

## Communauté de Recherche Académique : *Environnement*

### 1 Programme Scientifique 2012 - 2015

---

#### 1.1 Définition du programme scientifique et structuration de l'ARC

Pour la constitution de l'ARC Environnement huit axes thématiques, correspondant à des communautés scientifiques déjà structurées ont été retenus :

- 1) Chimie durable et procédés éco-efficients
- 2) Risques naturels et technologiques
- 3) Santé et environnement, écotoxicologie
- 4) Ecosystèmes : biodiversité, fonctions et usages
- 5) Production agricole durable
- 6) Méthodes et outils de connaissances, de médiation et de gestion de l'environnement
- 7) Matériaux et environnement
- 8) Ecotechnologies pour la gestion des effluents et des déchets

L'animation de l'ARC et de ses axes sera guidée par deux idées forces :

- Intégrer le plus systématiquement possible et de façon transversale les Sciences Humaines et Sociales dans chacun des axes.
- Croiser les huit axes thématiques en les mettant en relation avec six approches transversales :
  - Evolution du climat à l'échelle régionale et adaptation au changement climatique
  - Ville et urbanisation
  - Usages, pratiques, représentations
  - Etats de référence, normes, marqueurs, processus historiques
  - Innovation technologique et nouveaux systèmes de production
  - Qualité des milieux

#### Place des Sciences Humaines et Sociales

La dimension Sociale et Humaine de ce projet est particulièrement importante et doit être fortement inscrite dans le programme de recherche de l'ARC.

Outre l'axe 6 (Méthodes et outils de connaissances, de médiation et de gestion de l'environnement), axe méthodologique centré sur les SHS mais également sur toutes les activités relatives à la modélisation, les SHS seront ainsi présentes de manière transversale dans chacun des axes de l'ARC environnement. Il s'agit ici d'un choix fort visant à ne pas confiner ces disciplines dans un champ clos, mais au contraire à les intégrer intimement dans chacune des activités de recherche de l'ARC. Cette intégration peut s'envisager de multiples façons.

Une première entrée peut s'opérer au sens disciplinaire des SHS, par exemple une perspective historique sur l'étude des écosystèmes pourrait émerger à l'axe 4 (Ecosystèmes : biodiversité, fonctions et usages). Cette entrée n'est évidemment pas limitée à l'histoire, mais concerne toutes les disciplines et sensibilités des SHS : langues, philosophie, sociologie, économie, gestion, géographie, politologie, interactions des hommes avec leurs milieux... L'objectif n'est cependant pas d'insérer une thèse purement SHS dans un axe, mais de favoriser des coopérations entre les membres de l'axe concerné et un ou plusieurs chercheurs en SHS.

En ce sens, les SHS peuvent également apparaître de façon pluridisciplinaire, par exemple, gestion du risque et risque naturel (dans l'axe 2 : Risques naturels et technologiques). Ceci permettrait plus facilement le développement de thèses en cotutelle.

L'entrée peut aussi se faire selon un cadre réglementaire, par exemple, l'analyse coût/ bénéfice dans la directive REACH émerge à l'axe 1 (Chimie durable et procédés propres), la directive cadre européenne EAU est un objet d'étude important en économie et émerge à l'axe 4 (Ecosystèmes : biodiversité, fonctions et usages).

### Approches transversales

Le programme scientifique de l'ARC Environnement se décline en 8 axes thématiques, mais repose également sur plusieurs approches transversales visant à donner du liant, de l'homogénéité et du sens aux différentes actions. L'inscription des projets scientifiques dans l'une ou plusieurs de ces approches sera une condition de leur sélection.

### **Evolution du climat à l'échelle régionale et adaptation au changement climatique**

Le changement climatique global est aujourd'hui un fait accepté par la quasi-totalité de la communauté scientifique. Si les conséquences de ce changement en valeurs moyennes et à des échelles continentales commencent à être bien appréhendées, il n'en va pas de même des conséquences locales, en particulier pour les valeurs extrêmes. Ceci est particulièrement vrai pour la Région Rhône-Alpes du fait de la diversité de ses reliefs et des zones climatiques qui la caractérisent.

D'une manière directe ou indirecte, les aspects climatiques ont pourtant des conséquences sur la gestion des risques aigus ou chroniques et également sur certains secteurs économiques comme l'agriculture, l'industrie ou le tourisme. Il s'agit donc d'une problématique intéressant l'ensemble des axes de l'ARC Environnement et, au-delà, de potentielles interactions avec les domaines de l'énergie, des transports, de l'habitat et de l'urbanisme.

Région à forte activité économique industrielle et touristique, Rhône-Alpes est particulièrement sensible aux questions climatiques notamment vis-à-vis de son régime hydro-nival, de sa biodiversité et de la qualité de son air.

La compréhension du fonctionnement climatique et de sa possible modification, de l'échelle globale à celle de la région, intéresse différentes équipes rhônalpines. Les forces régionales en recherche sur cette thématique sont considérables et reconnues au plus haut niveau international (Prix Nobel 2007 pour le GIEC avec la participation de deux chercheurs rhônalpins, prix Blue Planet, ...). La thématique du climat fait enfin partie des dix thèmes définis par l'Alliance AllEnvi. Dans le cadre de programmes internationaux, des recherches de grande qualité sont conduites à l'échelle de la planète à propos du fonctionnement des océans et se focalisent sur l'évolution de régions très sensibles comme les pôles, le Sahel ou la Méditerranée. Leur ancrage rhônalpin doit être soutenu.

La régionalisation du changement climatique constitue en effet un enjeu majeur pour la décennie à venir, pour éclairer les questions cruciales suivantes qui ne seront abordées efficacement que par une approche multi échelle et/ou transdisciplinaire :

- Évolution du climat à l'échelle régionale

L'enjeu est ici l'étude du climat aux méso-échelles, sur les moyen et long terme, sujet sur lequel la Région Rhône-Alpes possède des atouts indéniables. Ce thème vise à améliorer les projections climatiques qui sont encore très incertaines pour plusieurs régions critiques de la planète, notamment les régions polaires, tropicales et de montagne.

Ces travaux constituent la base indispensable pour les recherches transdisciplinaires sur les impacts et les mesures d'adaptation au changement climatique. Néanmoins, les recherches sur la description de l'évolution du climat à l'échelle régionale représentent un thème spécifique en soi qui concerne certaines disciplines présentes dans la Région.

