc être testés plus largement dans les conditions pédoclimatiques et d'agriculture françaises, et éventuellement être améliorés.

Le projet présenté dans ce document ne concerne que l'émission directe de N_2O . Mais des émissions importantes de N_2O se produisent également au niveau des sites récepteurs de l'azote perdu par lessivage et volatilisation – on parle alors d'émissions indirectes – ainsi qu'au niveau des bâtiments d'élevage, des zones de stockage des effluents d'élevage et des pâturages. Si les mesures à la parcelle sont relativement faciles à étudier et à mettre en relation avec les pratiques agricoles, il n'en est pas de même des émissions indirectes. En outre ces dernières reposent sur un nombre encore plus limité de données expérimentales que les mesures à la parcelle. Elles sont donc sujettes à de très fortes incertitudes. Le GIEC propose comme facteur d'émissions indirectes par défaut 0,0033 kg N_2O -N/kg N, dont 0,0023 en raison du lessivage, et 0,001 en raison de la volatilisation. Faute d'autres références permettant de proposer d'autres valeurs de facteurs d'émissions, l'ADEME (2008) recommande ces valeurs. De nouvelles sources d'informations utilisant notamment d'autres approches ont remis à l'ordre du jour l'importance potentielle de ces émissions indirectes. Par une approche globale qui considère l'évolution des teneurs atmosphériques en N_2O en regard avec celle des quantités d'azote utilisées en agriculture, Crutzen *et al.* (2008) aboutissent à un facteur d'émissions global (direct + indirect) compris entre 3 et 5% de l'azote minéral apporté, ce facteur ne recouvrant toutefois pas exactement les mêmes processus ni les mêmes émissions que la méthodologie GIEC. Ces quelques données laissent penser que les dégagements indirects de N_2O sont très mal connus. Dans certains cas ils semblent supérieurs aux dégagements directs dans la parcelle, puisqu'ils se produisent dans des zones humides, favorables aux émissions de N_2O mais dont le fonctionnement et les liens avec les zones agricoles sont mal connus. Ils ne seront toutefois pas étudiés dans le cadre du présent projet.

³ <http://www.dndc.sr.unh.edu/> ; nombreuses références bibliographiques sur le site

⁴ Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy

- Expériences déjà conduites

La mesure de l'émission directe de N₂O en conditions agricoles est bien maîtrisée. Quelques expérimentations ont déjà été réalisées en conditions françaises (Hénault *et al.*, 2005 ; Lehuger *et al.*, 2009) et des modèles de simulation de l'émission existent. Ces travaux ont notamment été réalisés par les partenaires du projet. Il manque cependant un large travail d'acquisition de références expérimentales représentant de manière plus exhaustive les conditions pédoclimatiques et les pratiques françaises et de validation des modèles, pour rendre opérationnelles dans les conditions françaises l'estimation des émissions de N₂O et la recherche de moyens pour les réduire (voies de progrès liées à la modification des itinéraires techniques, par exemple).

- Références

- ADEME, MEDAD, MAP, ONIGC, IFIP et Bio IS. 2008. Elaboration d'un référentiel méthodologique pour la réalisation d'Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération en France. Bio IS (Ed.): 130 p.
- BEHEYDT D, BOECKX P, AHMED H P, VAN CLEEMPUT O, 2008. N₂O emission from conventional and minimum-tilled soils. *Biology and Fertility of Soils*, 44: 863-873.
- CANNAVO P, RECOUS S, PARNAUDEAU V, REAU R, 2008. Modeling N dynamics to assess environmental impacts of cropped soils. *Advances in Agronomy*, 97: 131-174.
- CECILLON L, CASSAGNE N, CZARNES S, GROS R, VENNETIER M, BRUN J J, 2009. Predicting soil quality indices with near infrared analysis in a wildfire chronosequence. *Science of the Total Environment*, 407: 1200-1205.
- CECILLON L, CASSAGNE N, CZARNES S, GROS R, BRUN J J, 2008. Variable selection in near infrared spectra for the biological characterization of soil and earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1975-1979.
- CITEPA 2009. Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. CCNUCC / CRF – Mars 2009 : 1196 p.
- CRUTZEN P J, MOSIER A R, SMITH K A, WINIWARTER W, 2008. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 389-395.
- GABRIELLE B, LAVILLE P, DUVAL O, NICOUILLAUD B., GERMON J-C, HENAULT C, 2006. Process-based modeling of nitrous oxide emissions from wheat-cropped soils at the sub-regional scale. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB4018.
- GERMON J-C, HENAULT C, GARRIDO F, REAU R, 1999. Mécanismes de production, régulation et possibilités de limitation des émissions de N₂O à l'échelle agronomique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 85 : 148-162.
- GERMON J-C, HENAULT C, CELLIER P, CHENEY D, DUVAL O, GABRIELLE B, LAVILLE P, NICOUILLAUD B, PHILIPPOT L, 2003. Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) d'origine agricole. Evaluation au niveau du territoire français. *Etude et Gestion des Soils*, 10 : 315-328.
- GIEC, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use. Chapter 11: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application: 54 pp.
- HEINEN M, 2006. Simplified denitrification models: overview and properties. *Geoderma*, 133: 444-463.
- HENAULT C, BIZOUARD F, LAVILLE P, GABRIELLE B, NICOUILLAUD B, GERMON J-C, CELLIER P, 2005. Predicting in situ soil N₂O emission using NOE algorithm and soil database. *Global Change Biology*, 11: 115-127.
- JAGADEESH BABU Y, LI C, FROLKING S, NAYAK D R, ADHYA T K, 2006. Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74: 157-174.
- LEHUGER S, GABRIELLE B, VAN OIJEN M, MAKOWSKI D, GERMON J C, MORVAN T, HENAULT C, 2008. Bayesian calibration of the nitrous oxide emission module of an agro-ecosystem model. 45 p. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00342825/en/>
- LEIP A, MARCHI G, KOEBLE R, KEMPEN M, BRITZ W, LI C, 2008. Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe. *Biogeosciences*, 5: 73-94.
- LEMKE R L, IZAURRALDE R C, NYBORG M, 1998. Seasonal distribution of nitrous oxide emissions from soils in the Parkland region. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62: 1320-1326.
- ROCHETTE P, WORTH D E, LEMKE R L, MC CONKEY B G, PENNOCK D J, WAGNER-RIDLE C, DESJARDINS R L, 2008 a. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology. *Can. J. Soil Sci.*, 88: 641-654.
- ROCHETTE P, WORTH D E, HUFFMAN E C, BRIERLEY J A, MC CONKEY B G, YANG J, HUTCHINSON J J, DESJARDINS R L, LEMKE R L, GAMEDA S, 2008 b. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. II. 1990-2005 inventory. *Can. J. Soil Sci.*, 88: 655-669.
- SOLTNER D, 1984. Les bases de la production végétale, tome II, le climat : météorologie, pédologie, bioclimatologie. 3^e édition. Collection Sciences et Techniques Agricoles : 312 p.
- VALE M, MARY B, JUSTES E, 2007. Irrigation practices may affect denitrification more than nitrogen mineralization in warm climatic conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 641-651.

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

L'intérêt du projet est tout d'abord environnemental, car il doit donner les moyens de réduire l'émission de N₂O par les grandes cultures, qui contribue significativement au changement climatique. Il est également social, dans la mesure où il permettra aux agriculteurs de participer à l'effort pour réduire les émissions de GES, donnant à la

profession les moyens d'avoir une action positive et reconnue sur l'environnement. L'intérêt du projet sur le plan économique est indirect mais bien réel. A l'avenir, le respect de critères de durabilité sera une condition d'accès aux marchés. C'est en train de devenir une réalité pour le débouché biocarburant : la Directive Européenne sur les énergies renouvelables impose un minimum de réduction des émissions de GES par rapport au carburant d'origine fossile.

Le projet présente par ailleurs un intérêt scientifique, technique et réglementaire, puisqu'il débouchera sur une méthode validée pour estimer l'émission directe de N₂O dans les conditions françaises (méthode de niveau 2, voire 3, du GIEC). Il donnera également des informations quantifiées sur les effets d'éléments de l'itinéraire technique, qui sont actuellement identifiés mais dont l'ampleur n'est pas connue. Ce projet devrait donc donner une vision plus claire, précise et fondée des émissions de N₂O dans le domaine agricole, mettant la France dans le peloton de tête des pays européens. Le projet permettra aussi d'évaluer la pertinence des modèles et leur adéquation aux questions posées par l'agriculture. En conséquence, des améliorations seront apportées à ces modèles.

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

Le projet a pour finalité de permettre à l'agriculteur d'intégrer l'enjeu « changement climatique » dans le raisonnement de ses pratiques culturales, en se focalisant sur le N₂O qui est le principal gaz à effet de serre en grandes cultures et le plus mal connu. Il s'agit d'une innovation majeure qui contribuera à l'approche multicritère nécessaire à l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles.

