



# COLLOQUE BIOÉCONOMIE DURABLE

- Molécules et matériaux biosourcés
- Méthanisation et autres valorisations des déchets organiques
- Valorisation des sites pollués

sept  
2021

## SOMMAIRE

CONTEXTE .....	3
ATELIER 1 : MATERIAUX ET MOLECULES BIOSOURCEES .....	4
1. SESSION 1 COMMENT PRENDRE EN COMPTE LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS LA DEFINITION DES BESOINS DE R&D ? ....	4
1.1. Enjeux et objectifs.....	4
1.2. Synthèse.....	4
1.3. Livrables.....	4
2. SESSION 2 ETAT DES AVANCEES SCIENTIFIQUES SUR LES PROCEDES ET PERSPECTIVES.....	7
ATELIER 2 : METHANISATION ET VALORISATION DES AUTRES DECHETS ORGANIQUES .....	7
1. SESSION 1 FEUILLE DE ROUTE METHANISATION .....	7
1.1. La R&D sur la filière méthanisation .....	7
1.2. Résumé des objectifs de la feuille de route Recherche Méthanisation .....	7
1.3. Cartographie synthétique de projets .....	9
1.4. Restitution des temps d'intelligence collective de l'atelier 2.....	10
2. SESSION 2 NOUVELLES VALORISATIONS, VERS DES BIORAFFINERIES ENVIRONNEMENTALES .....	13
ATELIER 3 : VALORISATION DES SOLS POLLUES .....	13
1. ENJEUX ET OBJECTIFS <b>DE L'ATELIER</b> .....	13
2. <b>SYNTHESE DES RESULTATS DE L'ATELIER</b> .....	13
2.1. Les enjeux.....	13
2.2. Les sites de gestion des sédiments fluviaux mis à terre .....	14
2.3. Les parcelles agricoles polluées.....	15
2.4. Les sites industriels.....	16
2.5. Les filières de valorisation des biomasses .....	17
2.6. Valorisation des biomasses enrichies.....	18
2.7. Valorisation des biomasses à des concentrations acceptable au regard des usages prévus et / ou de la réglementation.....	19
3. <b>CARTOGRAPHIE GRAPHIQUE DES ACTIONS FINANCEES</b> .....	21
3.1. Le périmètre .....	21
3.2. Classement selon les contextes d'application.....	21
3.3. Classement selon les filières de valorisation de la biomasse .....	22
4. <b>SYNTHESE DES PERSPECTIVES DE RECHERCHE IDENTIFIEES</b> .....	22
4.1. L'intention.....	22
4.2. Les perspectives Recherche .....	22
4.3. Les perspectives hors recherche .....	24
<b>DISPOSITIFS DE FINANCEMENT ADEME ANR</b> .....	25
1. Evaluer la visibilité des actions ADEME/ANR .....	25
2. Evaluation de l'impact de la programmation sur les recherches menées.....	28
3. Identifier les verrous et levier pour monter des projets interdisciplinaires .....	29
4. Retour du travail réalisé via les jamboards dans tous les ateliers participatifs .....	30
5. Quelle vision pour vos recherches à venir ? .....	31

## Contexte

La bioéconomie est une des clés pour tenter de développer de nouvelles activités économiques durables basées sur des ressources potentiellement renouvelables notamment dans les zones rurales, côtières et industrielles. Elle recouvre l'ensemble des activités de gestion durable des milieux pour la production et de transformation des ressources agricoles, forestières, aquacoles et des biodéchets. Le défi du développement de systèmes et de filières bioéconomiques est de concilier les enjeux suivants : assurer la sécurité alimentaire, contribuer de manière déterminante et urgente à la lutte contre le changement climatique (atténuation et adaptation), minimiser les impacts environnementaux sur toute la chaîne, produire et valoriser les ressources renouvelables à des fins industrielles et / ou énergétiques et préserver ou restaurer les services rendus par les sols et les écosystèmes, notamment le stockage de carbone, la préservation de la biodiversité et la gestion de la ressource eau. La biomasse étant une ressource limitée, il s'agit également d'optimiser son utilisation et de la recycler. Cette démarche suit donc également les principes de l'économie circulaire.

La bioéconomie peut donc être orientée pour accroître la durabilité économique et environnementale de la production de biomasse et des industries de transformation, tout en maximisant les services environnementaux rendus pour contribuer aux objectifs de la transition énergétique et écologique du pays. Elle vise dans le même temps à limiter la dépendance aux ressources fossiles et à lutter contre le changement climatique (atténuation et adaptation).

L'ADEME et l'ANR ont souhaité organiser ensemble un séminaire fin janvier 2021 afin de travailler sur 3 axes spécifiques en lien avec la bioéconomie circulaire : les impacts environnementaux des produits et matériaux biosourcés, la méthanisation et autres valorisations de déchets organiques ainsi que la valorisation des sites pollués.

Les ateliers d'intelligence collective, qui ont eu lieu lors de ce séminaire, ont permis d'identifier des besoins de recherche transversaux ou des évolutions dans le dépôt et le contenu des projets tels que :

- Maintenir dans le temps le **financement de sites expérimentaux** pour assurer un suivi long terme : impacts sanitaires et environnementaux, pérennité du contrôle des transferts, sols, etc.
- **Changer de paradigme sur la valeur des filières** et leurs bénéfices : stockage de carbone, fraîcheur en ville, réservoir de biodiversité, aménagement paysager...
- Inciter davantage à déposer des **projets plus interdisciplinaires**, notamment en ajoutant une dimension sociologique dans les projets, en particulier ceux portant sur la méthanisation et la valorisation de sites pollués : perception et levée des réticences, formation, communication...
- **Intégrer dans les tâches du projet une évaluation environnementale (ACV)** ainsi qu'une démarche **d'écoconception** dès que cela est pertinent afin de démontrer et d'optimiser la **durabilité des solutions proposées**

Ces ateliers furent également l'occasion de mener une réflexion avec les participants sur la visibilité et la complémentarité des dispositifs ADEME et ANR et de connaître les attentes de la communauté de recherche pour nos futurs appels en matière de typologie des instruments de financement.

# ATELIER 1 : MATERIAUX ET MOLECULES BIOSOURCEES

## 1. SESSION 1 Comment prendre en compte les impacts environnementaux dans la définition des besoins de R&D ?

---

### 1.1. Enjeux et objectifs

- Prendre conscience qu'un produit biosourcé n'a pas forcément moins d'impacts négatifs sur l'environnement.
- Introduire, dès la phase de conception, une réflexion sur les impacts tout au long du cycle de vie du produit : du berceau à la tombe.
- Se questionner sur la façon de prendre en compte les impacts d'un produit

L'objectif de la session 1 était de contribuer à la réflexion de l'ADEME sur les questions suivantes :

- quand et comment réfléchir à l'intégration de la prise en compte des impacts dans un projet?
- peut-on distinguer des phases avec des approches différentes selon la maturité du projet ?
- quels outils et quelles méthodes d'évaluation environnementales pourraient être utilisés (ACV, autres outils ou méthodologies) ?

### 1.2. Synthèse

Pour répondre à ces questions, la session a été divisée en 2 parties :

- 1) Témoignages de porteurs de projets sur 3 axes :
  - Quelle a été votre démarche environnementale dans le développement du projet ?
  - A quel moment avez-vous introduit cette démarche ?
  - Cela vous a-t-il permis de prendre des décisions pour faire évoluer vos projets de R&D?
- 2) Ateliers participatifs qui avaient pour sujet :
  - La prise en compte des impacts environnementaux aux différents stades d'un produit (de sa conception à sa mise sur le marché) : quelles questions clés se poser pour bien prendre en compte les impacts environnementaux ?
  - Quels outils ou démarches peuvent être mis en œuvre aux différents stades de développement d'un projet pour prendre en compte l'empreinte environnementale ?

### 1.3. Livrables

- 1) Les vidéos des présentations sont disponibles : <https://bioeconomie.ademe.fr/replay.htm>
- 2) Un document détaillé ci-dessous qui identifie les principales questions évaluatives qu'un porteur de projet doit se poser pour vérifier la prise en compte des impacts environnementaux dans ses travaux. Celui-ci sera proposé comme aide au montage de projet dans l'édition 2022 de l'appel à projets de recherche GRAINE de l'ADEME.
- 3) Les réflexions sur les outils et/ou méthodologies disponibles seront intégrées dans un document ADEME sur l'évaluation environnementale : "Empreinte Projet"

# Guide ADEME montage projet et impact environnemental

Comment prendre en compte l'empreinte environnementale du développement d'un produit ou process biosourcé de sa conception à sa fin de vie lors du montage d'un projet de R&D

Titulaire de la direction/service

24/09/2021



**Objectif du guide** : proposer aux consortiums un guide pour s'assurer de la prise en compte suffisante des impacts environnementaux sur l'ensemble du périmètre de leur projet de R&D.

La grille de questionnements vise à orienter les réflexions sur les multiples impacts des projets afin d'améliorer la prise en compte de l'empreinte environnementale dans les projets de R&D et amorcer des travaux d'éco-conception qui seront à poursuivre au cours du projet.

Ce document ne se substitue pas au besoin d'accompagnement par des organismes expérimentés (partenaire ou prestataire spécialisés) de l'évaluation des impacts environnementaux pour accompagner le développement de produits biosourcés. Cette prise en compte des aspects environnementaux doit se faire dès la phase de conception afin de limiter au maximum leurs impacts.

Les questions proposées permettent d'analyser rapidement si les problématiques liées à l'approvisionnement, le process et le marché ont bien été anticipées.

Tous les projets ne sont pas forcément concernés par toutes les questions mais il est intéressant de toutes les aborder.

Ce document s'est alimenté du travail effectué lors des ateliers participatifs du colloque ADEME/ANR « bioéconomie durable » les 28 et 29 janvier 2021 et la méthodologie est inspirée du guide « 32 questions pour une réflexion plus large sur le développement durable »<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Villeneuve, C. et Biffin, O. (2011). 32 questions pour une réflexion plus large sur le développement durable. Département des sciences fondamentales, Université de Québec à Chicoutimi

3

24/09/2021



## Comment utiliser la grille?

Le questionnement est réalisé en 2 étapes:

1) Pour chacune des 28 questions, il s'agit de se demander si le projet répond à cet élément, s'il y a besoin d'approfondir la question ou si elle a été suffisamment anticipée et prise en compte: - ; 0 ; +.

-	Question encore non traitée ou insuffisamment : à approfondir avant dépôt du projet (le tableau à terme devra contenir que des 0 ou +)
0	Question non pertinente
+	Question traitée et suffisamment prise en compte

2) Si la question est prise en compte, alors estimer l'impact de sa prise en compte sur le projet. Les réponses possibles sont -- ; - ; 0 ; + ; ++. Le tableau ci-dessous précise ces notations.

--	Le projet ou la démarche a des impacts négatifs potentiellement importants, relativement à cet élément. Marge de progression faible, ces impacts resteront a priori négatifs et ne permettront pas de diminuer l'impact par rapport aux concurrents.
-	Il pourrait y avoir des impacts négatifs concernant cette question mais il y a une marge de progression nette potentielle permettant d'espérer d'être moins impactant que les concurrents.
0	Le projet ou la démarche n'aura pas d'impact significatif, ni positif ni négatif sur cette question.
+	Le projet ou la démarche répond positivement à cet élément. Il est encore possible d'améliorer l'effet positif et diminuer l'impact par rapport aux procédés/produits concurrents.
++	Cet élément est l'un des impacts les plus positifs du projet, difficile de l'améliorer encore. Présente déjà un gain environnemental avéré et démontré par rapport aux concurrents.

4

24/09/2021

En matière de process	Prene en compte de la question - ; 0 ou +	Dés que réponse ++ dans la colonne précédente. Impact de la question pour le projet - ; - ; 0 ; + ; ++	Pistes d'améliorations
Prévoit d'inventarier tous les flux entrants et sortants et leurs destinations?			
Privilégie des process durables et respectueux de l'environnement (ex les principes de la chimie verte)?			
S'est fixé des objectifs chiffrés de performance environnementale?			
S'est fixé des objectifs de rendements nécessaires à la poursuite du projet?			
Prend en compte la production des déchets - quantité et devenir?			
Anticipe les scénarios de fin de vie du produit biosourcé et en tient compte dès sa conception?			
Identifie les process, pour un même service, qui servira de base de comparaison pour évaluer les impacts environnementaux générés?			
A identifié des possibilités de récupération d'énergie ou de boucles de recyclage?			
S'inscrit dans une démarche d'écologie industrielle?			

Institué de la direction/service

6

24/09/2021

En matière d'approvisionnement, est-ce que le projet ...	Prene en compte de la question - ; 0 ou +	Dés que réponse ++ dans la colonne précédente. Impact de la question pour le projet - ; - ; 0 ; + ; ++	Pistes d'améliorations
Tient compte des modes de production de la matière première - intrants nécessaires dont pesticides, fluides utilisés pour la production (eau, énergie notamment)?			
Présence d'un label gestion durable/certification environnementale?			
Utilise une culture dédiée? Si il y a une culture dédiée, est-ce que le projet contribue à la diversification des cultures et à la réduction des impact environnementaux?			
Propose une valorisation des ténérétes de la plante/biomasse récoltée - y a-t-il valorisation des sous-produits, y compris retour au sol?			
Ne rentre pas en compétition avec un approvisionnement pour l'alimentaire?			
Prend en compte les autres marchés qui utilisent la biomasse visée?			
A identifié la ressource substituée?			
Anticipe la disponibilité de l'approvisionnement (concurrence d'usages dont retour au sol, ressource abondante, disponible toute l'année, prise ne compte des changements et aléas climatiques)?			
Propose utilisation d'une (de) ressource(s) présente(s) sur le territoire (local, régional, national selon la biomasse)?			
A vérifié que la qualité (taux d'impuretés) et la stabilité des ressources sont compatibles avec les performances attendues?			
Propose des actions qui visent la stabilité de l'approvisionnement (la rémunération agriculteur/industriel et disponibilité ressources sur plusieurs années par ex)?			
Identifie les contraintes de collecte et d'acheminement sur le lieu de production			

En matière de marché	Prene en compte de la question - ; 0 ou +	Dés que réponse ++ dans la colonne précédente. Impact de la question - ; - ; 0 ; + ; ++	Pistes d'améliorations
Prévoit un coût maximum de production du produit/versus produit concurrent?			
A évalué le volume du marché?			
A vérifié s'il existe un risque de déstabilisation d'une filière de la bioéconomie si le projet arrive en phase industrielle?			
A identifié la localisation de l'unité industrielle envisagée (national ou autre)?			
A identifié les exigences techniques du marché visé?			
Permet un usage plus durable que le produit de substitution (gain environnemental par ex)?			
A prévu un argument environnemental attendu par les distributeurs par rapport aux concurrents (prévoit il un affichage environnemental? Des labels existent-ils)?			