- Conséquences, impacts et adaptations au changement climatique

La détection des signaux associés aux évolutions climatiques régionales est un enjeu majeur pour la validation des scénarios, pour aider à piloter les modèles et pour en anticiper les impacts environnementaux. Il est également nécessaire de caractériser ces impacts en termes socio-économiques pour définir les périmètres nécessaires des mesures d'adaptation à mettre en œuvre.

Les recherches pour connaître, prévoir, étudier les impacts sur les risques, la biodiversité, l'agriculture, le tourisme... sont quant à elles des approches qui traversent largement toutes les disciplines et constituent un thème transversal par excellence.

## Ville et urbanisation

L'urbanisation caractérise la mondialisation actuelle. Les villes et les métropoles concentrent populations et activités économiques et, en accroissant localement la pression sur l'environnement, deviennent très sensibles aux modifications de ce dernier. La connaissance et la réduction des impacts des zones urbanisées sur leur environnement (air, eau, sol) sont devenues des enjeux majeurs pour le gouvernement et la gestion des villes. Les réflexions associées à ces problématiques convergent globalement :

- Sur le plan technique : (i) vers une promotion des techniques aux fonctionnements à faibles impacts environnementaux : promotion des techniques dites « douces », dont la proximité avec les cycles naturels est très grande : noues, capteurs solaires, engrais « naturels », réutilisation, matériaux spécifiques, relocalisation des sources d'énergie et de matières premières, etc., (ii) vers une amélioration de l'efficacité de la gestion des villes : amélioration de la coopération entre les acteurs pour la gestion d'un territoire ou d'une ressource ; optimisation des dispositifs techniques et des modes de gestion, notamment par une meilleure articulation des services, conservation des milieux assurant des fonctions écologiques, économiques et sociales, utilisation des écosystèmes dans la gestion et la limitation des risques (îlot de chaleur, inondation, pollutions sonores), etc. ;
- Sur le plan urbain : vers un changement des usages urbains pour des pratiques écologiques : réduction de la circulation urbaine, diminution de la place de l'automobile au profit des transports collectifs et des modes de déplacements « doux » (bicyclette, marche), développement du tri des déchets, promotion des objets à basses consommations énergétiques et à faibles impacts environnementaux, etc.

Le développement d'écotechnologies innovantes pouvant être utilisées dans le cadre du renouvellement urbain et permettant de développer une ville plus durable constitue donc à la fois une condition indispensable à la réduction des impacts de la ville sur son environnement mais aussi l'un des moteurs importants d'une nouvelle croissance économique souvent associée au terme « croissance verte » (voir par exemple les textes des appels d'offre de l'ANR pour les programmes « Ville durable » ou « Ecotech »).

La Région Rhône-Alpes est particulièrement en pointe sur ces thématiques pour lesquelles elle concentre entre 25 et 30% du potentiel de recherche et de l'activité économique de la nation. En particulier, les pôles de compétitivité Axelera et LUTB en ont fait un axe majeur de développement. Par ailleurs les récentes initiatives relatives aux investissements d'avenir comme le labex IMU (Intelligences des Mondes Urbains) coordonné par l'Université de Lyon permettent d'avancer dans la structuration des équipes concernées par ces thématiques et la production de contenus scientifiques et techniques.

Ces thématiques concernent fortement l'ARC 3 (Environnement), principalement sur les questions liées à l'eau et aux déchets, mais également l'ARC 4 (Energie) et l'ARC 7 (territoires, mobilité et dynamiques urbaines). Une coordination devra donc être recherchée sur ce thème entre ces trois ARCs de façon à privilégier les approches transversales.

## Usages, pratiques, représentations

La compréhension des rapports qu'entretiennent les groupements humains avec leurs environnements peut impliquer de renoncer aux dualités traditionnelles opposant la nature à la culture, la nature à la ville, le naturel à l'artificiel et d'envisager ces environnements comme des collectifs d'humains et de non-humains. Dès lors, il s'agit de les observer aux travers des modalités de constitutions et d'institution de ces collectifs. Ainsi, les environnements « urbains », les environnements « ruraux » ou encore les environnements « naturels » (quand l'anthropisation y est réputée faible) sont l'effet de pratiques sociales y compris économiques réglées par les usages des éléments qui les composent et objets de représentations.

Usages, pratiques et représentations constituent trois concepts mobilisés dans le champ scientifique des Sciences de l'Homme et de la Société, qui peuvent articuler l'ensemble des disciplines de ce champ scientifique autour de l'étude des collectifs d'humains et de non-humains qui forment les environnements.

- Les règles d'usage orientent les pratiques individuelles et collectives c'est-à-dire l'activité concrète et l'action quotidienne des groupements et des individus. Autrement dit, l'activité sociale quotidienne, bien que contingente, est réglée par les usages. Elle mobilise des objets, des dispositifs techniques, des espaces et des territoires, etc. et mobilise ainsi les environnements en les transformant.
- Les environnements comme collectifs d'humains et de non-humains donnent lieu à des représentations : au sens propre et au sens figuré. Il en est ainsi d'une part des représentations des humains et des non-humains dans les arènes, politiques, techniques, scientifiques, sociales, économiques où s'instituent les collectifs formant les environnements ; d'autre part des représentations constituées par les récits, les images, les dessins, les modélisations, etc., comme œuvres des imaginaires individuels et collectifs qui peuvent fonder des régimes axiologiques à partir desquels sont « évalués » les environnements et leurs composants (humains et non-humains).

Les connaissances sur les usages, les pratiques et les représentations sont des points d'entrée dans la compréhension de la praxis et des ressorts anthropiques à partir desquels naissent et se transforment les environnements. Elles restituent les problèmes que doivent résoudre les collectifs qui forment les environnements. Ces problèmes sont autant de « problèmes » à résoudre dans les autres champs scientifiques dont l'ingénierie, dès lors que les solutions sont autant politiques, sociales, scientifiques, techniques, économiques, organisationnelles, impliquant tout à la fois le changement des modalités de mobilisation des environnements, tout comme les éléments qui les constituent, individuant ainsi de nouveaux collectifs d'humains et de non-humains.

## Etats de références, normes, marqueurs, processus historiques

La bonne compréhension des états écologiques actuels dans des milieux sous contraintes anthropiques ne peut se faire qu'à la lumière de la trajectoire historique des écosystèmes étudiés. Ceci conduit à mettre en regard les états actuels avec une série d'états passés, ou états de référence. Ces derniers se reconstruisent grâce à un ensemble de méthodes propres à la connaissance des paléo-environnements, qui s'appuient sur l'inventaire et l'analyse pluridisciplinaire d'archives historiques et de marqueurs biologiques et sédimentaires. Ces méthodes complètent avantageusement les méthodes de l'écologie fonctionnelle et apportent des éclairages sur les fonctions et usages passés de la biodiversité et des services écosystémiques par les sociétés locales.

