

Conclusions de l'Atelier « Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles »

17-19 mai 2010, Martinique – 20-22 mai 2010, Guadeloupe



Ce document, rédigé par Florence CLOSTRE et Magalie LESUEUR-JANNOYER du Cirad et Yves-Marie CABIDOCHÉ de l'INRA, a été validé en collaboration avec les membres du comité scientifique de l'Atelier : Damien DEVAULT (CEMAGREF), Sarra GASPARD (UAG), Christophe MOUVET (BRGM) et Thierry WOIGNIER (IRD).

Remerciements

Nous tenons à remercier le Conseil Régional de la Martinique pour l'appui financier qu'il a apporté à cette manifestation scientifique unique. L'implication des représentants et collaborateurs de cette institution locale dans le suivi du dossier révèle l'importance qu'un tel projet et ses retombées revêtent à leurs yeux. Nous nous félicitons de la qualité des échanges qui nous avons pu avoir avec monsieur Fred Lordinot et madame Anne Cirencien.

Par leur présence aux séances d'ouverture et de conclusion de cet Atelier, messieurs les Préfets de Martinique et de Guadeloupe ont rappelé le soutien de l'état à cet événement s'inscrivant dans le Plan National d'Actions Chlordécone 2008-2011. Par ailleurs, nous souhaitons remercier tout particulièrement monsieur Eric Godard, chargé de mission interrégional et interministériel sur la chlordécone, pour son engagement à nos côtés durant la préparation et le déroulement de cette manifestation.

Bien entendu, rien n'aurait été possible sans la présence de la trentaine d'experts de notoriété internationale qui ont répondu à notre invitation. L'appréhension du contexte local les a sensibilisés à la problématique de pollution des sols par la chlordécone aux Antilles. La motivation des scientifiques présents, l'ambiance cordiale et constructive entre les participants ont fortement contribué à la qualité des résultats obtenus.

Enfin, nous tenons à saluer la mobilisation du personnel de l'INRA Guadeloupe et du PRAM en Martinique pour l'organisation et le bon déroulement de cet événement.

Résumé

L'Atelier « Remédiation de la pollution par la chlordécone aux Antilles », organisé par le Cirad et l'Inra, a réuni 30 experts internationaux durant 6 jours en Martinique et en Guadeloupe. L'enjeu pour ces scientifiques était d'identifier des pistes de travail, et ultimement d'élaborer des propositions de projets de recherche visant à assurer à la population une eau et une alimentation saines, à protéger l'environnement et à s'inscrire dans la démarche de développement durable initiée aux Antilles françaises.

En s'appuyant sur l'expertise de chercheurs locaux et sur leur connaissance de la complexité du contexte rencontré sur les deux îles, les experts ont proposé différents axes de recherche et de gestion, les ont évalués et articulés en un programme de gestion global et intégré.

Il est clairement ressorti des discussions que le développement de techniques de remédiation s'inscrit dans une réflexion plus large que la seule thématique de la dépollution. Le bassin versant a été proposé comme unité tant pour la gestion et le suivi de la pollution que pour la mise en place de projets scientifiques. Cette approche s'appuiera sur la compréhension du fonctionnement de bassins versants représentatifs avec leurs composantes sols, eaux souterraines, eaux superficielles (transfert et diffusion de la molécule) et sur l'évaluation des risques d'exposition des usagers à la molécule et à ses produits de transformation lors d'étude de dépollution en laboratoire afin d'aboutir à la mise en place d'une procédure de gestion harmonisée de ces risques et d'assurer une utilisation pérenne des ressources. Les technologies de remédiation choisies devront être respectueuses de l'environnement ; elles seront combinées entre elles autant que possible et associées aux mesures de gestion afin d'obtenir un traitement optimal de l'ensemble du bassin versant.

Durant cet Atelier, les experts ont identifié des techniques de remédiation (eau, sols et sédiments) qui pourraient être applicables dans le contexte local pour réduire la pollution de l'eau et des denrées alimentaires. Ces propositions, dont les échelles de mise en œuvre sont différentes, du court au long terme, devront être testées en laboratoire puis en site pilote. La faisabilité financière et l'acceptabilité sociale des options de traitement seront évaluées et discutées avec les acteurs locaux. D'autre part, l'état de l'art réalisé par les chercheurs leur a permis d'identifier les lacunes dans les connaissances actuelles (fonctionnement de l'hydrosystème, mesure et suivi des polluants, dynamique et statut des molécules) qui nécessitent la mise en place d'actions de recherche parallèlement aux essais de remédiation en laboratoire et préalablement aux essais pilotes sur de grandes superficies in situ. Les conclusions des experts internationaux de la remédiation devraient maintenant permettre la révision du plan d'action chlordécone ainsi que l'élaboration de projets de recherche mobilisant aussi bien les laboratoires de recherche représentés à cet atelier que l'ensemble des acteurs locaux.

Une telle démarche harmonisée, une fois mise en œuvre aux Antilles et sur les sites pilotes choisis, devrait pouvoir servir de modèle à la gestion d'autres pollutions diffuses de grande envergure, en émergence tant en Europe qu'à l'international, sous réserve qu'elle soit admise dans les contextes réglementaires en vigueur.



Aux Antilles, la pollution par la chlordécone est diffuse et hétérogène sur les parcelles du fait des pratiques d'application (application en cercle au pied du bananier) et du travail du sol. De plus, les conditions tropicales humides sont très différentes de celles dans lesquelles ont été menés les rares travaux publiés sur le devenir environnemental de la molécule aux Etats-Unis en Virginie, suite à l'accident survenu dans l'usine d'Hopewell. D'autre part, la molécule de chlordécone possède des propriétés spécifiques qui ne permettent pas l'application directe de méthodes de dépollution classiques et éprouvées. Sa biodégradation est très faible, son affinité pour les matières organiques est forte, et la molécule est stable à la lumière et jusqu'à des températures élevées limitant les possibilités de biodégradation en conditions naturelles ainsi que la mise en œuvre de traitements physiques.

Dans ce contexte de pollution diffuse et chronique, sans solution simple disponible, il semblait important de pouvoir dresser un état des lieux des possibilités de dépollution avec des spécialistes internationaux avant d'engager des travaux de recherche sur le moyen et long terme. Au vu de ce constat, une action sur la dépollution des sols a été inscrite au Plan National d'Action chlordécone (Action 7).

C'est avec le soutien des Conseils Régionaux de la Martinique et de la Guadeloupe que le Cirad¹ et l'INRA² ont organisé l'Atelier « Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles » en partenariat avec le BRGM³, le Cemagref⁴, l'IRD⁵ et l'UAG⁶. Celui-ci s'est tenu du 17 au 19 mai 2010 en Martinique et du 20 au 22 mai 2010 en Guadeloupe. Une trentaine d'experts chercheurs et industriels⁷ de différents pays (Mexique, Etats-Unis, Canada, République Tchèque, Pays-Bas, Finlande, Espagne, France hexagonale et Antilles françaises) étaient réunis à cette occasion pour participer à des séances de brainstormings ciblées sur différentes thématiques (eau et déchets de traitement de potabilisation des eaux, sols et sédiments). Leur réflexion s'est appuyée sur les éléments que chacun d'eux avait compilés au préalable⁸. Ils ont également pu appréhender plus concrètement le contexte local lors des visites organisées en Martinique et en Guadeloupe (baie de Fort-de-France et bassins versants à Capesterre et Sainte-Rose)⁹.

Cet Atelier a été conçu comme un lieu d'échanges, de réflexion et de construction scientifique entre des équipes de recherche reconnues dans le domaine du devenir des molécules organochlorées dans l'environnement et des mécanismes de dégradation, de capture ou d'élimination de ces substances dans les sols et autres matériaux solides (charbons

¹ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

² Institut National de la Recherche Agronomique

³ Bureau de recherches géologiques et minières

⁴ Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement

⁵ Institut de recherche pour le développement

⁶ Université des Antilles et de la Guyane

⁷ Cf. Curriculum Vitae des experts en annexe 4

⁸ Cf. Contributions des experts en annexe 5 et présentation des experts en annexe 4

⁹ Cf. Programme général de l'Atelier en annexe 3

actifs, boues issues des traitements de potabilisation des eaux, sédiments). L'objectif affiché était de dresser un état de l'art des possibilités de remédiation de la chlordécone et d'élaborer des thèmes de recherche sur la dépollution des sols et matériaux contaminés aux Antilles.

Dès les premières discussions, les experts rassemblés ont ciblés les enjeux prioritaires auxquels le programme de recherche devra répondre :

- Procurer à la population une eau et des denrées alimentaires saines ;
- Protéger l'environnement (eau, écosystèmes, sols et services écosystémiques) ;
- Assurer un développement durable aux Antilles françaises tant écologique, que social et économique.