Sur le plan technique, cette ambition de raisonner les pratiques culturales en tenant compte des GES impose de dépasser la méthode actuellement utilisée en France pour estimer les émissions de N₂O (Niveau 1 du GIEC) qui n'intègre ni les effets des pratiques culturales autres que la dose d'engrais N, ni ceux du sol et du climat. Pour ce faire, deux voies correspondant respectivement aux niveaux 2 (coefficients nationaux d'émission) et 3 (modèles) du GIEC seront simultanément envisagées. L'utilisation de coefficients nationaux consistera à mettre au point une méthode innovante d'estimation des émissions qui intégrera les effets du sol, du climat et des pratiques culturales autres que la dose d'engrais N. La mise au point de cette méthode ne pourra s'appuyer que sur un nombre limité d'expériences dans les autres pays. Il ne s'agira donc pas d'une simple adaptation aux conditions françaises d'une méthode éprouvée, mais bien d'une mise au point innovante qui pourra reposer sur une approche statistique très différente du modèle additif utilisé au Canada (Rochette *et al.*, 2008a). La deuxième voie d'adaptation nationale du calcul d'émission de N₂O, qui consiste à utiliser des modèles, nécessitera une modélisation des pratiques culturales et de leur effet, qui n'existe pas encore de manière satisfaisante dans ces modèles. Il s'agira de trouver un compromis entre une description trop grossière des processus qui ne permettrait pas de correctement prendre en compte l'effet des pratiques, et une description trop fine qui rendrait impossible une utilisation à grande échelle (difficulté de paramétrage et de renseignement des variables d'entrée). L'amélioration des modèles consistera également à faire appel à de nouveaux formalismes et à des méthodes innovantes de paramétrage. Le retour attendu de la part des partenaires du développement est essentiel pour faire progresser les modèles de recherche et favoriser leur diffusion vers les utilisateurs, et constitue également une nouveauté. Les mesures complémentaires de propriétés du sol (physico-chimiques et microbiologiques) serviront à construire un indicateur, basé sur la connaissance des processus d'émission de N₂O et de leurs déterminants, permettant d'estimer le potentiel des sols à émettre du N₂O à long terme (cf. paragraphe III.1.). Un tel indicateur constituera une réelle avancée, en permettant d'identifier des situations pédoclimatiques sensibles en terme d'émissions de N₂O, afin de préconiser des systèmes de cultures et des conduites culturales adaptés à ces conditions particulières.

Au bout des trois années du projet NO GAS, chacune des deux Actions proposées débouchera donc sur des innovations permettant de répondre à des questions finalisées d'importance nationale et de contribuer à une approche innovante du raisonnement des pratiques culturales, adapté aux conditions pédoclimatiques locales.

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

Le projet s'inscrit dans le programme pluriannuel 2009-2013 du CETIOM qui a été soumis au CAS DAR. Il contribue à l'axe 2 intitulé « Gérer les conséquences techniques des évolutions réglementaires », notamment parce qu'il nous donnera les moyens d'apporter une réponse aux exigences de la Directive Européenne sur les énergies renouvelables concernant la réduction des émissions de GES. Mais, ce projet concerne des activités pour lesquelles aucun financement n'a été demandé.

III PROGRAMME DE TRAVAIL ET ORGANISATION

III.1. Présentation des actions :

Comme indiqué dans la présentation générale du projet (cf. paragraphe I.3.), le projet NO GAS est décliné en deux Actions :

- L'Action 1, expérimentale, consiste en la mise en place d'un réseau national de 9 sites de mesure des émissions directes de N_2O . Ce réseau expérimental sera représentatif de la diversité des conditions pédoclimatiques et des conduites culturales des grandes cultures en France. Cette action permettra de mieux connaître l'effet du sol, du climat et des pratiques culturales dans les conditions françaises. La finalité est de réaliser des inventaires régionalisés d'émission de N_2O et d'identifier des voies de réduction des émissions. Cela passe notamment par la constitution d'une base de données pour la mise au point d'une méthode de niveau 2 du GIEC.
- L'Action 2 est consacrée à l'amélioration des modèles de simulation du N_2O pour mieux rendre compte des émissions directes de ce gaz par les surfaces implantées en grandes cultures, en particulier leurs variations sous l'effet des pratiques culturales. Sa finalité est d'évaluer des pratiques sur le moyen terme (rotation) et le long terme (20-30 ans, variabilité climatique), et d'atteindre le niveau 3 du GIEC pour la réalisation des inventaires d'émissions de N_2O .

Action 1 – Etude expérimentale de l'émission directe de N_2O

Le premier objectif opérationnel de l'Action 1 est de quantifier l'effet du sol, du climat et de certains éléments de l'itinéraire technique. Il s'agira de tester trois hypothèses principales : (H1) les principaux pédoclimats représentatifs des grandes cultures françaises ont un effet sur les émissions directes de N_2O qui justifie d'en tenir compte dans les inventaires ; (H2) les pratiques culturales autres que la dose d'engrais azoté ont un effet qui justifie d'en tenir compte dans les inventaires et qui permet d'en déduire des voies de réduction des émissions ; (H3) il y a une interaction entre l'effet des pratiques culturales et le pédoclimat qui justifie d'en tenir compte dans les inventaires et dans la recherche de voies de réduction des émissions. Le deuxième objectif opérationnel est d'obtenir des coefficients régionalisés d'émission directe de N_2O , et le troisième de constituer une base de données qui tiendra lieu de référence nationale et sera utilisée pour le développement et la validation de modèles d'émission de N_2O .

Cinq tâches seront réalisées pour atteindre les objectifs opérationnels de l'action 1 : (A) synthèse des données existantes ; (B) mise en place d'un réseau expérimental ; (C) mesure des émissions directes de N_2O ; (D) caractérisation sol/plante des sites et construction d'un indicateur du potentiel d'émission des sols ; (E) archivage des données, synthèse, diffusion et transfert des résultats. Le calendrier, les indicateurs de suivi et d'évaluation des 5 tâches de l'Action 1 sont détaillés dans le Tableau 2.

Description détaillée des activités de l'Action 1

Tâche 1.A. Synthèse des données existantes

Durant l'année 1 du projet, l'ensemble des mesures de N_2O réalisées sur des surfaces implantées en grandes cultures françaises dans le passé seront rassemblées dans un système de gestion de base de données. Les données publiées dans des revues scientifiques à comité de lecture seront privilégiées car considérées comme plus fiables et reconnues.

Outre les données concernant les émissions directes de N_2O (en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$), cette base de données contiendra également des informations sur :

- la mesure de l'émission directe : la méthode de mesure (micrométéorologique, chambre statique manuelle, chambre statique automatique), la période de suivi (dates et nombre de jours de l'expérimentation), et le nombre de mesures seront rapportés.
- la localisation et le pédoclimat: toutes les informations géographiques (coordonnées géographiques, exposition, pente...), pédologiques (type de sol, texture, teneur en eau, carbone et en azote, pH, densité apparente, paramètres microbiologiques...), et climatiques (température et précipitation moyennes et l'année des mesures...) disponibles seront inscrites dans la base.
- les caractéristiques agronomiques : l'espèce cultivée, le précédent, l'itinéraire technique actuel et passé

(dose et modalité de la fertilisation, travail du sol, irrigation, désherbage, gestion des intercultures, éventuelle antériorité d'un traitement...), ainsi que les caractéristiques de la culture (rendement moyen de la parcelle, biomasse des plantes et leur teneur en azote) seront rapportés.

Un effort particulier sera réalisé afin d'obtenir certaines de ces informations lorsqu'elles n'auront pas été renseignées directement dans la publication.

La base de données sera conçue de manière à être directement interrogeable par les logiciels de calculs statistiques du type R ou SAS. Au terme du projet NO GAS, la base sera également librement interrogeable à distance depuis Internet, sous réserve de certaines conditions d'accès et d'utilisation des données.

Tâche 1.B. Mise en place d'un réseau expérimental

Les expérimentations du projet NO GAS sont programmées sur deux années culturales. Elles concerneront les 5 espèces (ou groupes d'espèces) de grandes cultures qui sont les plus cultivées en France : la Betterave, le Blé (représentant les céréales à paille), le Colza, le Maïs et le Tournesol. Une sixième espèce, le Soja, sera suivie dans un site de Guyane, dans le cadre d'une expérimentation qui vise à évaluer les impacts de l'implantation de grandes cultures dans ce département d'outre-mer.

En métropole, 8 sites seront suivis simultanément, ce qui constitue un effort expérimental sans précédent pour des mesures d'émissions de N_2O . La localisation des 8 sites a été déterminée afin d'assurer au réseau la meilleure représentativité possible des conditions pédoclimatiques des grandes cultures françaises. Pour cela, le choix s'est fait en trois étapes : (i) identification de zones agro-climatiques ; (ii) calcul du pourcentage des surfaces nationales des principales grandes cultures de chaque zone ; (iii) identification « à dire d'expert » des principaux types de sol de chaque zone utilisés pour les grandes cultures. La première étape, réalisée en agrégeant les climats régionaux de France (Soltner, 1984), a permis d'identifier les départements appartenant aux trois grands ensembles agro-climatiques contrastés favorables aux grandes cultures : la zone climatique océanique située sur le littoral Ouest, du Nord au Sud ; la zone climatique aquitaniaque dans le Sud-Ouest ; et une zone climatique Nord, au climat océanique dégradé, montrant un gradient de continentalité d'Ouest en Est. La deuxième étape a permis de mettre en évidence que ces trois zones climatiques, regroupant 63 départements, représentent 91%⁵ des surfaces métropolitaines des 5 espèces considérées. La zone Nord formée de 38 départements représente à elle seule 60%⁵ des surfaces, tandis que les zones océanique et aquitaniaque, toutes deux formées de moins de 15 départements, représentent 18%⁵ et 13 %⁵ respectivement. Sur la base de ces critères de surfaces de grandes cultures, un nombre proportionnel de sites d'étude par zone climatique a été décidé : 6 sites dans la zone Nord, 1 site dans la zone de climat océanique, et 1 site dans la zone Sud-Ouest. La troisième étape d'expertise des sols a permis de décider de la localisation des sites au sein de chaque zone, en couplant représentativité pédologique des surfaces implantées en grandes cultures, et les moyens logistiques des partenaires (stations expérimentales) disponibles dans chacune des trois zones. Le détail des sites d'étude sélectionnés pour ce projet est présenté dans le Tableau 1.

