Evaluer la réussite de la restauration écologique par une approche intégrée de la biodiversité obscure des sols.

Dr. Thierry Dutoit, DR CNRS, UMR CNRS-IRD 7263 IMBE, IUT Avignon, Site Agroparc BP 61207, 84911 Avignon Cedex 09.

Dr Annette Bérard, ICGREF spécialiste, détachée UMR INRA/UAPV 1114 EMMAH, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 09.

1. Contexte de la recherche (maximum une page) : bien stipuler l'axe de rattachement

L'axe de rattachement de notre projet au niveau de la FR Eccorev est l'axe Axe 2 : **Vulnérabilités des écosystèmes terrestres et aquatiques,** Gestion de la biodiversité, Préservation et restauration de la biodiversité. Contact a bien été pris avec André Chanzy avant le 15 décembre 2012.

La Terre connait aujourd'hui des bouleversements qui questionnent la compréhension de l'ensemble de la biosphère car nous sommes entrés dans une nouvelle ère dans laquelle l'influence grandissante de l'homme semble conduire vers des crises inéluctables : perte rapide de biodiversité, épuisement des ressources, changements climatiques, maladies émergentes… Les phénomènes auxquels l'Homme est confronté comme les conséquences qu'ils engendrent s'expriment bien au-delà des échelles de décision classiques et leur appréhension échappe aux cloisonnements disciplinaires traditionnels de la science. Si la question de l'impact global de l'homme sur l'environnement a pu être reléguée au second plan à une période où la population était moins nombreuse, les perspectives démographiques actuelles et la globalisation socio-économique ont mis en évidence la finitude du monde et de ses ressources. Nous entrons ainsi dans une période de transition entre deux civilisations où l'un des enjeux majeurs est le pilotage de dynamiques environnementales selon des trajectoires et vers des horizons choisis. Cela implique nécessairement une certaine maîtrise des processus du vivant à des niveaux d'intégration inhabituels (populations, communautés, écosystèmes, paysages). S'engager dans cette voie ne peut s'envisager sans un réarrangement des savoirs et des pratiques qui ne va pas de soi, mais qui ouvre des perspectives stimulantes faisant appel à de nouvelles dimensions de notre sens des responsabilités et à notre capacité à imaginer de nouvelles approches du monde.

Ces savoirs et pratiques se rassemblent aujourd'hui dans un domaine de recherche en émergence, l'ingénierie écologique, qui vise le passage d'une artificialisation incontrôlée de systèmes vivants à leur transformation explicite, maîtrisée et adaptative. L'ingénierie écologique désigne le corpus des savoirs scientifiques et des pratiques, y compris empiriques, mobilisables pour la gestion de milieux et de ressources, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagements ou d'équipements inspirés de, ou basés sur les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques. L'ingénierie écologique peut être ainsi définie comme étant l'application des principes de l'écologie à la gestion de l'environnement. Elle peut se définir de deux manières. Au sens strict, c'est la manipulation *in situ* de systèmes écologiques dans un contexte éco-systémique explicite. Au sens large, l'ingénierie écologique désigne la gestion de milieux et la conception d'aménagements durables, adaptatifs, multifonctionnels, inspirés de, ou basés sur, les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques. C'est donc une ingénierie centrée sur le vivant envisagé comme moyen ou comme objectif de l'action. Les objectifs de l'ingénierie écologique sont donc notamment (1) la réhabilitation d'écosystèmes dégradés, la restauration de communautés, la réintroduction d'espèces (2), la création de nouveaux écosystèmes durables qui ont une valeur pour l'homme et pour la biosphère et (3), la mise au point d'outils biologiques pour résoudre ou prévenir des problèmes de pollution, maintenir, rétablir ou maximiser un service éco-systémique.

La maîtrise de la complexité, nécessitée par la multiplicité des mécanismes qui sont à l'origine de la dynamique des systèmes écologiques, est un point clé du développement de l'ingénierie écologique. La recherche se doit de contribuer au renouvellement et à la validation des pratiques d'ingénierie écologique, elle seule peut permettre d'avancer vers un pilotage minimal de la complexité écologique et environnementale.

L'ingénierie écologique constitue une occasion historique de valoriser les acquis français en écologie et sciences de l'environnement et de légitimer socialement un secteur scientifique qui invite à penser différemment le vivant et la place de l'humanité dans le monde. La recherche en ingénierie écologique est à même de fournir les connaissances nouvelles requises, de mobiliser et d'assembler les savoirs émanant de champs disciplinaires variés, de traduire les savoirs académiques en guides pour l'action, d'énoncer des principes généraux à partir des retours d'expériences, de mettre en synergie savoirs et pratiques.

C'est ce que nous proposons de faire ici au travers d'une collaboration entre les unités EMMAH et IMBE, tous deux membres de la fédération ECCOREV, pour tester de nouvelles techniques originales d'évaluation d'opérations d'ingénierie écologique appliquées à la restauration des écosystèmes (plaine de Crau, Bouches-du-Rhône). L'aspect le plus original étant de développer ici, une approche sur des marqueurs très peu documentés que sont les diversités microbiennes fonctionnelles ainsi que l'évolution de la matière organique des sols. La diversité microbienne des sols est en effet souvent considérée comme une **biodiversité obscure** à l'opposé de majorité de la diversité des communautés végétales ou animales, dont les inventaires sont plus disponibles. Cependant nous émettons l'hypothèse que l'estimation de la diversité fonctionnelle des communautés microbiennes (EMMAH), de même que l'évolution de la matière organique des sols (IMBE et ECODIV, Rouen) sont des marqueurs beaucoup plus pertinents et plus fins des modifications entraînées par des stress ou des perturbations dans les écosystèmes. C'est sur cette base que nous comptons donc les utiliser comme **marqueurs précoces de la réussite d'opérations d'ingénierie écologique appliqué à la restauration des écosystèmes**.