Atteindre ces objectifs passe par un traitement des sources primaires et secondaires de chlordécone afin de réduire l'impact sur la santé et l'environnement. Compte tenu de la complexité des situations rencontrées, ceci ne pourra être obtenu que par la mise en place d'un plan de gestion combinant des actions sur les court, moyen et long termes en fonction des solutions utilisables dans le contexte local.

1) UNE REFLEXION GLOBALE

1.1) Cadre de la réflexion

La complexité de la situation locale (pollution diffuse sur d'importantes surfaces, relief, climat tropical, contraintes liées à l'insularité...) nécessite la **mise en place de solutions de gestion multiples qu'il faudra combiner** entre elles afin d'obtenir une efficacité optimale. Chaque option proposée devra être évaluée et sa mise en œuvre fera l'objet d'un suivi précis.

La gestion de la problématique chlordercone aux Antilles devra s'appuyer sur des connaissances scientifiques précises et adaptées aux contraintes locales. Une typologie **des aires contaminées** par la chlordercone est requise afin d'analyser la diversité des situations et d'effectuer une priorisation de traitement et/ou de gestion des sources de pollution primaires et secondaires. Par ailleurs, il est nécessaire d'améliorer les solutions de traitement disponibles à ce jour pour atteindre des objectifs durables.

Un certain nombre de considérations devront être prises en compte afin de répondre efficacement aux situations rencontrées localement. Il faut :

- Gérer les sols, sédiments et systèmes hydrographiques comme un tout pour améliorer l'efficacité des mesures d'atténuation ;
- Avoir une approche intégrée à l'échelle du bassin versant ou du captage de l'eau des rivières, par exemple en envisageant de déplacer les captages en amont de la pollution (cette deuxième approche se heurte à des difficultés de mise en œuvre à l'exception de certains sites sur lesquels de tels aménagements ont d'ores et déjà été réalisés) ;
- Prendre en compte les enjeux liés au volet sanitaire ainsi que ceux liés aux ressources environnementales, leur nature différant, les réponses à apporter ne sont pas soumises aux mêmes contraintes d'échelle de mise en œuvre, de degré de traitement et de coût ;
- Prendre en considération non seulement la chlordercone mais aussi ses produits dérivés (impuretés éventuelles dans le produit appliqué, métabolites formés naturellement et/ou par des procédés de traitement) soit un ensemble de composés identifiés dans la suite de ce document sous l'appellation « chlordercone+ » ;
- Associer des solutions techniques et des modes de gestion innovants ;
- Intégrer les solutions de gestion dans un plan permettant de maintenir une activité économique durable tout en améliorant la situation sanitaire et environnementale.

Les actions de recherche et de gestion devront tenir compte du cadre réglementaire existant aux niveaux national et européen mais aussi des actions de gestion des risques sanitaires déjà mises en place dans le cadre du plan d'action chlordercone (2008-2011). En particulier, la définition des objectifs de remédiation devra s'appuyer sur les principes de la politique nationale de gestion des sols pollués.

Enfin, afin de ne pas se limiter à la gestion et la remédiation de la problématique actuelle, il est nécessaire de s'inscrire dans une **démarche durable** en prenant en compte les polluants émergents et en cherchant à prévenir de nouveaux problèmes notamment au travers de la promotion d'une agriculture durable visant à préserver les ressources.

1.2) Un objectif clairement formulé pour une **approche harmonisée**

Les experts ont formalisé cet objectif :

« Appliquer les principes fondamentaux dans un plan de gestion comprenant des solutions à court, moyen et long terme, en tenant compte de la complexité des situations de pollution liées à la chlordécone+ ».

Afin d'atteindre cet objectif, les programmes de recherche et de gestion, qui seront pensés à l'échelle du bassin versant représentatif avec ses composantes sols, eaux souterraines, eaux superficielles, seront mis en place et pilotés dans le cadre d'une approche harmonisée :

- d'évaluation des risques et d'innovation scientifique et technologique ;
- de démonstration et de validation ;
- de modélisation et de validation à grande échelle ;
- d'étude socio-économique et de développement intégré du programme de gestion.

Dans le cadre de l'approche multiple (multi-disciplines et pluri-acteurs) qui sera promue et facilitée, ce programme tiendra compte des objectifs de chacune des parties prenantes ainsi que de leurs contraintes sociales, économiques et scientifiques. D'étroites relations de concertation et de collaborations devront donc être mises en place entre les chercheurs, les acteurs locaux et les institutionnels tant locaux que nationaux.

1.3) Les grands axes d'actions

Le programme d'actions élaboré par les experts s'articule en quatre grands axes suivant une progression chronologique, certaines activités pouvant être conduites en parallèle.

En premier lieu, il est important de **comprendre le fonctionnement d'un bassin versant** type en définissant un modèle conceptuel grâce à la collecte des données existantes et l'identification ainsi que la mise en œuvre des instruments à utiliser pour combler les lacunes. L'établissement d'une typographie des différentes situations (cartographie) et la conception des systèmes de mesure et de surveillance seront donc à réaliser.

Afin de mettre en place ces expérimentations de terrain, il est nécessaire d'effectuer **le choix des sites pilotes**. Un ou deux bassins versants représentatifs des divers enjeux et des conditions environnementales de la Guadeloupe et de la Martinique seront sélectionnés.

L'ensemble des **lacunes constatées** dans les connaissances actuelles et devant être comblées en pré-requis à tout projet de remédiation sur site est synthétisée dans le tableau 1. Elles concernent trois grands domaines scientifiques : les hydrosystèmes, les polluants et la dynamique et la place de la chlordécone et des autres molécules dans l'hydrosystème.

Connaissance des hydrosystèmes	Eaux de surface / eaux souterraines : pour lesquelles l'expertise de spécialistes en hydrologie est nécessaire
	<p>Fonctionnement différencié entre saisons sèches et humides :</p> <ul style="list-style-type: none"> évaluation du mécanisme d'échange entre les eaux souterraines et les eaux de surface formation et transport de sédiments, sédimentation <p>Point d'attention particulier à porter aux zones de recharge et de décharge avec identification de « zones tampons » et compréhension de leur rôle</p>
Polluants (molécule et intermédiaires)	Techniques analytiques (développement de l'échantillonnage passif, tant pour l'analyse que pour l'investigation dans les milieux)
	Tests écotoxicologiques
	(Bio) capteurs
	Statut chimique de la chlordécone et des produits intermédiaires dans les diverses matrices (sols, plantes, eaux, sédiments) ; disponibilité – équilibres - écotoxicologie
Dynamiques et place de la chlordécone et des autres molécules dans l'hydrosystème	Améliorer la connaissance du mécanisme de transfert de la chlordécone dans les sols, les sédiments et les eaux (origine, niveau, extension, flux) en s'appuyant sur la création d'une base de données pour le partage des données
	Evaluer le bilan de masse pour l'appréciation du transport
	Réaction des organismes (bioaccumulation, toxicité, génotoxicité)
	<p>Facteurs et mécanismes de transformation :</p> <ul style="list-style-type: none"> Structure et système de porosité des sols Matières organiques naturelles, interactions organo-minérales Hydrogéochimie (notamment conditions redox y compris dans le cadre de procédés industriels de remédiation) Biotransformation (mécanismes, communautés microbiologiques, métabolites) Influence des plantes

Tableau 1 : Lacunes à combler dans les connaissances scientifiques

Dans un second temps, une **évaluation des risques** générés par la pollution de la chlordécone+ pour les usagers des différents territoires et ressources devra être menée en s'appuyant sur les valeurs toxicologiques de référence et les réglementations en vigueur. En effet, à l'heure actuelle, les risques sanitaires sont gérés dans le cadre du plan d'action chlordécone mis en place par l'Etat. Néanmoins, jusqu'à présent, aucune étude ne s'est intéressée aux risques et dangers liés à l'exposition de la population aux métabolites, intermédiaires et produits dérivés de la chlordécone. Une étude de la **toxicité** de la chlordécone par l'évaluation des populations et des écosystèmes exposés, l'établissement de valeurs de référence pour la toxicité et l'identification de **nouveaux contaminants** dans les différents milieux (mixed input) serait pertinente. De même, les connaissances concernant

l'exposition par voies autres qu'alimentaires (air, aérosols...) sont très fragmentaires, ces **voies d'exposition actives** pour l'homme devront être identifiées.

Ces recherches permettront la mise à jour et la validation de la cartographie du risque pour la population à l'échelle du bassin versant.