Le Colza sera suivi dans l'ensemble des sites de métropole, constituant ainsi l'espèce témoin du réseau expérimental (Tableau 1). Cette espèce a été choisie car elle est présente dans l'ensemble des trois zones cultivées, et parce qu'elle est l'une des cultures étudiées par l'organisme chef de file. Disposer d'une culture témoin dans chaque site permettra de quantifier l'effet du pédoclimat (comparaison inter-site) et ainsi de tester l'hypothèse (H1). Pour chaque espèce, la culture sera conduite selon un itinéraire technique représentatif établi « à dire d'expert » avec un objectif de rendement qui tiendra compte du potentiel pédoclimatique du site. L'itinéraire technique moyen pour chaque culture sera déterminé à partir de l'expertise des ingénieurs régionaux ICTA, et grâce aux bases de données de l'Union de Coopératives InVivo qui recense les pratiques culturales effectives de ses adhérents en France.

Dans chaque site, l'effet de la variation d'un élément de l'itinéraire technique susceptible d'affecter l'émission de N_2O sera étudié (Tableau 1), ce qui permettra de tester l'hypothèse (H2). Les éléments d'itinéraires techniques testés seront : (i) l'espèce cultivée ; (ii) le travail du sol (semis direct ou labour). Le dispositif expérimental permettra de tester l'hypothèse (H3) pour les cas suivants : [pédoclimat x espèce cultivée] et [pédoclimat x travail du sol]. Les espèces cultivées autres que le témoin Colza sont réparties dans les sites en fonction de leur présence chez les agriculteurs dans les différents pédoclimats. Le travail du sol sera étudié avec ou sans antériorité (40 ans de différenciation entre les modalités dans un site, ou travail du sol homogène entre les différentes modalités les années précédentes dans trois sites). Les deux types d'étude permettent de distinguer un effet à court terme (période transitoire après une modification récente du travail du sol ou alternance de travail du sol d'une année à l'autre) et à long terme du travail du sol.

⁵ Source : données Agreste 2007

Au total, 30 modalités (une modalité = un itinéraire technique sur une culture dans un site) seront étudiées chaque année, soit une moyenne d'environ 3 modalités par site. Le tableau 1 récapitule la localisation, le pédoclimat, les espèces considérées, et les éléments de l'itinéraire techniques étudiés dans chaque site du réseau expérimental.

Tableau 1 : Description des 9 sites d'étude du projet

Site d'étude	Région	Zone climatique	Type de sol	Espèces suivies	Elément de l'itinéraire technique étudié
Estrées-Mons	Picardie	Nord	Limons	Blé – Betterave – Colza	Cultures
Fagnières	Champagne-Ardenne	Nord	Craies de Champagne	Blé – Betterave – Colza	Cultures
Nancy	Lorraine	Nord	Argileux	Colza	Travail du sol
Boigneville*	Ile de France	Nord	Limons argileux	Blé – Betterave – Pois – Orge de printemps	Travail du sol avec antériorité et cultures
Grignon	Ile de France	Nord	Limons argileux profonds	Maïs – Blé – Colza	Cultures
Subdray	Centre	Nord	Argilo-calcaire	Colza	Travail du sol
La Jaillière	Pays de la Loire	Océanique	Limons hydromorphes	Maïs ou Blé	Cultures
			Limons hydromorphes drainés	Maïs ou Blé – Colza	
En Crambade	Midi-Pyrénées	Aquitaine	Limons-argileux profonds	Maïs – Blé – Colza – Tournesol	Cultures
Sinnamary	Guyane	Tropicale humide	Sol ferralitique sablo-argileux	Soja – Maïs	Travail du sol et cultures

* : dispositif de suivi à long terme avec une rotation imposée, ne pouvant intégrer du Colza, et qui utilisera des chambres de mesures automatiques

Dans chacun des sites d'étude, l'effet statistique de chaque traitement expérimental (modalité) pourra être étudié grâce à la mise en œuvre d'un plan d'expérience en « blocs complets randomisés ». Dans ce type de protocole expérimental, chaque traitement figure dans chaque bloc. Trois blocs seront mis en place dans chaque site, permettant ainsi d'obtenir 3 répétitions pour chaque modalité étudiée. Dans l'éventualité où un gradient de variation serait distingué dans un site d'étude, les blocs seraient alors des rectangles allongés dans la direction perpendiculaire à ce gradient, et les parcelles des rectangles allongés dans le sens de ce gradient.

Tâche 1.C. Mesures des émissions directes de N₂O

Pour chacune des 30 modalités et pour chacune des deux années d'expérimentations (années 1 et 2 du projet), des mesures d'émissions directes de N₂O seront réalisées à 20 dates, à l'aide de 6 chambres statiques manuelles, soit 2 chambres par parcelle élémentaire dans le plan d'expérience en « blocs complets randomisés ». Un tel protocole expérimental permet d'éviter toute confusion : les effets du traitement, ainsi que les erreurs expérimentales et observationnelles peuvent être estimées.

La fréquence des mesures sera adaptée en fonction des apports d'azote : une mesure la veille de l'apport ; trois dans les deux semaines qui suivent un apport ; puis une par semaine pendant deux semaines ; puis une fois par mois ou par quinzaine le reste du temps, selon les conditions météorologiques. Des mesures plus fréquentes seront également réalisées au moment du travail du sol.

Les chambres statiques manuelles en aluminium auront une dimension de 0,25 m² en surface, pour une hauteur de 0,15 m (des rehausses pourront être mises selon la culture et son stade). Sur le terrain, les mesures de N₂O seront réalisées par prélèvement dans des tubes sous vide après fermeture hermétique des chambres, selon la technique

décrite par Hénault *et al.* (2005). Pour chaque chambre statique et pour chaque date, 4 prélèvements (à T_0 ; T_{+30mn} ; T_{+60mn} ; T_{+90mn}) seront réalisés afin d'estimer la cinétique d'accumulation du N_2O au cours du temps. Les échantillons gazeux ainsi prélevés seront ensuite expédiés rapidement au laboratoire d'analyse, où sera quantifiée la concentration en N_2O par chromatographie en phase gazeuse.

Sur les deux années d'expérimentations, le projet NO GAS nécessitera donc plus de 20000 analyses de N_2O . Cet effort analytique conséquent mobilisera un analyseur (chromatographe phase gazeuse) à temps plein pendant 18 mois, qui sera donc dédié à ce projet.

Avec ce protocole classique de mesures en chambres statiques manuelles, les émissions annuelles de N_2O sont évaluées à partir de 20 dates de mesures par an. Afin d'évaluer la qualité de ces mesures ponctuelles d'émissions de N_2O et recalculer éventuellement leur dynamique temporelle (éventuelle existence de pics d'émissions non mesurés), nos mesures ponctuelles seront comparées à des mesures automatiques continues dans 2 sites d'étude (Grignon, Estrées-Mons) dans lesquels un tel dispositif est suivi par un des partenaires du projet.

Tâche 1.D. Caractérisation sol/plante des sites et construction d'un indicateur du potentiel d'émission des sols

Durant les années 1 et 2 du projet, des mesures complémentaires seront réalisées dans chaque site d'étude afin de contribuer à expliquer la variabilité inter-sites des émissions de N_2O , et afin de calibrer les modèles.

Trois grandes catégories de mesures seront mises en oeuvre :

(i) des mesures physico-chimiques des sols

A chaque date de mesure d'émissions de N_2O , la teneur en eau, en azote minéral (NO_3^- et NH_4^+) et la température de l'horizon 0-30 cm seront déterminées dans l'ensemble des sites du réseau expérimental. D'autres propriétés physico-chimiques des sols seront mesurées de manière saisonnière (3 à 4 mesures par an) : la structure, la densité apparente, la capacité d'échange cationique, le taux de saturation, le pH et le ratio C/N des sols seront mesurés par les méthodes classiques (normes ISO) tandis que la qualité de la matière organique sera déterminée par spectroscopie proche et moyen infrarouge (méthode robuste et économique). Enfin, les propriétés hydrauliques des sols (capacité de rétention, réserve en eau, mesurées selon les méthodes développées par les partenaires INRA du projet) et la texture des sols de chaque site seront déterminées au début des expérimentations.

(ii) des mesures microbiologiques des sols

Dans chaque expérimentation, une caractérisation microbiologique du sol sera réalisée en laboratoire à partir de cylindres de sols prélevés *in situ* l'année 1 du projet. La nitrification maximale, la dénitrification potentielle, ainsi que la capacité de réduction du N_2O en N_2 seront déterminées selon des méthodes dont certaines ont été développées par les partenaires INRA du projet.

(iii) des mesures des paramètres des plantes

Les dates des principaux stades de développement des cultures seront répertoriées. La biomasse et la teneur en azote des plantes seront mesurées à 3 ou 4 dates dans le cycle de culture. A la récolte, le rendement de chaque parcelle-répétition sera également mesuré.

Outre leur contribution pour expliquer la variabilité inter-sites et pour calibrer les modèles d'émission directe, les variables physico-chimiques et microbiologiques du sol obtenues dans chaque site seront agrégées en un indicateur du potentiel d'émission à long terme de ce site. Cet indicateur sera construit de manière empirique en utilisant les émissions annuelles des modalités étudiées et sera donc une fonction de la qualité physico-chimique et biologique du sol. Un tel indicateur ne quantifiera pas les émissions, mais il permettra des comparaisons inter-sites, ainsi que l'identification de situations pédologiques à fort potentiel d'émission directe de N_2O (sols à risques d'émissions). Dans un deuxième temps, l'indicateur ainsi construit sera couplé aux spectres infrarouges des sols (Cécillon *et al.*, 2009) dans le but de prédire sa valeur en routine sur des échantillons inconnus directement par spectroscopie infrarouge, sans passer par la détermination longue et coûteuse des propriétés physico-chimiques et microbiologiques. Des modèles liant les spectres infrarouge de sols à leurs activités de nitrification et de dénitrification potentielle ont déjà été développés avec succès par un des partenaires du projet (Cécillon *et al.*, 2008). La méthode d'indication ainsi mise au point fera l'objet d'une publication scientifique.