Institué de la direction/service

7

24/09/2021

## 2. SESSION 2 Etat des avancées scientifiques sur les procédés et perspectives

---

La deuxième session de l'atelier « Matériaux et molécules biosourcées durables » avait pour objectif de faire le point sur les avancées scientifiques au travers des projets financés par l'ANR et l'ADEME dans 3 domaines ciblés :

- **Le traitement de la biomasse par voie enzymatique** : la présentation faite par Bernard Kurek a mis en avant les résultats obtenus dans plusieurs projets financés (FUNLOCK, LIGNOPROG, BIOMOD, RIGHTLAB)
- **La production de molécules d'intérêt par voie fermentaire** : Philippe Soucaille a présenté les résultats issus de plusieurs projets (BioButaFuel, BIOBUTYRIQUE, Cellutanol, BIOMETCHEM, SYNBIOCHEM, SYNCONSOR4BUTANOL) soutenus par différents dispositifs de financement, ainsi que les verrous scientifiques et perspectives en matière de recherche
- **La catalyse chimique** : les résultats de deux projets ANR FURCAB et H2CAT ont été présentés par les coordinateurs, respectivement Karine Vigier et Mathieu Sauthier.

L'introduction de cet atelier a été faite par Carole Molina-Jouve.

### ATELIER 2 : METHANISATION ET VALORISATION DES AUTRES DECHETS ORGANIQUES

## 1. SESSION 1 Feuille de route méthanisation

---

### 1.1. La R&D sur la filière méthanisation

De nombreux travaux de recherche ont été conduits sur la filière méthanisation depuis plus de 10 ans. L'ADEME est l'un des opérateurs de l'État qui accompagne la transition écologique et énergétique. Dans le cadre de ses missions, l'ADEME soutient le développement, la démonstration puis la diffusion de nouvelles solutions, technologiques ou organisationnelles, contribuant à la transition énergétique et écologique. Pour accompagner spécifiquement le développement de la méthanisation et structurer au niveau national une réflexion stratégique sur les besoins de recherche et développement, l'ADEME a réalisé une feuille de route technologique stratégique "Méthanisation " en 2017, les travaux ont mobilisé des experts externes à l'ADEME intuitu personae et un groupe miroir interne à l'ADEME :

<https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/1933-feuille-de-route-strategique-methanisation-9791029708589.html>

L'ADEME a souhaité, lors de ce séminaire de début 2021, faire le point sur les avancées de cette feuille de route.

Des groupes de travail conduits en intelligence collective, dans lesquels ont participé des experts scientifiques et techniques, ont fait un point sur l'état d'avancement des priorités de R&D de cette feuille de route. L'objectif de ce travail était d'identifier les axes de R&D à prioriser pour l'ADEME en terme de soutien financier (APR GRAINE notamment), pour les 5 ans à venir, et permettre à l'ADEME d'avoir des éléments de rédaction pour la 4ème édition de l'Appel à Projet Recherche Bioéconomie GRAINE.

Cette partie présente les éléments issus des ateliers de travail en intelligence collective. Sans priorisation de recherche pour l'ADEME à ce stade.

### 1.2. Résumé des priorités de recherche issues de la feuille de route Recherche Méthanisation

La réalisation des feuilles de route technologique stratégique de l'ADEME vise à identifier des verrous scientifiques et techniques au déploiement d'une filière et des besoins de soutien en RD, il s'agit d'un processus en 4 étapes :

1. Eclairer les enjeux industriels, économiques, sociétaux et environnementaux du développement de la filière
2. Imaginer des visions cohérentes et partagées de la méthanisation à long terme

3. Identifier les verrous scientifiques et technologiques, organisationnels, économiques, financiers, sociologiques, culturels, psychologiques et ceux liés aux politiques et mesures publiques ;
4. Mettre en avant les besoins et les priorités de recherche, de développement, d'innovation (RDI) pour favoriser et accompagner le développement d'une filière française.

Les verrous identifiés pour la méthanisation ont été répartis en 5 catégories :



Les besoins et priorités de recherche ont été structurés autour de 3 axes :

**AXE 1** : Connaissance = R&D pour l'acquisition de connaissances et compréhension des mécanismes et impacts

- Compréhension des mécanismes biologiques chimiques et physiques de la méthanisation (Populations bactériennes, activité biologique, carbone dans le processus, micropolluants et effets sur la digestion, effets de la variation saisonnière de la biomasse sur le digestat...)
- Connaissance des impacts positifs et négatifs
- Climat, émissions lors des épandages, évaluation des fuites, qualité des sols,
- Etudes d'impacts, sanitaires, environnementaux, ACV évaluations multicritères
- Pour des réflexions sur la monétarisation des externalités
- Impacts des cultures intermédiaires
- Impacts des prélèvements des résidus de culture sur la qualité des sols

**AXE 2** : RDI = R&D métrologique et technologique (R&D Industrielle)

- Mobilisation du gisement : Procédés éco-efficients de pré-traitements, collecte, stockage, matériels de déconditionnement
- Procédés digestion méthaniseurs : Procédés technologiques concernant la digestion (amélioration des procédés, performances, voie solide, liquide, destruction de germes pathogènes...) Micro-méthaniseurs - Méthanation biologique
- Valorisation biogaz – énergie : Biométhane : réseau intelligent, réduction de la taille des équipements, logistique d'utilisation à proximité.
- Énergie, production d'électricité, CO<sub>2</sub>, méthanation biologique, ...
- Valorisation des digestats, bioraffineries
- Développement de technologies d'extractions de molécules - Fabrication d'engrais et amendements
- Métrologie : bancs d'essais, diagnostics, outils de mesures de fuites, capteurs, benchmarks de technologies et guides, tests de fatigue des matériels...

**AXE 3** : Outils et méthodes pour les acteurs = R&D organisationnelle, SHS, Guides et outils numériques

- Planification et ingénierie de projets : Outils d'Aide à la Décision (OAD) pour intégrer la méthanisation au niveau territorial, développement de plans d'approvisionnement, outils pour les débouchés du biogaz; H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, outils de conceptions de projets, ...
- Analyse des risques économiques, nouveaux modèles d'affaires : caractérisation du risque financier, pour améliorer la maîtrise des paramètres pour les financiers, développement de nouveaux modèles d'affaires (répartition de la valeur (services rendus, chiffrage de ces services – impact sur l'ESS)
- Freins et leviers sociologiques : compréhension de ceux-ci, pour favoriser la transition. Analyse des modalités de pratiques agricoles vers la production d'énergie. Mesure des impacts sociaux basée sur l'ACV multi critères.
- Nouveaux outils numériques : aide au pilotage opérationnel, (aider l'exploitant à optimiser la recette et les conditions de fonctionnement). Planification de schémas territoriaux énergétiques

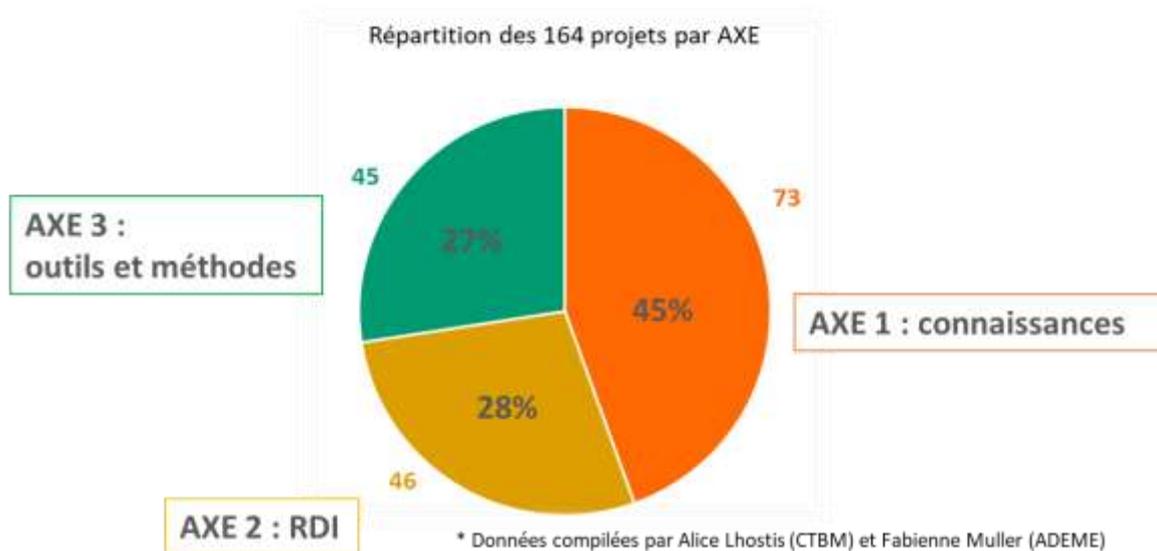
### 1.3. Cartographie synthétique de projets

Le CTBM (Alice L'Hostis), a réalisé une première ébauche de cartographie de projets de recherche de 2013 à 2018, l'ADEME (Fabienne MULLER) l'a mise à jour en intégrant essentiellement les projets de R&D aidés par l'ADEME et l'ANR jusqu'en 2020. Cette synthèse ne recense que les projets des 10 dernières années.

Les acronymes des dossiers ne sont pas détaillés, vous retrouverez les projets dans le document Excel téléchargeable ci-dessous, ou sur le site de l'ADEME.

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/referencement-des-programmes-de-recherche>

Depuis 2010 : 164 projets répertoriés de R&D sur ces 3 axes



73 Projets identifiés sur l'AXE 1	46 projets identifiés sur l'AXE 2	45 projets identifiés sur l'AXE 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Connaissance des mécanismes</li> <li>■ Connaissance des impacts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mobilisation du gisement</li> <li>■ Procédés digestion méthaniseurs</li> <li>■ Valorisation biogaz énergie</li> <li>■ Valorisation des digestats, bioraffineries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Planification, ingénierie de projet</li> <li>■ Risques économiques</li> <li>■ Freins leviers sociologiques</li> <li>■ Nouveaux outils numériques</li> </ul>
<p><u>Mécanismes</u>            METHANIZ - PETIOLE -            MATLAMOUSSE - CHAMPON - LE            BARS - MAMERI - PHCUTIQUE -            ENIGME - ECOS - HISOLIDS -            DIGESTOMIC - VIRAME -            PHOSPHOR - ANAMIX - BIOPTIME            - PEACE - METHASECHE -            AGROPOLISF - CODIMETH -            COOPMETS - MAB2.0</p> <p><u>Impacts</u>            PROBIOTIC - VADIMETHAN -            EFELE - DIGEO - IMPOPOLDYN2 -            TRACKYLEAKS - PROLAB - ETYC -            EXPECIVE - CIBIOM - OPTICIVE -</p>	<p><u>Gisements</u>            RESIMETHA - SAM - PAM - BFF -            STOCKACTIF - BIODECOL2</p> <p><u>Procédés digestion méthaniseurs</u>            HYDROBOOST - MCUBE -            DRYMETHA - COMET - ODYSSEE -            MODULO+ - DUALMETHA -            TRICUBE2 - ADAW - NOMAD -            DANAC - MEXA -            METHACOMPOST</p> <p><u>Valorisation biogaz énergies</u>            HYCABIOME - METHAGRID -            METHANIZ - PROMETHIS -            COBIOGAZ - HYTEB - EPUROGAZ -</p>	<p><u>Planification et ingénierie de projets</u>            METHAPOLSOL - BESTS -            METHA3G - AW -            BIOGASACTION - EQUILIBRE -            DETERMEEN - INEMAD -            COMBINE - BIFFIO - VALUE -            PROVALUE - BIOENW -            DECISIVE - BIOENERGYFARM2 -            UC2ACV - MAPPED -            METHA+.COM - OPTABIOM -            BIOGAZ RIO</p>

PROTERR - FELEAKS - PATHOGAZ - CLODIA - CARMEN - METHABIOSOL - METHAPLAST - EMAMET - SANIMETHA - PROBIOTIC - bmpESSAI - PRODIGE - RECITAL - EVAPRO - FELEAKS - METHANEMIS - EMAMET - MALET - FOURCROY – METHABIOSOL – METHAPLAST – SANIMETHA - METHALAE - VALOCIVES - METERRI - ATLASSI - MADSLUDGE - CVANCRE - VOLAT NH3 - DIVA - DIGESTATE - WINSEAFUEL - RECOVER - PFI - BIODECOL - PROLEG - DRYAD - METHANH3 - WASTE2bioHyNET - BIOGASMENA - NOAW	LILIBOX - BIORARE - PRODEVAL - BIOMET - BIOMETHANEplus - CATTALYS - WAGABOX - ALL-GAS - BIOWALK4BIOFUELS - PILE-EAU- BIOGAZ - SIMBIOSE  <u>Valorisation des digestats,</u> <u>bioraffineries</u> ODEXA - OMIX - ALGOVADO - BIOMSA - VALODIM - CLIMATEKIC - BIOREFINE - PYRODIGEST - VALORCAP	<u>Risques économiques,</u> <u>nouveaux modèles d'affaires</u> OCCIMETHA - TEIXEIRA - METHAREVENUS - icERDAM - BIOGAZ3 – BIOSURF <u>Freins leviers sociologiques</u> BIOGASACTION - METHASOCIO - COPRODIS - Laraisonsanitaire - CADIOU <u>Nouveaux outils numériques</u> CONCEPTDIG - FERTIDIG - DIAMETHA - TRACKYLEAKS - VALORMAP - ELBA - METHA3G - VALDIPRO - DIANE - METERRI - AGROGAS - AUTOFERM - ABILE - ECOTECH - SUDOEILR
---	---	---

Financeurs principaux



#### 1.4. Restitution des temps d'intelligence collective de l'atelier 2

Les inscrits à ces temps d'intelligence collective (TIC) étaient des acteurs de la filière méthanisation (chercheurs, professionnels, exploitants, industriels, ...), ils ont aidé à contribuer à la réflexion de l'ADEME sur les questions suivantes : Pour chaque TIC, 3 groupes travaillaient sur le même sujet en parallèle.

- **TIC 1** : Sur l'acquisition de connaissances (procédés, impacts) : Quelles thématiques de recherche doivent être poursuivies, accentuées, débutées, arrêtées ?
- **TIC 2** : En recherche industrielle, peut-on prioriser les enjeux ?
- **TIC 3** : FOCUS sur la R&D en sciences humaines, sociales et économiques : comment les SHS peuvent éclairer et contribuer à lever les verrous sur la filière méthanisation ?

#### Pour l'ensemble des TIC, nous avons identifié des éléments communs transversaux

- Une nécessité d'interdisciplinarité dans les projets (intégrer des sciences économiques, humaines et sociales), pour prendre en compte toutes les dimensions de la filière,
- Un besoin de projets de longue durée, nécessaires pour répondre aux questions sociétales en lien avec les impacts et effets de la méthanisation.