Pour illustration, la figure 1 représente les principaux transferts de chlordécone à l'échelle d'un bassin versant ainsi que les voies de contaminations de la population par l'alimentation.

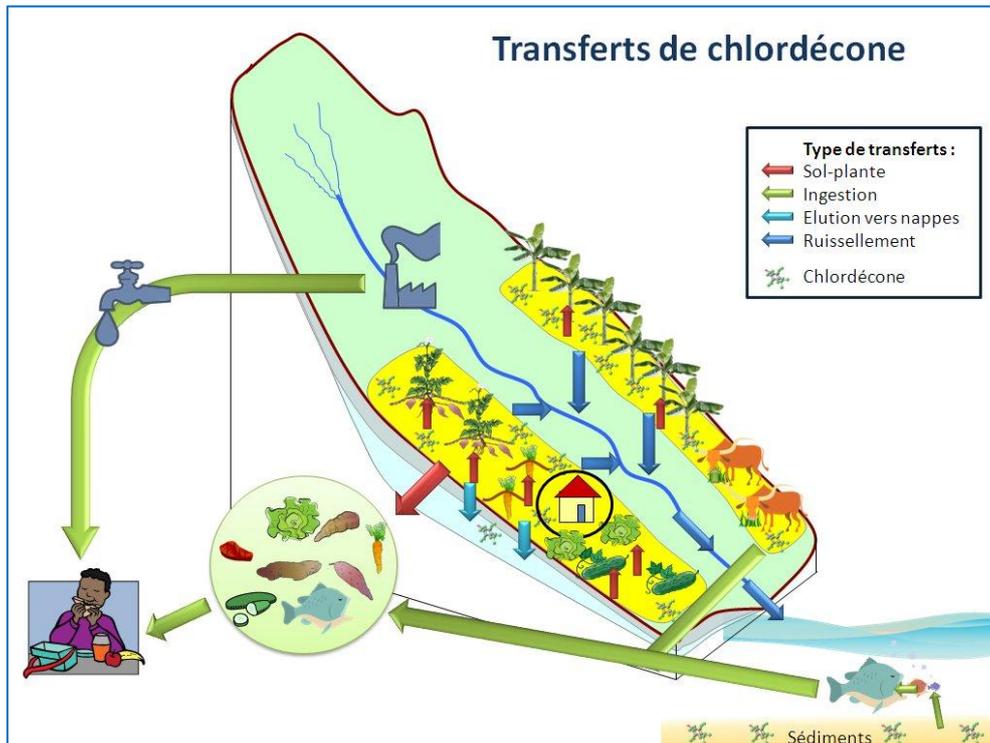


Figure 1 : Schéma conceptuel des transferts de chlordécone, des cibles et des risques pour la santé humaine et l'environnement

A partir des résultats obtenus dans le cadre de ces premiers projets de recherche, il sera possible d'élaborer et mettre en place une **procédure de gestion du risque adaptée** tout en assurant une **utilisation pérenne des ressources**. C'est dans le cadre de l'approche harmonisée entre les volets de recherche et de gestion que cette procédure visant à réduire et contrôler les risques sera élaborée.

La définition des objectifs d'assainissement à atteindre pour chacune des cibles et l'identification des **contraintes socio-économiques et réglementaires** à prendre en compte s'effectueront lors de l'élaboration du programme de surveillance et du schéma de gestion.

Ce travail permettra d'évaluer l'actuelle approche nationale de prise en charge de la question chlordécone et, notamment, d'identifier les éventuelles limites et les contraintes du cadre réglementaire (national et européen) existant. Le cas échéant, des propositions d'aménagements pourraient être formulées pour des situations spécifiques (par exemple, prévoir la possibilité de coupler une approche agricole à celle de la gestion de site pollué et l'encadrer d'un point de vue législatif). L'étude de la gestion des pollutions et de la législation

afférente dans d'autres pays pourrait permettre des échanges féconds et enrichir la réflexion menée pour la pollution par la chlordécone aux Antilles françaises.

Parallèlement aux travaux menés sur la compréhension du fonctionnement des bassins versants, des travaux de laboratoire seront conduits afin de tester les différentes voies de traitements des milieux et matériaux contaminés.

L'objectif des travaux de recherche sur la remédiation à la pollution par la chlordécone sera de proposer **les meilleures combinaisons de technologies respectueuses de l'environnement** (déjà existantes et futures) **pour un assainissement optimal** (efficacité et rapidité) de l'ensemble du bassin versant.

Des études de faisabilité technologique en laboratoire seront menées sur les techniques et approches proposées. Outre l'efficacité, les aspects environnementaux, économiques et sociaux seront évalués au travers d'une analyse du coût, de l'impact environnemental global (analyse du cycle de vie), du rapport coût/bénéfice et de l'acceptabilité locale. Tous ces critères permettront de sélectionner les options les plus prometteuses. Celles-ci seront testées à différentes échelles in situ sur les bassins versants pilotes afin de valider les résultats obtenus en laboratoire ou par modélisation et ainsi permettre le changement d'échelle. Enfin, les conclusions des travaux concernant la gestion du risque serviront de base aux scientifiques pour évaluer les **options de remédiation** dans le cadre de la gestion harmonisée entre recherche, acteurs locaux et institutionnels.

En couplant les objectifs à atteindre, les contraintes identifiées (coût, niveau d'assainissement, volumes à traiter, délais de mise en place et de traitement...) et les résultats obtenus lors des expérimentations, le plan de gestion pourra être finalisé.

2) LA SÉLECTION DES BASSINS VERSANTS ATELIERS

L'enjeu de la sélection des bassins versants ateliers est d'aboutir à une identification des sites pertinents pour la mise en place des expérimentations. La démarche choisie par les experts est une sélection par analyse multicritère.

Une analyse multicritère permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères chacun pondéré d'un coefficient (poids relatif). Les critères sur lesquels se base l'analyse sont identifiés puis un coefficient leur est affecté en fonction de leur importance relative. Pour évaluer la pertinence d'une solution, il suffit ensuite de noter chaque critère et de pondérer le score par le coefficient attribué à chaque critère. La somme des scores obtenus par une solution pour chaque critère correspond à sa notation globale.

Les bassins versants pilotes devront être sélectionnés afin de permettre l'évaluation des mécanismes, la capitalisation des résultats des traitements testés et la prise en compte des différentes situations existant sur les deux îles (topographie, sols, hydromorphologie...). Une fois suffisamment de données de qualité acquises, une modélisation pourra être réalisée prenant en compte les changements d'échelle. La représentativité des sites choisis et des données permettra le transfert des conclusions à d'autres systèmes analogues.

Les experts réunis durant l'atelier ont déjà pu identifier différents critères et les classer par degré de priorité et par type. Les critères principaux concernent l'impact des contaminations et les conditions environnementales. L'ensemble des critères retenus dans le cadre de cette approche préliminaire est récapitulé dans le tableau 2.

CRITERES PRINCIPAUX	
Impact des contaminations	Exposition humaine
	Impact potentiel sur les nappes
Conditions environnementales	Présence de contaminations historiques
	Diversité des sols (ie andosols, ferralsols, nitisols, sols alluviaux)
	Diversité des eaux de surface (ie flux, sédiments)
	Diversité des relations avec le milieu marin (baie, mangrove, coraux)
	Diversité de l'utilisation des sols (ie agriculture, habitat, industrie)
CRITERES SECONDAIRES	
	Informations déjà disponibles
	Coût d'équipements des sites ateliers
	Existence d'un contrat de baie ¹⁰ , de rivière ¹¹ ou une gestion intégrée des zones côtières (GIZC) ¹²
	Proximité des laboratoires
	<i>Représentativité des situations : taille, enjeux sur le bassin versant (économiques, sociaux...)</i>

Tableau 2 : Critères retenus pour la sélection des sites pilotes

La notation des critères a également été discutée. Celle-ci repose sur des classes définies et notées, comme présenté dans le tableau 3 concernant les critères principaux.

CRITERES	CLASSES ET NOTES CORRESPONDANTES
Exposition humaine (estimation)	bas=1, moyen=2, élevé=3
Impact potentiel sur les nappes	bas=1, moyen=2, élevé=3
Contamination historique	80%=1 ; 50%=2 ; 10-20%=3
Sols	1 type de sol=1 ; 2TS=2 ; 3TS=3 ; 4TS=4
Eaux de surface	torrentiel=1 ; torrentielle+lotique=2 ; torrentielle+lotique+lentique=3
Relations avec le milieu marin	talus continental=1 ; mangrove=2 ; mangrove+récifs=3 ; mangrove+récifs+herbiers=4
Usage des sols	agriculture=1 ; agriculture+urbanisation=2 ; agriculture+urbanisation+industrie=3

Tableau 3 : Notation des critères principaux

¹⁰ Un « Contrat de Baie » est en France un programme territorial et contractualisé, d'actions environnementales concernant l'échelle d'une baie.