Tâche 1.E. Archivage des données, synthèse, diffusion et transfert des résultats

Progressivement (années 1, 2 et 3 du projet), la base de données, créée dans la Tâche 1.A. à partir de données existantes, sera complétée avec les données acquises dans ce projet (Tâches 1.B., 1.C. et 1.D.). L'ensemble de ces données sera accessible aux différents partenaires techniques pendant toute la durée du projet. Elles serviront alors

à la mise au point d'une méthode de niveau 2 du GIEC pour l'inventaire des émissions directes de N₂O, qui fera l'objet d'une publication scientifique. Il s'agira de coefficients d'émission régionalisés spécifiques aux régions de grandes cultures françaises, prenant en compte l'effet du pédoclimat et des pratiques culturales (voir par exemple, Rochette *et al.*, 2008a). De plus, les données acquises serviront également à la calibration et à l'amélioration des modèles d'émissions directes (Action 2 du projet). A la fin des trois années du projet, la base de données comprenant les données existantes publiées, et les données du projet NO GAS sera disponible en accès libre directement par Internet, sous certaines conditions d'utilisation des données. Par ailleurs, la synthèse des données existantes et acquises dans le projet servira de base à la rédaction d'articles scientifiques et de vulgarisation faisant l'état de l'art sur les leviers possibles pour limiter les émissions de N₂O. Les articles seront rédigés tout au long du projet.

Tableau 2 : Calendrier, indicateurs de suivi et d'évaluation des tâches de l'Action 1

Action 1	2010	2011	2012	Indicateurs de suivi (existence des livrables ci-dessous)	Indicateurs d'évaluation*
Tâche 1.A. Base de données	X			1) Compte-rendu de réunions 2) Notice technique de la base	1) Structure de la base validée (06/2010) 2) % des données publiées qui sont collectées (12/2010) 3) Base de données accessible en ligne aux partenaires (12/2010)
Tâche 1.B. Mise en place réseau expérimental	X	X		1) Protocoles expérimentaux 2) Compte-rendu de réunions et de visites de terrain	1) Nombre de dispositifs expérimentaux mis en place (06/2010) 2) Nombre de modalités suivies (09/2010 et 09/2011) 3) Nombre d'anomalies dans a mise en place des dispositifs expérimentaux (12/2010, 12/2011)
Tâche 1.C. Prélèvement et analyse de N ₂ O	X	X	x	1) Compte-rendu de réunions et de visites de terrain 2) Compte-rendu des séances de formation des opérateurs 3) Compte-rendu de réception et d'analyse des échantillons de gaz au laboratoire 4) Protocoles expérimentaux	1) Nombre de chambres de mesures livrées et opérationnelles dans les 9 sites (06/2010) 2) Nombre d'opérateurs formés aux mesures de gaz (06/2010) 3) Délai prélèvement de gaz / analyse (12/2010, 12/2011) 4) Réalisation des mesures prévues dans les protocoles (% des mesures prévues) (12/2010, 12/2011)
Tâche 1.D. Caractérisation sol/plante des sites	X	X	X	1) Compte-rendu de réunions et de visites de terrain 2) Compte-rendu des séances de formation des opérateurs	1) Nombre d'opérateurs formés aux prélèvements sol/plante (06/2010) 2) Nombre de sites dont les sols ont été caractérisés (09/2010) 3) Réalisation des prélèvements sol/plante prévus dans les protocoles (% des prélèvements prévus) (12/2010, 12/2011) 4) Indicateur du potentiel d'émission soumis pour publication (12/2012)
Tâche 1.E. Diffusion et transfert des résultats	X	X	X	1) Compte-rendu de réunions 2) Notice technique de la base (pour diffusion externe)	1) Délai prélèvement gaz / entrée dans la base de données (12/2010, 12/2011) 2) Mise en accès libre de la base de données (12/2012) 3) Nombre de publications scientifiques et de vulgarisation (12/2012)

* : les dates d'échéance (mois/année) pour chaque indicateur d'évaluation sont indiquées entre parenthèses

Action 2 – Mise au point des modèles d'émission directe de N₂O pour les grandes cultures françaises

L'Action 2 concerne la modélisation et la simulation des émissions directes de N₂O par les grandes cultures françaises. Les objectifs opérationnels de cette action consistent à calibrer, améliorer, et valider deux modèles mécanistes existants, dont le paramétrage et le formalisme actuels ne permettent pas des simulations suffisamment précises des émissions directes de N₂O par les surfaces implantées en grandes cultures. En particulier, ces modèles ne parviennent pas à simuler correctement l'effet des pratiques culturales sur les émissions, principalement par manque de données expérimentales permettant leur paramétrage (calibration) et leur validation. La mise au point de modèles correctement calibrés et validés dans les conditions des grandes cultures françaises permettra la préparation d'une méthode de niveau 3 du GIEC pour l'inventaire des émissions directes de N₂O.

Ce travail de modélisation sera effectué pour 2 modèles : CERES-EGC-NOE⁶ et DNDC⁷. Le modèle CERES-EGC-NOE servira de base à l'Action 2, car il a déjà été développé et validé dans certaines conditions françaises par l'un des partenaires du projet. Le modèle DNDC a été choisi parce qu'il est largement utilisé à l'échelle européenne et qu'il a déjà été utilisé pour réaliser des inventaires d'émissions.

La réalisation des objectifs opérationnels de l'Action 2 nécessitera la mise en œuvre de 3 tâches distinctes, détaillées plus bas : (A) calibration et amélioration des modèles ; (B) validation des modèles et préparation d'une méthode de niveau 3 du GIEC ; (C) application des modèles par les organismes professionnels. Le calendrier, les indicateurs de suivi et d'évaluation des tâches de l'Action 2 sont présentés dans le Tableau 3.

Description détaillée des activités de l'Action 2

Tâche 2.A. Calibration et amélioration des modèles

La calibration des modèles débutera dès l'année 1 du projet, et se poursuivra les années 2 et 3. Elle s'appuiera dans un premier temps sur les séries de données existantes d'émissions directes de N₂O qui seront rassemblées dans le cadre de la Tâche 1.A. du projet. Pour certaines d'entre elles, les données françaises existantes ont été préalablement acquises par les partenaires techniques du projet, et seront donc très rapidement mobilisables. Progressivement, la calibration des modèles pourra utiliser une partie des mesures d'émissions obtenues dans l'Action 1 du projet, l'autre partie étant réservée à leur validation (cf. Tâche 2.B.).

Différentes méthodes de calibration des modèles seront testées. Toutes auront pour objet d'affiner les paramètres des deux modèles CERES-EGC-NOE et DNDC. Une de ces méthodes, en cours de développement chez un des partenaires du projet fait appel aux statistiques bayésiennes (Lehuger *et al.*, 2009 ; modèle CERES-EGC-NOE). Cette méthode permet d'affiner la valeur des paramètres des modèles (calcul d'un intervalle réduit des valeurs possibles *a posteriori*) en utilisant : (i) l'information sur les paramètres disponible *a priori* dans la littérature ; (ii) des mesures expérimentales d'émission directe de N₂O. Les nombreuses données expérimentales que fournira l'Action 1 du projet permettront donc d'améliorer sensiblement les calibrations déjà effectuées par Lehuger et ses collègues (2009) dans leurs travaux. Cette méthode sera également testée sur le modèle DNDC. Une autre méthode innovante de calibration utilisera des algorithmes génétiques, afin d'identifier des jeux de paramètres minimisant les erreurs de prédiction des deux modèles de simulation. D'autres méthodes de calibration des modèles pourront être éventuellement testées, en fonction des avancées scientifiques dans ce domaine.

Au-delà de l'adaptation du paramétrage des modèles CERES-EGC-NOE et DNDC dans les conditions des grandes cultures françaises, un enjeu fort de cette Action 2 du projet est d'améliorer la réponse des modèles aux modifications du pédoclimat et des pratiques culturales. En particulier, la prise en compte très insuffisante et peu performante des pratiques culturales empêche l'utilisation des modèles pour tester sur le long terme l'opportunité de leviers d'action, comme la modification de certains éléments d'itinéraires techniques, pour diminuer les émissions directes de N₂O. Dans le cadre de ce projet, un effort particulier sera réalisé pour améliorer la modélisation du travail du sol et de ses effets sur les propriétés hydriques du sol et sur sa structure (densité apparente, circulation de l'eau). Ces deux effets ont un impact direct sur le taux de saturation de la porosité du sol (TSPS) qui conditionne fortement la production de N₂O par nitrification ou dénitrification. Concernant la réponse des modèles aux modifications du pédoclimat, les mesures acquises dans le cadre de l'Action 1, ainsi que des expérimentations en laboratoire, permettront de préciser les fonctions de réponse de la nitrification et de la dénitrification aux modifications de température et d'humidité du sol.

⁶ http://www-egc.grignon.inra.fr/ceres_mais/ceres.html/

⁷ <http://www.dndc.sr.unh.edu/>

Ce travail d'amélioration des modèles nécessitera le développement de nouveaux formalismes mathématiques pour simuler les processus physiques du sol affectés par des modifications de pratiques culturales. De nouvelles équations seront donc développées et incorporées au code source des modèles. Ces innovations feront l'objet de publications scientifiques, qui seront rédigées tout au long du projet.

Tâche 2.B. Validation des modèles et préparation d'une méthode de niveau 3 du GIEC

Dans un premier temps (année 1 du projet), la validation des modèles sera réalisée sur les données françaises existantes recensées dans la base de données mise en place dans la tâche 1.A. Dès la fin de l'année 1 et au cours des années 2 et 3 du projet, les données acquises dans l'Action 1 serviront à valider les deux modèles CERES-EGC-NOE et DNDC. L'étape de validation ne constitue donc pas la dernière étape du projet, puisque les résultats de premières validations serviront tout au long des trois années à identifier les situations expérimentales mal simulées, permettant ainsi d'envisager de nouvelles améliorations des modèles dans la tâche 2.A.