## Innovation technologique et nouveaux systèmes de production

Les systèmes de productions sont partie intégrante de notre patrimoine culturel, social et économique. Les nouveaux systèmes de productions correspondent à une intégration plus poussée dans le paysage urbain et/ou avec des empreintes environnementales moindres et une pratique sociétale partagée. D'une conception des sites de production basées sur les deux piliers d'un cœur technologique conduit par les besoins techniques du procédé et des produits, et d'une gestion des utilités (eau, énergie,...) uniquement liée à la rentabilité économique, on passe à une conception intégrant aussi depuis maintenant plusieurs années les aspects environnementaux (traitements poussés avant rejet, procédés économes en matières et énergie..) et souhaitant maintenant intégrer la demande sociétale (gestion des risques industriels, pratiques, nouveaux métiers,...). Cette démarche est illustrée par le schéma ci-dessous, qui correspond au périmètre d'action de l'éco-système « Procédés éco-conçus » du pôle de compétitivité « Chimie-Environnement » animé par Axelera et qui recoupe en amont la programmation ANR avec les AAP : CD2I Chimie Durable, Industrie, Innovation – EcoTech - ...



**Chimie** Voies d'accès, technologies cœur, réactifs, solvants

**Utilités** Eau, électricité, gaz naturel, bio-sourcées, hydrogène, stockage

**Environnement** Gestion et réduction des effluents à la source, recyclage

**Société** Transverse, à l'intérieur (évolution des métiers) et aux bornes du site

Cette conception en quatre sphères s'applique à tous systèmes de production notamment à l'industrie chimique, très fortement implantée en Région Rhône-Alpes, et fixant des bassins d'emplois. Le développement durable de nouveaux systèmes de productions ainsi « éco-conçus », s'appuiera donc sur une démarche transverse et graduée dans les interactions avec les autres disciplines scientifiques et les autres secteurs économiques.

La meilleure utilisation des utilités repose sur deux piliers : l'eau et l'énergie. L'intégration énergétique, y compris la récupération des rejets à bas contenus énergétiques qui représentent un gisement d'énergie (plus de 45 TWh pour la seule industrie chimique) et son stockage constituent deux challenges technologiques. L'utilisation de l'eau sur site industriel doit être conduite sur deux directions : gestion de l'eau entrant au plus proche du besoin, gestion de l'eau sortante (bilan en masse, qualité en composition et en température). Le retour de l'eau aux systèmes naturels (rivières, nappes...) appelle des solutions de traitements appropriés qui sont détaillées dans le thème 8. Sur toutes ces questions, les solutions déployées seront transférables à d'autres secteurs industriels comme l'agro-alimentaire par exemple.

La gestion environnementale des sites de production dépasse largement le cadre des utilités. L'empreinte dans le paysage urbain et/ou péri-urbain doit être adaptée. La gestion durable des sites est typiquement un thème transverse, impliquant a minima l'éco-efficience des procédés (axe 1), les risques technologiques (axe 2), l'écotoxicologie et la santé (axe 3), la gestion des effluents et des déchets (axe 8) et rejoint la question de la qualité des milieux.

## **Qualité des milieux (eau, sol, air)**

La qualité des milieux est un patrimoine dynamique, qu'il convient si possible d'améliorer, en vue de sa transmission aux générations futures. Son évaluation porte sur les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques des milieux. Elle concerne les différents milieux présents à la surface du globe (eau, air, sol, sédiments,...), ceci depuis les milieux naturels les plus préservés (air ou lacs de haute montagne, nappes profondes,...) jusqu'aux milieux les plus anthropisés, dont la qualité est à améliorer (friches industrielles, cours d'eau pollués par de multiples rejets,...). La mise en place d'une politique volontariste de qualité des milieux est une condition nécessaire à la préservation des ressources correspondant à ces milieux (ressource en eau, sols agricoles,...). Elle est aussi indispensable en vue de la préservation de la santé et des conditions de vie de l'homme et de l'ensemble des organismes qui y vivent (préservation de la santé humaine, conservation de la biodiversité,...). En termes d'objectifs de qualité, on recherche parfois à retrouver une situation initiale, d'avant l'anthropisation, mais bien souvent l'effort porte plutôt sur la recherche d'une situation d'« équilibre », où le milieu fait preuve d'une certaine résilience, en vue d'assurer les fonctions principales que l'on attend de lui.

Les recherches dans le domaine de la qualité des milieux concernent principalement :

- La mise en place d'observatoires de la qualité des milieux à long terme (qualité de l'eau, de l'air, des sols,...),
- La recherche de paramètres émergents (polluants émergents, germes pathogènes en développement,...) de suivi de la qualité, en lien avec la progression des connaissances (nouvelles techniques analytiques) et/ou l'apparition de nouvelles conditions climatiques et/ou de nouvelles pratiques (réchauffement climatique, réutilisation des eaux pluviales, recyclage/valorisation des déchets,...),
- Le développement de mesures en continu de la qualité des milieux,
- Le développement de méthodes d'évaluation des risques a priori de la détérioration des milieux (détérioration de la qualité chimique, écologique et/ou microbiologique) à intégrer dans les études d'impact des projets industriels ou urbains,
- La recherche d'indicateurs performants à proposer aux gestionnaires en vue de vérifier l'efficacité d'opérations de restauration de la qualité des milieux.

Parmi les grands enjeux dans la Région Rhône-Alpes, on peut notamment citer :

- La préservation de la qualité de la ressource en eau dans les différents compartiments du territoire : eaux de nappe et eaux superficielles,
- La préservation et la restauration de la qualité de l'eau et/ou des sols de milieux particuliers : zones humides, cours d'eau péri-urbains, parcs naturels, lacs de haute Montagne, sols alpins,...

- La préservation de la qualité et des fonctions assurées par les sols agricoles et urbains,
- La restauration de la qualité des sols des sites industriels pollués ou des friches urbaines,
- L'amélioration de la qualité de l'air dans les métropoles régionales,
- La préservation et la restauration de la qualité de milieux situés à l'interface de deux ou de plusieurs de ces milieux (milieux sédimentaires,...), et qui sont bien souvent le siège de processus essentiels à caractériser, en vue de la compréhension de la dégradation des milieux et des actions à mettre en œuvre pour les améliorer.