¹¹ Un contrat de rivière est un instrument d'intervention à l'échelle de bassin versant fixant des objectifs de qualité des eaux, de valorisation du milieu aquatique et de gestion équilibrée des ressources en eau.

¹² En France, la Commission Environnement Littoral (2002) a défini la GIZC comme un « *Processus dynamique, continu et itératif destiné à promouvoir le développement durable des zones côtières* ».

Pour les critères secondaires, le même principe a été appliqué.

Les éléments présentés précédemment constituent la structure préliminaire d'un outil de sélection dont les critères et leur hiérarchisation, donc leur pondération, devront être discutés avec les acteurs du territoire.

Pour illustration, les scientifiques ont appliqué cette ébauche de test multicritère aux principaux bassins versants de Guadeloupe et de Martinique sur la base des informations disponibles à l'occasion du séminaire. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Bassin versant	G Riv à Goyave (G)	Pérou (G)	Gde Anse (G)	La Rose (G)	Galion (M)	Robert (M)	Lézarde (M)	Capot (M)
Critères principaux	18	12	11	11	19	15	18	9
Critères secondaires	9	9	7	8	10	8	9	6

Tableau 4 : Résultats du test multicritère pour la sélection des bassins versants pilotes appliqué aux principaux bassins versants de Guadeloupe et de Martinique

Même sans appliquer de coefficients de pondération aux différents critères, cet outil apparaît discriminant et permet donc de différencier les différents bassins versants lors de ce premier test. Sachant que le score maximum pouvant être attribué à un bassin versant est de 23 en ce qui concerne les critères principaux, on constate que certains sites sont très bien notés, ce qui permet de penser qu'il sera possible d'identifier des bassins versants représentatifs permettant d'assurer une certaine genericité aux résultats.

Cependant, dans un but de concertation locale, le choix des paramètres de hiérarchisation doit être discuté avec toutes les parties prenantes locales (sociales, politiques, administratives, scientifiques). De même, une pondération du poids de certains paramètres doit être envisagée pour tenir compte de certaines spécificités locales en Guadeloupe et Martinique. La mise en œuvre de la grille de hiérarchisation devra s'appuyer sur l'ensemble des données disponibles.

3) LA REMEDIATION

Chaque option de réhabilitation et de gestion retenue devra être testée en laboratoire (micro- et mésocosmes) et à un niveau pilote (par exemple : parcelle agricole, jardin familial) en fonction des objectifs de remédiation définis lors de l'évaluation des risques pour les différentes cibles (sanitaires, ressources en eau, écosystèmes). Les études en laboratoire seront menées parallèlement aux études sur la compréhension du fonctionnement du bassin versant.

En effet, différents objectifs peuvent être définis selon que l'on cible un enjeu sanitaire ou environnemental. Pour l'eau, par exemple, l'enjeu sanitaire est d'obtenir la potabilité, ce qui nécessite le traitement de petits volumes en atteignant immédiatement une pureté élevée de l'eau (cf. normes sanitaires) sachant qu'un coût élevé peut être acceptable au moins sur le court terme. Sur le long terme, l'opportunité de ce type de traitement est à réévaluer.

Pour ce qui est du traitement des ressources en eau (eau brute), une pureté moindre pourrait être acceptable mais de grands volumes devront être traités probablement à moindre coût puisqu'une telle démarche s'inscrit à l'échelle du bassin versant. Ces éléments serviront par la suite à l'évaluation des méthodes d'assainissement du point de vue de leur efficacité technologique et économique mais aussi de leur impact sur l'environnement et de leur acceptabilité.

3.1) Traitement de l'eau

Tant en Martinique qu'en Guadeloupe, la problématique du traitement de l'eau potable a trouvé une première réponse avec la mise en œuvre de systèmes de traitement de l'eau basés sur l'utilisation du charbon actif. Ce procédé est relativement facile à mettre en œuvre comparé à d'autres méthodes plus élaborées.

Néanmoins, il apparaît nécessaire d'**examiner l'efficacité de chaque étape du traitement de l'eau (élimination de la chlordécone)** afin d'optimiser le processus en termes d'efficacité, mais aussi de coût et d'impact environnemental et de **résoudre le problème de la gestion des boues contaminées** générées.

Le traitement de l'eau potable est constitué de différentes étapes : la coagulation, la filtration puis le traitement par charbon actif éventuellement suivi par le recours à l'ultrafiltration comme c'est le cas en Martinique. Toute la question est de savoir à quel niveau du traitement il est possible d'améliorer l'élimination de la chlordécone voire d'envisager sa dégradation. Quel que soit le procédé envisagé, une attention particulière devra être portée à la nature des métabolites (produits de dégradation) de la chlordécone générées, à leur écotoxicité ainsi qu'aux caractéristiques physico-chimiques nécessaires aux charbons actifs afin de les fixer efficacement.

D'autre part, les eaux captées sont chargées de matières organiques que sont les acides humiques. Or il existe une compétition entre la matière organique et la chlordécone pour la sorption sur le charbon, il est donc nécessaire de comprendre l'influence de la matière

organique sur le traitement de l'eau pour savoir comment limiter cette compétition néfaste à l'efficacité du traitement.

Traitements complémentaires aux charbons actifs

L'**oxydation avancée** ne remplace pas l'emploi de charbons actifs dans le traitement de l'eau potable mais elle la complète. L'utilisation de peroxyde d'hydrogène d'ozone pourrait intervenir pour améliorer la performance globale du système de traitement. Cette technique pourrait également être appliquée pour le traitement des eaux de rivière.

L'ozone est un oxydant très puissant qui pourrait également être employé en station d'épuration L'**ozonation** est couramment utilisée dans le traitement de l'eau car l'ozone ne reste pas présent dans l'eau, n'entraîne la formation d'aucun composé nocif et l'eau n'acquiert ni goût ni odeur. Des essais complémentaires doivent être menés afin d'évaluer les résultats pour le traitement de la chlordécone+.

L'**ultrafiltration** est une filtration sur membrane microporeuse qui va opérer une sélection en fonction de la taille des molécules qui la traverse. La chlordécone, molécule de grande taille, est retenue alors que l'eau, de plus petite taille, passe au travers. Cette technique, qui s'applique après traitement au charbon actif, est déjà en œuvre en Martinique.

Alternatives au charbon actif

De nouveaux **absorbants à très faible impact sur l'environnement** pourraient être explorés pour le traitement de l'eau. L'efficacité de ces nouveaux matériaux demande toutefois à être testée et validée pour l'absorption de la chlordécone.

Ces procédés alternatifs ne résoudre pas pour autant complètement la question de la génération de déchets contaminés.

Ozonation

L'ozonation, décrite précédemment, pourrait également être appliquée au traitement des nappes phréatiques. Une attention particulière devra être apportée aux métabolites générés ainsi qu'à l'efficacité, la faisabilité et le coût de ce traitement selon les sites.

Toutes ces propositions de traitement en station d'épuration, en rivière et dans les nappes phréatiques sont synthétisées dans la figure 2.