2. Objectifs de la demande (maximum une page) incluant la description de la suite prévue pour le projet

Les objectifs de la présente demande de soutien à la FR ECCOREV en 2013 sont de regrouper les compétences de l'IMBE et d'EMMAH pour expérimenter de nouvelles techniques complémentaires d'évaluation de la réussite d'opérations d'ingénierie écologique appliquée à la restauration des écosystèmes afin d'atténuer l'impact d'accidents technologiques sur les espaces naturels. Ces objectifs sont basés sur des mesures de la biodiversité obscure des sols et de l'évolution de la matière organique, des marqueurs dont nous émettons l'hypothèse qu'ils réagiront plus finement (échelles spatiales très fines) et plus rapidement que le suivi classique des communautés végétales (plantes à fleurs) ou animales (insectes, oiseaux) habituellement pris comme indicateurs et dont les limites ont été mises en évidence dans des travaux précédents. Il s'agira donc, (1) de réaliser des mesures de l'évolution de la matière organique par fractionnement (Matières Organiques Particulaires, MOP) après des opérations de transfert de sol dans le cadre de la réhabilitation de l'écosystème pseudo-steppique de la plaine de Crau (IMBE, et ECODIV, Rouen) et (2), mesurer la biomasse, l'activité et la diversité catabolique microbiennes par microrespirometrie des sols (EMMAH).

La suite prévue à ce soutien est de déposer une réponse à l'appel d'Offres **ECO-TS - Programme EcoTechnologies & EcoServices** *Axe thématique 2 : Services et technologies face au Changement environnemental. Sous-thème 2 - Adaptation et restauration environnementale et climatique*.

Ce soutien de la FR ECCOREV permettra ainsi de constituer la base du consortium (IMBE, EMMAH, ECIODIV, université de Rouen) auquel viendront se rajouter d'autres unités qui traiteront de la biodégradation naturelle des résidus pétroliers dans la nappe (UMR CNRS LCE-AMU) mais aussi des partenaires travaillant sur les insectes (UMR CNRS-CEFE, Montpellier, Unité INRA PSH, Avignon) permettant de mettre en place une réelle approche écosystémique dans la nécessaire évaluation de la réussite d'opérations d'ingénierie écologique appliquées à la restauration des écosystèmes. Cette approche est en effet fondamentale pour dégager les synergies ou les déphasages qui peuvent exister dans la résilience des différents compartiments de biodiversité de l'écosystème restauré ou de ces fonctions.

+ d'information :

http://www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/appel-detail/eco-ts-programme-ecotechnologies-ecoservices-2013/)

Lors d'une demande obtenue auprès de la FR ECCOREV en 2011 sur un sujet différent (végétation + biodégradation naturelle des hydrocarbures entre unité IMBE et LCE), il était initialement prévu de déposer une réponse à ce même appel en 2012, mais il n'a hélas pas été publié cette année là.

3. Réalisations prévues, plan financier succinct, description courte du mode d'interaction prévu entre les équipes.

a) réalisations prévues :

Le site atelier choisi pour la mise en place des expérimentations d'ingénierie écologique correspond au chantier de dépollution de la fuite d'hydrocarbures de l'oléoduc SPSE survenue le 07 août 2009 et ayant déversé 4700 m^3 de pétrole brut conduisant à la destruction de plus 5 ha de la végétation pseudo-steppique de la plaine de Crau, écosystème protégé car unique au monde (présence d'une avifaune et entomofaune endémique). Suite au chantier de réhabilitation en cours entre février 2011 et mars 2011, des protocoles scientifiques de suivis de différentes techniques de restauration relevant de l'ingénierie écologique ont été testés, dont différentes méthodologies de remise en place des sols selon des profondeurs différentes (> 40, 20-40 cm, 0-20 cm) afin de tester une économie dans l'utilisation des ressources naturelles. En 2011 et 2012, ont été mis en place le protocole expérimental et les analyses physico-chimiques et microbiologiques des sols au temps t0 (sol de la steppe de référence, sol du cailloutis de Crau < 40 cm, sol de la couche 20-40 cm, sol de la couche 0-20 cm) à partir d'échantillons (X5) dans les différents traitements de restauration réalisés sur le site :

- 5 quadrats témoins sur la steppe de référence autour du chantier de réhabilitation.
- 5 quadrats sur les zones non réhabilitées et comprenant seulement du cailloutis de Crau.
- 5 quadrats sur les zones réhabilitées avec les couches 20-40 cm et 0-20 cm avec compactage final.
- 5 quadrats sur les zones réhabilitées avec la couche 20-40 cm en surface seulement.

Nos premiers résultats (*inédits, 2012*) montrent la pertinence d'investir dans des analyses fines de la diversité microbienne et de l'évolution de la matière organique. En effet, si la couche organique transplantée ne montre pas de différence significative au niveau des teneurs en carbone total et azote total révélé par des analyses physico-chimiques classiques, on assiste cependant suite au déplacement de ce sol à une baisse de la teneur en matières organiques particulaires qui peut être reliée à une baisse de l'apport en matières organiques (plus faible recouvrement de la végétation) suite à la transplantation, ou à une oxydation de cette matière organique labile suivi d'un lessivage des nitrates produits. La richesse fonctionnelle en micro-organismes telluriques n'est pas différente significativement entre les horizons transplantés et le sol de la steppe de référence ainsi que les activités enzymatiques mesurées. Par contre, la remise en place seulement du cailloutis entraîne une baisse significative de la fertilité du sol et de toutes ses fonctions ne garantissant pas, même à très long terme, un retour à la composition ou au fonctionnement du sol de la steppe de référence.