##### 1.4.1. TIC 1 autour des thématiques de l'AXE 1 : acquisition de connaissances et compréhension des mécanismes et impacts

#### GISEMENTS

R&D à conserver	R&D à améliorer – débiter
Méthanisables dans les rotations culturales, recommandations des pratiques agro-culturelles efficaces, économes en eau, travaux complémentaires des travaux déjà existants Enjeux de mobilisation des CIVE, connaissance des impacts (rotation, MO des sols, dispo en eau, biodiversité...)	Etudes d'intrants atypiques dans les méthaniseurs (matière lignocellulosique feuilles, chanvre, biodéchets...) Impact de la filière valorisation par méthanisation sur la qualité et quantité de biodéchets captés par déploiement du tri à la source Fonctionnement de l'écosystème bactérien : comment évoluent les gènes d'antibiorésistance

#### PRETRAITEMENTS

R&D à conserver
Améliorer les connaissances des pré-traitements des biomasses récalcitrantes ou complexes Pré-traitements MO (biodéchets) en lien avec les exigences de qualité de retour au sol

## PROCEDES

R&D à améliorer – débiter
<p>Connaissances nécessaires au développement des techniques proposées (petites échelles low tech, ...)</p> <p><u>Petite échelle</u> : (down sizing) procédés de production de petits volumes de biogaz, microméthanisation agricole performante environnementalement et énergétiquement. Pouvant par exemple viser l'autonomie d'une exploitation, transformée sur place en circuits courts afin de diversifier l'activité (production de GNV par ex).</p> <p>Connaissance de nouveaux gisements (biodéchets)</p> <p>Evaluation de l'impact des épandages de digestats sur la ressource en eau, qualité des sols, usages des digestats</p> <p>Place de la méthanisation dans les cycles biogéochimiques</p> <p>Modification de la population microbienne des méthaniseurs.</p> <p>Effets des substances inorganiques sur les populations microbiennes des méthaniseurs</p>

## DIGESTATS (retour au sol)

R&D à conserver	R&D à améliorer – débiter
<p>Aspects sanitaires, qualité et devenir, impacts sur la qualité des sols, microfaune, mésofaune</p> <p>Lien entre épandage des digestats et MO des sols</p> <p>Qualité sanitaire des digestats après post traitement (?)</p> <p>Renforcer la connaissance des caractéristiques fertilisantes et amendantes des digestats versus engrais de synthèse, pour mieux les maîtriser</p>	<p>Valorisation des digestats en microalgues cyanobactéries</p>

## BIOGAZ

R&D à conserver
<p>Méthanation biologique / Méthanation en unité agricole (innovation technologique)</p> <p>Travaux sur la connaissance de la composition minéralogique des résidus</p> <p>Optimisation énergétique et environnementale des procédés d'épuration du biométhane (bilan matière énergie du procédé, réduction des impacts)</p>

## FILIERE – NIVEAU TERRITORIAL

R&D à conserver
<p>Considérer l'ensemble de la filière et les impacts environnementaux associés dans les projets de recherche</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- intégrer l'aval dans les projets de méthanisation (valorisation des digestats et qualité des sols)</li> <li>- intégrer l'amont sur la mobilisation des produits végétaux (CIVEs et résidus de culture)</li> </ul> <p>Approche territoriale : bouclage des cycles de l'azote (éléments majeurs) sur le territoire</p>

### 1.4.2. TIC 2 autour des enjeux de l'AXE 2 Recherche Industrielle

#### Ce qui ressort des 3 groupes de façon commune

Aucune priorisation claire des enjeux n'a pu être réalisée

**Importance d'une RD** rapidement industrialisable, aller au-delà des prototypes

**Etude de l'efficacité multicritères** des projets : préparation matière, robustesse des procédés, impacts sanitaires, consommation eau, vision globale

**Besoins de travaux sur la réduction des impacts** environnementaux, sanitaires

**Besoins de travaux sur la réduction des coûts** (y compris dans les outils et instrumentations du pilotage des installations, outils de mesure de fuites, ...)

**Nécessité d'une vision plus large au sein des projets** : quelles autres valeurs apportées par la filière, réduction GES, limitation d'utilisation d'engrais, ces éléments de recherche permettraient de communiquer autrement sur les projets de méthanisation, et de qualifier la résilience agricole et des territoires

## Enjeux identifiés dans les ateliers de TIC par thématique

### **INTRANTS**

Améliorer la préparation des intrants non adaptés au digesteur, pour les biodéchets, améliorer les procédés de tri des indésirables

### **PROCEDES**

Enjeux forts aujourd'hui sur la microméthanisation en usage local pour une décentralisation des usages, y compris sur la valorisation du biogaz

Améliorer l'offre technologique voie sèche

Augmenter la compacité des installations (produire plus de biogaz sur une plus petite surface)

Méthanation, optimisation des réseaux (symbiose réseau électrique et gaz, power to gaz, valorisation CO2)

Aller au-delà des pilotes vers une industrialisation des prototypes, souvent limitée par les coûts de l'éligibilité des projets

Il est important de pouvoir réaliser des travaux sur l'amélioration des installations existantes plutôt qu'inventer de nouveaux procédés

### **PILOTAGE des installations (outils d'aide au pilotage)**

Outils de mesure rapide d'une recette (digestibilité, améliorer les performances)

Besoin d'une plateforme de partage de données (afin de partager des bases de données, de proposer des benchmarks de capteurs, et autres procédés, télécharger des synthèses des études, de R&D...) →

Améliorer la visibilité des connaissances obtenues en R&D et mettre à disposition de la donnée accessible.

### **VALORISATIONS**

Enjeux forts sur les nouvelles valorisations (extractions de molécules en post traitement)

Procédés pour mieux valoriser le carbone des digestats

#### **1.4.3. TIC 3 : comment les SHS peuvent contribuer à éclairer et lever les verrous / FOCUS 1 : risques économiques et nouveaux modèles d'affaires ?**

#### Les échanges lors de l'atelier 3 ont permis d'identifier des pistes de travail pour les projets de R&D, et de façon plus large des éléments de réflexion sur ces questions

Mobiliser les Sciences économiques dans les projets

Plus de transparence dans les modèles d'affaires

Importance d'avoir des collectes des données économiques et technologiques chez les exploitants → importance de travailler avec des données réelles et non issues de simulations

Identifier les risques économiques et les leviers → Les projets doivent être mieux étudiés

Importance de poursuivre le soutien des travaux de monétarisation des services rendus (quelle rétribution pour ces services écosystémiques ?) : changer de paradigme les enjeux sont beaucoup plus larges que la production de biogaz et digestats.

Evaluer les projets sur l'engagement citoyen et non plus sur la rentabilité économique, projets intégrés sur le territoire = développement économique du territoire à prendre en compte, pour une meilleure réussite du projet

#### **1.4.4. TIC 3 : comment les SHS peuvent contribuer à éclairer et lever les verrous / Focus 2 : Comment la R&D peut aider à lever les verrous sociologiques ?**

Les éléments de réponse à cette question, exprimés par les participants, ne prennent pas systématiquement la forme de besoins de R&D. Etudes et analyses des contestations pour mieux comprendre les axes à améliorer

Travaux nécessaires sur la concertation des acteurs autour de l'acceptabilité sociale des projets (pas assez présent)

- Travailler le marketing et l'image de la filière
- Importance de la communication vers les citoyens, des actions de formations / informations à différents niveaux de la vie publique, nécessité de transparence des résultats vers le grand public. Comment rendre accessible les résultats ?

- Lors de projets territoriaux, remettre les collectivités au centre des décisions, relocaliser la recherche, échelon politique à impliquer.

### Lors de la construction de projets

- Elaborer des filières concertées, co-construire les projets en multi-acteurs
- Réaliser des projets participatifs avec l'ensemble de la population

## 2. SESSION 2 Nouvelles valorisations, vers des bioraffineries environnementales

---

La deuxième session de l'atelier « Méthanisation et valorisation des autres déchets organiques » avait pour objectif de mettre en avant des projets qui couplent la méthanisation avec d'autres types de valorisation (H<sub>2</sub>, azote, microalgues...).

Après une introduction faite par Jean-Philippe Steyer, les présentations étaient axées autour de 3 thèmes :

- **La méthanisation couplée à la production d'H<sub>2</sub>** : présentation des résultats des projets METHAGRID (ADEME) et PROBHYM (ANR) réalisée respectivement par Christian Belloy (ARD) et Eric Trably (INRAE)
- **L'intégration des microalgues dans les filières de valorisation de déchets organiques** : présentation des résultats des projets PHYCOVER (ANR) et BIOMSA (ADEME) réalisée respectivement par Jean-Philippe Steyer (INRAE) et Fabrice Beline (INRAE)
- **Vers une bioraffinerie environnementale** : présentation des résultats des projets ODEXA/OMIX (ADEME) et BIORARE (ANR) réalisée respectivement par Xavier Lefebvre (INRAE) et Théodore Bouchez (INRAE)

## ATELIER 3 : VALORISATION DES SOLS POLLUES

### 1. Enjeux et objectifs de l'atelier

---

- Présenter des projets de R&D financés par l'ADEME et l'ANR et montrer les principaux acquis,
- Faire émerger les besoins de R&D actuels pour intégrer la valorisation des sols pollués dans la bioéconomie durable, éclairer les angles peu investigués pour les intégrer dans les appels à projets recherche.

Avec les acteurs de la gestion des sols pollués (chercheurs, professionnels, gestionnaires de sites...), les objectifs étaient de contribuer à la réflexion de l'ADEME sur les questions suivantes :

- Quelle peut être la valeur ajoutée de considérer les objectifs de la bioéconomie pour la valorisation des sols pollués ?
- Dans quels contextes cela est-il pertinent ?
- Quelles sont les filières de valorisation des biomasses produites sur sols pollués que l'on peut mobiliser ?
- Quels sont les freins et futures actions de recherche à conduire ?

### 2. Synthèse des résultats de l'atelier

---

#### 2.1. Les enjeux

Les friches sont des espaces délaissés, ces sites bâtis ou non bâtis n'ont plus d'usage et leur état ou leur configuration ne permet pas un réemploi sans intervention préliminaire. Une bonne partie de ces friches présente une contamination à des degrés divers et sur différents milieux (sols, eaux, air). L'Ademe estime le gisement foncier de ces friches de l'ordre de 150 000 ha, avec un niveau stable, la reconversion équilibrant la création de nouveaux espaces vacants.

Les polluants que l'on retrouve sur ces sites sont ceux liés aux activités humaines. Il s'agit de polluants organiques tels les hydrocarbures ou des solvants chlorés et aussi des métaux et métalloïdes.

Dans une logique d'utilisation raisonnée des ressources, ces sites doivent être réutilisés. Pourtant, il n'est pas toujours facile de mobiliser les leviers qui permettent d'identifier de nouveaux usages compatibles avec l'état des friches et le marché, ainsi que de financer les coûts associés à la gestion de la pollution. En cas de pollution, la priorité est d'assurer une maîtrise des sources et des transferts de polluants pour un usage conforme à l'état du site.

Aux usages bâtis sur ces fonciers dégradés, il est possible de promouvoir des usages dits alternatifs, tels la production d'énergie avec des parcs photovoltaïques, des aménagements paysagers, de la nature en ville, de la production de biomasses non alimentaires...

Ainsi on peut : 1) mobiliser les sols dégradés et pollués dans le cadre de la bioéconomie pour en assurer la durabilité tout en préservant d'autres ressources foncières (agricoles, forestières) et 2) bénéficier de l'exploitation de la photosynthèse pour envisager la levée des verrous économiques liés à la réutilisation de ces sites affectés par les activités humaines.

Ce document dresse la synthèse des résultats acquis présentés lors du séminaire selon les contextes d'application et pour 2 types de valorisation de biomasses.

## 2.2. Les sites de gestion des sédiments fluviaux mis à terre

VNF, gestionnaire de voies navigables, indique un volume annuel de 6000 m<sup>3</sup> de sédiments fluviaux dragués qui se répartissent comme suit : 67% sédiments inertes et 33% non inertes et non dangereux.

Il est à noter des coûts en forte augmentation (multipliés par 5 en 10 ans et en hausse) pour le gestionnaire. Aussi, les besoins de VNF sont : 1) de disposer de solutions amont pour limiter l'apport sédimentaire et 2) de modalités de gestion alternative au dépôt à terre et de gestion des sites déjà en place.

Le phytomanagement pourrait concerner une partie des 183 sites en Région Hauts-de-France, lesquels font l'objet d'une réflexion sur les pratiques de gestion et les modalités de valorisation. VNF a mis à disposition deux parcelles expérimentales d'une superficie de l'ordre de l'hectare, situées près de Valenciennes et proches du canal de l'Escaut pour des expérimentations dans les projets BIOFILTREE (2011-2014), PHYTOSED 2 (2011-2014) et DEMOPHYTO (2014-2018), ainsi que le projet interreg NewCLand.

**Des résultats obtenus sur ces projets, il est possible de conclure que :**

- la phytostabilisation est plus pertinente que la phytoextraction pour ces sites de gestion de sédiments ;
- les poacées testées (canche cespiteuse, fétuque rouge) ne transfèrent pas la pollution métallique (Cd et Zn) dans leurs parties aériennes et assurent une couverture du sol. Les poacées peuvent être utilisées à partir de semences commercialisées, sans passer par une étape d'adaptation à la pollution ;
- la couverture végétale obtenue avec la canche a permis de lutter contre l'espèce invasive Renouée du Japon ;
- le changement d'échelle entre des expérimentations sur des placettes de petite taille (4 x 5m) et celles sur une parcelle de 1 ha a conduit à revoir les protocoles d'épandage de l'amendement utilisé pour limiter les transferts. Les effets obtenus sur les placettes lors du changement d'échelle n'ont pas été constatés sur la parcelle de 1 ha ;
- la co-culture canche cespiteuse et saules pour maximiser la couverture du sol et permettre une valorisation des arbres est peu pertinente. Dans les conditions de l'essai, la co-culture a entraîné une trop forte compétition entre espèces végétales, défavorable aux saules ;
- les saules et les peupliers ont montré une bonne tolérance à la pollution métallique mais leurs concentrations foliaires en Cd et en Zn étaient supérieures aux valeurs habituellement mesurées chez des arbres ayant poussé sur sols non pollués. Ces résultats doivent conduire à une grande vigilance quant aux éventuels transferts de polluants lors de la valorisation de ces biomasses (cendres de combustion, biochar...).

### **Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :**

[1] Perlein A, Bert V, Desannaux O, Fernandes de Souza M, Papin A, Gaucher R, Zdanevitch I, Meers E. 2021. The Use of Sorghum in a Phytoattenuation Strategy: A Field Experiment on a TE-Contaminated Site. Applied Sciences, 11, 3471. <https://doi.org/10.3390/app11083471>.

[2] Ziegler-Devin I, Menana Z, Chrusciel L, Chalot M, Bert V, Brosse N. 2019. Steam explosion pretreatment of willow grown on phytomanaged soils for bioethanol production. Industrial Crops and Products 140: 111722.

[3] Assad M, Chalot M, Tatin-Froux F, Bert V, Parelle J. 2018. Trace metal(oid) accumulation in edible crops and poplar cuttings grown on dredged sediment enriched soil. Journal of Environmental Quality. Journal of Environmental Quality. doi:10.2134/jeq2018.03.0106.

[4] Ciadamidaro L, Girardclos O, Bert V, Zappellini C, Yung L, Foulon J, Papin A, Roy S, Blaudez D, Chalot M. 2017. Poplar biomass production at phytomanagement sites is significantly enhanced by mycorrhizal inoculation. *Environmental and Experimental Botany*, 139: 48-56.

### 2.3. Les parcelles agricoles polluées

Le contexte est celui de parcelles agricoles polluées essentiellement par Pb, Cd et Zn en raison des retombées atmosphériques de l'ancienne fonderie Metaleurop Nord dont l'activité a cessé en 2003. Au total sont concernés 650 ha exploités par 28 agriculteurs.

En raison de l'étendue des surfaces affectées et de l'impossibilité d'envisager une dépollution de la zone, un plan local d'actions a été mis en place sous le pilotage du préfet de région et coordonné par la DRAAF. Il vise à concilier les enjeux sanitaires et économiques de cette zone par :

- l'encadrement sanitaire des productions agricoles (3 zones définies dans le Projet d'Intérêt Général (PIG) selon les concentrations en Cd et Pb dans l'horizon labouré des sols, avec des mesures allant de l'interdiction de produire à des restrictions commerciales) ;
- l'accompagnement foncier des agriculteurs et des projets ;
- le développement de filières agricoles non alimentaires autour d'un collectif d'agriculteurs réunis sous l'association « Agriculture et Enjeux de territoire ».