## Axes thématiques

### **Axe 1 - Chimie durable et procédés éco-efficients**

La chimie, « industrie des industries » mais aussi discipline scientifique, peut à la fois être le moteur et le pourvoyeur des progrès de nos civilisations modernes en mutation. Elle répond aux besoins des secteurs industriels extrêmement variés et généralement plus visibles par le consommateur-citoyen (automobile, aviation, hygiène, santé, traitement de l'eau, énergie, sécurité, bâtiments,...). La chimie intervient par l'invention et la production de nouveaux matériaux et de nouvelles molécules possédant les fonctionnalités et propriétés d'usages souhaitées. La chimie sait aussi répondre aux grands enjeux sociétaux à venir : captation de l'énergie solaire (nouveaux composants photovoltaïques, dissociation de l'eau...), réduction de la consommation énergétique (nouveaux matériaux plus légers, isolants...), sortie des ressources fossiles, ... Aujourd'hui, ces réponses ne sont plus individualisées et ponctuelles comme par le passé mais doivent s'inscrire dans le développement harmonieux des sociétés.

Ce nouveau paradigme et l'ensemble des évolutions, outils et concepts associés sont maintenant regroupés dans le concept de chimie durable qui peut se définir comme une chimie innovante, d'une part moins dépensière en matière et en énergie, moins polluante, et s'appuyant sur des procédés répondant à ces trois critères pour une mise en œuvre éco-efficace et d'autre part efficace pour lutter contre les pollutions qui n'ont pu être évitées.

Les thématiques proposées et détaillées ci-dessous s'inscrivent dans les grands axes de recherche des projets européens (FP7-NMP «New Manufacturing Practices »), nationaux (ANR CD2I et ECOTECH). Elles recouvrent largement la programmation du Pôle de Compétitivité Chimie et Environnement Lyon Rhône-Alpes (AXELERA) et l'IEED INDEED récemment labellisé par le CGI, et rejoignent les feuilles de routes des groupes de réflexion reconnus (SusChem, UIC...). Enfin, elles se trouvent clairement affichées dans le rapport sur les mutations économiques du domaine de la chimie publié par le PIPAME. [[http://www.industrie.gouv.fr/p3e/etudes/chimie/chimie\\_abrege.php](http://www.industrie.gouv.fr/p3e/etudes/chimie/chimie_abrege.php)] ainsi que dans les réflexions menées dans le cadre de l'alliance nationale de recherche pour l'environnement (Allenvi).

L'inscription de l'axe « Chimie Durable et Procédés Eco-Efficients » dans l'ARC-Environnement correspond à l'implication de plus en plus forte des compétences des disciplines de la chimie et des procédés chimiques avec cette préoccupation sociétale majeure.

Les thématiques que se propose d'aborder l'axe 1 incluent :

- Matières premières renouvelables bio-sourcées
- Matières premières secondaires
- Réactifs et produits de substitution
- Chimie curative, procédés de remédiation des milieux pollués
- Eco-efficience des procédés
- Approche systémique des procédés chimiques
- Systèmes analytiques et capteurs

Cet ensemble cohérent de thèmes permettra de construire la technicité et le savoir-faire permettant d'étendre l'utilisation des ressources renouvelables, d'améliorer les cycles de vie des produits, de limiter la consommation des ressources, d'optimiser les procédés industriels. En complément, ces activités permettront

d'élaborer les outils de mesures et de suivis de l'environnement et le cas échéant des techniques de remédiation. Ce faisant ces activités viennent en support aux travaux proposés dans les autres axes de cet ARC

## **Axe 2 - Risques Naturels et technologiques**

Les recherches menées dans cet axe concernent les catastrophes associées aux phénomènes naturels (séismes, avalanches, laves torrentielles, formation d'embâcles, excès sédimentaires, éboulements, tempêtes, crues éclairs...) ou aux risques technologiques liés à la production d'énergie (nucléaire, barrage,...), à la fabrication ou au stockage de produits actifs et à d'autres événements tels le transport. Ces phénomènes sont généralement le fait de l'effondrement ou de la mauvaise adaptation de constructions, mais aussi d'une sous-estimation des aléas ayant conduit à aménager des zones sensibles et une mauvaise connaissance ou prise en compte des effets potentiels des aléas sur les populations et les biens.

En France, la région Rhône-Alpes présente une grande sensibilité vis à vis de nombre de ces problèmes : phénomènes gravitaires en montagne (avalanches, glissements de terrains, chutes de rochers, apports sédimentaires importants et transport de bois...), conditions climatiques génératrices de précipitations extrêmes, sismicité de niveau modéré à moyen, complexes industriels, barrages, installations nucléaires,... Les paysages très variés de la région (zones fortement urbanisés, plaines inondables, hautes et moyennes montagnes...) en font un laboratoire grandeur nature particulièrement adapté pour la recherche dans le domaine du risque et les résultats pourront en partie servir d'exemple au niveau national, voire international.

Cet axe de recherche est directement lié à de nombreux questionnements environnementaux à différentes échelles, comme le changement climatique, les dynamiques urbaines, les usages, les pratiques et les représentations des décideurs, des acteurs économiques et des populations.

L'adaptation au changement climatique est une des thématiques fortes. L'incertitude face aux événements et aux paramètres climatiques futurs, nécessite de modéliser le risque et ses effets potentiels avec des scénarii en introduisant des paramètres qui s'appuient, certes, sur des événements passés (par exemple, sur des crues de référence) et sur des processus historiques observés, mais pas seulement. Des recherches innovantes dans le domaine du risque sont aujourd'hui un enjeu majeur.

L'ampleur des catastrophes est accrue par une vulnérabilité souvent élevée et polymorphe des communautés, des activités humaines et des installations sensibles, des ouvrages routiers ou ferroviaires, des bâtiments stratégiques (santé, sécurité, communication,...) ou accueillant du public (écoles, commerces, bureaux, habitations,...). Cette vulnérabilité est un élément majeur de la problématique du risque qui souligne la fragilité territoriale et contextuelle de la société par rapport à des aléas incertains. Un des enjeux de la recherche scientifique est de mieux comprendre la vulnérabilité sociale liée aux risques naturels et environnementaux, d'autant plus que l'incertitude de la répartition spatiale des populations, leurs conditions et mode de vie dans le futur se rajoute à l'incertitude croissante concernant les aléas.