Le premier point de validation des modèles concernera la prédiction correcte des bilans annuels d'émissions directes de N_2O . Pour cela, l'existence de données d'émissions de N_2O en continu dans 2 des sites du réseau (Grignon, Estrées-Mons) sera particulièrement intéressante. Cela permettra par ailleurs de vérifier, dans 2 situations pédoclimatiques, la précision des bilans annuels effectués sur la base de 20 mesures ponctuelles par an.

Un deuxième point de validation des modèles portera sur la précision de l'émission journalière simulée par les deux modèles. Cette validation sera effectuée au sein de chaque site, et aussi en prenant en compte l'ensemble des données acquises dans les 9 sites. Une phase de validation croisée utilisera une partie des données, tandis qu'une validation indépendante sera réalisée sur une autre partie des données choisie aléatoirement parmi les mesures conduites dans toutes les modalités du réseau expérimental. Cette précaution permettra une validation réellement indépendante des modèles, indispensable lors de la soumission de méthodes d'inventaires des émissions de gaz à effet de serre aux instances internationales compétentes.

L'ensemble des données collectées dans l'Action 1 du projet permettra de disposer d'un jeu de 1240 mesures (31 modalités * 20 dates * 2 ans) provenant de situations expérimentales représentatives des conditions pédoclimatiques des grandes cultures françaises. Cet effort expérimental important donnera une forte puissance statistique aux validations des modèles de simulation CERES-EGC-NOE et DNDC pour les conditions françaises. Cela ouvrira ainsi la voie à une méthode opérationnelle de niveau 3 du GIEC pour l'inventaire des émissions directes de N_2O par les surfaces implantées en grandes cultures en France. Au cours de l'année 3 du projet, et sur la base des résultats de la validation des deux modèles, une réflexion sera engagée avec le CITEPA sur la possibilité de soumettre une méthode de niveau 3 au GIEC.

Tâche 2.C. Application des modèles par les organismes professionnels agricoles

Outre l'objectif d'obtenir des modèles de simulation des émissions de N_2O validés dans les conditions françaises, en vue d'une méthode de niveau 3 du GIEC, un des enjeux importants de l'Action 2 est de construire des modèles facilement utilisables par les organismes professionnels agricoles, qui ont un rôle important dans la mitigation des émissions de gaz à effet de serre, via leurs conseils directs aux agriculteurs. A ce titre, un effort particulier sera mené afin de simplifier les modèles existants et de faciliter leur appropriation par les organismes professionnels.

Tout d'abord, les organismes professionnels apporteront leur connaissance des pratiques culturales réellement appliquées sur le terrain, et des types de sol utilisés dans chaque région pour chacune des 5 espèces métropolitaines de grande culture considérées dans ce projet. Les organismes professionnels seront également en charge d'une évaluation du caractère réaliste des modèles pour les grandes cultures françaises (en vérifiant par exemple les cinétiques de croissance des plantes et le rendement annuel simulés), dans le cadre d'une analyse de sensibilité aux conditions de climat, de culture, et de sol. Les résultats de ces analyses de sensibilité serviront en retour aux équipes de recherche à identifier et réorienter les pistes d'amélioration des modèles.

Enfin, les organismes professionnels agricoles conduiront, en lien étroit avec les équipes de recherche en charge du développement des modèles, une évaluation de la faisabilité d'utilisation de ces outils (ergonomie, possibilité de renseigner les variables d'entrée, simplicité de paramétrage des modèles lors de leur application à des échelles et dans des conditions géographiques nouvelles...) par les ICTA ou autre organisme professionnel. Un tel retour aux concepteurs favorisera l'utilisation future des modèles.

Tableau 3 : Calendrier, indicateurs de suivi et d'évaluation des tâches de l'Action 2

Action 2	2010	2011	2012	Indicateurs de suivi (existence des livrables ci-dessous)	Indicateurs d'évaluation*
Tâche 1.A. Calibration et amélioration des modèles	X	X	X	1) Compte-rendu de réunions 2) Versions du code source des modèles	1) Calibration mono-site (06/2011) et multi-sites (06/2012) des modèles par une méthode innovante 2) Une nouvelle équation proposée pour la prise en compte du travail du sol dans les modèles (12/2011) 3) Erreur de prédiction des modèles (12/2012)
Tâche 1.B. Validation des modèles et préparation d'une méthode de niveau 3	X	X	X	1) Compte-rendu de réunions	1) Date de validation de chacun des deux modèles 2) Deux modèles validés dans les conditions françaises dans des conditions indépendantes (12/2012)
Tâche 1.C. Application des modèles par les organismes professionnels	x	X	X	1) Compte-rendu de réunions 2) Compte-rendu des séances de formation des organismes professionnels	1) Nombre d'organismes professionnels formés aux deux modèles (12/2010) 2) Amélioration ergonomique des modèles après retour des organismes professionnels (12/2012)

III.2. Equipes techniques mobilisées : *présentation par organisme (chambre, institut technique,...)*

Equipes techniques mobilisées	Catégorie	Action 1 : Etude expérimentale de l'émission directe de N ₂ O	Action 2 : Mise au point des modèles d'émission directe de N ₂ O	TOTAL (nombre d'ETP moyen/an)
CETIOM	Ingénieurs (F. Flénet ; L. Cécillon)	0,28	0,28	0,56
	Techniciens Equipes techniques CETIOM	0,78	0,00	0,78
	CDD technicien	0,50	0,00	0,50
	Sous-total	1,56	0,28	1,84
ARVALIS	Ingénieurs (Jean-Pierre Cohan ; ingénieurs régionaux)	0,03	0,03	0,06
	Techniciens Equipes techniques ARVALIS	0,37	0,00	0,37
	Sous-total	0,40	0,03	0,43
ITB	Ingénieurs (Michel Cariolle ; Rémy Duval)	0,05	0,09	0,14
	Techniciens Technicien apprenti	0,28	0,00	0,28
	Sous-total	0,33	0,09	0,42

INVIVO	Ingénieurs (Jérôme Thibierge ; Antoine Poupart ; Aude Laurens)	0,11	0,11	0,22
	Sous-total	0,11	0,11	0,22
INRA Grignon UMR EGC	Chercheurs (Pierre Cellier ; Benoît Gabrielle ; Réa Massad) CDD Post-Doc	0,10 0,00	0,25 0,33	0,35 0,33
	Ingénieurs (Patricia Laville, Nathalie Gagnaire)	0,10	0,15	0,25
	Techniciens (Olivier Maury)	0,10	0,00	0,10
	Sous-total	0,30	0,73	1,03
INRA Grignon UMR Agronomie	Chercheurs (Marie-Hélène Jeuffroy)	0,05	0,00	0,05
	Ingénieurs (Caroline Colnenne)	0,05	0,00	0,05
	Sous-total	0,10	0,00	0,10
INRA Rennes UMR SAS	Ingénieurs (V. Parnaudeau)	0,05	0,05	0,10
	Sous-total	0,05	0,05	0,10
INRA Orléans UR Science du sol	Ingénieurs (Bernard Nicoullaud)	0,03	0,00	0,03
	Techniciens (Guillaume Giot ; Hervé Gaillard)	0,08	0,00	0,08
	Sous-total	0,11	0,00	0,11
INRA Dijon UMR MSE	Chercheurs (Catherine Hénault)	0,05	0,05	0,10
	Ingénieurs CDD Ingénieur	0,25	0,00	0,25
	Techniciens (Florian Bizouard)	0,10	0,00	0,10
	Sous-total	0,40	0,05	0,45
INRA Laon US Agro-Impact	Chercheurs (Bruno Mary ; Joël Léonard ; Magali Roussel)	0,20	0,30	0,50
	Techniciens (Eric Gréhan ; Maël Slastan)	0,40	0,00	0,40
	Sous-total	0,60	0,30	0,90
AgroParisTech Ferme de Grignon	Ingénieurs Dominique Tristant	0,02	0,05	0,07
	Sous-total	0,02	0,05	0,07
ADEPRINA	Ingénieurs Yves Python	0,14	0,04	0,18
	Sous-total	0,14	0,04	0,18
TOTAL (nombre d'ETP moyen par année)		4,12	1,73	5,85

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

	Organismes impliqués (rôle)
Action 1 : animation par l'UMR EGC et le CETIOM	
Tâche 1.A. Base de données	UMR EGC (architecture informatique et maintenance) ; CETIOM (recherche et entrée des données)
Tâche 1.B. Mise en place du réseau expérimental	CETIOM (mise en place de 5 sites) ; Arvalis (mise en place de 3 sites) ; ADEPRINA et Ferme de Grignon (mise en place d'1 site) ; InVivo (identification d'itinéraires techniques types par culture et pédoclimat)
Tâche 1.C. Prélèvement et analyse de N ₂ O	CETIOM (suivi de 5 sites et analyses de l'ensemble des échantillons gazeux du réseau métropolitain) ; Arvalis (suivi d'1 site et suivi partiel de 2 sites) ; ITB ; US Agro-Impact (suivi partiel d'1 site) ; ADEPRINA et Ferme de Grignon (suivi d'1 site) ; UMR EGC (formation des opérateurs)
Tâche 1.D. Caractérisation sol/plante des sites	CETIOM (suivi dynamique de 5 sites, mise au point d'un indicateur du potentiel d'émission des sols) ; Arvalis (suivi dynamique de 2 sites) ; ITB (suivi dynamique d'1 site) ; ADEPRINA et Ferme de Grignon (suivi dynamique d'1 site) ; UR Science du Sol (caractérisation physique des sols, mise au point d'un indicateur du potentiel d'émission des sols) ; UMR MSE (caractérisation microbiologique des sols, mise au point d'un indicateur du potentiel d'émission des sols) ; UMR SAS (mise au point d'un indicateur du potentiel d'émission des sols)
Tâche 1.E. Diffusion et transfert des résultats	UMR EGC (maintenance et accès à la base) ; CETIOM (entrée des données dans la base) ; tous les partenaires (mise au point d'une méthode de niveau 2 ; rédaction d'articles scientifiques et de vulgarisation)
Action 2 : animation par l'UMR EGC et le CETIOM	
Tâche 2.A. Calibration et amélioration des modèles	UMR EGC (méthodes innovantes de paramétrage ; développement du code source des modèles) ; US Agro-Impact ; UMR MSE ; UMR SAS (développement du code source des modèles) ; CETIOM (appui au développement des modèles)
Tâche 2.B. Validation des modèles	UMR EGC ; UMR MSE ; UMR SAS ; US Agro-Impact (validation des modèles) ; tous les partenaires (réflexion sur une méthode de niveau 3 du GIEC)
Tâche 2.C. Application des modèles	InVivo (analyse de sensibilité des modèles aux pratiques culturales et au pédoclimat ; retour aux concepteurs) ; CETIOM ; Arvalis ; ITB ; ADEPRINA ; Ferme de Grignon (retour aux concepteurs)