Ce dernier axe de développement englobe plusieurs démarches en lien avec la bioéconomie :

- production de biomasse à vocation énergétique : projets de recherche PHYTOPOP (2006-2011) et BIOFILTER (2011-2014) ;
- méthanisation agricole (effluents d'élevage, cultures en zone polluée, CIVE, déchets des territoires (pulpe de betteraves) ;
- culture de miscanthus : projets de recherche Phytener (2009-2014) et Mischar (2017-2021) ;
- production d'huiles essentielles : projets de recherche Phyteo (2017-2021) et Dephytop (2021-2024).

**Des résultats obtenus sur ces projets, il est possible de conclure que :**

- le miscanthus est un bon candidat à la phytostabilisation et peut constituer une filière agricole non alimentaire pour les agriculteurs de la zone polluée : le transfert de Cd et Pb dans les parties récoltées de miscanthus est faible. Cette plante demande peu d'intrants et offre une couverture pérenne du sol. Parmi les voies de valorisation testées, la combustion a été validée (avec une vigilance sur les émissions de Cd et Pb), d'autres sont à l'étude (béton biosourcé, biocarburant, écocatalyse...);
- au regard des 22 ha plantés depuis 2007, la filière miscanthus est jugée réaliste. Toutefois, du fait d'un débouché unique (production énergétique) et d'une marge faible, elle reste fragile ;
- la sauge sclérée accumule peu les métaux et est une bonne candidate pour la production d'huiles essentielles. Les travaux vont être poursuivis plus particulièrement sur l'angélique (cf. partie valorisation biomasse).

Sur la base du retour d'expérience acquis sur la filière miscanthus, le **développement d'une nouvelle filière demande du temps et doit s'accompagner :**

- d'un partenariat scientifique et technique pour valider la faisabilité et apporter des références robustes au regard des enjeux sanitaires et environnementaux sur la filière proposée ;
- d'une volonté et d'un portage local et régional pour assurer l'émergence de la filière en s'appuyant sur les acteurs moteurs et pluriels : l'administration pour la levée des freins réglementaires, des agriculteurs qui convertissent leurs activités et permettent d'atteindre une taille critique et des élus prêts à contribuer à la valorisation des biomasses par l'implantation d'installations dédiées ;
- d'un soutien financier pour supporter les coûts liés à la conversion de l'activité et pour pallier le manque à gagner avant les premières récoltes.

La mise en place et le maintien de parcelles expérimentales sont essentiels pour démontrer la faisabilité tant technique, qu'organisationnelle, économique ou pour servir de vitrine et faciliter l'adhésion des acteurs locaux.

### Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :

- [1] Guérin T., Ghinet A., Waterlot C. 2021. Toward a new way for the valorization of Miscanthus biomass produced on metal-contaminated soils. Part 2: Miscanthus-based biosourced catalyst: Design, preparation, and catalytic efficiency in the synthesis of moclobemide. *Sustainability*, 13, 34.
- [2] Nsanganwimana F., Al Souki K.S., Waterlot C., Douay F., Pelfrêne A., Ridošková A., Louvel B., Pourrut B. 2021. Potentials of Miscanthus x giganteus for phytostabilization of trace element-contaminated soils: Ex situ experiment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214: 112125.
- [3] Nsanganwimana F., Pourrut B., Mench M., Douay F. 2014. Suitability of Miscanthus species for managing inorganic and organic contaminated land and restoring ecosystem services. A review. *Journal of Environmental Management*, 143: 123-134.
- [4] Nsanganwimana F., Pourrut B., Waterlot C., Louvel B., Bidar G., Labidi S., Fontaine J., Muchembled J., Lounès-Hadj Sahraoui A., Fourrier H., Douay F. 2015. Metal accumulation and shoot yield of Miscanthus x giganteus growing in contaminated agricultural soils: Insights into agronomic practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213: 61-71.
- [5] Nsanganwimana F., Waterlot C., Louvel B., Pourrut B., Douay F. 2016. Metal, nutrient and biomass accumulation during the growing cycle of Miscanthus established on metal- contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179: 257-269
- [6] Ciadamidaro L, Girardclos O, Bert V, Zappelini C, Yung L, Foulon J, Papin A, Roy S, D Blaudez, D Chalot M (2017) Poplar biomass production at phytomanagement sites is significantly enhanced by mycorrhizal inoculation. *Environmental & Experimental Botany*, 139: 48-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.004>.
- [7] Chalot M., Girardclos O., Ciadamidaro L., Zappelini A, Yung L, Durand A, Blaudez D. (2019) Poplar rotation coppice at a trace element-contaminated phytomanagement site: A 10-year study revealing biomass production, element export and impact on extractable elements. *Science of the Total Environment* 699, 134260. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2019.134260

## 2.4. Les sites industriels

Le phytomanagement peut assurer une fonction de couverture fréquemment recherchée pour la maîtrise et la gestion des pollutions diffuses en milieu industriel sur les terrains connexes à l'activité principale (zones contaminées par importation de matériaux contaminés ou aérodispersion et redéposition). A ce titre, le phytomanagement peut remplir les fonctions de couverture et :

- améliorer la stabilité mécanique des terrains ;
- lutter contre l'érosion et l'exportation de polluants (ruissellement, envol, lessivage) ;
- réduire la mobilité des polluants (phytostabilisation) ;
- réduire le potentiel polluant des sols (phytoextraction, rhizo/phytodégradation) ;
- promouvoir l'évapotranspiration et limiter l'infiltration des eaux ;
- restaurer les fonctionnalités des sols (faune et flore) ;
- favoriser la réintégration paysagère du site.

Ainsi le phytomanagement peut permettre de redonner une valeur à ces terrains délaissés, tant économique (exploitation de la biomasse produite) qu'écologique ou sociétale.

De nombreux projets ont été financés sur des parcelles expérimentales mises en place depuis 2005 : ces parcelles servent de support à plusieurs projets qui s'alimentent entre eux (notamment pour la recherche de valorisation des biomasses) : PIT, SILPHES, PROLIPHYT, PHYTOCHEM, PHYTOFIBER, NETFIB, ECOPOLIS.

### Des résultats obtenus sur le projet PROLIPHYT, il est possible de conclure que :

- Une végétation naturelle s'installe sur le site (notamment des espèces pionnières comme *Betula pendula*) mais avec des taux de croissance limités ;
- *Ostrya carpinifolia* et *Ulmus pumila* n'accumulent pas les ETMs (Zn, Cd) dans leurs parties aériennes et présentent une bonne croissance. *O. carpinifolia* a été identifié comme le meilleur candidat après mesure du potentiel d'évapotranspiration et répond aux besoins de l'industriel, et notamment dans un contexte de changement climatique (espèce adaptée aux milieux secs) ;
- le potentiel de croissance et le taux de survie à 2 ans sont de bons indicateurs des performances des espèces sur site ;
- il est recommandé de réaliser des micro-parcelles sur site avec 2 à 4 espèces pour vérifier les performances avant de procéder au choix de l'espèce ou des espèces à retenir pour la plantation ;
- la télédétection basée sur les drones présente un potentiel intéressant dans le suivi de ces parcelles végétalisées lequel demande à être confirmé sur d'autres essais.

#### Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :

[1] Zapata-Carbonell J, Ciadamidaro L., Parelle J, Chalot M, Tatin-Foux F, (2020) Improving silver birch (*Betula pendula*) growth and Mn accumulation in residual red gypsum using organic amendments. *Frontiers in Environmental Science* : 8, 24 doi: 10.3389/fenvs.2020.00024

[2] Zapata-Carbonell J, Bégeot C, Carry N, Choulet F, Delhaultal P, Gillet F, Girardclos O, Mouly A, Chalot M (2019) Spontaneous ecological recovery of vegetation in a red gypsum landfill: *Betula pendula* dominates after 10 years of inactivity. *Ecological Engineering* 132 : 31-40. Doi : 10.1016/j.ecoleng.2019.03.013

[3] Ciadamidaro L, Parelle J, Tatin-Foux F, Moyen C, Durand A, Zappelini A, Chalot M (2019) Increasing the panel of tree species in phytomanagement strategies. *Ecological Engineering*. *Ecological Engineering*. 130 ; 147-156. DOI : 10.1016/j.ecoleng.2019.02.010.

[4] Alvarez-Lopez V, Zappelini C, Durand A, Chalot M (2020). Pioneer trees of *Betula pendula* at a red gypsum landfill harbour specific structure and composition of root-associated microbial communities. *Science of the Total Environment*, 726, 138530. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138530

#### SYNTHESE SUR LES RECHERCHES FINANCEES POUR LES DIFFERENTS CONTEXTES D'APPLICATION

Sur l'ensemble des contextes, les **recherches sont sorties des laboratoires avec la mise en place de dispositifs expérimentaux de l'ordre de l'hectare**, qui positionnent les travaux en situation réelle de transfert d'échelle (mise en œuvre, suivi et surveillance, aléas climatiques, ravageurs...). **La mise en place de démonstrateur est décisive pour montrer la faisabilité et aussi communiquer sur les potentiels de ces techniques**. Les intervenants soulignent la nécessité de **maintenir dans le temps ces dispositifs expérimentaux** pour suivre les impacts environnementaux des modes de gestion mis en œuvre et assurer la pérennité du contrôle des voies de transfert des polluants (lien living labs).

De **bons candidats ont été identifiés pour la phytostabilisation** :

- poacées / sédiments fluviaux mis à terre
- miscanthus / sols agricoles pollués
- espèces ligneuses étudiées des genres *Ostrya* et *Ulmus* / site industriel.

Il a été montré que :

- des **consortiums incluent les gestionnaires de sites et les utilisateurs de biomasse** (agriculteurs, industriels, VNF) ;
- les recommandations sur la **disponibilité des espèces végétales à privilégier et le devenir des biomasses produites** ont été prises en compte dans les projets de recherche ;
- il est recommandé de **réaliser des micro-parcelles sur site** avec 2 à 4 espèces pour vérifier les performances avant de procéder au choix de l'espèce ou des espèces à retenir pour la plantation ;
- le potentiel de croissance et le taux de survie à 2 ans sont de **bons indicateurs des performances des espèces sur site**.

### 2.5. Les filières de valorisation des biomasses

On peut distinguer 2 types de biomasse à valoriser : celle issue de phytoextraction (enrichie en contaminants) et celle issue de phytostabilisation (pour laquelle on cherche à obtenir des concentrations acceptables au regard des usages prévus et/ou de la réglementation).

Le phytomanagement présente des enjeux sanitaires, écologiques, liés à la surface disponible comparée à d'autres usages, à l'évolution des besoins de l'industrie et à l'acceptabilité sociale.

La valorisation des biomasses produites sur sols pollués nécessite de lever les verrous suivants :

- innocuité : maîtrise des polluants,
- échelle de temps : urgence à la maîtrise des polluants vs. cycle végétatif,
- surface disponible et configuration : accessibilité, proximité des filières de valorisation des biomasses,
- compatibilité industrielle : rentabilité économique, taille du marché,
- réglementaire et juridique : spécifique à chaque filière de valorisation.

Parmi les 5 filières de valorisation possibles, 3 voire 4 sont pertinentes en contexte de sols pollués, **la production alimentaire étant écartée en raison de la présence de polluants dans les sols et leur transfert potentiel vers les biomasses** :

- filière biomatériaux : construction, technologique (composites), emballages, textile, automobile...
- filière biomolécules : catalyse métaux, molécules fractionnées ou distillées...
- filière bioénergie : méthanisation, biocarburant...
- filière pour la production de bioressources : amendements (biochar).

Une perspective de recherche concerne la co-culture ou la production étagée : phytomanagement au sol et hydroponie, bassins d'algues, agriculture hors sols, photovoltaïque en hauteur pour maximiser l'occupation d'espace.

### 2.6. Valorisation des biomasses enrichies

2 filières innovantes ont été présentées : l'**agromine** et l'**écocatalyse**, toutes deux basées sur la valorisation de biomasse issue de phytoextraction.

### 2.6.1. L'agromine

L'agromine consiste à mobiliser des ressources secondaires inexploitées, riches en métaux d'intérêt sur différents substrats : sols naturels, résidus miniers, sous-produits industriels à l'aide d'espèces végétales hyperaccumulatrices, puis à récupérer par hydrométallurgie ou pyrométallurgie des sels ou oxydes utilisés dans des process industriels.

L'agromine fait l'objet de travaux de recherche sur :

- le nickel dans les projets ANR Agromine (2014-2018), FACCE surplus (ANR 2015-2019), Life Agromine (2016-2021)
- le Zn et le Cd dans les projets LORVER (2012-2018) et ADEME SOLAMET (2019-2022)
- l'or dans le projet Labex Ressources 21 (2021-2024)
- les terres rares (TR) dans les projets Labex Ressources 21 / Carnot ICL et REEcovery (2018-2021).

**Des résultats obtenus sur ces projets, il est possible de conclure que :**

- l'agromine du Ni est maîtrisée, tant sur l'approche agronomique de la culture que sur la conception et l'optimisation des procédés de récupération du Ni, en incluant le changement d'échelle,
- des travaux à petite échelle sont en cours sur le Zn, Cd et les terres rares,
- d'autres métaux font l'objet de travaux au niveau international : or, manganèse, arsenic, platine,
- le changement d'échelle est une étape fondamentale pour aboutir au transfert de ces recherches : des tests en petite échelle vers la validation obligatoire à l'échelle de la parcelle ou du pilote.

#### Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :

Un ouvrage complet fait le point sur les différents résultats obtenus au niveau national et international « Agromining : Farming for Metals – Extracting unconventional resources using plants »

[Antony van der Ent, Alan J.M. Baker, Guillaume Echevarria, Marie-Odile Simonnot, Jean-Louis Morel. Agromining: Farming for Metals, 2nd edition. Springer International Publishing, 2021, Series Title: Mineral Resource Review, (10.1007/978-3-030-58904-2). (hal-03079116)]

### 2.6.2. L'écocatalyse

Cela consiste à produire des molécules d'intérêt à partir de réactions chimiques utilisant des catalyseurs biosourcés obtenus à partir d'espèces végétales hyperaccumulatrices ou de filtres végétaux ayant capté des éléments métalliques.

L'écocatalyse fait l'objet de recherches depuis 2011 : thèse de doctorat Vincent Escande (2011-2013), projet ANR Opportunité E4 (2012-2015), projet FEDER Génie EcoChim (2012-2014), projet ANR PHYTOCHEM (2013-2017), projets Synchrotron Soleil (2016 et 2019), projet FEDER Eaux végétales (2018-2020), projet ADEME EXTRA-Zn (2019-2022).

**Des résultats obtenus sur ces projets, il est possible de conclure que :**

- la phytoextraction du Mn et du Ni est possible à grande échelle et adaptée à la filière écocatalyse ;
- la rhizofiltration et la biosorption de tous les métaux de transition et des terres rares sont possibles à grande échelle ;
- les écocatalyseurs sont les premiers catalyseurs métalliques biosourcés ;
- les écocatalyseurs ont une empreinte végétale et une structure inédite qui leur confèrent une réactivité supérieure aux catalyseurs classiquement utilisés en chimie ;
- la catalyse est un pilier de la chimie verte et la substitution par des écocatalyseurs intéressent les industriels, d'autant que ces réactions nécessitent peu de biomasse pour produire les molécules d'intérêt ;
- les métaux étudiés : nickel, manganèse, zinc, cuivre, cobalt, terres rares, rhodium, palladium, platine ;
- les travaux de l'équipe ChimEco ont fait l'objet de 35 brevets et 75 publications scientifiques. Plus de 5000 molécules ont été produites.

#### Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :

[1] Ecocatalysis, a new integrated approach to scientific Ecology, C. Grison, J. Biton, V. Escande, ISTE Elsevier Editions Ltd. London, 2015.

[2] Combining Phytoextraction and EcoCatalysis: an Environmental, Ecological, Ethic and Economic Opportunity, Environ. Sci. Pollut. Res. 2015,22, 5589-5698, C. Grison.

- [3] Ecocatalysis: A New Approach Towards Bioeconomy, Elsevier Editions, 2015. C. Grison, V. Escande, T. Olszewski.
- [4] Nature, Ecology and Chemistry: an unusual combination for a new green catalysis, Ecocatalysis, *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 2018, 10, 6-10, P.A. Deyris and C. Grison.
- [5] Ecocatalysis, a new vision of Green and Sustainable Chemistry, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, 29, 100461, C. Grison, Y. Lock Toy Ki.

## 2.7. Valorisation des biomasses à des concentrations acceptables au regard des usages prévus et / ou de la réglementation

2 filières innovantes ont été présentées : matériaux et huiles essentielles, toutes deux basées sur la valorisation de biomasses issues de phytostabilisation.

### 2.7.1. La filière biomatériaux

Le projet PHYTOFIBER (2017-2021) a étudié des matières premières ligneuses en provenance de 2 sites expérimentaux (peuplier et aulne) ainsi qu'une herbacée (ortie) pour des essais de valorisation matériaux visant 8 applications : panneaux de fibres ou de particules, fibres et pâtes.

**Des résultats obtenus sur ce projet, il est possible de conclure que :**

- la filière matériau en co-culture ortie-peuplier sur sols contaminés est validée  
Validité technique : les performances mesurées sur les produits issus du bois sont acceptables (c'est-à-dire conformes aux attentes) voire favorables ; la valorisation de l'ortie est possible sans rouissage ou prétraitement, tout en utilisant un équipement industriel. Les performances des fibres longues sont comparables à celles du lin et les fibres courtes peuvent être valorisées en renfort de composites ;  
Validité sanitaire : les teneurs mesurées dans les biomasses et les produits finis confirment un respect des recommandations ou législation en vigueur. Une attention est à porter sur les écorces qui peuvent accumuler Cd et Zn ;
- l'évaluation technico-économique semble montrer l'intérêt économique de ces filières (une analyse de sensibilité reste à faire) ;
- la co-culture présente un intérêt vis-à-vis d'une friche laissée à l'abandon (bénéfices économiques, sociétaux et environnementaux).

Site internet du projet : [www.phytofiber.fr](http://www.phytofiber.fr)

et replay du webinaire de clôture : <https://www.fcba.fr/replay-webinaire-phytofiber/>

### Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :

- [1] Jeannin T, Yung L, Evon P, Labonne L, Ouagne P, Lecourt M, Cazaux D, **Chalot M**, Placet V (2020). Native stinging nettle (*Urtica dioica* L.) growing spontaneously under short rotation coppice for phytomanagement of trace element contaminated soils: Fibre yield, processability and quality. *Industrial Crops & Products*, DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111997.
- [2] Yung L, Bertheau C, Cazaux D, Regier N, Slaveykova VI, Chalot M (2020). Insect Life Traits Are Key Factors in Mercury Accumulation and Transfer within the Terrestrial Food Web. *Environmental Science & Technology*, 53, 11122-11132. DOI: 10.1021/acs.est.9b04102
- [3] Yung L, Bertheau C, Tafforeau F, Zappellini C, Valot B, Maillard F, Selosse MA, Viotti C, Binet P, Chaipusio G, Chalot M (2021). Partial overlap of fungal communities associated with nettle and poplar roots when co-occurring at a trace metal contaminated site. *Science of the Total Environment*, 782, 146692. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146692.

### 2.7.2. La filière biomolécules : huiles essentielles

Le projet PHYTEO (2017-2021) s'inscrit dans le projet de territoire pour le renouveau du bassin minier autour de Metaleurop Nord (cf. parcelles agricoles polluées) et vise à valider la faisabilité technique, économique et sociale de la production d'huiles essentielles à partir de 3 plantes aromatiques (angélique, sauge sclarée et coriandre).

**Des résultats obtenus sur ce projet, il est possible de conclure que :**

- la croissance et le développement de la coriandre et de la sauge sclarée ne sont pas influencés par la pollution ou l'ajout d'un inoculum mycorhizien ;
- les rendements de production d'huiles essentielles et la composition chimique de ces huiles essentielles ne sont pas modifiés ni par la pollution des sols ni par l'ajout d'inoculum mycorhizien ;
- le Cd, Pb et Zn ne sont détectés qu'à l'état de traces dans les huiles essentielles produites ;
- l'étude *in vitro* des huiles essentielles produites a montré des propriétés pour une valorisation en protection des cultures et en santé humaine ;

- en tenant compte de l'ensemble des critères (croissance, qualité huiles essentielles, potentiel de phytostabilisation aidée, valorisation des résidus de distillation, analyse technico-économique, acceptabilité), la sauge sclarée présente un meilleur potentiel en phytostabilisation que la coriandre, laquelle accumule le Cd ;
- l'étude sur l'acceptabilité sociale de la filière huiles essentielles dresse de premiers enseignements : minorité hostile à tout usage de substances issues de sols pollués, les personnes les plus âgées sont les plus réticentes, les réticences sont plus marquées pour les utilisations en contact direct avec le corps (cosmétiques, produits d'hygiène), nécessaire communication et transparence sur la provenance des produits (meilleur vecteur identifié : associations de consommateurs ou monde de la science).

Site internet du projet : <https://phyteo.univ-littoral.fr>

Thèse de doctorat adossée au projet Phyteo : Robin Raveau (soutenue le 17 décembre 2020, ULCO).

Le projet va donner lieu à une suite : DEPHYTOP (2021-2024).

Thèse de doctorat adossée au projet Dephytop : Julien Langrand (en cours, 2020 – 2023, ULCO).

#### Publications scientifiques en lien avec les projets présentés :

- [1] R. Raveau, J. Fontaine, M. Hijri and A. Lounès-Hadj Sahraoui (2020). The culture of clary sage shaped the rhizospheric bacterial communities more strongly than mycorrhizal inoculation in the trace element-contaminated soil -a two-year monitoring field trial. *Frontiers in Microbiology* 11, 10.3389/fmicb.2020.586050
- [2] I. El-Alam, R. Raveau, J. Fontaine, A. Verdin, F. Laruelle, S. Fourmentin, R. Chahine, H. Makhlouf and A. Lounès-Hadj Sahraoui (2020). Antifungal and Phytotoxic Activities of Essential Oils: In Vitro Assays and Their Potential Use in Crop Protection. *Agronomy* 10, 825. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060825>
- [3] R. Raveau, J. Fontaine and A. Lounès-Hadj Sahraoui (2020). Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. *Foods* 9, 365. <https://doi.org/10.3390/foods9030365>
- [4] R. Raveau, J. Fontaine, V. Bert, A. Perlein, B. Tisserant and A. Lounès-Hadj Sahraoui. *In situ* cultivation of aromatic plant species for the phytomanagement of an aged-trace element contaminated soil: plant biomass improvement options and techno-economic assessment of the essential oil production channel. *Science of the Total Environment (sous révision)*
- [5] R. Raveau, A. Lounès-Hadj Sahraoui, M. Hijri, J. Fontaine. Clary sage cultivation and mycorrhizal inoculation influence rhizosphere fungal community structure over time in a trace-element polluted site. *Soumise dans "Mycorrhiza" (2021)*.
- [6] R. Raveau, A. Lounès-Hadj Sahraoui, J. Fontaine. Recent advances in microbial aided phytostabilisation of trace element contaminated soils. *Dans "Advances in Microbe-assisted Phytoremediation of Polluted Sites", eds. K. Baudh et Y. Ma (Elsevier2021)*.

#### SYNTHESE SUR LES RECHERCHES FINANCEES POUR LA VALORISATION DES BIOMASSES

Le **changement d'échelle est une étape fondamentale** pour aboutir au transfert des recherches sur la valorisation des biomasses et un préalable indispensable à l'industrialisation.

Il est à noter que :

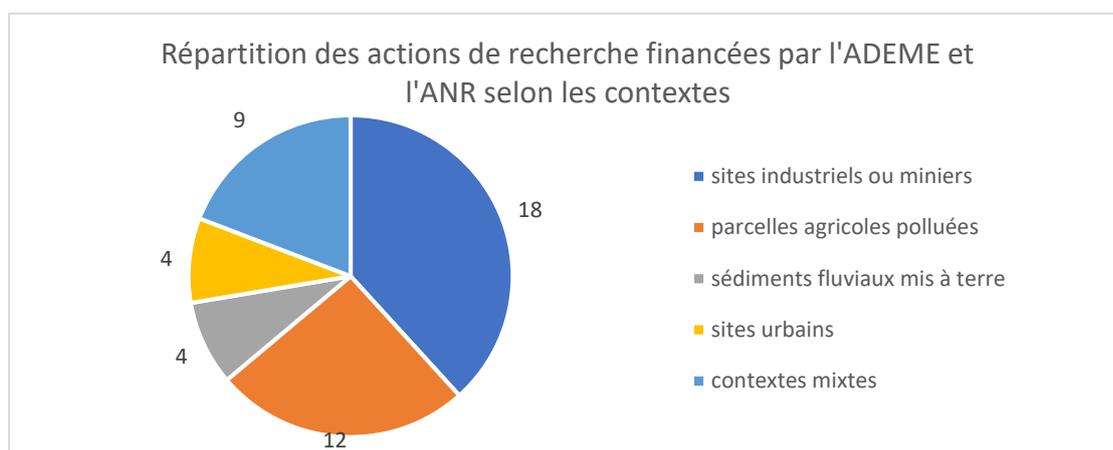
- **l'agromine du Ni est maîtrisée**, tant sur l'approche agronomique de la culture que sur la conception et l'optimisation des procédés de récupération du Ni, en incluant le changement d'échelle ;
- des travaux sur l'agromine à petite échelle sont en cours sur le Zn, Cd et les terres rares ;
- **la phytoextraction du Mn et du Ni, la rhizofiltration et la biosorption de tous les métaux de transition et terres rares sont possibles à grande échelle et adaptées à la filière écocatalse** ;
- les écocatalseurs obtenus ont une structure inédite qui leur confère une réactivité supérieure aux catalyseurs classiquement utilisés en chimie ;
- les métaux étudiés en écocatalse sont le nickel, manganèse, zinc, cuivre, cobalt, terres rares, rhodium, palladium, platine ;
- la valorisation en matériaux des biomasses produites a été validée quant aux aspects techniques (applications, performances, industrialisation) et sanitaires (respect des teneurs en ETM dans les ressources et produits finis). Les résultats montrent des bénéfices économiques et environnementaux, à confirmer par des travaux complémentaires ;
- pour la production d'huiles essentielles et en tenant compte de l'ensemble des critères de sélection (croissance, qualité des huiles essentielles, potentiel de phytostabilisation aidée, valorisation des résidus de distillation, analyse technico-économique, acceptabilité), la sauge sclarée présente un meilleur potentiel que la coriandre. Le potentiel de l'angélique reste à étudier ;
- l'étude sur l'acceptabilité sociale de la filière huiles essentielles dresse de premiers enseignements sur les usages, la perception et les modalités de communication.

### 3. Cartographie graphique des actions financées

#### 3.1. Le périmètre

Sur la période 2010 – 2021, 47 actions de recherche (thèse, étude, projet de recherche et développement) ont été initiées ou achevées avec le soutien financier de l'ADEME ou de l'ANR. Lors du séminaire, 19 des 47 actions de recherche ont été citées par les intervenants lors de la présentation des résultats acquis.

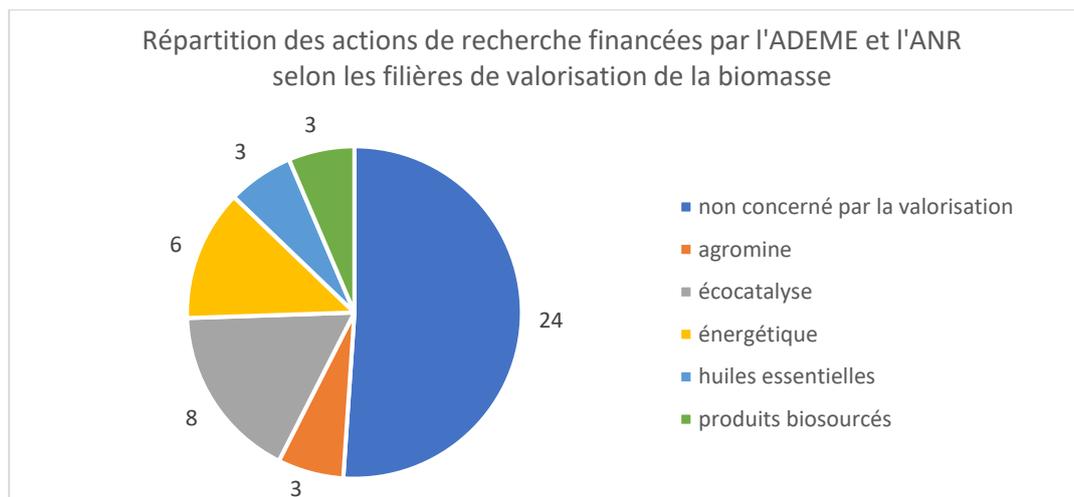
#### 3.2. Classement selon les contextes d'application