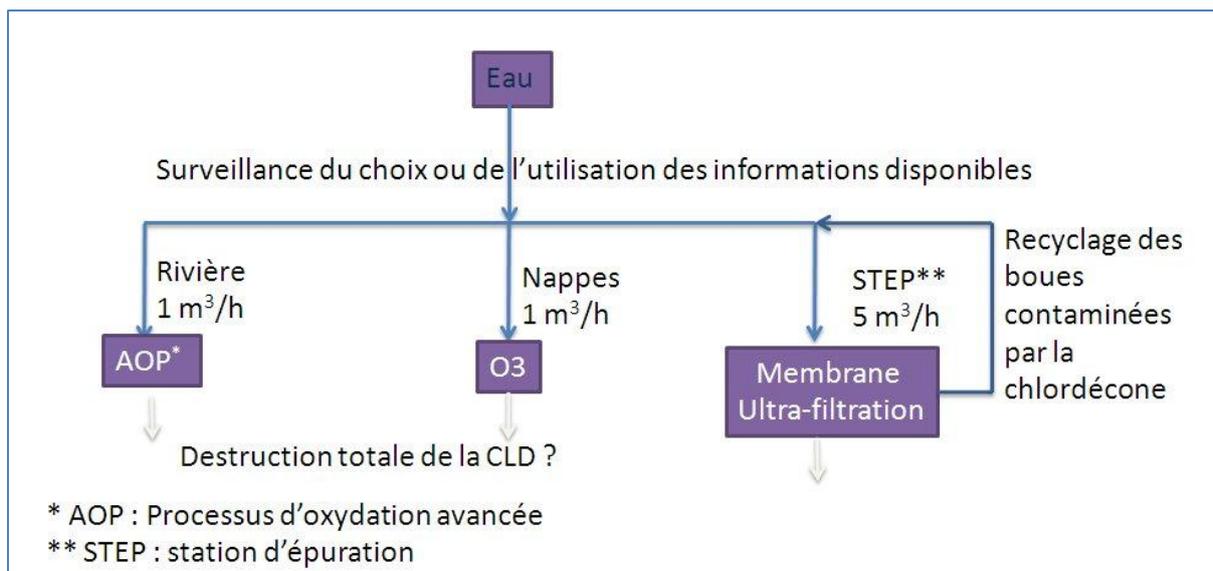


Figure 2 : Schéma des options proposées pour le traitement de l'eau en fonction de leur nature

Traitement des boues

Les boues d'usine de traitement de l'eau potable sont constituées de matières organiques et de charbon actif contaminé. En effet, le charbon actif est un matériau poreux qui fixe la chlordécone à sa surface mais ne la dégrade pas. La principale problématique rencontrée est d'ordre réglementaire ; c'est celle du stockage de ces boues contaminées : peut-on les mettre en décharge ? Quel est le devenir des charbons actifs contaminés par la chlordécone et surtout des molécules de chlordécone initialement fixées sur les charbons actifs ?

Afin de pouvoir évaluer les risques liés au stockage des boues ainsi que l'efficacité des traitements, il est nécessaire de pouvoir connaître leur teneur en chlordécone. Cela soulève la problématique de l'amélioration des techniques d'analyses actuelles pour permettre l'identification et la quantification de la chlordécone dans des eaux très chargées.

Une voie de traitement des charbons actifs contaminés consiste à traiter les boues par **solvants doux** tels que l'éthanol ou l'acétone ou à recourir à la **dégradation microbienne** des molécules fixées sur le charbon actif.

Une autre possibilité serait de recycler les charbons actifs par **régénération thermique** à température élevée (800°C) afin de dégrader la molécule de chlordécone tout en évitant la formation d'HCB. Le charbon actif pourrait alors être réutilisé. Ce dernier type de traitement a toutefois des coûts élevés qui peuvent pénaliser l'aspect économique de la filière.

Par ailleurs, la possibilité d'une production locale de charbon actif serait à étudier, de premiers travaux ayant montré l'efficacité du charbon actif de bagasse de canne à sucre pour le traitement de la chlordécone.

3.2) Pistes de remédiation des pollutions des sols

L'atténuation naturelle regroupe l'ensemble des processus naturels de dispersion, de dilution, d'adsorption et de dégradation physique, chimique et biologique ayant pour effet de réduire la masse, le volume et la concentration de polluants présents dans les sols et les eaux, ainsi que leur biodisponibilité et la toxicité qui en découlent. Au vu de la grande stabilité de la molécule de chlordécone et en l'état des connaissances actuelles, l'atténuation naturelle est considérée comme très lente dans le cas de la pollution à la chlordécone aux Antilles françaises. De plus, elle s'effectuerait principalement par transfert / dispersion de la chlordécone vers les nappes phréatiques, puis les eaux superficielles, et enfin les sédiments et les biotes¹³. C'est pourquoi des solutions de traitement visant à renforcer ou remplacer les phénomènes naturels doivent être explorées notamment afin de réduire, voire complètement éliminer les risques de contamination des différents compartiments environnementaux. Deux principaux modes d'action peuvent être envisagés : fixer la molécule de chlordécone de manière durablement irréversible par **séquestration** ou la **dégrader** en un composé moins toxique et/ou moins mobile donc moins dangereux.

A l'occasion des discussions menées lors de l'Atelier, les experts ont écarté certaines solutions qui ne leur semblaient pas pouvoir répondre aux critères évoquées précédemment, à savoir réduire les sources primaires et secondaires afin d'agir sur les risques sanitaires et environnementaux. Nous pouvons citer l'excavation (et la mise en décharge des terres excavées, avec ou sans traitement) et la phyto-volatilisation parmi ces options non retenues. En effet, l'excavation et le décapage du sol ne sauraient être mis en pratique dans le contexte local en raison des volumes à traiter trop importants, du coût élevé et de l'impact agronomique très négatif avec la perte des horizons fertiles. Quant à la phyto-volatilisation, elle n'est pas applicable à la chlordécone qui n'a pas la propriété d'être transformée en molécules volatiles non toxiques pour la plante.

Les options retenues ont été classées selon une échelle de temps requis pour le démarrage de leur mise en œuvre, du court au long terme. Selon les techniques / solutions, le délai pour atteindre les objectifs de remédiation nécessaires (objectifs non encore établis par une évaluation détaillée, complète, rigoureuse et officielle des risques) sera variable en fonction des options retenues.

Comme indiqué ci-dessous, certaines options sont applicables à court terme, d'autres nécessitent des investissements scientifiques et le développement de projets de recherche spécifiques plus ou moins conséquents. Une technique applicable à court terme signifie qu'elle existe déjà mais nécessite que son applicabilité par rapport aux conditions locales et son efficacité soient testées. Pour ce qui est des options applicables à moyen et long terme, un temps de recherche de plusieurs années est nécessaire avant de pouvoir atteindre les objectifs de réhabilitation fixés, à savoir ce qui est acceptable pour la santé et pour l'écosystème, c'est le cas de la phytoremédiation et de la bioremédiation (figure 3).

¹³ Faune et flore présentent dans un lieu spécifique

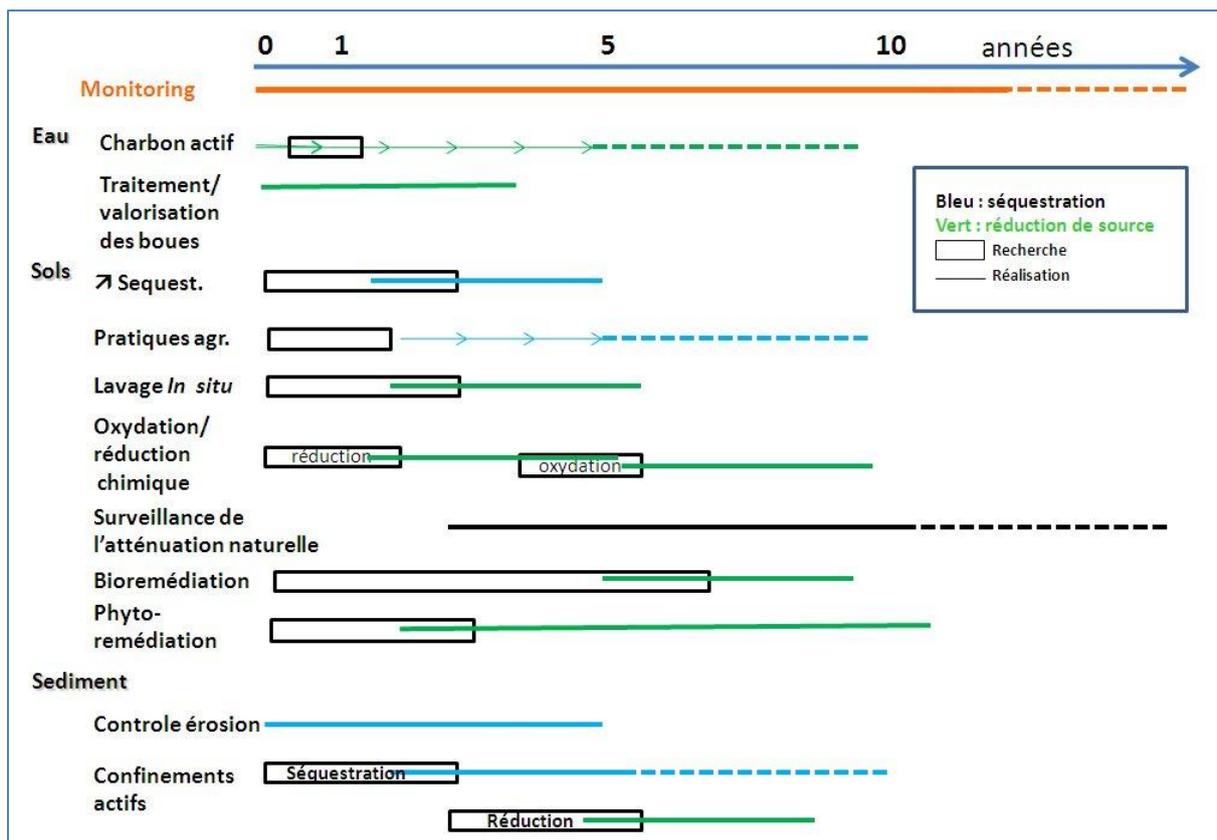


Figure 3 : Cadrage dans le temps des différentes options de remédiation pour les différentes matrices