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

Un comité de pilotage regroupera l'ensemble des partenaires techniques impliqués dans la réalisation du projet NO GAS (destinataires de financements CAS DAR) et associera les experts extérieurs du CITEPA et du JRC. Ce comité de pilotage sera le lieu de discussion et d'orientation du projet. Il se réunira à 4 reprises : en début de projet, en fin d'année 1, en fin d'année 2, et en fin de programme.

La coordination opérationnelle entre les deux actions du projet sera assurée par le CETIOM, organisme chef de file. Un animateur et un adjoint seront nommés pour chaque action, afin d'assurer un pilotage « au quotidien ». Ce binôme sera constitué d'un chercheur et d'un ingénieur ICTA. L'Action 1 sera animée par Pierre Cellier, Directeur de Recherche à l'UMR EGC de l'INRA Grignon, et par Lauric Cécillon, Ingénieur au CETIOM et animateur opérationnel de l'UMT GES-N₂O. L'Action 2 sera animée par Benoît Gabrielle (UMR EGC, INRA Grignon), Professeur à AgroParisTech et par Francis Flénet, Ingénieur au CETIOM, Responsable de l'équipe « Agronomie, Environnement, Economie et Système » de la Direction Scientifique du CETIOM. Chaque binôme d'animateurs assurera un suivi régulier et fréquent du bon déroulement des tâches des actions définies au paragraphe III.1, auprès des partenaires techniques en charge de leur réalisation. Ce suivi sera en outre matérialisé par des réunions trimestrielles spécifiques à chaque action qui donneront lieu à un compte-rendu détaillé.

III.5 Modalités d'évaluation du projet

L'évaluation du projet sera assurée par le comité de pilotage du projet, dont une des missions sera de contrôler si les objectifs de chaque action sont atteints, notamment à travers les indicateurs déjà identifiés au paragraphe III.1. Ce comité de pilotage pourra en cours de projet renforcer sa procédure d'évaluation.

IV COMPTE PREVISIONNEL DE REALISATION DU PROJET

IV.1 Compte prévisionnel détaillé par action

ACTION 1 : ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EMISSION DIRECTE DE N₂O

Désignation des partenaires par catégorie			Coût total en Euros (TTC)	Temps Technicien Ingénieur et Chercheur (en mois)	Aide sollicitée CAS DAR en Euros	Autres concours financiers publics et privés obtenus ou en cours (détailler par bénéficiaire et par financeur*)	Autofinancement (dont produits de prestations ou de ventes liées au projet)
Pilotage du projet (CETIOM)							
CETIOM	Ingénieurs		12240	1	3905	-	8335
Missions confiées à un ou plusieurs ICTA							
CETIOM							
Personnel	Ingénieurs	CDI	12240	1	3905	-	8335
		CDD	36721	8.2	11716	-	25005
	Techniciens	CDI	276973	28	88368	-	188605
		CDD	47286	18	47286	-	0
Total personnel			373220	-	151275	-	221945
Fonctionnement	Analyses gaz / sols / plantes pour 10 sites		129380	-	129380	-	0
	Chaîne d'analyse N ₂ O (chambres, pompe à vide, chromatographe)		72800	-	0	72800	0
	Frais déplacement experts externes		1500	-	1500	-	0
	Frais d'audit		3500	-	1117	-	2383
Total fonctionnement			207180	-	131997	72800	2383
TOTAL CETIOM			580400	-	283272	72800	224328
ARVALIS							
Personnel	Ingénieurs		8960	1.1	2859	-	6101
	Techniciens		84579	13.3	26985	-	57594
Total personnel			93539	-	29844	-	63695
Total fonctionnement			0	-	0	-	0
TOTAL ARVALIS			93539	-	29844	-	63695
ITB							
Personnel	Ingénieurs		16667	2	5318	-	11350
	Techniciens apprentis		29170	10	9307	-	19863
Total personnel			45837	-	14624	-	31213
Total fonctionnement	Frais déplacement		1500	-	1500	-	0
TOTAL ITB			47337	-	16124	-	31213
Missions confiées à un ou plusieurs autres organismes professionnels agricoles							
INVIVO							
Total personnel	Ingénieurs		53420	3.8	17044	-	36376
Total fonctionnement	Frais déplacement		450	-	450	-	0
TOTAL INVIVO			53870	-	17494	-	36376
ADEPRINA							
Total personnel	Ingénieurs		33548	5.1	10704	-	22844
Total fonctionnement	Frais déplacement		300	-	300	-	0
TOTAL ADEPRINA			33848	-	11004	-	22844

Missions confiées à un ou plusieurs organismes de recherche publique						
INRA Grignon UMR EGC						
Salaires Publics	Chercheurs	24267	3.6	0	-	24267
	Ingénieurs	23756	3.6	0	-	23756
	Techniciens	14162	3.6	0	-	14162
Total salaires publics		62185	-	0	-	62185
Total fonctionnement	Frais déplacement (dont un colloque)	1500	-	1500	-	0
TOTAL INRA Grignon UMR EGC		63685	-	1500	-	62185
INRA Grignon UMR Agronomie						
Salaires Publics	Chercheurs	12133	1.8	0	-	12133
	Ingénieurs	11878	1.8	0	-	11878
Total Salaires publics		24011	-	0	-	24011
Total fonctionnement	Frais déplacement (dont un colloque)	1500	-	1500	-	0
TOTAL INRA Grignon UMR Agronomie		25511	-	1500	-	24011
INRA Laon US Agro-impact						
Salaires Publics	Chercheurs	30002	7.2	0	-	30002
	Techniciens	56650	14.4	0	-	56650
Total Salaires publics		86652	-	0	-	86652
Total fonctionnement	Frais déplacement (dont un colloque)	1500	-	1500	-	0
TOTAL INRA Laon US Agro-impact		88152	-	1500	-	86652
INRA Orléans UR Science du Sol						
Salaires Publics	Ingénieurs	6599	1	0	-	6599
	Techniciens	11802	3	0	-	11802
Total Salaires publics		18401	-	0	-	18401
Total fonctionnement	Frais déplacement	1800	-	1800	-	0
TOTAL INRA Orléans UR Science du Sol		20201	-	1800	-	18401
INRA Dijon UMR MSE						
Salaires Publics	Chercheurs	12133	1.8	0	-	12133
	Techniciens	14162	3.6	0	-	14162
Total Salaires publics		26295	-	0	-	26295
CDD	CDD ingénieur	30000	9	30000	-	0
Total fonctionnement	Frais déplacement	1800	-	1800	-	0
TOTAL INRA Dijon UMR MSE		58095	-	31800	-	26295
INRA Rennes UMR SAS						
Total Salaires Publics	Ingénieurs	7502	1.8	0	-	7502
Total fonctionnement	Frais Déplacement (dont un colloque)	5000	-	5000	-	0
TOTAL INRA Rennes UMR SAS		12502	-	5000	-	7502
Missions confiées à un ou plusieurs établissements d'enseignement technique ou supérieur						
AgroParisTech – Ferme de Grignon						
Total Salaires Publics	Ingénieurs	4619	0.7	0	-	4619
Total fonctionnement	Frais Déplacement	300	-	300	-	0
TOTAL AgroParisTech – Ferme de Grignon		4919	-	300	-	4619
Total hors salaires publics		864634	-	405043	72800	386791
Total des salaires publics		229665	-	0	-	229665
TOTAL GENERAL		1094299	-	405043	72800	616456