Pour intégrer cette vulnérabilité dans les politiques de gestion du risque il est important de tenir compte de deux éléments. En amont des catastrophes, les usages, la perception du risque par les populations, les modes de gestion des politiques ou les prises de décisions associés aux risques naturels et technologiques, font partie intégrante des enjeux de la recherche portant sur le risque. En « aval » des événements, il faut mieux connaître la capacité plus ou moins importante de la société à gérer la crise et à retrouver un fonctionnement acceptable après-crise, c'est-à-dire son degré de résilience. Il est important de compléter une approche aléa-centrée par une analyse à la fois des enjeux matériels et humains exposés à l'aléa et des vulnérabilités « cachées » dans les modes de gestion, dans les dispositifs de protection et dans les politiques d'aménagement du territoire.

Faire face à la problématique du risque consiste aussi à agir dans plusieurs directions : la prévision et l'alerte, la prévention et la protection. Les travaux à mener permettront de déboucher sur l'évaluation des zones territoriales sensibles, sur la mise au point de dispositifs d'alerte, sur la conception d'ouvrages de protection et, pour les constructions existantes, sur leur renforcement. Pour gérer ces risques dans un contexte de connaissances encore malheureusement imparfaites, des outils d'aide à la décision intégrant les différentes

approches issues des sciences de l'ingénieur, des sciences de la terre et des sciences humaines et sociales sont requises.

### **Axe 3 - Santé et environnement, écotoxicologie**

Que l'objet d'étude soit l'Homme dans son environnement ou l'écosystème, l'évaluation et la prévention des risques liés à la présence de contaminants chimiques, biologiques ou physiques, impliquent le développement puis la mise en œuvre d'approches interdisciplinaires et d'outils et de méthodes de plus en plus fins. Les (éco)toxicologues, écologues, microbiologistes, chimistes de l'environnement, épidémiologistes et médecins impliqués dans ces domaines partagent tous cette même volonté de mutualisation de données, qu'elles concernent l'exposition aux facteurs de stress ou les effets mesurés. L'axe 3 recouvre donc les thématiques suivantes.

1) Impact des stressseurs environnementaux (chimiques et physiques) sur le génome et la physiologie des organismes (métabolisme et fitness, avec une volonté forte d'identifier des marqueurs précoces d'exposition et/ou d'effets), sur le fonctionnement des populations d'organismes (dynamique des populations), et sur la diversité (réponse des communautés aux contaminants).

2) Impact de ces mêmes stressseurs environnementaux sur des modèles pour l'Homme. Les approches envisagées sont également mécanistes avec la volonté affichée de mettre en évidence des marqueurs d'effets par le développement de nouveaux outils. Biodistribution et bioaccumulation des contaminants font l'objet d'une attention particulière.

3) Microbiologie environnementale et risque infectieux : dynamique des agents infectieux de l'homme, de l'animal et des végétaux. Si les facteurs de stress sont ici des agents biologiques potentiellement pathogènes, les approches généralement employées pour mesurer l'exposition et les effets sont proches de celles déployées pour aborder les facteurs de stress chimiques et physiques. Une importance particulière est donnée à la notion d'interactions biotiques et à la façon dont les facteurs environnementaux (dont contaminants chimiques) affectent ces interactions.

4) Approche épidémiologique des facteurs de risques environnementaux. L'importance de disposer de données à une échelle fine (mesures directes et indicateurs indirects) et spatialisables sur l'exposition de l'Homme et des écosystèmes est un des facteurs de réussite de cette analyse du risque.

Il apparaît clairement que les recherches menées dans l'axe 3 seront pluridisciplinaires. Cet axe vise à structurer la communauté autour de deux principales idées :

i) Renforcer des projets mettant en synergie spatialisation des expositions (pressions) et réponses biologiques (impacts) par des approches éco-épidémiologiques. Projets commençant à la mesure des contaminations dans les milieux (eau, sol, air) et/ou dans les organismes cibles (tissus, biofluides, etc.) jusqu'à la fusion des données destinée aux analyses statistiques. L'intégration fine des niveaux de contamination dans des études (éco) épidémiologiques nécessitera d'harmoniser les protocoles d'études. L'idée est bien de valoriser au mieux les résultats acquis sur le terrain ou en laboratoire dans le cadre d'études (éco)épidémiologiques. Les équipes en charge de bases de données, épidémiologiques ou de cohortes, et sur l'exposition dans les milieux, sur ces thèmes seront autant que possible associées à cette réflexion et à des projets de recherche collaboratifs.

ii) Renforcer des projets collaboratifs sur la recherche de biomarqueurs d'effets ou de nouveaux bioindicateurs dans une approche mécaniste allant de l'environnement jusqu'à l'Homme. Les études menées à différents niveaux d'organisation sur des organismes cibles tireraient un grand bénéfice à être conçues et développées conjointement. En effet, que l'on s'intéresse à des niveaux de régulations génétiques ou post-transcriptionnelles (avec un accent particulier sur les aspects épigénétiques), les concepts et outils d'étude mutualisables sont très nombreux. Ceci impliquera de mener en parallèle une réflexion approfondie sur la notion d'espèce modèle compte tenu des développements technologiques récents, notamment en terme de séquençage massif.



## **Axe 4 - « Ecosystèmes : biodiversité, fonctions et usages ».**

La recherche environnementale est en partie cadrée depuis quelques années par différentes Directives ou réglementation (Directive Cadre Européenne sur l'Eau (2000/60/CE, DCE), Directive Habitat, EcoPhyto 2018, ...). Ces cadres réglementaires soulèvent de nombreuses questions scientifiques pour définir et classer des «états écologiques», pour fixer des états de référence et à évaluer des évolutions d'écosystèmes ou de peuplements. Un consensus global existe cependant qui affirme que le maintien d'une biodiversité est garante du maintien de la diversité de fonctions et des services. Ceux ci peuvent s'inscrire dans le long terme (fourniture d'eau et d'air propres, de ressource génétique, de décomposition des déchets, de bien être ou encore de régulation du climat). Plusieurs questions sont ouvertes :

- comment établir des méthodes d'évaluation de l'état des écosystèmes ? qu'est ce qu'un état écologique ? Peut-on définir des références ?
- comment maintenir ou restaurer un cadre environnemental de qualité ? Quels systèmes de productions « éco-compatibles » faut il mettre en place ?