Voici la liste des actions concernées

<b>Sédiments fluviaux mis à terre</b> (4 actions)	<b>DEMOPHYTO</b> [RD; ADEME; 2014-2018] ; <b>PHYTOSED</b> [RD; ADEME; 2010-2015]; <b>PHYTOSED 2</b> [RD; ADEME; 2011-2016]; <b>EVALPHYTO</b> [RD; ADEME; 2017-2021];
<b>Parcelles agricoles polluées</b> (12 actions)	<b>LACERCAT</b> [thèse ; 2013] ; <b>POHU</b> [thèse ; 2010] ; <b>TECHER</b> [thèse ; 2010] ; Synthèse recherche Metaleurop [étude; ADEME; 2010] ; <b>DIOXINES</b> [RD; ADEME; 2012-2013] ; <b>DIOXINES 2</b> [RD; ADEME; 2013-2016]; <b>PHYTENER</b> [RD; ADEME; 2009-2016]; <b>MISCHAR</b> [RD; ADEME; 2016-2021] ; <b>PHYTEO</b> [RD; ADEME; 2017-2021]; <b>DEPHYTOP</b> [RD; ADEME; 2021-2024]; <b>PHYTOPOC</b> [RD; ADEME; 2020-2024]; <b>PHYTOPOP</b> [RD; ANR; 2006-2010]
<b>Sites industriels ou miniers</b> (18 actions)	<b>ESCANDE</b> [thèse ; 2014] ; <b>OUSTRIERE</b> [thèse ; 2016] ; <b>YUNG</b> [thèse ; 2020] ; <b>KAMILI</b> [thèse ; 2023] ; <b>GERMAIN</b> [thèse ; 2021] ; <b>CWDEMO</b> [RD; ADEME; 2010-2012] ; <b>DEPLASSMETAUX</b> [RD; ADEME; 2013-2018] ; <b>PHYSAFIMM</b> [RD; ADEME; 2009-2013] ; <b>PHYTODEMO</b> [RD; ADEME; 2010-2013] ; <b>PHYTOPERF</b> [RD; ADEME; 2010-2014] ; <b>BIOSAINE</b> [RD; ADEME; 2018-2023] ; <b>SOLAMET</b> [RD; ADEME; 2019-2023] ; <b>AGROMINE</b> [RD; ANR; 2014-2018] ; <b>AGRONICKEL</b> [RD; ANR; 2015-2019] ; <b>OPPORTUNITE E4</b> [RD; ANR; 2012-2014] ; <b>SYMETAL</b> [RD; ANR; 2010-2014] ; <b>EvoMetoNicks</b> [RD; ANR; 2013-2017] ; <b>NETFIB</b> [RD, ANR-ERA-NET; 2019-2023]
<b>Sites urbains</b> (4 actions)	<b>GRIGNET</b> [thèse ; 2021] ; <b>PHYTOAGGLO</b> [RD; ADEME; 2011-2016]; <b>EXTRA-Zn</b> [RD; ADEME; 2019-2022] ; <b>ECOPOLIS</b> [RD, ANR; 2021-2024]
<b>Contextes mixtes</b> (9 actions)	<b>CAPHYTEX</b> [RD ; ADEME ; 2014-2016] ; <b>BIOFILTREE</b> [RD; ANR; 2011-2014] ; <b>PROLIPHYT</b> [RD ; ADEME; 2012-2018]; <b>PHYTOCHEM</b> [RD; ANR; 2013-2017] ; <b>PHYTOFIBER</b> [RD; ADEME; 2017-2021]; <b>BIOINSPIR</b> [I; ADEME; 2020-2024]; <b>ELOCANTH</b> [RD; ANR; 2012-2016]; <b>HEMOLI</b> [RD; ANR; 2007-2011]; <b>Guides Phytotechnologies</b> [RD; ADEME; 2012 et 2017]

### 3.3. Classement selon les filières de valorisation de la biomasse



La valorisation de la biomasse est intégrée dans environ la moitié des actions de recherche financées.

Projets sans objectif de valorisation des biomasses (24 actions)		LACERCAT, OUSTRIERE, POHU, TECHER, YUNG, GERMAIN, CAPHYTEX, CWDEMO, DEMOPHYTO, DIOXINES 1 et 2, PHYSAFIMM, PHYTODEMO, PHYTOPERF, PHYTOSED, PROLIPHYT, étude Metaleurop, EVALPHYTO, PHYTOPOC, Symetal, ELOCANTH, HEMOLI, EvaMetoNicks, ECOPOLIS
Filière biomatériaux (3 actions)		MISCHAR, PHYTOFIBER, NETFIB
Filière bioénergie (6 actions)		PHYTENER, PHYTOSED 2, BIOFILTER, BIOSAINE, PHYTOPOP, guides Phytotechnologies
Filière biomolécules	Agromine (3 actions)	AGROMINE, AGRONICKEL, SOLAMET
	Ecocatalyse (8 actions)	ESCANDE, GRIGNET, KAMILI, PHYTOAGGLO, EXTRA-Zn, OPPORNUNITE E4, PHYTOCHEM, BIOINSPIR
	Huiles essentielles (3 actions)	DEPLASSMETAUX, PHYTEO, DEPHYTOP

## 4. SYNTHÈSE DES PERSPECTIVES DE RECHERCHE IDENTIFIÉES

### 4.1. L'intention

Avec les acteurs de la gestion des sols pollués (chercheurs, professionnels, gestionnaires de sites...), **faire émerger les besoins de R&D actuels** pour intégrer la valorisation des sols pollués dans la bioéconomie durable, éclairer les angles peu investigués pour les intégrer dans les appels à projets recherche.

Ce document regroupe les propositions identifiées par les porteurs de projets et lors des ateliers de travail en intelligence collective.

### 4.2. Les perspectives Recherche

Pérennité du contrôle des voies de transfert	<p>Renforcer le contrôle des voies de transfert :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Valider l'absence de transfert / d'exportation des polluants dans les récoltes et les produits finis, dans l'environnement proche</li> <li>- Suivi à long terme des impacts du phytomanagement sur le comportement des polluants du sol (15 à 20 ans de recul)</li> </ul> <p>Vérifier la robustesse de la solution de couverture des sols contaminés sur le long terme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi à long terme du comportement des polluants : quelle influence de la litière miscanthus sur le cycle des éléments ? quel devenir des polluants après</li> </ul>
--	---

	<p>destruction de la culture (20 – 25 ans) en lien avec la dégradation des matières organiques ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les paramètres physico-chimiques susceptibles d'influencer le devenir des polluants / le développement des organismes</li> <li>- Estimer / prédire les possibles transferts des milieux contaminés (sols, eaux, air) vers les plantes et les autres biomes (insectes...)</li> </ul> <p>Définir / développer / appliquer des outils et indicateurs de suivi de la pérennité des effets (biodiversité, efficacité, fonction écologique, biodisponibilité, écotox...), incluant de nouveaux capteurs, outils (drones...)</p> <p>Le phytomanagement peut-il être une solution transitoire en l'attente d'un projet d'aménagement?</p>
<b>Orientation des recherches / pollution</b>	<p>Elargir le panel de contaminants considérés</p> <p>Investiguer les situations de pollution par des organiques, de multi-contamination, les interactions potentielles entre plusieurs polluants</p> <p>Poursuivre les recherches sur les polluants métalliques qui posent problème pour le phytomanagement : Cd et Pb</p> <p>Investiguer de nouveaux éléments métalliques pour la phytoextraction en privilégiant les matières premières critiques et les éléments dont la valeur économique est élevée</p>
<b>Orientation des recherches / végétation</b>	<p>Evaluer l'intérêt de cultures pérennes (pas de rotations culturales)</p> <p>Quel rôle de la végétation pionnière dans l'installation du phytomanagement, notamment pour les friches ?</p> <p>Quelles espèces sélectionner dans un contexte de changement climatique ?</p> <p>Rôles et interactions entre espèces végétales ?</p> <p>Avec un objectif de fort rendement de biomasse et de concentration élevée en élément(s) métallique(s) dans la plante, étudier de nouvelles espèces végétales (hyper)accumulatrices pour la phytoextraction (physiologie, mécanismes d'accumulation, spéciation de l'élément...)</p> <p>Investiguer la possibilité d'utiliser des espèces exotiques envahissantes pour l'écocatalyse afin de coupler sécurisation d'un approvisionnement en biomasse et bénéfice environnemental</p> <p>Mieux évaluer les autres services écosystémiques rendus par le phytomanagement notamment en milieu urbain et sur des friches</p> <p>Evaluer d'autres essences ligneuses à potentiel de valorisation que celles déjà étudiées (ex : robinier), et notamment dans un contexte de changement climatique (ex : Ostryer).</p>
<b>Orientation des recherches / mise en œuvre du phytomanagement</b>	<p>Quels amendements utiliser pour limiter la mobilité des ETM sur sols alcalins ?</p> <p>Quelle est la pérennité des amendements au-delà de 7 à 10 ans ?</p> <p>Etudier la combinaison des plantes et des microorganismes (bactéries et champignons) pour améliorer les performances de bioremédiation</p> <p>Déterminer les itinéraires culturaux, conditions agronomiques de cultures (prétraitement de substrats, amendements...) pour les cultures d'intérêt (accumulatrices ou pas)</p> <p>Développer le potentiel de culture sur de nouveaux substrats : déchets miniers, industriels... réutiliser / valoriser les effluents et déchets solides</p> <p>Adapter les cultures aux changements climatiques</p>
<b>Orientation des recherches / valorisation des biomasses</b>	<p>Maximiser la valeur ajoutée des polluants présents dans la biomasse</p> <p>Comment anticiper les sources de variabilité des procédés ?</p> <p>Valider la composition chimique des ressources et leur régularité pour alimenter les filières</p> <p>Identifier des débouchés pour les métaux régulièrement rencontrés en contexte de pollution de sites (Cd, Pb, As, Zn) et pour lesquels la réglementation REACH restreint leur utilisation (batterie, téléphone portable...)</p> <p>Envisager des valorisations en cascade pour les différentes biomasses produites</p> <p>Outils et méthodes pour sélectionner voire coupler les différentes filières, les options de gestion et valorisation des biomasses</p>
<b>Levier économique pour promouvoir</b>	<p>Evaluer les surfaces exploitables / gisements disponibles pour la bioéconomie sur sols pollués en considérant 2 échelles : nationales / régionales ou locales</p>

<b>le phytomanagement</b>	<p>Au niveau local, identifier les acteurs et les structures de valorisation mobilisables</p> <p>Déterminer les coûts associés à la collecte / valorisation des biomasses</p> <p>Valorisation économique des services environnementaux pour compléter le soutien financier à la reconversion (parcelles agricoles polluées) : stockage de carbone, îlot de fraîcheur en ville, aménagement paysager...</p> <p>Proposer des outils qui illustrent l'opportunité de développement pour le territoire : socio-économique, culturel, patrimonial...</p> <p>Réduire les coûts de la mise en place des parcelles de miscanthus en travaillant une alternative à la multiplication des plants par division manuelle des plantules, repiquage et plantation. Investiguer la reproduction embryogénèse somatique, les conditions d'amélioration de l'acclimatation des plants.</p>
<b>Levier environnemental pour promouvoir le phytomanagement</b>	<p>Peut-on utiliser le phytomanagement pour la gestion des invasives ?</p> <p>Comment tirer parti et non être contraint au niveau réglementaire par le retour de biodiversité (explosion faune/flore dès l'implantation d'espèces végétales et développement non souhaité de plantes invasives) ?</p> <p>Evaluer l'impact environnemental (besoin d'éléments fertilisant (engrais), implantation et développement de végétation invasive, réduction de la biodiversité...), attention à conserver le bénéfice environnemental de ces solutions « a priori verte »</p> <p>S'assurer du bénéfice environnemental des solutions de valorisation proposées par des analyses de cycle de vie ou des méthodes d'évaluation environnementales simplifiées. Adapter les techniques de production, collecte, préparation et valorisation des biomasses pour maximiser le bénéfice environnemental.</p> <p>S'assurer de la valorisation des résidus éventuels, déchets produits pour la valorisation des biomasses</p>
<b>Levier sociologique pour promouvoir le phytomanagement</b>	<p>Lever les réticences des utilisateurs de biomasses produites sur sols contaminés</p> <p>Acceptabilité / population et territoires ?</p>

### 4.3. Les perspectives hors recherche

<b>Cadre réglementaire adapté au développement de ces projets de phytomanagement</b>	<p>Définir un cadre réglementaire adapté au développement de ces projets de phytomanagement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- positionnement de l'inspection des installations classées sur ces techniques versus les techniques classiques de couverture (apport de terres végétales, géomembranes...) ?</li> <li>- rôle et responsabilité des industriels propriétaires des sites ?</li> <li>- encadrement des démonstrateurs mis à place ?</li> <li>- réglementation sur les produits finis ?</li> </ul>
<b>Sécuriser une filière dans son ensemble</b>	Assurer la disponibilité commerciale des graines ou des cultivars nécessaires aux opérations de phytomanagement
<b>Retours d'expériences</b>	Compiler et diffuser des retours d'expériences qui adressent tous les aspects des opérations : conventions de projet avec les utilisateurs finaux, cadre réglementaire...
<b>Outil d'aide à la décision</b>	Positionner ces techniques dans le « catalogue » des techniques disponibles, les rendre visibles pour les gestionnaires de site = proposer un outil d'aide à la décision qui clarifie leur potentiel d'utilisation en milieux urbains et ruraux.
<b>Formation et communication</b>	<p>Former des professionnels</p> <p>Inclure des modules dédiés dans les formations universitaires, notamment Master</p> <p>Clarifier les fenêtres opérationnelles, les limites, les techniques, éviter les « promesses intenables »</p> <p>Prendre du recul, développer les outils et compétences nécessaires à l'accompagnement de la filière.</p>
<b>Soutien politique, accompagnement des</b>	Mettre en place des engagements longs termes qui dépassent le cadre des mandats politiques (techniques longue durée), proposer des dispositifs

<b>filiales dans les territoires</b>	financiers pour permettre la conversion d'activité, l'achat de matériel, la mise en place d'une logistique
<b>Acceptabilité sociale</b>	Sujet traité par plusieurs projets et frein récurrent au développement du phytomanagement. Dépasser la phase de constat sur la perception des enjeux de la gestion SSP, des techniques proposées et conséquences pour les consommateurs, industriels, producteurs pour améliorer l'acceptabilité.

## Dispositifs de financement ADEME ANR

Durant les sessions 2 de l'**atelier 1** « molécules et matériaux biosourcés » et de l'**atelier 2** « méthanisation et valorisation des autres déchets organiques », des ateliers participatifs d'1h30 ont été organisés autour de 4 objectifs :

- Evaluer la visibilité des actions ADEME / ANR
- Evaluation de l'impact de la programmation sur les recherches menées
- Identifier les verrous et levier pour monter des projets interdisciplinaires
- Répondre aux questions : quelle vision pour vos recherches à venir ? Quels dispositifs de financement, ou autres services, à mettre en place ? Quelles seraient les bonnes pratiques de conventionnement ? Quel suivi ?

### 1 Evaluer la visibilité des actions ADEME/ANR

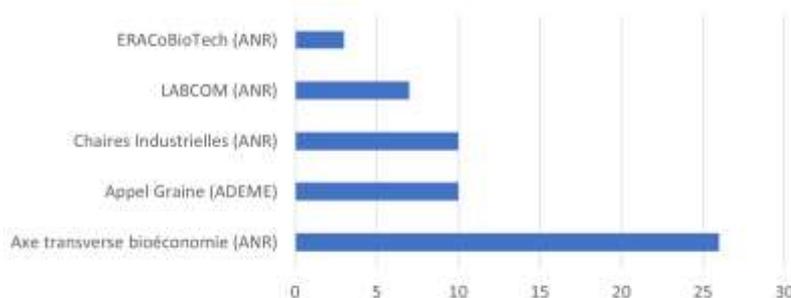
Pour évaluer la visibilité des actions ADEME/ANR, une série de questions a été posée soit en séance plénière (atelier 1) soit pendant les ateliers participatifs (cas de l'atelier 2). Les résultats ont été discutés lors des ateliers participatifs afin de recueillir d'éventuels témoignages et réactions.