A court terme, quatre options de remédiation ont été préalablement retenues (sous réserve des validations en laboratoire et site pilote) :

- **Option 1 (mesure de traitement) : accroître la séquestration** qui doit être réversible (cf. focus plus loin) afin d'éviter la migration de la chlordécone vers les eaux souterraines et les plantes en rendant la molécule « indisponible » au moyen de techniques de :
 - Séquestration physique : modification de la porosité du sol, pour confiner la molécule dans la microporosité,
 - Séquestration chimique : adjonction de sorbants, adjuvants chimiques éco-compatibles ;
 - Phytostabilisation : absorption par des plantes grâce au flux de transpiration, et fixation dans des organes à forte affinité (rhizoséquestration) ;
 - Traduction des options en pratiques agricoles (utilisation d'amendements) et mise au point de systèmes de culture combinant les trois voies ;
- **Option 2 (mesure de traitement) : réduire les sources de contamination** par différents types de dégradation de la chlordécone tels que la bioremédiation (dégradation des polluants par les micro-organismes), la dégradation physico-chimique (réduction ou oxydation) ou la combinaison des deux ;
- **Option 3 (mesure de traitement) : lavage du sol *in situ*** (cf. focus plus loin) en lessivant le sol et en collectant les lixiviats avec des drains artificiels avant traitement ;

- **Option 4 (mesure de traitement) : phytoremédiation ou rhizoremédiation** qui consiste en la dégradation et/ou la séquestration de la chlordécone par les plantes au niveau de la rhizosphère ou dans d'autres organes de la plante (tige, feuille) ;
- **Option 5 (association de mesures de traitement et de gestion) : combinaison des options 1, 2 et 3 ;**
- **Option 5+ (association de mesures de traitement et de gestion) :** comme l'option 5 en intégrant en plus l'évolution des systèmes de **production agricole** (ex. choix des cultures, vocation non alimentaire : énergétique...), cette évolution étant déjà envisagée dans le Plan national chlordécone.

Focus option 1 : Accroître la séquestration

En accroissant la séquestration dans le sol, l'objectif est de rendre la molécule moins disponible et de faire en sorte qu'elle soit piégée.

Dans le cas de la rhizoséquestration, c'est le système racinaire d'espèces à forte affinité pour le polluant qui le maintient dans la zone superficielle du profil du sol et limite le passage dans les nappes d'eau souterraine. D'autre part, la concentration des molécules de polluants au niveau des racines, outre l'effet de phyto-stabilisation, permet d'envisager et de découpler par la suite une dégradation de la molécule par transformation au sein des complexes racinaires des plantes (production d'exsudats) et des systèmes microbiens associés (complexe de microorganismes de la rhizosphère).

Dans le cas de l'utilisation de sorbants éco-compatibles, ces derniers se lient à plus ou moins long terme à la molécule, l'empêchant de « circuler », c'est notamment le phénomène induit par l'ajout de matières organiques ou de biochars récupérables (cf. figure 3). Des changements de porosité du sol pourraient contribuer à réduire la disponibilité du polluant

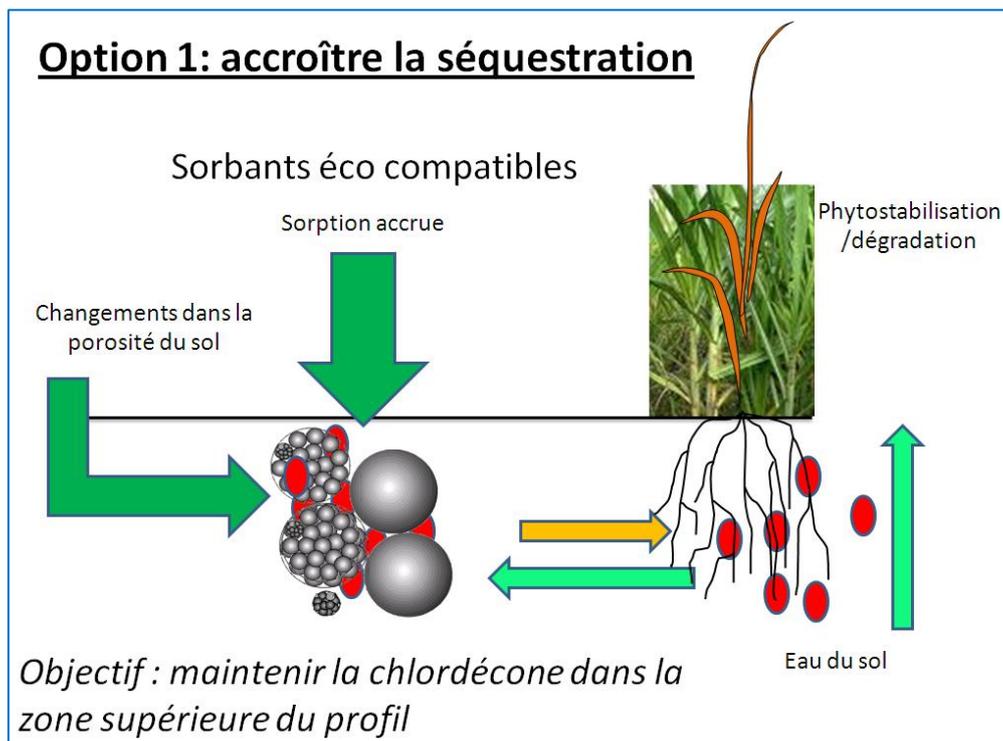


Figure 3 : Principe de l'augmentation de la séquestration

Focus option 2 : réduire les sources de contamination

Différentes techniques physico-chimiques couplées éventuellement à des composantes microbiologiques permettent de réduire les sources de contamination en éliminant tout ou une partie du contaminant, et/ou en le transformant en composés moins dangereux. Dans le cas de la réduction chimique *in situ* (figure 5), l'ajout d'amendements engendre une chute très forte du potentiel rédox au cours de laquelle la déchloration est favorisée. Une phase d'aérobie permet ensuite à diverses autres réactions de se produire, y compris par l'intervention de la microflore endogène.

Ce type d'approches nécessite un suivi détaillé des produits de transformation qui apparaissent ; la minéralisation complète en CO₂, H₂O et sels minéraux est en effet l'objectif ultime mais qui n'est pas toujours atteint. Dans le cas de la chlordécone, les écueils analytiques sont nombreux car la nature très spécifique de la molécule s'accompagne d'un vide complet de connaissances quant à ses possibles produits de transformation. Outre l'aspect analytique, les questions d'écotoxicologie et de toxicologie des produits de transformation doivent également être étudiées.