Trois grands objectifs, favorisant des approches pluridisciplinaires, ouverts à divers objets d'observations (air, eau, sols, microorganismes, végétaux, animaux, mais aussi gouvernance, perception sociétale,...) cadrent les travaux de ce thème :

- caractérisation des états écologiques des écosystèmes, par l'appréciation de leur structure et de leur fonctionnement. Ceci suppose de définir des critères de nature biologique ou physico-chimique et de considérer la biodiversité et la fonctionnalité générale des systèmes. Il faut également caractériser d'une part les forçages climatiques et anthropiques (et leurs interactions possibles) et d'autre part les réponses des systèmes. Un enjeu fort est le couplage de méthodes expérimentales, de suivis in situ et de modélisations pour comprendre les impacts combinés de ces forçages à différentes échelles et pas de temps. Cette compréhension des états écologiques actuels ne peut se faire qu'à la lumière de la trajectoire historique des systèmes étudiés, de l'évolution du climat et des processus adaptatifs. Ceci renseignera sur les fonctions et usages de la biodiversité et des services écosystémiques mis en avant par les sociétés passées ou actuelles.
- identification des processus impliqués dans les réponses des écosystèmes atmosphériques aux activités anthropiques (climat, pollutions diverses, modifications des paysages et des usages de sols ou de masses d'eau, périurbanisation,...). Ces processus sont à considérer en termes de biodiversité, de fonctions et des services associés. Il s'agit également de comprendre les modalités de propagation des altérations dans un système (approche écosystémique et de modélisation) et de proposer des seuils d'impact (nature, durée, intensité de contrainte) pour les divers types de communautés biologiques ou des seuils d'irréversibilité pour le système et, au-delà, d'en évaluer les conséquences sur la société.
- poursuite du développement de l'ingénierie environnementale, incluant les SHS dans les processus d'analyse et de décision, et prenant en compte les différents usages des écosystèmes. Dans ce domaine également de nombreuses questions sont posées : quels systèmes socio-techniques mettre en œuvre pour restaurer des milieux dégradés ? Comment évaluer a priori les bénéfices socio-environnementaux d'une opération d'ingénierie environnementale ? Comment conserver la biodiversité et les fonctions environnementales dans des habitats fragmentés et à usages multiples, en particulier en habitat (péri) urbain.

Sur un plan méthodologique, enfin, les équipes du thème pourront bénéficier de l'existence des divers sites ateliers et observatoires existant en Rhône Alpes (Zones Ateliers Bassin du Rhône et Alpes ; Environs Alp, plateaux techniques,...).

## **Axe 5 - Production Agricole Durable**

*Vers une agriculture durable et compétitive*

Notre compréhension du monde végétal, fruit du progrès des recherches fondamentales sur les processus biologiques, est aujourd'hui en mesure de changer notre approche de l'agriculture. Dans les prochaines années nous serons en mesure d'améliorer encore la productivité agricole et la qualité des plantes cultivées, par exemple en contribuant à une réduction de notre dépendance en pesticides et fertilisants chimiques, ou en

sélectionnant des plantes plus résistantes aux agents pathogènes, capables de mieux interagir avec les micro-organismes bénéfiques du sol ou de se développer sur des sols plus pauvres. L'ingénierie agroécologique appliquée à l'agriculture permettra une meilleure valorisation des processus écologiques et une meilleure gestion des ressources naturelles. Il reste donc un potentiel important, en utilisant les plantes de manière plus rationnelle, pour répondre d'une façon durable aux multiples demandes de la société actuelle concernant la sécurité alimentaire, la santé humaine et vétérinaire, la qualité de notre environnement, le développement social, économique et environnemental de notre agriculture. Le développement d'une agriculture et d'une alimentation durable passe aussi par un renforcement des liens locaux entre les producteurs et les acteurs de la filière allant jusqu'aux consommateurs.

## Croissance et développement des plantes

*Photosynthèse, métabolisme et biomasse* : La photosynthèse, à la base de l'autotrophie, est le moteur principal de la production agricole. L'étude de ces mécanismes est indispensable pour déterminer les meilleures conditions de croissance.

*Morphogenèse* : de la cellule à la plante entière. Les processus régissant la croissance et la différenciation des différents organes feront l'objet d'analyses combinant des approches variées, de l'imagerie cellulaire à la biochimie et la modélisation.

## Fleurs et graines

*Fleurs* : Plusieurs équipes interagissent pour comprendre comment les paramètres de l'environnement affectent les régulateurs responsables de la mise en place des bourgeons et pièces florales.

*Graines* : La production de graines constitue une des ressources majeures de l'agriculture et l'étude des mécanismes moléculaires contrôlant le développement et la qualité de la graine est aussi développée au sein de cet axe.

## Qualité du milieu : nutrition minérale et hydrique

*Maîtrise des intrants phosphate* : La maîtrise des intrants est un enjeu majeur pour une agriculture non polluante. L'étude de la réponse des plantes à la déficience en phosphate est étudiée, depuis la signalisation au niveau racinaire jusqu'à la gestion des diverses classes de lipides.

*Nutrition hydrique et azotée, phytostimulation et biofertilisation* : Etude des effets bénéfiques des interactions plante-microbe ou plante-plante sur le développement, la croissance et la nutrition hydrominérale de la plante selon les caractéristiques et le mode de gestion du sol.

## Molécules à haute valeur ajoutée

*Acides gras, oxylipines et glycérolipides* : Les acides gras des plantes représentent une source de substances bénéfiques pour la nutrition (huiles) et la santé humaine (acides gras de la série des Oméga, acides gras oxygénés à propriétés anticancéreuses)

*Terpènes, huiles essentielles et plantes aromatiques* : La rose est au centre de cette action. L'objectif est de fournir des outils aidant à la sélection variétale et à l'amélioration des caractéristiques (parfums, pétales) de la rose.

## Bioagresseurs : ravageurs et microorganismes phytopathogènes, adventices

*Processus infectieux des microorganismes phytopathogènes* : L'objectif est de mieux comprendre les différentes étapes de l'interaction entre pathogène et plante, avec un intérêt particulier pour les fonctions essentielles à l'infection et les signaux impliqués.

*Interactions plantes-insectes-microorganismes* : La perspective de réduction des insecticides écotoxiques nécessite l'identification de nouvelles cibles, non neurotoxiques et spécifiques. Les molécules végétales, ou mobilisables via la plante, ciblant le tube digestif ou d'autres organes, comme ceux hébergeant des bactéries symbiotiques, est une alternative durable.

*Interaction plantes cultivées-adventices* : la limitation des herbicides nécessite le développement de techniques alternatives basées sur des interactions plantes-plantes (allélopathie, compétition à la lumière), sur des opérations mécaniques (désherbage thermique et mécanique) et/ou sur une réorganisation spatiale des cultures.