### Sélectionnez les dispositifs ADEME et ANR que vous connaissez bien (objectifs, typologie de projets...)

**Nb de réponses : 33** (questions posées pendant la séance plénière de l'atelier 1)

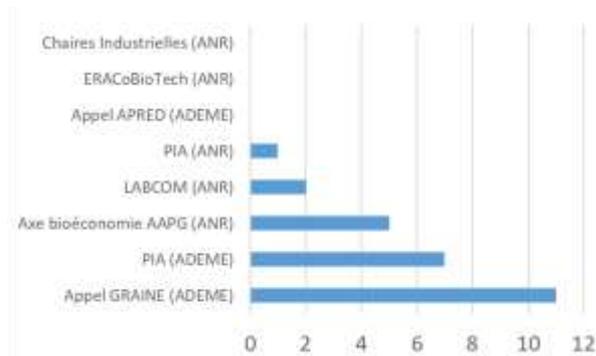
*Les participants pouvaient cocher plusieurs dispositifs, chaque colonne correspond à un type de réponse. Par exemple, 10 personnes ont répondu qu'ils ne connaissaient que l'axe bioéconomie (première colonne)*

Appel Graine (ADEME)						x	X	x		x	<b>10</b>
Axe bioéconomie – appel générique (ANR)	x	X			x	x	X	x	x		<b>26</b>
LABCOM (ANR)		X	x	x							<b>7</b>
ERACoBioTech (ANR)				x	x						<b>3</b>
Chaires Industrielles (ANR)						x	X	x	x		<b>10</b>
<b>Nb de réponses</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	



Aucune personne ne connaît bien l'ensemble des dispositifs énoncés. Bien qu'une majorité de personnes ont connaissance de l'axe bioéconomie de l'appel générique, peu d'entre elles connaissent les autres dispositifs ANR (LABCOM, ERACoBioTech, Chaires industrielles). Assez peu (6) connaissent à la fois l'axe bioéconomie de l'appel générique ANR et l'appel graine de l'ADEME.

**Nb de réponses : 26** (questions posées pendant la séance plénière de l'atelier 2)



Un nombre un peu plus important de dispositifs ont été proposés aux participants de l'atelier 2, les dispositifs de l'ADEME sont mieux connus que ceux de l'ANR en raison probablement du caractère plus spécifique de l'auditoire.

A noter que les chercheurs se sont positionnés plutôt sur les dispositifs sur lesquels ils déposent des projets, cela ne veut pas dire qu'un dispositif est plus visible qu'un autre. Les dispositifs sont connus mais pas dans le détail, si les chercheurs souhaitent déposer un projet qui pourrait correspondre à des dispositifs moins connus, ils savent où trouver l'information.

Des industriels ont fait remonter qu'il y a un contact direct avec l'ADEME notamment par les contacts régionaux. S'ils souhaitent déposer un projet à l'ANR, il faut passer par les laboratoires de recherche dont certains estiment que c'est très administratif, trop compliqué ; les procédures de sélection et le suivi, les taux de réussite limitent les dépôts. La programmation ANR est moins communiquée, les priorités données à telle thématique ne sont pas perceptibles.

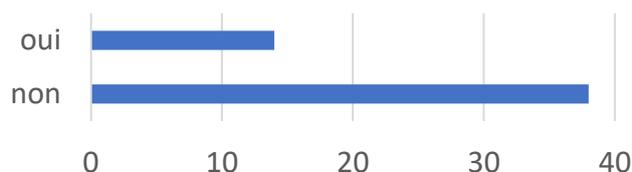
### Les actions ADEME/ANR vous apparaissent elles complémentaires ?

Nb de réponses : 56 (atelier 1+2)



De manière générale, les actions apparaissent peu visibles bien que les outils de communication soient bien utilisés par chacune d'elles. Quant à la complémentarité, les actions ADEME/ANR apparaissent globalement complémentaires en se référant principalement à l'échelle de TRL. Cependant, au niveau des différents appels à projets, le chercheur a parfois de la difficulté à s'y retrouver. A titre d'exemple, la poursuite des financements au niveau d'un projet de l'ANR à l'ADEME n'est vraiment pas flagrante.

### Est-ce que les dispositifs qui favorisent le transfert technologique ou le partenariat public/privé sont bien identifiés et pertinents ? Nb de réponses : 52 (atelier 1 et 2)



De manière générale, les dispositifs qui favorisent le transfert technologique ou le partenariat public/privé ne sont pas assez bien identifiés ou pertinents. Il est à noter que pour les chercheurs qui mènent des projets à plus bas TRL, l'intérêt pour ces dispositifs est limité et par conséquent ils ne sont pas bien identifiés, ce qui pourrait expliquer le « non » majoritaire.

Pour les chercheurs qui montent des projets avec des industriels et qui travaillent déjà dans un environnement qui favorise le transfert technologique, les outils de financement proposés de manière

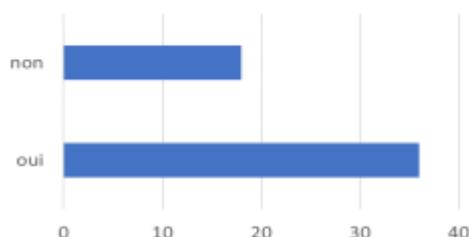
générale que ce soit par les agences de financement ADEME ou ANR ou au niveau de la région, sont assez nombreux. Il est parfois difficile de s'y retrouver entre ces guichets et les différents appels d'offre, d'autant plus, que les dossiers à monter sont différents d'un dispositif à l'autre.

Quant à l'attractivité vis-à-vis des acteurs du privé, il a été remonté que ceux-ci s'emparent des technologies lorsque la maturité est suffisamment élevée, au-delà du TRL 7 dans le domaine de la bioéconomie. Lorsque les projets de type démonstration sont à TRL 4-5, les industriels ne sont pas prêts à s'impliquer et les dispositifs n'apparaissent pas clairs. Dans les structures publiques, il faut également avoir les moyens et la flexibilité sur le recrutement.

Dans l'agriculture, il n'y a pas forcément les acteurs industriels qui pourraient être intéressants sauf de gros acteurs mais ils apportent très peu à la filière. Dans le domaine de l'énergie, il y a de grands acteurs industriels (ENGIE, TOTAL), mais il y a un problème de visibilité des petits acteurs sur les coûts ou les contraintes réglementaires qui ne les incitent pas à s'investir durablement.

### Y a-t-il besoin d'aller vers des collaborations internationales ? Si oui lesquelles ?

Nb de réponses : 54 personnes (atelier 1 et 2)



Globalement, les participants ont répondu assez favorablement au fait qu'il y a un besoin d'aller vers des collaborations internationales, sans bien préciser les pays identifiés. Les chercheurs voient clairement l'intérêt à travailler avec des équipes étrangères. Cela peut permettre de trouver de nouvelles compétences spécifiques, d'accéder à des pilotes, à des dispositifs expérimentaux uniques ou à de nouvelles installations. Cela peut également conduire à des idées neuves en étant dans un contexte (recherche, industrie ou pays) différent. Il est également possible d'accéder à des travaux ou des résultats plus facilement, ce qui peut faire gagner du temps. Cela peut permettre aussi d'accroître la visibilité de ses propres travaux, notamment lors de colloques internationaux.

Lorsqu'on parle de collaboration internationale, on pense souvent des collaborations avec des pays occidentaux mais il a été suggéré une approche différente, celle de mener des collaborations avec des pays plus défavorisés dans une démarche d'aide au développement, ce que fait par exemple le CIRAD.

Cependant, le montage de projets internationaux paraît plus lourd et le taux de sélection est parfois plus faible. Il y a donc parfois une réticence à s'y lancer, car cela demande un investissement plus important.

Par ailleurs, l'évaluation par des experts étrangers peut poser question. Il y a une crainte à ce que les idées soient récupérées par des évaluateurs peu scrupuleux. Enfin, il y a pour certains un souhait de valoriser des recherches au niveau plus local en impliquant éventuellement des industriels français. Dans certains domaines (par exemple la méthanisation), il y a un bon réseau, les compétences et les acteurs au niveau national sont bien identifiés. Enfin, plus on s'approche de la valorisation et du produit final, plus il apparaît préférable de le faire au niveau national.

### Comment définiriez-vous la programmation de l'ANR ? Nb de réponses : 17

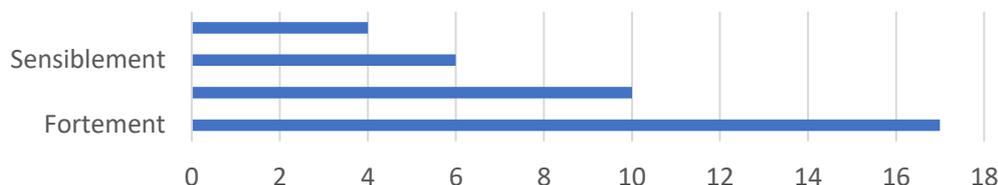


Dans les discussions menées, la question du budget paraît centrale que ce soit au niveau global ou au niveau du budget alloué par projet de recherche et le fait que le taux de succès soit faible. Concernant l'ANR, la lourdeur administrative et la durée du processus de sélection ont été également critiquées.

## 2 Evaluation de l'impact de la programmation sur les recherches menées

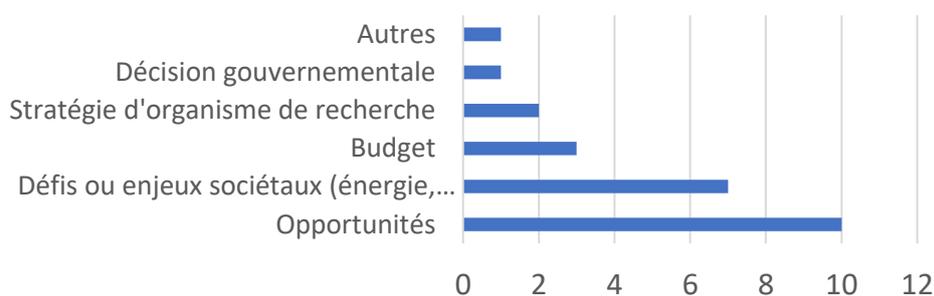
Estimez-vous que la programmation ADEME/ANR a fortement impacté vos propositions de projet de recherche ?

Nb de réponses : 37 (atelier 1 et 2)



Y a-t-il d'autres facteurs qui ont impacté cette évolution ?

Nb de réponses (une seule réponse possible) : 46 (atelier 1 et 2)



Les résultats montrent globalement que la programmation et les appels d'offre impactent fortement les recherches menées ou soumises. Mais cette réponse est à nuancer suite aux précisions apportées dans les ateliers.

En réalité, la plupart des axes de recherche (par exemple énergie) existent depuis longtemps et les chercheurs ont toujours mené leurs travaux et continuent à le faire dans ces domaines. C'est davantage les politiques publiques qui ont priorisé leur financement sur des enjeux sociétaux et de ce fait, afin d'avoir des financements, les chercheurs se sont positionnés par rapport à ces défis sociétaux.

Les contraintes budgétaires sont fortes, ce qui diminue la liberté des chercheurs dans la manière de mener les recherches. Si les appels d'offre sont dirigés, les porteurs vont essayer de s'adapter à ces appels d'offre. Le plus souvent, lorsque les chercheurs veulent s'investir sur un sujet donné, ils voient comment ils peuvent répondre au mieux à un appel d'offre.

Ce mode de financement sur appel à projets, qu'il soit dirigé ou non (appel générique ANR) amène les chercheurs à s'orienter sur des sujets classiques et peu risqués. Compte tenu du taux de sélection faible, les appels favorisent les projets qui garantissent des résultats. Cela canalise les porteurs vers des projets assez standard. Compte tenu de la charge de travail, ils peuvent être amenés à privilégier des projets qui demandent moins d'investissement (projets nationaux, monodisciplinaires, peu risqués). Les idées de rupture ont moins de chance de passer. Le message lors du retour de l'évaluation est souvent « faites la preuve de concept » avant d'aller vers les financements. Pourtant, l'ANR est sensée financer des projets à bas TRL, qui amènent à démontrer des preuves de concept, mais compte tenu de la forte compétition entre les projets, il est souvent demandé d'avoir des résultats préliminaires pour démontrer la faisabilité du projet. Par ailleurs, le système même de l'évaluation par les pairs amène à une standardisation des projets. Selon certains, les évaluateurs sont également des chercheurs qui déposent des projets et qui par conséquent sélectionnent également les mêmes types de projet, peu risqués. Une proposition a été faite de pouvoir élargir le panel d'évaluation à des usagers, des acteurs de la société civile, ceux qui vont bénéficier des résultats finaux. Mais, même dans ce cas, financer les projets en fonction des besoins de la société amènerait probablement à financer toujours les mêmes projets avec un risque supplémentaire de ne pas financer les projets trop amont ou à financer des projets qui amènent des résultats à court terme. Dans certains domaines ou disciplines, il y a toujours un besoin de recherche fondamentale.

Concernant le texte des appels, un chercheur a mentionné que la lecture des mots clés peut amener à explorer d'autres voies. Par exemple, le mot clé « analyse de cycle de vie » l'a amené à mieux prendre en considération les impacts environnementaux dans un projet.

Pour ceux qui indiquent un faible impact, voire un impact nul, ils justifient leur réponse par le fait qu'aujourd'hui l'ANR ne fait pas de priorisation thématique dans les financements qu'elle alloue. A titre d'exemple, l'appel générique permet de financer tout type de sujets de recherche, la sélection est basée uniquement sur des critères d'excellence.

Il est à noter que la stratégie des organismes de recherche est finalement peu prise en compte. En réalité, les organismes de recherche se positionnent aussi beaucoup sur les défis sociétaux mais les chercheurs se basent davantage sur les textes d'appel à projets qui apportent les financements plutôt que sur les documents explicitant les stratégies d'organisme (cité : la stratégie de l'INRAE) qui sont de toute évidence, le plus souvent complémentaires. Par ailleurs, les textes des appels à projets sont de toute façon discutés avec les organismes de recherche via les alliances. En conclusion, la stratégie des organismes est tout de même bien prise en compte par les agences de financement et de manière indirecte par les chercheurs qui déposent des projets, même si cela n'apparaît pas clairement dans les résultats du sondage.

### 3 Identifier les verrous et levier pour monter des projets interdisciplinaires

En analysant la soumission des projets dans les éditions 2018-2020, près de 70% de projets soumis déposés dans l'axe transverse bioéconomie de l'appel générique de l'ANR, ne mentionnent qu'une famille de discipline ERC (sciences de la vie « LS » ou ingénierie « PE ») et sont donc considérés comme monodisciplinaires par l'ANR. Par ailleurs, il est à noter que comparativement aux projets financés dans les anciens appels bioénergies notamment où des communautés se croisaient (ressource/procédé, modélisation...), il apparaît clairement une perte en interdisciplinarité dans les projets depuis 2014. L'objectif des réflexions menées dans cet atelier participatif n'était pas de confronter recherche monodisciplinaire et transdisciplinaire mais de discuter des freins et leviers au montage de projets interdisciplinaires.

#### Préambule

Quelle définition donne-t-on au terme pluridisciplinarité, transdisciplinarité ou interdisciplinarité ? Les projets relevant de la biologie par exemple peuvent être pluridisciplinaires ce qui n'est pas considéré comme tel par l'ANR si elle considère comme interdisciplinaire uniquement des projets affichant des disciplines LS/PE ou PE/SH par exemple.

Enfin y a-t-il un besoin de mener des recherches pluridisciplinaires ? Le montage d'un projet pluridisciplinaire peut apparaître comme un véritable challenge par rapport aux risques et au retour attendu, certains chercheurs peuvent être réticent à monter de tel projet.