En 2013, grâce au soutien de la FR Eccorev, seront donc mis en place une campagne d'échantillonnages et d 'analyses de :

- La biodégradabilité de la MO qui peut-être évaluée par le suivi de la minéralisation du C organique des sols au cours d'incubations aérobies en conditions contrôlées (IMBE et ECODIV). Les échantillons de sol utilisés pour réaliser ces incubations seront conservés au réfrigérateur à 5°C jusqu'à utilisation. Les formes d'azote minérales majoritaires (NH_4^+ et NO_3^-) avant et après l'incubation seront également analysées, à l'aide de 20 g de sol. Les sols seront agités dans 100ml de K_2SO_4 à 0,5M pendant 1 heure, puis le tout sera filtré sur filtre papier Whatman n°42. Le filtrat sera conservé au frais à -20°C jusqu'à la fin des incubations où nous doserons ensuite l'azote dans les filtrats (IMBE et ECODIV).

- Mesurer la diversité catabolique par microrespirometrie des sols (« **biodiversité obscure ») (EMMAH)**

La respiration d'un sol peut être estimée par la quantification du CO_2 émis. Nous proposons d'utiliser la technique MicroResp^{TM} [Campbell et al. 2003, Chapman et al. 2007] pour étudier les activités minéralisatrices des micro-organismes contenus dans ces sols échantillonnés sur le site atelier. En pratique, les échantillons de sol sont placés, à l'aide d'un distributeur volumétrique, dans une plaque comprenant 96 puits. Cette plaque est reliée par un joint perforé, à une plaque de détection possédant 96 puits. Ce joint en silicone individualise les puits en connectant le puits inférieur au puits supérieur correspondant.

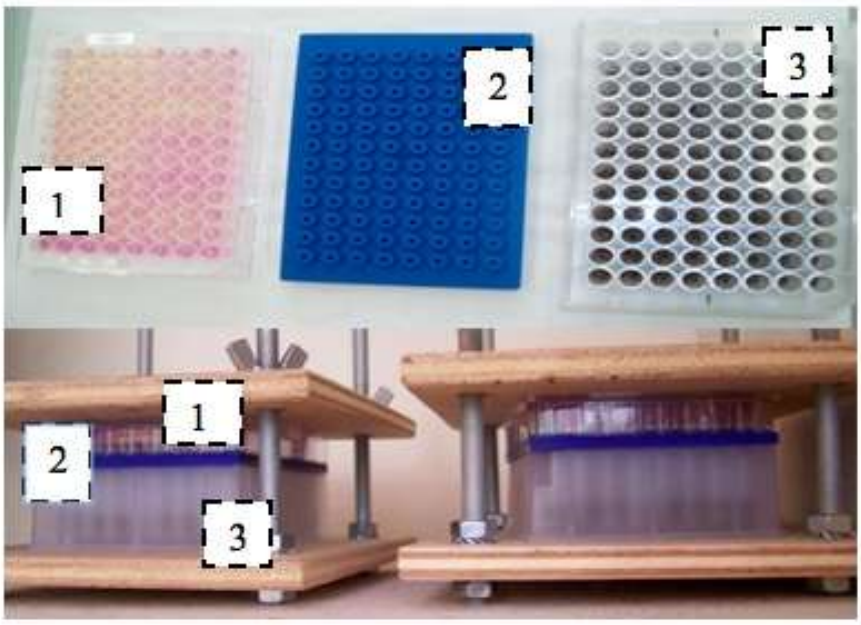

Figure : dispositif MicroRespTM. 1 : plaque de déctection contenant le rouge de crésol. 2 : joint perforé individualisant le puits. 3 : plaque à puits profonds contenant les sols (0,45g) et les substrats.

Les puits de la plaque de détection sont remplis d'un gel contenant un indicateur colorimétrique : le rouge de crésol. Le CO_2 dégagé par les sols (incubations de 6 heures) va être capté par le gel et va baisser le pH entraînant un changement de couleur de l'indicateur dans la plaque de détection. Le passage de la couleur rose à la couleur jaune est mesuré avec un spectrophotomètre (570 nm) et va nous permettre d'estimer le taux de respiration de chaque puits. Ces mesures nécessitent une calibration préalable qui a été adaptée dans le laboratoire EMMAH au moyen de modélisations biogéochimiques (publications en cours de rédaction, Thèse de M. BenSassi 2012, Ben Sassi et al. 2012). Les plaques qui vont accueillir les sols sont préalablement approvisionnées en substrats. La respiration induite par les différents substrats va ainsi nous permettre d'étudier la **diversité catabolique du sol** (ces substrats carbonés sont choisis pour leurs caractéristiques chimiques et/ou leur origine différente, exemples : carbohydrates, acides aminés, exsudats racinaires, origine végétale etc..). Avec le substrat glucose seront obtenues des informations générales sur la **biomasse microbienne** (Anderson et Domsch 1978). Avec des échantillons incubés sans substrats est estimée la **respiration basale (RB)** corrélée à l'activité des microorganismes. Le **quotient métabolique (qCO_2)**, ratio entre la respiration basale (RB) et la biomasse microbienne (Anderson et Domsch 1985-1993, Anderson 2003 mgC-CO2/gmicrobien/h), est un indicateur éco-physiologique microbien qui indique l'efficacité avec laquelle les microorganismes utilisent le carbone disponible dans le sol pour leur biosynthèse. Le qCO_2 est élevé quand les communautés microbiennes redirigent une partie des sources de carbone vers leur maintenance énergétique. C'est le cas par exemple dans des situations de stress thermique et hydrique (Bérard et al. 2011), ou dans le cas de stress chimiques (Brookes, 1995, Tlili et al. 2011).