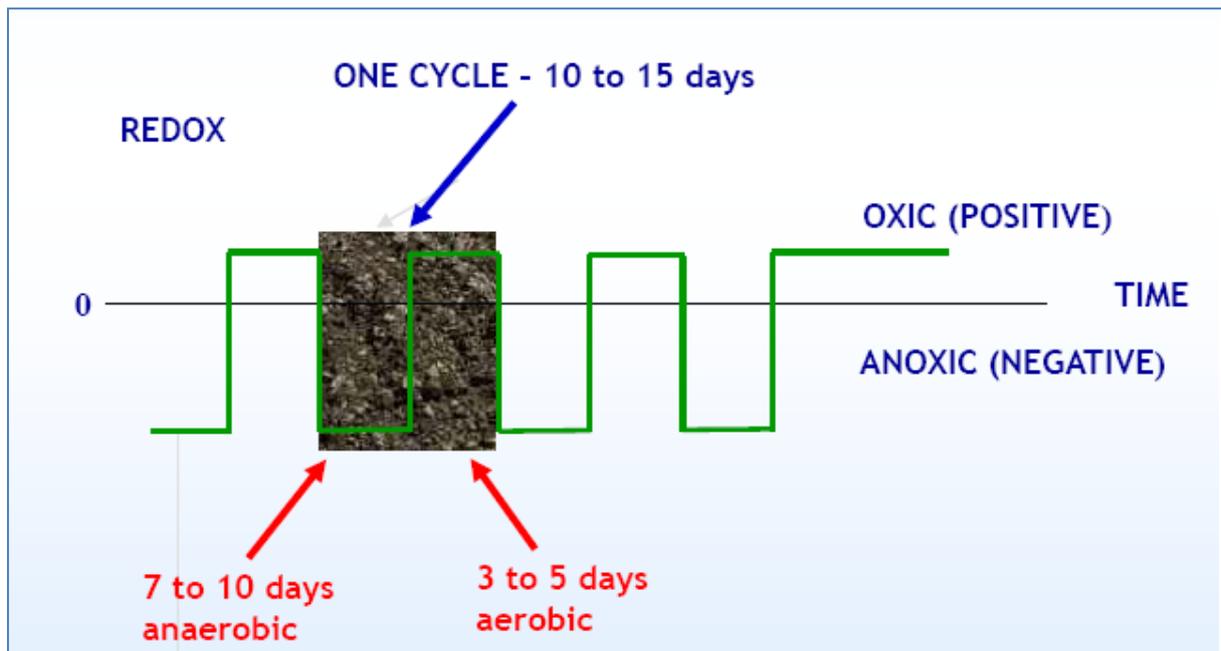


Figure 4 : Illustration des cycles d'anaérobiose/aérobiose, rédox très négatif/rédox positif, mis en œuvre dans la technique de réduction chimique *in situ* (ISCR, abréviation anglo-saxonne la plus utilisée). Extrait de la présentation de J. Muller.

Focus option 3 : lavage *in situ*

Le lavage *in situ* (ou flushing) consiste à faire traverser un sol en place par une solution permettant d'extraire le polluant. En amont hydraulique, l'eau et la solution d'agents mobilisateurs sont injectées dans le sol en grande quantité puis récupérées, en aval hydraulique, par le biais d'aménagements spécifiques : drains puis pompage (cf. figure 5). Le flux engendré à travers les sols contaminés permet à la solution injectée de se charger en

polluant par le biais de mécanismes liés à la plus grande labilité de la molécule lorsque des surfactants sont présents. En effet, les surfactants modifient la structure physique (porosité) du sol et rendent alors la molécule plus facilement mobilisable surtout dans le cas des andosols.

Les effluents générés (eau contaminée mais à des teneurs relativement faibles) par ce lessivage du sol, une fois drainés et pompés, sont traités sur un site dédié. L'eau ainsi épurée peut être réintroduite dans le milieu aquatique naturel.

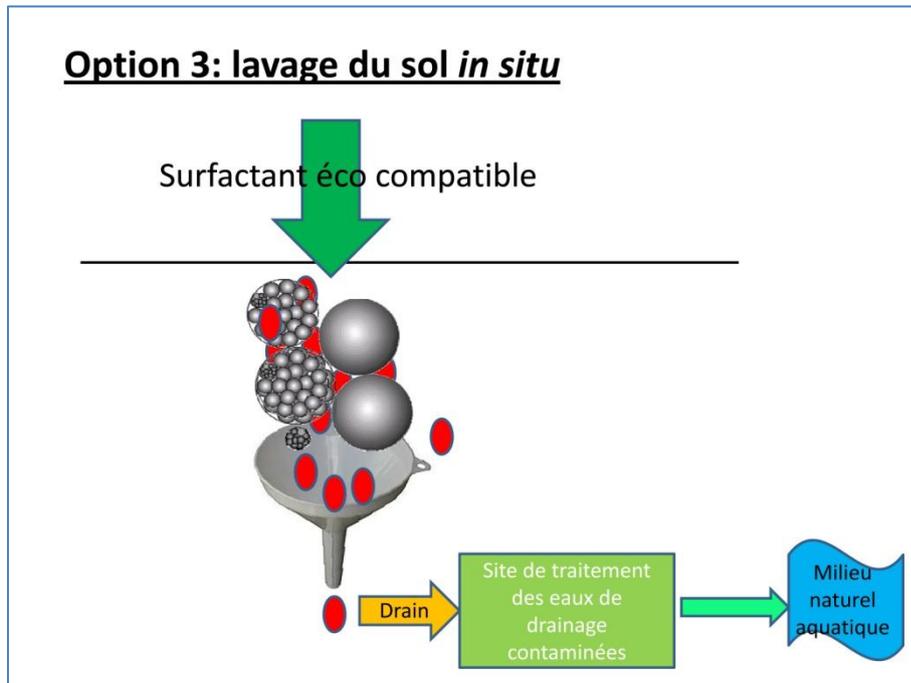


Figure 5 : Principe du lavage du sol *in situ*

Quelques options à moyen terme ont également été identifiées (3 options). Leur mise en œuvre nécessite de disposer de nouvelles techniques d'analyse, de remédiation pour lesquelles des actions de recherche et développement sont nécessaires. La réalisation des programmes de recherche nécessitera quelques années avant de pouvoir rendre opérationnelles les dites techniques, d'où une action sur le moyen terme.

- **Option 6 (mesure de gestion) : atténuation naturelle contrôlée** par la compréhension des mécanismes permettant l'atténuation naturelle et des conditions pouvant la favoriser (identification et suivi des métabolites qui se forment en milieu et conditions naturels) en prenant soin de s'assurer de l'innocuité des produits de dégradation (évaluation de la dangerosité de ces composés grâce à des tests écotoxicologiques) ;
- **Option 7 (mesure de traitement) : oxydation chimique** qui pourrait être envisageable en fonction de la teneur en matières organiques présentes, elle permet d'accroître la disponibilité des polluants et peut être associée, si besoin, à un post-conditionnement des sols afin de restaurer leurs qualités agronomiques ;

- **Option 8 (mesure de traitement): réduction chimique** qui nécessite des essais en laboratoire et/ou sur le terrain pour validation, en portant une attention particulière à l'influence du type de sol.

Quant aux options à long terme, une proposition a été faite, l'**atténuation naturelle renforcée** visant à initier ou à accélérer des processus naturels **dans les conditions naturelles locales** (température, humidité, composition et fertilité du sol, communautés microbiennes). La chlordécone étant présente dans l'environnement antillais depuis plus de trente ans, il est possible que des micro-organismes, organisés ou non en consortiums, aient pu développer des réponses métaboliques à la chlordécone, qu'il conviendra alors de stimuler (biostimulation). Face à la difficulté d'obtenir une dégradation microbienne spontanée, il ne faudra cependant pas négliger la possibilité d'obtenir une succession de déchloration et d'oxydations à partir des consortiums allochtones qui restent à identifier ou à construire (bioaugmentation). Dans les deux cas, il faudra apprendre à manipuler, tant dans le temps que dans le volume d'un sol, les conditions d'oxydo-réduction requises pour exhiber les capacités dégradantes de ces consortiums et également s'assurer de leur innocuité.

D'autres options de gestion, notamment avec des évolutions de pratiques agricoles sur le plus long terme sont sans doute envisageables, mais n'ont pu être évoquées au cours du séminaire faute de temps. Elles devraient faire l'objet de réflexions ultérieures, comme indiqué au cours des conclusions de l'atelier.

3.3) Traitement des sédiments

Le transport par les eaux des matériaux pollués conduit, lorsqu'ils e produit, à la contamination des sédiments dans les baies alimentées par des bassins versants traditionnellement cultivés en bananeraies. Il est donc important de chercher des solutions pour remédier à la pollution par la chlordécone des sédiments.

La réflexion à mener pour le traitement des sédiments répond à la même démarche que celle utilisée pour la remédiation des sols et doit se plier aux mêmes exigences d'efficacité et d'acceptabilité. La particularité principale de cette matrice par rapport au sol tient aux échanges avec le milieu aquatique et aux risques de contaminations afférents (jusqu'à l'exposition humaine par consommation de poissons contaminés).

Par ailleurs, le traitement *in situ* des sédiments ne saurait être efficace sans la réduction de la source d'apport de contaminants. En effet, autant, dans le cas des sols, les apports ont cessé avec la fin des applications de chlordécone autant, dans le cas des sédiments, l'érosion de matières solides provenant de sols contaminées ou l'apport d'eau contaminée constituent toujours des sources d'apport secondaires de polluant. A ce jour, le mode de contamination des sédiments n'est pas suffisamment connu : eau de surface ou souterraine contaminée qui pollue les sédiments en place ou matières solides polluées qui envasent et polluent certains secteurs de dépôt des sédiments.

Là encore, du fait des conditions locales (zones étendues contaminées, utilisation des milieux aquatiques, risque d'impact complémentaire lors de la mise en œuvre, etc.), certaines solutions comme le dragage n'ont pas été sélectionnées au cours du séminaire.