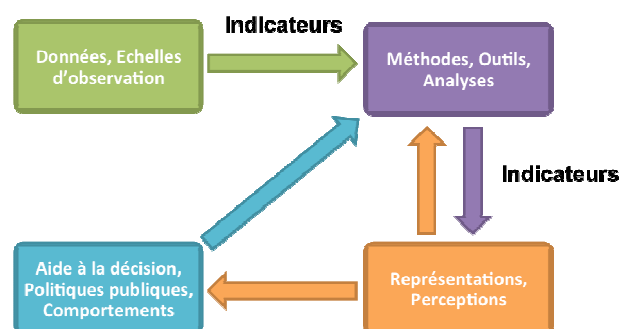
## Agroécologie et systèmes alimentaires durables

*Ingénierie agroécologique appliquée en agriculture* : l'objectif est d'optimiser les processus écologiques afin de limiter l'utilisation des intrants (agriculture biologique, inoculants microbiens, agriculture à faible intrants, fertilité des sols et gestion de la nutrition hydro-minérale).

*Ancrage territorial des systèmes alimentaires durables* : Les travaux de recherche portent sur l'insertion des systèmes alimentaires au sein des territoires notamment grâce au développement des circuits de proximité, à l'émergence de nouvelles productions valorisant les ressources locales (ex. production d'énergie renouvelable par l'agriculture, produits de terroir) et au renforcement des liens entre acteurs de la filière.

## Axe 6 - Méthodes et outils de connaissances, de médiation et de gestion de l'environnement

L'environnement désigne l'ensemble des conditions naturelles ou artificielles et culturelles dans lesquelles les organismes vivants se développent et interagissent. À cause d'activités humaines toujours plus polluantes, des changements majeurs se produisent : le climat se modifie, et il est important de comprendre, d'infléchir si possible et d'anticiper au mieux ces changements ; l'environnement se dégrade, et le protéger est devenu un des enjeux majeurs du XXI<sup>ème</sup> siècle (objectif 7 du Millénaire pour le Développement).



Les thématiques de recherche incitatives de l'axe 6

Pour avancer dans notre connaissance de l'environnement, tant au niveau géophysique (climat, atmosphère, sol, cycle de l'eau...) qu'au niveau du fonctionnement des êtres vivants (traits de vie, dynamique de population, interactions inter-spécifiques,...) et de leurs interactions avec leur milieu et avec la société, de nouveaux outils de connaissances sont nécessaires, depuis les dispositifs d'observations pour capitaliser de l'information, jusqu'au partage d'expertise en soutien aux politiques publiques, en passant par la construction de modèles théoriques associés à des outils de représentation et d'interprétation.

Les recherches menées dans le cadre de l'axe 6 seront pluridisciplinaires et transversales, et les développements méthodologiques associés auront une dimension communautaire. Quatre thématiques de recherche incitatives sont proposées ; elles s'inscrivent dans les grands axes de recherche nationaux et internationaux. L'axe 6 présente une série de mots clefs transverses qui peuvent être déclinés dans chacune des quatre thématiques : aide à la décision, analyses, chaîne de causalité, comportements, données, échelles d'observation, évaluation, incertitudes, indicateurs, méthodes, modélisation, normalisation, outils, perceptions, politiques publiques, représentations. Chaque thématique comporte de plus des mots clefs qui lui sont propres et qui sont repris ci-dessous.

- Thématique 1 – Données et échelles d'observation / indicateurs : controverses, mesures et capteurs ou micro-systèmes, niveaux d'organisation (biologiques, spatiaux, ...), variabilité spatiale et temporelle.
- Thématique 2 – Méthodes et outils d'analyse : agrégation / désagrégation, approches quantitatives, couplage, degré d'irréversibilité, généricité, hiérarchisation, indices de confiance, interfaçage, relations causes-effets (pression, état, impact), simulation, spatialisation, systèmes complexes, systèmes d'information, validation.
- Thématique 3 – Représentations et perceptions : appropriation, cognition, communautés épistémiques, communication, éducation, interprétation, préférences, textualisation, traduction, vulgarisation.
- Thématique 4 – Aide à la décision, politiques publiques et comportements : expertise, gouvernance, législation, médiation, prévention, réglementation, scénarios.

## Axe 7 - Matériaux et environnement

Pour répondre aux exigences croissantes de la demande sociétale liée notamment à la réduction de l'empreinte énergétique, des émissions polluantes, il est indispensable de concevoir, d'élaborer et de produire des ensembles structuraux de plus en plus sophistiqués impliquant des matériaux capables de mieux maîtriser significativement la durée de vie de ces ensembles, leur fiabilité et leurs performances globales. Les objets

ou structures, pour répondre à des cahiers des charges de plus en plus complexes sont constitués la plupart du temps de plusieurs matériaux appartenant à des classes différentes. La qualité des assemblages (donc des surfaces) et la nécessité de séparer les matériaux pour en permettre le recyclage constituent des verrous loin d'être tous levés. Cela nécessite d'intégrer dès la phase de conception, la recyclabilité, la réponse à des normes de plus en plus contraignantes et l'impact écologique du procédé d'élaboration.

L'objectif général consiste à établir des relations entre la microstructure du matériau résultant de son élaboration et des traitements complémentaires (recuits, de surface, etc.), et son comportement macroscopique en conjuguant des approches expérimentales, des modélisations physiques et mécaniques et des simulations numériques. Les travaux actuels s'appuient sur une classification des problématiques distinguant plusieurs échelles :

- Microstructures au sens physique du terme (organisation et évolution des phases, des grains, des défauts, ...), qu'il s'agisse de métaux, de céramiques ou de matériaux organiques
- Architecture (organisation spatiale de la matière et des différents constituants, de l'échelle nanoscopique à l'échelle macroscopique).

Les structurations scientifiques organisées au plan régional dans le domaine des matériaux via le cluster MACODEV et la fédération FEDERAMS, ont permis aux laboratoires de progresser grâce au couplage des démarches et des outils. On peut citer par exemple :

- La caractérisation couplée mécanique et électrique sur matériaux enchevêtrés métalliques, dans le but d'obtenir des matériaux faciles à mettre en œuvre à propriétés hyper-élastiques (fabrication de joints légers, etc.) ;
- Le couplage entre analyse d'image et modélisation (avec par exemple les images 3D obtenues par tomographie aux rayons X prises comme point de départ des calculs de structures par éléments finis (pour optimiser les propriétés mécaniques et thermiques, etc.) ;
- Le développement de matériaux multifonctionnels (assurant plusieurs fonctions, dans le but d'optimiser quantité de matière et énergie) ;
- Le couplage entre modélisation par Monte Carlo cinétique et expériences de diffusion centrale, pour mieux prédire les propriétés des matériaux ...