L'intérêt de cette méthode est la miniaturisation des techniques de respirométrie, permettant d'obtenir pour un même bioessai des informations sur la respiration basale, la biomasse microbienne et la diversité catabolique (SIR : Substrat-Induced Respiration). Cette technique se rapproche de la technique BIOLOG (mesure de diversité fonctionnelle d'un extrait bactérien), mais a l'avantage de permettre l'étude de la

diversité fonctionnelle d'un sol (applicable aussi à d'autres échantillons en milieu aquatique par exemple Tlili et al. 2011) dans sa globalité et non pas celle d'un extrait bactérien cultivé sur plusieurs jours avec phénomènes de sélection comme dans les systèmes BIOLOG.

Bibliographie

Anderson, T.H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment 98 (2003) 285–293

Anderson, J. P. E., Domsch, K. H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. Soil Biology and Biochemistry 10, 215-221.

Anderson, J. P. E., Domsch, K. H., 1985. Maintenance carbon requirements of actively-metabolizing microbial populations under in situ conditions. Soil Biology and Biochemistry 17, 197-203.

Anderson, J. P. E., Domsch, K. H., 1993. The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental-conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology and Biochemistry 25, 393-395.

Ben Sassi, M., Dolinger, J., Renault, P., Tlili, A., **Bérard**, A., 2012. The FungiResp method: an application of the MicroResp^{TM} method to assess fungi in microbial communities as soil biological indicators. Ecological Indicators 23, 482–490.

Bérard, A., Bouchet, T., Sévenier, G., Pablo, A.L., Gros, R., 2011. Resilience of soil microbial communities impacted by severe drought and high temperature in the context of Mediterranean heat-waves. Eur. J. Soil Biol. 47, 333–342.

Brookes, P.C., 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol Fertil Soils (1995) 19:269-279.

Campbell, C.D., Chapman, S.J., Cameron, C.M., Davidson, M.S., Potts, J.M., 2003. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. Appl.Environm.Microbiol.69, 3593–3599.

Chapman, S.J., Campbell, C.D., Artz, R.R.E., 2007. Assessing CLPPs using MicroRespTM. A comparison with biolog and multi-SIR. J. S.S. 7, 406–410.

Tlili, A., Marechal, M., Montuelle, B., Volat, B., Dorigo, U., **Bérard**, A., 2011. Use of the Microresp^{TM} method to assess Pollution-Induced Community Tolerance for lotic biofilms Environ. Pol. 159, 18-24.

b) Plan financier succinct :

- Campagnes de prélèvement des échantillons de sol (transport + séjour, deux personnes (départ Rouen) : 1000 euros TTC.

- Analyses de la MO : 2000 euros TTC
- Profils cataboliques par microrespirométrie : 3000 euros TTC

Total de la demande : 6000 euros TTC

c) Modes d'interactions entre les équipes :

Le mode d'interactions entre les deux équipes est basé sur l'utilisation commune de la campagne d'échantillonnage des sols qui aura lieu en Mai 2013. Ce sont donc sur les mêmes échantillons que travailleront les participants au projet de l'IMBE et d'EMMAH. La complémentarité des deux approches est de plus totale car l'interprétation de l'évolution des différentes fractions de la matière organique mesurée en fonction des différents traitements est dépendante de l'activité microbienne du sol. De même, ces activités sont elles-mêmes dépendantes de la qualité de la MO qui arrive au sol et de ses différentes formes de stockage dans le sol (type d'humus, etc.). Les résultats pourront donc être interprétés de manière totalement corrélative car ils seront issus des mêmes échantillons prélevés aux mêmes moments et dans les mêmes conditions.

Cette collaboration très étroite permettra ainsi de réaliser des valorisations communes, qu'il s'agisse de publications ou de communications orales et de posters dans les colloques et séminaires. Enfin l'originalité (utilisation de la biodiversité obscure des sols comme indicateurs de la réussite d'opérations d'ingénierie écologique) et la force de cette approche complémentaire (évolution de la matière organique, et diversité microbienne) permettra d'envisager selon les résultats obtenus, des publications dans des revues généralistes en écologie ou appliquées à la restauration écologique du premier quartile.

4) Description du consortium : liste des participants (avec leur statut et le pourcentage d'implication), court CV du porteur de chaque équipe incluant la liste de trois publications les plus pertinentes pour le projet.

Equipe 1 : UMR CNRS-IRD IMBE et EA Ecodiv (Université de Rouen).

a) Liste des Participants :

- Dr. Thierry Dutoit (Directeur de recherche CNRS, UMR IMBE, coordination, 30%)
- Mme Adeline Bulot (Doctorante, UMR IMBE, écologie de la restauration, 100%)
- Dr. Fabrice Bureau (Maître de Conférences, EA ECODIV, Rouen, MO du sol, 20%)
- M. Kevin Potard (Master 2, EA ECODIV, Rouen, MO du sol, 100%)

b) CV du porteur de projet :

Dr. Dutoit Thierry
Directeur de recherche CNRS, directeur délégué UMR CNRS 7263 IMBE
2011-: Conseiller Scientifique CNRS-INEE : Ingénierie Ecologique
2009-2011 : Délégation au CNRS, UMR CNRS 6116 IMEP
2008-2011: Directeur adjoint UMR CNRS 6116 IMEP
2008: CRCT au titre de l'établissement d'Avignon (01/01/08 au 30/06/08)
2003: Professeur d'université, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
2001: Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Provence
1996: Maître de Conférences, Université de Provence
1995: Thèse de Doctorat, Université de Rouen.