ACTION 2 : MISE AU POINT DES MODELES D'EMISSION DIRECTE DE N₂O

Désignation des partenaires par catégorie			Coût total en Euros (TTC)	Temps Techniciens Ingénieurs et chercheurs (en mois)	Aide sollicitée CAS DAR en Euros	Autres concours financiers publics et privés obtenus ou en cours (détailler par bénéficiaire et par financeur*)	Autofinancement (dont produits de prestations ou de ventes liées au projet)
Pilotage du projet (CETIOM)							
CETIOM	Ingénieurs		12240	1	3905	-	8335
Missions confiées à un ou plusieurs ICTA							
CETIOM							
Personnel	Ingénieurs	CDI	12240	1	3905	-	8335
		CDD	36721	8.2	11716	-	25005
TOTAL CETIOM			48961	-	15621	-	33340
ARVALIS							
Total personnel	Ingénieurs		8960	1.1	2859	-	6101
TOTAL ARVALIS			8960	-	2859	-	6101
ITB							
Total personnel	Ingénieurs		28833	3.4	9199	-	19634
TOTAL ITB			28833	-	9199	-	19634
Missions confiées à un ou plusieurs autres organismes professionnels agricoles							
INVIVO							
Total personnel	Ingénieurs		53420	3.8	17044	-	36376
TOTAL INVIVO			53420	-	17044	-	36376
ADEPRINA							
Total personnel	Ingénieurs		9319	1.5	2973	-	6346
TOTAL ADEPRINA			9319	-	2973	-	6346
Missions confiées à un ou plusieurs organismes de recherche publique							
INRA Grignon UMR EGC							
Salaires Publics	Chercheurs		62250	9	0	-	62250
	Ingénieurs		27280	5.4	0	-	27280
Total Salaires publics			89530	-	0	-	89530
CDD Ingénieur	CDD Post-Doc		40356	12	40356	-	0
TOTAL INRA Grignon UMR EGC			129886	-	40356	-	89530
INRA Laon US Agro-Impact							
Total Salaires publics	Chercheurs		72800	10.8	0	-	72800
TOTAL INRA Laon US Agro-Impact			72800	-	0	-	72800
INRA Dijon UMR MSE							
Total Salaires publics	Chercheurs		13627	1.8	0	-	13627
TOTAL INRA Dijon UMR MSE			13627	-	0	-	13627
INRA Rennes UMR SAS							
Total Salaires publics	Ingénieurs		8454	1.8	0	-	8454
Total fonctionnement	Frais déplacement		3000	-	3000	-	0
TOTAL INRA Rennes UMR SAS			11454	-	3000	-	8454
Missions confiées à un ou plusieurs établissements d'enseignement technique ou supérieur							
AgroParisTech – Ferme de Grignon							
Total Salaires Publics	Ingénieur		10595	1.8	0	-	10595
TOTAL AgroParisTech – Ferme de Grignon			10595	-	0	-	10595
Total Action 2 hors salaires publics			205089	-	94957	-	110132
Total des salaires publics Action 2			195006	-	0	-	195006
TOTAL GENERAL ACTION 2			400095	-	94957	-	305138

IV.2. Tableau récapitulatif par action

Titre des actions	Action 1 Etude expérimentale de l'émission directe de N ₂ O	Action 2 Mise au point des modèles d'émission directe de N ₂ O	Total général
Coût total en €	1094299	400095	1494394
Dont total hors salaire public	864634	205089	1069723
Dont total salaire public	229665	195006	424671
Aide sollicitée CAS DAR	405043	94957	500000
Autres concours financiers	72800	0	72800
Autofinancement	616456	305138	921594

IV.3. Tableau récapitulatif par partenaire

Nom des partenaires	CETIOM	ARVALIS	ITB	INVIVO	ADEPRINA	INRA UMR EGC	INRA UMR Agronomie
Coût total en €	653841	102499	76170	107290	43167	193571	25511
Total hors salaire public	653841	102499	76170	107290	43167	41856	1500
Total salaire public	0	0	0	0	0	151715	24011
Aide sollicitée CAS DAR	306703	32703	25323	34538	13977	41856	1500
Autres concours financiers	72800	0	0	0	0	0	0
Autofinancement	274338	69796	50847	72752	29190	151715	24011

Nom des partenaires	INRA US Agro-impact	INRA UR Science du Sol	INRA UMR MSE	INRA UMR SAS	Ferme de Grignon AgroParisTech	Total général
Coût total en €	160952	20201	71722	23956	15514	1494394
Total hors salaire public	1500	1800	31800	8000	300	1069273
Total salaire public	159452	18401	39922	15956	15214	424671
Aide sollicitée CAS DAR	1500	1800	31800	8000	300	500000
Autres concours financiers	0	0	0	0	0	72800
Autofinancement	159452	18401	39922	15956	15214	921594

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

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

Ce projet est large et ambitieux, car il combine une approche par modélisation et des expérimentations innovantes qui couvrent les principales conditions de sol, de climat et de conduite des grandes cultures françaises. Mais, il s'appuie en grande partie sur des acquis de la recherche sur les émissions de N₂O et le cycle de l'azote, et sur des programmes en cours. Les techniques de mesure du N₂O sont ainsi bien maîtrisées par l'INRA qui est l'un des partenaires.

Même s'il y a un risque que la synthèse des données expérimentales soit difficile, compte tenu de la variabilité intrinsèque du processus d'émission de N_2O , les jeux de données constitués représenteront un ensemble unique et beaucoup plus solide que les jeux de données ponctuels préexistants qui permettront avec une quasi certitude d'établir de nouveaux coefficients d'émission permettant de réaliser des études de niveau 2, ce qui constituera un grand progrès par rapport à l'existant (niveau 1).

Par ailleurs, les modèles qui seront utilisés sont déjà développés, ils ont bénéficié d'un premier niveau de validation et ont déjà été utilisés pour réaliser des inventaires notamment en France. Ils sont en outre utilisés et comparés à d'autres modèles dans le cadre de NitroEurope-IP.

La modélisation constitue cependant la partie la plus incertaine, car il n'est pas garanti qu'à la fin du projet les modèles seront suffisamment robustes pour réaliser des inventaires ou pour identifier des voies de progrès.

V.2 Résultats attendus :

Trois principaux résultats sont attendus :

- Une base de données expérimentales représentatives des principaux contextes pédoclimatiques des grandes cultures en France, et apportant une information quantifiée sur l'effet de l'espèce cultivée et du travail du sol. Les principales voies de progrès apparaîtront, et à l'inverse les pratiques et les pédoclimats les plus à risque seront identifiées.
- Des coefficients d'émission de N_2O de niveau 2, adaptés aux conditions des grandes cultures en France, et si nécessaire différenciés par contexte pédoclimatique et/ou en fonction des pratiques culturales (espèce cultivée et travail du sol).
- Des modèles robustes d'estimation de l'émission directe de N_2O en fonction des pratiques culturales et des conditions de sol et de climat. A la fin du projet, les modèles auront en effet été validés avec l'ensemble des données acquises dans l'Action 1. En conséquence, leur capacité à simuler l'émission de N_2O dans les principales conditions de production des grandes cultures en France aura été évaluée. De plus les organismes professionnels agricoles auront acquis une bonne maîtrise des modèles. L'application de ces outils par les organismes permettra d'identifier des voies de progrès dans les pratiques agricoles qui pourront être diffusés aux agriculteurs, et pourra contribuer à l'amélioration des inventaires d'émissions de N_2O .

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 expérimentaux seront mis à la disposition de la communauté scientifique et technique (projet AZOSYSTEM...).

Les coefficients d'émission ou les modèles de simulation seront valorisés dans des outils, notamment dans AZOSYSTEM qui calcule les pertes d'azote par les systèmes de culture, et dans l'outil d'estimation des émissions de GES dans les exploitations agricoles du projet « Gaz à Effet de Serre et Stockage de Carbone en exploitations agricoles ». Ils seront également communiqués au CITEPA qui réalise l'inventaire national des émissions de GES. Une comparaison avec la méthodologie classique du GIEC (niveau 1), que met en œuvre le CITEPA, pourra être réalisée à l'issue de ce projet.

Les compétences acquises et les outils développés seront valorisés pour identifier et conseiller des voies de progrès dans les pratiques des agriculteurs. Ce travail sera réalisé en partenariat avec les structures de développement. Par exemple la démarche de progrès de la filière oléagineuse, mise en place avec l'aide des organismes stockeurs pour améliorer l'efficacité énergétique, sera complétée par un volet sur la réduction des émissions de GES au champ.

En complément, les pratiques qui permettent de limiter les émissions de N_2O et les conditions de leur efficacité seront communiquées au travers de documents techniques (articles, brochures...). Par ailleurs, l'ensemble des travaux sera valorisé par des articles scientifiques. Ils contribueront également à enrichir les formations actuellement dispensées sur les émissions de GES par les grandes cultures.

V.4 Amélioration attendue et valorisation ultérieure des compétences :

Les compétences acquises et les outils développés grâce au projet constitueront une base solide pour envisager des inventaires d'émission, l'évaluation des pratiques culturales et la conception de prototypes de systèmes de culture à faible émission de N_2O .

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

Les ICTA et InVivo vont acquérir :

- (i) une meilleure connaissance des situations pédoclimatiques et des pratiques à risques pour les émissions directes de N_2O par les grandes cultures en France, qui pourra être diffusée aux ingénieurs régionaux en charge du conseil aux agriculteurs, ou directement aux agriculteurs adhérents d'InVivo.
- (ii) des compétences nouvelles dans l'utilisation des modèles d'émission qui leur permettra de mieux évaluer l'impact environnemental des grandes cultures (au niveau des émissions de GES), et d'identifier des voies de progrès pour diminuer les émissions.

La Ferme de Grignon et ADEPRINA vont acquérir de nouvelles références expérimentales d'émission de N_2O et une meilleure maîtrise des modèles qui leur permettra de préciser sensiblement le diagnostic énergétique de la Ferme expérimentale réalisé dans le cadre du programme « Grignon Energie Positive (GE+) », et d'identifier les voies de progrès possibles en matière d'émission de N_2O . Ces acquis pour le projet GE+ pourront constituer des retours pour l'ensemble des partenaires du projet NO GAS.

L'INRA compte sur ce projet pour pouvoir améliorer sensiblement la capacité prédictive des modèles d'émission grâce au nombre important de références expérimentales qui seront acquises. De plus, ce projet permettra de rassembler l'ensemble des mesures expérimentales d'émission de N_2O effectuées par les équipes INRA au cours des dernières décennies dans une base de données unique et accessible. Enfin il permettra d'avoir un retour des utilisateurs sur les modèles qu'il développe permettant de faire évoluer leur pertinence et leur cadre de valorisation.