Pour cette partie, les participants ont suggéré des verrous et des leviers au montage de projet interdisciplinaire par l'intermédiaire d'un jamboard. Les participants ont ensuite pu développer leurs idées en prenant la parole. Au préalable, des nuages de mots ont été présentés, réalisés à partir des réponses données par les participants à l'une des deux questions suivantes :

Atelier 1 (question posée en séance plénière)

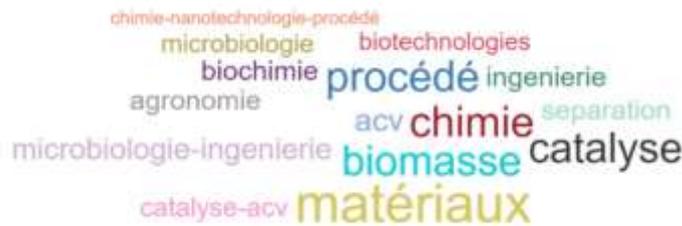
**Quelle(s) discipline(s) serait(ent) attendue(s) dans un projet déposé dans un axe/une appel dédié à la bioéconomie ?(mettre une discipline ou plusieurs disciplines)**

Atelier 2 (question posée en atelier – retour sur 2 ateliers)

**Quelles seraient les disciplines ou les compétences à mettre en valeur dans les projets de méthanisation ?**

**Retour de l'atelier 1 - Quelle(s) discipline(s) serait(ent) attendue(s) dans un projet déposé dans un axe/une appel dédié à la bioéconomie ?** (Mettre une discipline ou plusieurs disciplines)

Dans cet atelier, les participants ont été amenés à mettre en avant les disciplines dans les projets en bioéconomie. Pour la plupart, ils n'ont mis qu'une discipline, certains ont mis en avant plusieurs disciplines microbiologie/ingénierie, catalyse/acv, chimie/nanotechnologie/procédé.



## Retour de l'atelier 2 - Quelles seraient les disciplines ou les compétences à mettre en valeur dans les projets de méthanisation ?

Dans les ateliers participatifs sur la thématique « méthanisation », il a été demandé aux participants s'il y a dans leurs projets de méthanisation, un besoin d'aller vers davantage d'interdisciplinarité, et si c'est le cas, d'indiquer les disciplines ou compétences qu'il faudrait mieux mettre en avant.



### 4 Retour du travail réalisé via les jamboards dans tous les ateliers participatifs

#### Quels sont les freins au montage de projets interdisciplinaires ?

Les participants sont assez unanimes pour dire que le montage d'un projet interdisciplinaire demande davantage d'investissement en termes de temps et de moyens pour les raisons détaillées ci-dessous.

##### Méconnaissance des communautés

Il est remonté dans tous les ateliers le fait qu'il y a une méconnaissance, de la part des scientifiques, des sujets de recherche ou des acteurs dans d'autres disciplines (en particulier les SHS et les acteurs de la ressource et des territoires). La recherche et l'identification de partenaires hors de son propre domaine de compétence s'avèrent donc plus difficiles.

Les événements sur des sujets interdisciplinaires qui permettraient de faire rencontrer les différentes communautés sont finalement assez peu nombreux. Il y a davantage de manifestations sur des disciplines ciblées (chimie, génie des procédés...).

Pouvoir échanger avec les acteurs sur d'autres disciplines demande du temps et il est parfois difficile de se comprendre (problème de vocabulaire).

##### Instrument de financement non adéquat – aspect financier - évaluation

Les appels d'offre (type appel générique ANR) invitent davantage les porteurs à proposer des questions ciblées, ce qui limite le dépôt de projets interdisciplinaires. Plusieurs disciplines dans un projet impliquent la présence d'un nombre plus important de partenaires et par conséquent, une demande de financement plus élevée. Les projets peuvent également s'avérer être à plus long terme, ou plus ambitieux, ou à durée plus longue, et également plus coûteux.

Il est reproché le fait que la période d'ouverture d'un appel à projet est parfois trop courte pour le montage projets interdisciplinaires.

Enfin, l'évaluation paraît plus incertaine car il faut mobiliser des experts de domaines différents, ce qui peut amener à des expertises parfois divergentes et dans un contexte où la compétition est forte, ces projets auraient moins de chance de passer.

### **Montage et déroulement du projet**

L'implication d'équipes de disciplines différentes multiplie les prises de risques en termes d'objectifs de recherche. De plus, il y a parfois une difficulté à anticiper les contraintes liées aux autres disciplines, d'où une sous-estimation par le coordinateur des risques envisagés dans le projet.

La communication est parfois difficile entre différentes communautés. Une période d'apprentissage est parfois nécessaire.

Enfin une fois le projet terminé, la valorisation des résultats en termes de publications est parfois plus difficile. Les chercheurs auraient donc plus intérêt à mener des recherches monodisciplinaires.

## **Quels seraient les leviers pour le montage de projets interdisciplinaires ?**

### **Favoriser les échanges**

Les échanges peuvent être favorisés au moyen de rencontres via des colloques sur des sujets interdisciplinaires. On pourrait également envisager des rencontres du type « speed dating » pour mettre en relation les chercheurs de différentes disciplines scientifiques (LS/PE/SHS). Les participants insistent sur le fait qu'il faut favoriser le contact humain ; des collaborations naissent parfois sur des rencontres informelles autour d'un café ! Mais tout cela nécessite d'avoir du temps et de la disponibilité pour que les échanges soient constructifs.

On pourrait également envisager de mettre en place une plateforme de mise en relation.

Il est à noter que des actions peuvent être menées en amont auprès des réseaux de filières (pôles de compétitivité, cluster) qui favorisent les interactions...

Il faut donc aussi veiller à ne pas ce qu'il y ait trop d'événements, ce qui dilue l'information et disperse les communautés.

### **Le montage de projets et la sélection**

Afin de faciliter le montage de projet, une proposition serait de rendre accessible une liste de partenaires comme ce qui est fait au niveau européen afin d'identifier les différents acteurs dans les autres disciplines.

Concernant la mise en place des appels à projets, il faudrait proposer de nouveaux axes de recherche à l'intersection de plusieurs disciplines ou des appels à projets spécifiques interdisciplinaires si on veut encourager ce type de projet. Les appels doivent ensuite avoir des seuils éligibles (coût/durée) qui soient en adéquation avec un montage de projet incluant différents partenaires

Enfin, le fait de se focaliser sur les taux de sélection a pour conséquence la sélection de projets moins coûteux alors qu'il faudrait plutôt avoir moins de projets mais de plus grande envergure qui auront sûrement plus de réussite avec un réel impact. S'engager dans des projets courts c'est trop de contraintes administratives.

### **La valorisation des résultats**

Si les résultats issus de projets interdisciplinaires pouvaient être mieux valorisés dans des revues scientifiques, cela inciterait les chercheurs à mener les travaux dans ce sens.

### **La formation**

Deux propositions sont faites : Mieux impliquer les formations doctorales, et former les coordinateurs de projet à la pluridisciplinarité

## **5 Quelle vision pour vos recherches à venir ? Quels dispositifs de financement à mettre en place, bonnes pratiques de conventionnement ou suivi à élargir, ou autres services à mettre en place ?**

Dans cette dernière session, les participants ont été invités à faire des propositions sur des dispositifs de financement à mettre en place ou sur des bonnes pratiques de conventionnement ou de suivi à élargir d'une agence à une autre, ou encore sur d'autres services à mettre en place. Au cours de la discussion, certains ont également donné un retour d'expérience sur les dispositifs en place.

## Retour d'expérience sur les dispositifs en place

Certains appels à projets permettent déjà de décloisonner entre disciplines. Par contre la typologie des projets et le taux de succès faible sont assez critiqués. Les chercheurs doivent, pour être sélectionnés, déposer des projets très ambitieux, qui puissent rentrer dans les exigences notamment budgétaires et la durée. A la fin du projet, les chercheurs s'en retrouvent frustrés, ils doivent clôturer le projet mais les objectifs n'ont pas forcément tous été atteints, et ils n'ont plus de financement pour poursuivre.

Les appels collaboratifs incitent les porteurs de différents laboratoires à travailler ensemble. Or certains laboratoires sont déjà interdisciplinaires, on devrait pouvoir également financer des projets à l'intérieur des laboratoires.

Il faudrait penser la création des appels en connaissant mieux ce qui se fait dans les labos, ne pas tenir compte uniquement des enjeux et des défis. L'ANR et l'ADEME devraient venir visiter les labos ou les entreprises ! Il y a de moins en moins de contact direct avec les agences de financement. Certes, il y a des interlocuteurs (ADEME) qui permettent d'échanger. Dans le passé, on pouvait financer des projets quasi en direct. Aujourd'hui, on ne fonctionne plus que par l'intermédiaire des appels d'offre, notamment par souci d'équité, pour que les projets soient tous évalués par des comités.

### Quels dispositifs de financement à mettre en place ?

**Des appels plus courts plus réguliers** (2 à 3 fois dans l'année ou au fil de l'eau) pour financer des projets plus courts visant à amorcer des travaux de recherche

Le process des appels actuels est souvent très long et entre le moment où émerge l'idée et le moment où le projet est financé, il peut se passer plusieurs années. Il n'y a pas de financement qui existe pour tester de nouveaux sujets de recherche. Il faudrait ainsi pouvoir trouver des financements pour des projets d'une durée d'un an, plutôt monopartenaire pour faire les premiers tests avant de se lancer dans un montage de projets incluant d'autres partenaires.

Le problème majeur de ce type de projet est le coût potentiellement élevé que pourrait engendrer l'évaluation car pour ce type d'appel (durée courte/plusieurs fois dans l'année). Cela occasionnerait un nombre plus élevé de projets déposés et le coût de l'évaluation par rapport au budget alloué aux projets serait élevé.

**Des appels à projets pour des projets plus longs (5 ans) avec des budgets plus importants**

Ce type de projets permettrait déjà aux chercheurs de mieux se projeter à plus long terme et d'avoir une meilleure continuité des travaux dans leur axe de recherche. Sur un projet de 3 ans, il faut parfois attendre 2 à 3 ans pour que le projet suite soit accepté. Il y a une frustration à la fin d'un projet de 3 ans qui a bien fonctionné pour continuer les travaux.

Le délai est souvent trop long entre le moment de l'identification de la priorité de R&D et l'arrivée de résultats sur les questions associées. Par rapport à la filière méthanisation où les résultats doivent aller plus vite, certains projets sont décalés d'un an. Entre le dépôt de l'appel d'offre, la sélection et la contractualisation, le délai passe de 5 à 6 ans entre l'identification de la priorité et la publication des résultats.

Sur des projets plus longs (5ans), la possibilité de faire une évaluation intermédiaire ou d'une étape go/no go a été évoquée mais elle peut s'avérer problématique pour le recrutement de doctorants.

Ce type de projet pourrait, comme évoqué dans le point précédent, avoir davantage de partenaires et favoriser l'interdisciplinarité.

**Des appels spécifiques pour financer des suites de projets**

**Des appels spécifiques pour financer des projets valorisant des équipements développés par des projets précédents**

**Appel d'offre pseudo blanc** contribuer à un objectif social défini mais avec une grande liberté sur le format de proposition

**Des financements spécifiques** de bourses de post docs

A savoir que l'ADEME propose déjà des appels pour permettre le financement de thèses.

**Des appels spécifiques sur des TRL très bas**

Il faudrait pouvoir soutenir des projets de recherche fondamentale dans le domaine de la biomasse sans application, accepter des projets sans application connue mais jugés sur leurs hypothèses de recherche. Il faudrait également permettre des projets de budget moyen (100k€) pour explorer de nouveaux axes de recherche

**Des financements décentralisés** pour soutenir des actions locales de petite ou moyenne envergure

L'ADEME et les régions proposent ce type de financement.

**Différenciation dans les dispositifs**

Il faudrait pouvoir mieux différencier les programmes de recherche innovant de ceux visant à financer des recherches qui améliorent ou optimisent ce qui existe déjà.

**Proposer des dispositifs ADEME/ANR plus cohérents et mieux articulés**

Il faudrait mieux articuler les financements ADEME/ANR, il faudrait une meilleure cohérence entre les deux agences et une continuité des financements pour que le chercheur n'arrête pas ses travaux après un projet ANR faute de dispositifs de financement adéquats. Une proposition est de mettre un point d'accueil qui réoriente les déposants dans les appels ANR ou ADEME. La question du guichet unique a été rediscutée ; l'idée n'est pas de faire une plateforme unique de dépôt mais un point d'entrée pour orienter les déposants vers la bonne agence. Les pôles de compétitivité pourraient également avoir ce rôle.

Outre les dispositifs proposés, il est suggéré de simplifier l'évaluation afin notamment de rendre le cycle de l'évaluation plus court (3 mois) ; de les rendre moins sélectif afin de permettre de soutenir la prise de risque. Il est également suggéré de prendre en compte l'historique d'un dépôt de projets d'une année sur l'autre afin de favoriser les améliorations d'un projet suite à la prise en compte des retours d'expertises.

Une proposition est également de favoriser les projets impliquant la société civile.

## Quelles bonnes pratiques de conventionnement ou suivi à élargir ?

Quelques pistes sont proposées :

- Il faudrait davantage de cohérence sur les conventions, les justifications entre financeurs, les règles de financement. Il y a un besoin de concertation entre elles.
- Il faudrait que le processus de conventionnement soit également plus rapide pour éviter les problèmes de retard au recrutement.
- Il faudrait proposer des accords de consortium type.
- Il faudrait pouvoir harmoniser entre employeurs sur la rémunération par exemple des CDD
- Il est indiqué à l'ADEME qu'il est difficile de donner un nom de candidat de thèse dès le dépôt du sujet de thèse
- La réduction budgétaire de 10 à 15% lors du conventionnement n'est pas forcément bien vécue.
- Le suivi des projets gérés par l'ADEME est apprécié et à reproduire.
- Avoir un contact direct à l'ANR, comme cela est fait à l'ADEME.

## Quels autres services à mettre en place ?

- **Favoriser les colloques et les rencontres**

Il est important sur une thématique donnée d'organiser des rencontres entre chercheurs de différentes spécialités, en lien avec d'autres structures, réseaux....

- **On pourrait également mettre en place un dispositif de réseautage entre académiques et privés.**

L'ANR et l'ADEME devraient être présentes sur des événements de type B2B afin que si une idée de projet émerge on puisse directement venir vous consulter sur les possibilités de financement.

- **Favoriser la recherche partenariale**

Il pourrait être également intéressant de créer des espaces d'échanges pour la construction d'un projet.

Il serait bien de mettre en place une liste des différents acteurs avec leurs compétences pour permettre le montage de projets avec des acteurs de disciplines différentes.

Le fait de rendre plus visibles ces acteurs permettrait d'éviter de travailler toujours avec les mêmes partenaires.

- **Développement d'aides**

Aide à la valorisation : manque d'information en fonction des régions, ça peut très bien marcher en fonction des régions et moins ailleurs

Aide individualisée à la rédaction de projets : pour cela voir les bureaux d'étude ou les pôles ; le problème est que serait déloyal dans l'évaluation

Aide à la rédaction d'un Plan de Gestion de Données

- **Suivi / suite de projet**

Les réunions de suivi de projets sont à poursuivre.

Un témoignage met en avant le fait qu'il faudrait améliorer la communication sur l'état des travaux de recherche, ce qui est acquis via les travaux financés, éventuellement transférable et sur les pistes à favoriser. Il faudrait pouvoir avoir un accès facilité aux résultats des projets terminés. Les agences pourraient faire ce travail d'analyse des projets et en déduire les attentes.

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.