La consultation du site *Web of Science* le 15 janvier 2013 donne un total de 584 citations (476 sans l'auto-citation) pour 57 de nos articles indexés et référencés dans cette base (sur 60 publiés et indexés). L'indice H attribué au 15 janvier 2013 est de 13 (ISI) et 17 pour (Google Scholar).

Les principaux résultats de mes travaux ont été de démontrer la très faible résilience aux changements d'usages récents des communautés végétales herbacées riches en espèces en liaison notamment avec la très faible viabilité dans le sol de leur banque de graines. Les faibles capacités de dispersion des espèces tolérantes aux stress qui composent en majorité ces communautés végétales limitent également fortement leur régénération à partir de taches relictuelles dans le paysage. Une autre originalité forte de nos travaux a été de démontrer que la résilience des écosystèmes aux perturbations ne pouvait se mesurer sans prendre en compte plusieurs compartiments de la biodiversité (flore, entomofaune) dont les dynamiques temporelles de régénération sont fortement contrastées. Si nos premiers résultats en matière de restauration écologique des ces communautés sont encourageants (composition, richesse) via l'utilisation de techniques d'ingénierie civile classique (transfert de foins, de sol, semis, etc.), ce sont cependant des techniques faisant appel à l'ingénierie écologique (utilisation d'espèces ingénieures de l'écosystème) qui devraient permettre de retrouver la trajectoire successionnelle et la structuration complexe de ces communautés dans le cadre d'un développement durable dans lequel doivent obligatoirement s'inscrire les opérations futures de restauration écologique.

Production scientifique majeure. J'ai publié à ce jour 60 articles internationaux indexés depuis la soutenance de ma thèse de Doctorat en 1995**.** Parmi les articles publiés dans les domaines de l'écologie, de l'agronomie, des sciences environnementales, des sciences du végétal et dans des revues pluridisciplinaires : 30% font partie du premier quartile, 50% du deuxième, 5% du troisième et 15% du quatrième soit 80% de ma production scientifique dans des revues d'impact majeur pour les domaines concernés. Un article par an est situé dans le premier quartile depuis 1995. Ma productivité a donc été de plus de 3 articles indexés en moyenne par année en tant que co-auteur. Parmi ces articles, 15 ont été réalisés en tant que premier auteur soient en moyenne, un peu moins d'un article indexé par an en premier auteur depuis 1995.

Encadrement de la recherche. Depuis 1996, j'ai co-encadré 11 thèses de Doctorat soutenues (dont une en cotutelle, avec l'université de Ratisbonne, Allemagne) ; 9 en tant que directeur principal depuis l'obtention de ma thèse HDR en 2001. Actuellement, j'encadre 5 thèses (dont une en cotutelle avec l'université de Louvain, Belgique) en tant que directeur principal. Pour la réalisation de ces thèses, nous avons obtenu au total depuis 1996, deux bourses MRT, un contrat doctoral (ED 536 Sciences et Agrosciences, Avignon), sept bourses de la Région PACA et une bourse de l'IRSTEA.

Engagement au profit des collectifs de recherche en interne et externe. La reconnaissance de mes activités scientifiques m'a permis un rattachement à l'UMR CNRS 6116 IMEP en 2008 (Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie). Je suis pleinement investi dans l'activité de l'UMR (70 permanents) où j'ai occupé jusqu'au 31 décembre 2011, les fonctions de directeur adjoint et chef du département « Vulnérabilité et Organisation des Systèmes Biologiques » (30 permanents). En 2010, j'ai été élu au conseil scientifique de l'INEE et élu entre 2006 et 2010 au conseil d'administration de l'Association Internationale d'Ecologie de la Restauration, section Europe (SER Europe). Depuis début 2011, je suis également conseiller scientifique au CNRS-INEE, chargé d'une mission de valorisation des recherches en ingénierie écologique. Je suis également éditeur en chef d'une revue internationale d'écologie scientifique depuis 2006 (*ecologia mediterranea*) dont la demande d'indexation est en cours. Au niveau national, j'ai organisé deux colloques dans les locaux de l'IUT d'Avignon (ECOVEG2 en 2006 avec 92 participants et REVER1 en 2009 avec 117 participants). La reconnaissance internationale de mon activité scientifique s'est notamment traduite par l'organisation pour la première fois en France du 23 au 27 août 2010, du 7ème congrès européen d'écologie de la restauration (450 participants). En outre, j'ai été invité à 14 colloques scientifiques, j'ai également participé à 10 comités scientifiques et 7 comités d'organisation de colloques.

c) Liste de 3 publications pertinentes (-équipe UMR CNRS-IRD 7263 IMBE):

JAUNATRE R. BUISSON E., **DUTOIT T**. 2012. First year results of a multi-treatment steppe restoration in Laz Crau (Provence, France)*. Plant Ecology and Evolution* 145(1): 13-23.

COIFFAIT C., BUISSON C., **DUTOIT T.** 2011. Hay transfer promotes establishment of Mediterranean steppe vegetation on soils disturbed by pipeline construction. *Restoration Ecology* **19**: 214-222.