V.6 Suites attendues du projet :

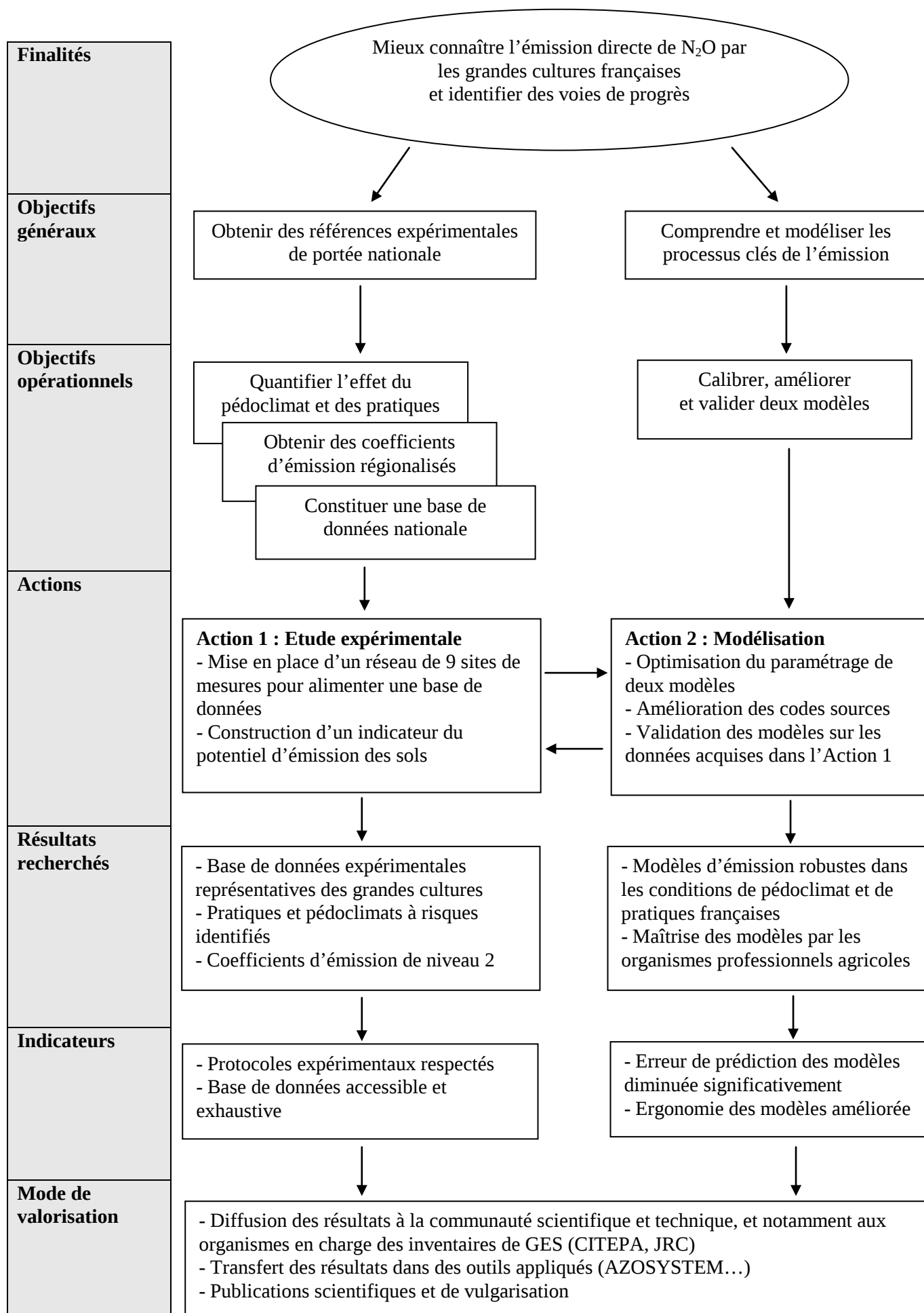
Décrivez comment seront assurés les relais techniques et financiers à l'issue du projet CAS DAR :

L'UMT « GES- N_2O » assurera le maintien et la transmission des compétences acquises, en tant que structure reconnue au niveau national sur le thème des émissions de N_2O .

VI Article destiné à une éventuelle publication

En France, les surfaces implantées en grandes cultures sont les principales émettrices de N_2O , un puissant gaz à effet de serre. La réalisation précise d'inventaires d'émissions de N_2O et l'identification de voies de progrès pour maîtriser ces émissions nécessite d'intégrer la forte variabilité des quantités émises, en fonction des pratiques culturales, des climats et des sols, et de mieux comprendre les processus d'émission de N_2O et leur déterminisme. Afin de répondre à ces enjeux, le projet NO GAS qui rassemble les principaux acteurs de la recherche et du développement français du domaine (l'INRA : les UMR EGC et Agronomie de Grignon, MSE de Dijon, SAS de Rennes, l'US Agro-Impact de Laon-Mons, l'UR Science du Sol d'Orléans ; le CETIOM ; Arvalis ; l'ITB ; InVivo ; ADEPRINA ; AgroParisTech Ferme de Grignon, le CITEPA, et le JRC d'Ispira en Italie) propose une approche en deux actions, couplant l'acquisition de références expérimentales au champ et une modélisation déterministe des émissions. La première action permettra de préciser les émissions directes de N_2O dans les principaux contextes de grande culture en France, de déterminer l'effet de certaines pratiques culturales sur les émissions, d'identifier un potentiel d'émission des sols sur le long terme, et de constituer une base de données nationale sur ces émissions. La deuxième action permettra d'améliorer les modèles, au niveau de la prise en compte de l'effet de certaines pratiques culturales, et de valider leur application dans les conditions pédoclimatiques des grandes cultures françaises. Ces deux actions permettront d'accéder aux niveaux 2 (coefficients d'émission régionalisés) et 3 (modélisation des émissions) des méthodes d'inventaire des émissions du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, ou IPCC en anglais), et d'établir les bases pour concevoir des systèmes peu émetteurs.

VII. Schéma "Finalités-Actions"



Annexe 1 : 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

Partenaires Techniques	Actions	Responsable d'actions	Domaines de compétences et expériences
CETIOM	1 et 2	Francis Flénet Ingénieur	• Responsable de l'équipe « Agronomie, Environnement, Economie et Système » de la Direction Scientifique du CETIOM • Animateur de l'UMT «Connaissance et GESTion des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les cultures (UMT GES-N₂O)» • Responsable d'une démarche de progrès concernant l'impact environnemental des oléagineux • Chargé d'une réflexion sur la réalisation d'Analyses de Cycle de Vie en grandes cultures
Arvalis - Institut du Végétal	1 et 2	Jean-Pierre Cohan Ingénieur	• Responsable du pôle fertilisation d'ARVALIS - Institut du végétal • Fertilisation des céréales à l'échelle du système de cultures / optimisation des apports • Participation au projet AZOSYSTEM (pertes d'azote sous toutes ses formes à l'échelle du système de culture)
ITB	1 et 2	Michel Cariolle Ingénieur	• Environnement – Systèmes de cultures innovants • Fertilisation raisonnée • Bilans énergétiques et gaz à effet de serre
InVivo	1 et 2	Jérôme Thibierge Ingénieur	• Département Agronomique, Responsable de l'équipe Agronomie et Fertilisation • Fertilisation raisonnée
ADEPRINA	1 et 2	Yves Python Ingénieur	• Participation au projet « Grignon énergie positive » (veille et suivi technique des opérations) • Mesures d'émissions de gaz à effet de serre
INRA Grignon UMR EGC	1 et 2	Pierre Cellier Directeur de Recherche	• Expertise dans le domaine du cycle de l'azote • Expertise sur les émissions directes et indirectes de N₂O d'origine agricole • Représentant de l'INRA dans le projet européen NitroEurope-IP • Animateur adjoint de l'UMT «Connaissance et GESTion des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les cultures (UMT GES-N₂O)»

INRA Grignon UMR Agronomie	1	Marie-Hélène Jeuffroy Directrice de Recherche	• Directrice de l'UMR Agronomie de l'INRA Grignon • Systèmes de culture innovants • Pilotage de la fertilisation des cultures (logiciel AZODYN) • Membre de l'UMT «Connaissance et GESTion des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les cultures (UMT GES-N₂O)»
INRA Lille US Agro-Impact	1 et 2	Bruno Mary Directeur de Recherche	• Approche intégrée de l'évaluation des impacts environnementaux relatifs aux cycles du carbone et de l'azote en lien avec les pratiques agricoles • Modélisation des émissions de gaz à effet de serre • Travail du sol et bilan d'émissions de gaz à effet de serre
INRA Dijon UMR MSE	1 et 2	Catherine Hénault Directrice de Recherche	• Expertise dans le domaine des émissions de N₂O par les sols agricoles • Expertise dans le domaine des processus microbiologiques de nitrification et de dénitrification impliqués dans les émissions de N₂O • Modélisation des émissions de N₂O (modèle NOE)
INRA Orléans UR Science du Sol	1	Bernard Nicoullaud Ingénieur de Recherche	• Pédologie et Agronomie • Expertise dans le domaine de la métrologie des propriétés physiques des sols • Mesures d'émissions de N₂O par les sols agricoles
INRA Rennes UMR SAS	1 et 2	Virginie Parnaudeau Ingénieur d'Etude	• Agronomie, science du sol • Animation du projet AZOSYSTEM (pertes d'azote sous toutes ses formes à l'échelle du système de culture, projet porté par le RMT Fertilisation et Environnement) • Expérimentations et modélisation concernant la dynamique des matières organiques dans le sol, et plus particulièrement le cycle de l'azote
Ferme de Grignon – AgroParisTech	1 et 2	Dominique Tristant Ingénieur	• Directeur de la Ferme expérimentale de Grignon • En charge des transformations de la Ferme de Grignon en lien avec le projet « Grignon Energie Positive »
Experts externes participant au comité de pilotage du projet			
CITEPA	1 et 2	Etienne Mathias Ingénieur	• Inventaire des émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture en France
JRC (Ispra, Italie)	1 et 2	Adrian Leip Chercheur	• Membre du projet européen NitroEurope-IP • Changements climatiques - adaptation et mitigation en Europe