L'utilisation de ces approches couplées s'est traduite par des avancées significatives sur des domaines comme :

- La mise en forme et la déformation à chaud d'alliages légers à grains fins (automobiles, transport ferroviaire, aérien), de matériaux amorphes métalliques, de multimatériaux, la production de matériaux ultra-purs pour l'optique et les transmissions haut débit, etc.
- L'optimisation de matériaux architecturés, depuis les échelles millimétriques pour des matériaux d'isolation thermique dans le bâtiment jusqu'aux échelles nanométriques pour les matériaux de l'industrie de la micro-électronique, etc.
- L'optimisation des surfaces, qu'il s'agisse d'obtenir de très faibles frottements (moteurs à très faible consommation), ou au contraire de très forts frottements (freinage efficace et sûr), qu'il s'agisse d'empêcher l'adhésion cellulaire (peinture "anti-fouling" inoffensive pour l'environnement permettant de réduire la consommation de carburant des navires) ou au contraire de la promouvoir (substituts pour greffes osseuses).

Dans ce contexte, deux verrous scientifiques peuvent être identifiés :

- Les conditions extrêmes : il s'agit de comprendre les transformations de la matière et la réponse des matériaux associées à des gradients mécaniques et thermiques élevés produits sur des temps extrêmement courts (cas typique du freinage, des machines thermiques à haut rendement pour la minimisation de la consommation des ressources fossiles) ;
- Les couplages multi-physiques qu'il faut être capable de maîtriser et de modéliser dans des systèmes complexes tels que les implants, la biodégradation de matériaux hétérogènes (bio-polymères...) ou pour développer des structures intelligentes et durables...
- Les interactions spatio-temporelles insuffisamment prises en compte dans les problématiques d'endommagement et fortement impliquées dans la dynamique des structures et des matériaux, leur

réponse à haute et moyenne fréquence mais également fondamentales dans les systèmes de détection et de localisation de dégradations.

La démarche envisagée permettra de proposer des concepts de matériaux (multi-matériaux, matériaux architecturés, matériaux bio-inspirés) et d'associer des procédés d'élaboration innovants pour leur donner des fonctionnalités multiples. Il s'agit à terme de mieux maîtriser l'ensemble du cycle de vie des matériaux, et notamment l'évaluation de leur "emprunte carbone". Il s'agit aussi d'être capable de concevoir en amont, sur la base d'approches multiphysiques, des objets ou structures durables répondant à des cahiers des charges complexes, et les procédés pour les mettre en œuvre. Ces objets ou structures devront être mieux à même de tendre vers une bonne adéquation entre technologie et environnement.

## **Axe 8 - Ecotechnologies pour la gestion des effluents et des déchets**

Les ecotechnologies sont un domaine d'excellence de la Région R.A. grâce à la fois :

- au dynamisme de ses éco-entreprises et sociétés d'ingénierie (réseau APPEL par ex.),
- à la richesse et renommée de ses structures de formation et de recherche en génie de l'environnement (Universités, Ecoles, EPST tels que le Irstea (ex Cemagref), l'INRETS, le CNRS, etc.)
- à l'efficacité de ses structures de mutualisation et transfert (par exemple le pôle de compétitivité Axelera, le GIS Envirhonalp, la plateforme technologique Provademse),
- enfin à l'engagement des politiques publiques (de nombreuses villes de la Région sont résolument inscrites dans une démarche de développement durable).

L'axe 8 contribuera à fédérer les équipes régionales sur des recherches innovantes de développement des ecotechnologies, en privilégiant les synergies entre domaines de compétence complémentaires (génie des procédés, biotechnologies, génie chimique, hydrologie, génie civil, génie écologique, etc.). Les applications envisagées sont dans le traitement des rejets, la dépollution et réhabilitation des milieux, la valorisation matière et/ou énergie de ressources alternatives et matières premières secondaires, la gestion optimisée des ressources et des espaces anthropisés. Le développement d'approches systémiques et de méthodologies et outils d'évaluation environnementale sera également privilégié. L'axe 8 se décline en 4 axes de recherche :

*1- Procédés de traitement des effluents industriels et des eaux usées urbaines* : Le développement de filières de traitement combinant différentes techniques est indispensable pour satisfaire les exigences de limitations des rejets polluants. En outre, les ecotechnologies elles-mêmes doivent minimiser leur empreinte environnementale sur l'ensemble des étapes de traitement (approche intégrée et évaluation de cycle de vie). Dans cet objectif d'optimisation, le contrôle des procédés (capteurs, régulations, etc.) et l'efficacité énergétique des technologies seront privilégiés.

*2- Gestion des eaux pluviales en ville* : Les rejets urbains de temps de pluie sont une source majeure d'émission de polluants vers les eaux de surface ou souterraine en ville. En outre, les prélèvements en eau engendrent des risques d'épuisement de la ressource. L'objectif sera donc de développer, sur la base de critères technologiques et scientifiques solides, des systèmes et technologies de gestion durable des eaux pluviales et de ruissellement qui minimisent les émissions de polluants et évitent l'épuisement des ressources en eau.

*3- Approche intégrée des procédés de traitement des déchets, sédiments et sols pollués* : L'objectif est de développer des ecotechnologies innovantes combinant des technologies de natures multiples. Le développement de pratiques durables exige à la fois de développer des procédés de traitement performants et « efficaces », mais également d'aborder les filières de traitement dans leur globalité par une approche intégrée.

*4- Valorisation matière et énergie des déchets / Evaluation environnementale* : Les principales conditions au développement de ces pratiques résident dans la maîtrise des risques environnementaux et sanitaires et dans la mise en place d'une approche territoriale pour optimiser la gestion des flux de matière. Il est donc nécessaire de développer des recherches visant à caractériser les matériaux considérés (caractéristiques physiques, composition chimique, réactivité chimique et biologique), à

identifier et hiérarchiser les processus de mobilisation des polluants en fonction des facteurs d'influence des scénarios de valorisation, et à modéliser le comportement du matériau en scénario pour évaluer les risques environnementaux associés. Parallèlement, des recherches d'ordre systémique et socio-économiques sont nécessaires pour définir des conditions de mise en œuvre durable (notamment sur des approches d'écologie territoriale).

## 2 Organisation et animation de l'ARC