COIFFAIT C., BUISSON E., **DUTOIT T**. 2012. Using a two-phase sowing approach in restoration – sowing foundation species to restore and subordinate species to evaluate restoration success. *Applied Vegetation Science* **15** (2): 277-289.

Equipe 2 : UMR INRA-UAPV EMMAH.

a) Liste des Participants :
Annette Bérard, ICGREF spécialiste, détachée INRA UMR EMMAH (coordination 20%)
Claude Doussan, CR (conditions hydriques du milieu 5%)
Stephane Ruy , CR (conditions hydriques du milieu 5%)
Line Capowiez, AI microbiologie (bioessais 10%)
Ghislain Sévenier, AI chimie (analyses 10%)
Stagiaire DUT (analyses, bioessais 100%)

b) CV du porteur de projet :
Dr Bérard Annette
Ingénieur en chef spécialiste du GREF, Docteur en Hydrobiologie - Ecologie microbienne – Ecotoxicologie

Expérience professionnelle
-Depuis 2007 Scientifique dans l'équipe Environnement Méditerranéen et Modélisation des AgroHydrosystèmes **de l'INRA d'Avignon**. Effets des accroissements en fréquence et intensité **d'événements climatiques extrêmes** de type canicule/sécheresse sur les **communautés microbiennes des sols agricoles méditerranéens**. Animation d'un projet innovant.

- 2006- 2007 Scientifique dans l'équipe d'écologie microbienne des milieux anthropisés du **Cemagref** de Lyon. Impact des pollutions sur les biofilms en rivière. Animation des thèmes écotoxicologie et communautés algales. Développement de **bioindicateurs microbiens** périphytiques..
- 2003-2006 Expert national et européen écotoxicologue pour la Commission d'étude de la toxicité des produits antiparasitaires à usage agricole.
- 1994-2003 Chargée de Recherche au laboratoire Dynamique et Evolution des Communautés Algales de l'**UMR CARTEL**L **INRA-Université de Chambéry**, **animation de l'équipe** «écotoxicologie algale». **Chargée de Recherche** au Laboratoire de Toxicologie Environnementale de l'**UMR 406 INRA–Université d'Avignon, création d'un nouveau thème** scientifique sur les algues, **bio-indicateurs de pollutions des sols**
- 1990-1993 Doctorat en hydrobiologie au laboratoire d'écologie microbienne du **CEMAGREF** de Lyon : développement de recherches à l'interface Agriculture et Environnement. Contrat pour la DDA du Rhône.

Cursus de formation
- 2002 diplôme d'Habilitation à Diriger les Recherches, spécialité Ecologie, à **l'Université d'Avignon**, sur : des algues aquatiques aux algues telluriques, développements écotoxicologiques.
- 1993 diplôme de Doctorat, spécialité Hydrobiologie au **Muséum National d'Histoire Naturelle**, Paris, sur : effets d'une fertilisation riche en matières organiques azotées sur la boucle microbienne dans un étang de pisciculture. Mention Très Honorable. **Médaille d'Argent de l'Académie de l'Agriculture de France**.
- 1989 diplôme d'Ingénieur d'Agronomie de l'ENSSA (**Dijon**).
- 1988 diplôme d'Ingénieur Agronome de l'ENSA de **Toulouse**, spécialité Productions Animales.

Animation de projets scientifiques : j'ai initié plusieurs thèmes de recherche et réorienté les activités d'une équipe scientifique sur ces sujets novateurs et animé et participé à une vingtaine de projets de recherche (programme environnement plan Etat-Région, contrats avec l'Agence de l'eau, EC2CO, EGIDE, Min. Environ. INRA projet innovant, ANR, projets européens...). Mes projets pluridisciplinaires m'ont incitée à initier et à développer de nombreuses collaborations extérieures avec des équipes de recherches françaises (INRA, Cemagref, IRD, Universités …) et internationales (Suède, Suisse, Ukraine, Luxembourg …). J'ai finalisé ces collaborations par de nombreuses publications communes.

Transfert : les communications scientifiques et techniques sont des outils fondamentaux de transfert d'information, j'ai ainsi rédigé et participé à la rédaction d'une trentaine de publications scientifiques (H index ISI =13) et plus de 40 communications nationales et internationales, ainsi que des rapports techniques. J'ai été sollicitée pour réviser des articles scientifiques et des chapitres de livres dans plus 12 revues de rang A. J'ai représenté l'INRA au salon de l'Agriculture. La transmission de l'information se fait aussi via l'enseignement, je réalise chaque année quelques heures d'enseignement sur l'écotoxicologie, en particulier en Mastère II, je participe à l'élaboration d'un module de formation sur les Changements Globaux pour l'Ecole Doctorale de l'UAPV, j'ai encadré plus d'une trentaine d'étudiants (IUT, BTS, Ingénieur, Mastère, Thèse, Post-Doc) et j'ai participé à une douzaine de comités et de jurys de Thèse.

Expertise pour l'évaluation du risque environnemental : La directive européenne 91/414 prévoit l'évaluation des risques associés aux usages agricoles des pesticides. Pour demander l'inscription de sa substance active à l'annexe I de cette directive européenne, le pétitionnaire doit soumettre un ensemble de données primaires concernant le pesticide. Ces données servent à caractériser le risque pour l'agriculteur, le consommateur et l'environnement. Compte tenu de mes compétences scientifiques, j'ai été chargée durant trois ans par le Ministère de l'Agriculture d'expertiser le risque pour l'environnement de ces pesticides en rapportant les dossiers devant la Commission des Toxiques, qui donne son avis final auprès du Ministère. C'est au cours de l'expertise de ces dossiers et des réunions méthodologiques, de travail et plénières que j'ai pu appréhender cette notion d'expertise du risque liée au traitement d'informations techniques et scientifiques. Dans le cadre de mon activité de recherche, j'ai réalisé des expertises scientifiques de projets ANR, fond National Suisse et du Luxembourg. Je suis membre du conseil scientifique R2DS, GIS « Climat, Environnement et Société ». J'ai été rapporteur de jurys de concours CR INRA.

Pluridisciplinarité dans le domaine de l'environnement : l'écotoxicologie est une science transversale qui se situe au carrefour de diverses disciplines et qui utilise de nombreux outils (écologie, physiologie, systématique, biochimie, biologie moléculaire …). Force de collaborations scientifiques, j'ai donc

développé et importé dans mes laboratoires d'accueil des concepts et des techniques variés (concepts de résistance, tolérance, résilience, développement d'indices biologiques de contamination des milieux, techniques de mesures physiologiques de biomasses et outils bio-moléculaires, échantillonnages en milieu naturel, expérimentations, biotests..). Ces concepts et méthodologies sont applicables de manière générale aux stress subis (tels que les stress physiques liés aux Changements Climatiques) par les communautés microbiennes et aux conséquences sur leurs dynamiques, diversités et fonctions.

c) Liste de 3 publications pertinentes (-équipe UMR EMMAH):

Ben Sassi M., Dolinger j., Renault P., Tlili A., **Bérard** A., 2012. The FungiResp method. an application of the MicroResp™ method to assess fungi in microbial communities as soil biological indicators. Ecological Indicators 23 : 482-490.

Bérard A., T. Bouchet, G. Sévenier, A.L. Pablo, R. Gros, 2011. Resilience of soil microbial communities impacted by severe drought and high temperature in the context of Mediterranean heat-waves. In press : European Journal of Soil Biology. 47 : 333-342.

Tlili A., Marechal M., Montuelle B Volat B., Dorigo U., **Bérard** A., 2011. Use of the Microresp™ method to assess Pollution-Induced Community Tolerance for lotic biofilms Environmental Pollution. 159-1 : 18-24.

5) <u>Si vous avez déjà bénéficié d'un financement ECCOREV pour un projet antérieur, ajouter la liste à jour des publications, colloques, opérations de vulgarisation effectuées à la suite de ce projet. Fournir un pdf des publications</u>

Nous avons bénéficié en 2011 d'un soutien de la FR Eccorev pour un projet intitulé « *L'ingénierie écologique au service de la réhabilitation des sites naturels impactés par un accident technologique: le cas de la fuite d'hydrocarbures de l'oléoduc SPSE dans la Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau* » entre l'UMR IMBE et l'UMR LCE (Pr. Patrick Höhener) portant sur le suivi de la végétation, la restauration par l'implantation de fourmis et le la biodégradation des résidus pétroliers dans la nappe phréatique. Ce soutien en 2012 a permis, la mise en place de deux thèse de Doctorat (2011-2014) cofinancées par l'ADEME, la région PACA et la société SPSE impliquée dans l'accident. Néanmoins, un financement pour une deuxième thèse sera demandé au prochain appel d'offre de l'ANR Ecotechnologie (2013), qui n'a malheureusement pas ouvert en 2012. Ce programme initial a également permis la mise en place de collaborations avec EA ECODIV de l'université de Rouen concernant les volets microbiologie et matières organiques du sol (pour lequel nous demandons le présent soutien). Outre les financements obtenus par l'ADEME, la société SPSE et la Région PACA, une subvention a été obtenue du Conseil Général 13 (15 000 euros en 2012) sur ce même sujet grâce au soutien initial de la FR Eccorev. Enfin, la SFR TERSYS (Avignon) a financé un volet consacré à l'étude de l'impact de la réhabilitation du chantier sur les assemblages de coléoptères terricoles avec l'unité INRA PSH (Jean-François Debras, 1600 euros en 2012) dont les premiers résultats sont en cours d'analyses.

Valorisation (articles, communications et posters)

Bulot A., Provost E., Dutoit T., 2012. Premiers résultats de restauration écologique d'une communauté végétale suite à un accident technologique : le cas d'un chantier de réhabilitation suite à une fuite d'hydrocarbures (Crau, Bouches-du-Rhône, France). *in* Huitième colloque en Ecologie des COmmunautés VEGgétales (ECOVEG8), Université de Lorraine, Nancy, 28-30 mars 2012 et *in Rever4. Rêver et Analyser*. Université de Lyon, Lyon 06-07 novembre 2012. (poster)

Bulot A., Provost E., Dutoit T., 2012. Restauration écologique d'un chantier de dépollution d'une fuite d'hydrocarbures (plaine de la Crau, Bouches-du-Rhône, France). De l'ingénierie civile à l'ingénierie écologique. *in Rever4. Rêver et Analyser*. Université de Lyon, Lyon 06-07 novembre 2012. (présentation orale)

Bulot A., Provost E., Marielle R. Dutoit T. *Using harvested ant transplantation as a new tool in ecological engineering for restoring species-rich grasslands (La Crau, Bouches-du-Rhône, France). Myrmecological News* (in prep).

Bulot A., Provost E., Renucci M., Dutoit T., 2011. La fourmi *Messor barbarus*, ingénieur de la restauration écologique de la pseudo-steppe de Crau ? *in Rever3. Rêver et s'associer*. Conseil Général de la Moselle, Metz, 3-4 février 2011. (poster)

Dutoit T. 2009. Fuite d'hydrocarbure : un patrimoine biologique incommensurable en péril. *Le Courrier de la Nature*, 246 : 6-7.

Dutoit T., 2010. *In memoriam*, le Coussoul de Crau . *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 58 : 37-44.

Dutoit T., 2010. Réserve naturelle de Crau, fuite d'hydrocarbures : le chantier enfin en phase de réhabilitation ! *Le Courrier de la Nature*, 255 :6 - 7.

Dutoit T., 2011. Fuite d'hydrocarbures en Crau : Mesures compensatoires, dernier acte d'une catastrophe patrimoniale ? *Le Courrier de la Nature*, 263 :7-9.

Dutoit T., 2011. Il y a deux ans, une fuite d'hydrocarbures en Crau. *Espaces Naturels*, 35 : p 13.

Höhener P., Ponsin V., Maier J., Guelorget Y. Enhancement of natural attenuation of crude oil in a pristine aquifer by nutrients; fields results and modelling. Abstract soumis à Conférence GQ13, Avril 2013.

Ponsin V. et al. Stimulation of crude oil biodegradation by phosphate under varying redox conditions. Article en cours de rédaction pour *Journal of Contaminant Hydrology*.

Ponsin V., Guelorget Y. 2011. Gestion d'un évènement en milieu naturel. *Environnement et Technique* n° 310 / Octobre 2011, p 26-32.

Ponsin V., Guelorget Y. Gestion d'un accident technologique en milieu naturel. L'eau, l'industrie, les nuisances. n° 349 – p 55-59 (www.revue-ein.com)
Ponsin V., Rainness Mouloubou O., Prudent P., Höhener P. Enhancement of natural attenuation of crude oil in a pristine aquifer by nutrients: microcosm study. Abstract soumis à Conférence GQ13, Avril 2013.
Ponsin., 2012. L'atténuation naturelle du pétrole brut dans l'aquifère de la plaine de la Crau. Poster, Rencontres ADEME, Janvier 2012, Angers.

Actions de valorisation du projet auprès des médias

Ingénierie Ecologique. France 2, Télématin, rubrique sciences, jeudi 16 et vendredi 17 août 2012 (7h15-7h18).
Ecosystems under constructions. CNRS International Magazine. n° 26.July 2012, p 20-27
Utiliser la nature pour réparer la nature. France Inter. Zoom de la rédaction, jeudi 14 juin 2012 (07h16)
Utiliser la nature contre la pollution. Europe 1. La Question Environnement, samedi 02 juin 2012 (6h45)
L'ingénierie écologique. Radio Classique, 3 minutes pour la Planète vendredi 01 juin 2012(6h50-6h52)
Fourmis, brebis et Shadoks sauvent la plaine de la Crau d'une marée noire terrestre. La Croix, mercredi 30 mai 2012. p 25
Restaurer la Crau avec des Fourmis. France2, journal, lundi 28 mai 2012 (13h30-13h32).
Les premiers pas de l'ingénierie écologique. Les Echos, lundi 21 mai 2012.
La dépollution naturelle, nouveau défi pour le CNRS. Les Echos, lundi 21 mai 2012.
Des Fourmis ingénieurs ! Le Parisien, vendredi 18 mai 2012 p 7.
Chantiers en cours en plaine de Crau. Le Journal du CNRS n° 266. Mai-Juin 2012, p 20-27
La Crau veut restaurer la perte de sa biodiversité. Le Monde, 8 et 9 janvier 2012 p 6.
Restauration de la Crau par implantation de fourmis moissonneuses. France 3, 19/20 national, mardi 27 décembre 2011 (19h47-19h50).
Pétrole : la plaine de la Crau a pansé ses plaies. Le Figaro. Vendredi 15 Avril 2011, p 11.
Réserve classée : un sinistre pollution hors normes. Riskmanagement, Juin 2010, p 20-22.
Le casse tête de la dépollution dans la Crau. GlobalMag. Arte. 13 avril 2010 (19h30).
La plaine de Crau en cours de dépollution. Le Figaro. 21 et 22 novembre 2009.
Rupture de pipeline dans la plaine de La Crau : le chantier de dépollution prend de l'envergure. Les Echos, 30 septembre 2009.
Possible aggravation de la pollution de la réserve naturelle des Coussouls de Crau. Le Monde, 09 septembre 2009.
La Crau, dernière steppe protégée d'Europe. Méridien Mag. Novembre-décembre 2012. pp. 50-51.
Lacher de fourmis moissonneuses en Crau. Chasser en Provence. Juillet/août/septembre 2012 26 p 44
Comment la marée noire de la Crau a disparu. La Provence. Mercredi 16 mai 2012.
Réserve naturelle des Coussouls de Crau : réhabilitation en cours. Objectif méditerranée. Mars 2011, n°119 p 35.
La Crau veut soigner son écosystème. 20 minutes Marseille. 28 février 2011.
Des travaux colossaux débutent pour soigner la plaine de La Crau. La Provence. Lundi 7 février 2011. p 28.
Tout pour retrouver la steppe originelle. La Marseillaise. Lundi 31 janvier 2011 p 10.
Réserve naturelle de la Crau : dépollution en cours. Objectif méditerranée. Mars 2010, n°110 p 36
Pipeline de la Crau : Une reprise sous pression. Objectif méditerranée. Janvier 2010, n°108 p 37.
La renaissance compromise du Coussoul. La Marseillaise. 28 novembre 2009.