Les experts ont retenu deux variantes du recouvrement actif (ou active capping), procédé *in situ* dont le fonctionnement est décrit ci-après.

Principe du recouvrement actif (capping)

Le recouvrement actif (ou capping) est un traitement *in situ* qui consiste à recouvrir les sédiments d'une couche de matériaux (barrière perméable réactive) tout en favorisant la dégradation et/ou la séquestration des polluants dans les sédiments (cf. figure 5). Ce procédé évite d'avoir recours à l'excavation inapplicable au vu des volumes à traiter et des conséquences sur l'écosystème et d'ailleurs aujourd'hui abandonnée sur la majorité des sites pollués traités.

La barrière physique mise en place sur les sédiments est perméable aux échanges avec le milieu et est réactive, c'est-à-dire qu'elle stimule la dégradation et/ou la séquestration des polluants. Le support réactif peut être constitué de métaux de valence nulle, d'agents tampon, de microbes... Les échanges avec le milieu aquatique sont donc limités et contrôlés, évitant ainsi la dispersion des polluants dans le milieu aquatique et la contamination de l'écosystème.

D'autre part, cette barrière est active et stimule la séquestration et/ou la dégradation des molécules de polluants. Afin de favoriser la dégradation, deux actions techniques peuvent être appliquées : la biostimulation et la bioaugmentation. La bioaugmentation consiste à ajouter des microorganismes étrangers ou indigènes à la communauté microbienne existante. La biostimulation, quant à elle, vise à stimuler les micro-organismes présents dans le sol par ajout d'adjuvants (oxygène ou nutriments par exemple). Pour augmenter la séquestration, il est possible d'ajouter des liants ou des barrières hydrauliques qui ont pour effet de limiter la circulation des sédiments déjà contaminés.

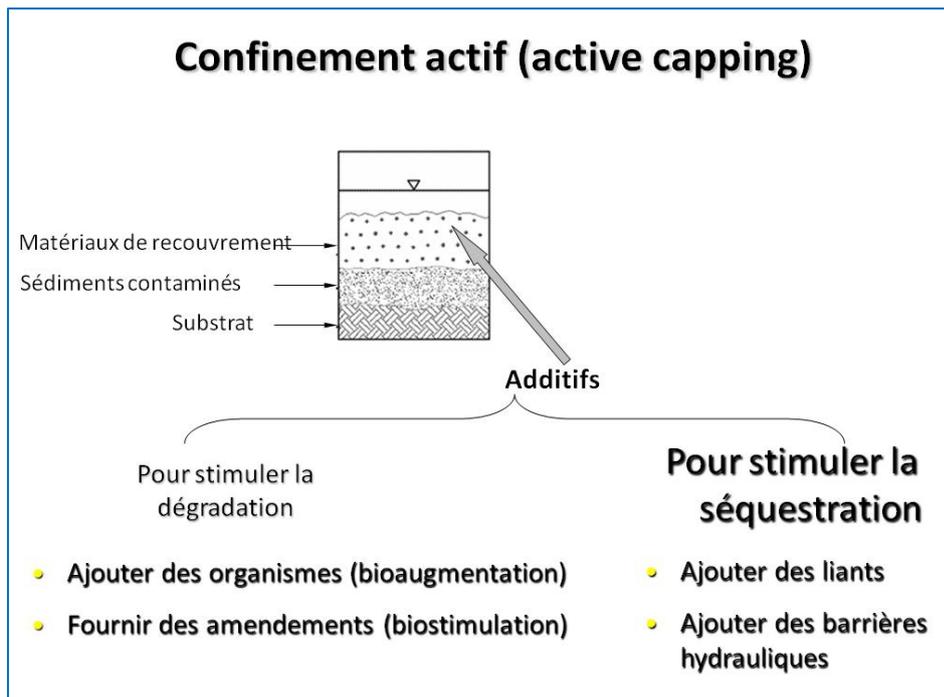


Figure 6 : Principe du confinement actif (active capping)

Cette technique, qui existe depuis des décennies, se heurtait à deux freins : l'épaisseur de la couverture (souvent plusieurs dizaines de cm ce qui peut alors perturber fortement l'écosystème) et son vieillissement puisque celle-ci, une fois installée, reste définitivement en place. Différentes nouvelles techniques visent à pallier ces problématiques notamment par l'utilisation de membranes géotextiles de quelques centimètres d'épaisseur (« active capping ») ou par la combinaison d'une membrane active sur des zones localisées et d'une membrane inerte et très peu perméable pour le confinement de plus larges zones (« funnel and gate »). Cette dernière approche permet d'avoir recours à des solutions de dégradation du polluant, dont la mise en œuvre peut être coûteuse, comme c'est le cas de l'oxydation ou la réduction chimique, car la surface de la zone active est restreinte.

Recouvrement actif en mur continu appliqué aux zones humides

Le recouvrement en mur continu est réactif et perméable sur toute sa surface. Les échanges « contrôlés » avec le milieu aquatique s'effectuent donc de manière continue sur toute sa surface.

Un exemple de réalisation appliquée aux zones humides est détaillé dans la figure 7, les flèches rouges représentant les flux de polluant.

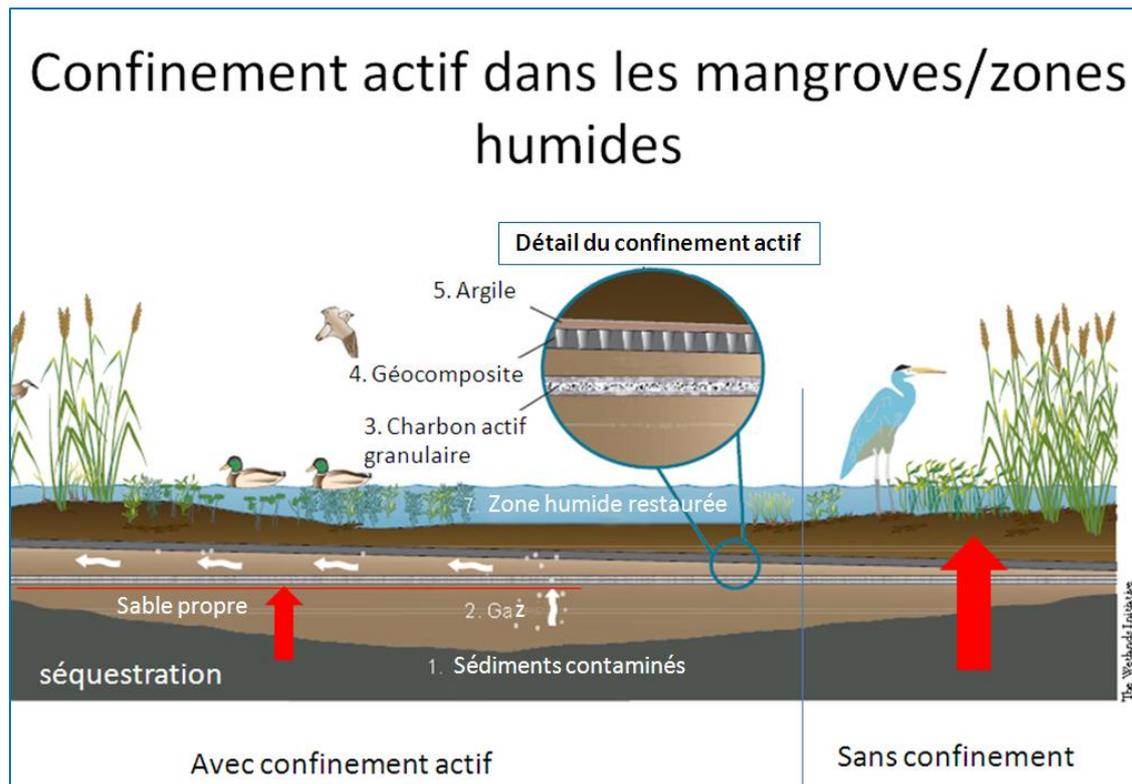


Figure 7 : Exemple de confinement actif appliqué aux zones humides

Dans cet exemple, qui sera prochainement mis en œuvre à grande échelle aux Etats-Unis, l'additif utilisé pour séquestrer le polluant est du charbon actif (connu comme étant efficace sur la chlordécone et ses produits dérivés). Les sédiments contaminés sont recouverts d'une membrane géotextile maintenue en place par des armatures et une couche de sable ou un autre matériau propre permettant la restauration de la zone humide par réintroduction de la faune et de la flore benthiques. Cette solution permet d'empêcher à long terme la contamination du milieu par les sédiments pollués à condition que la source secondaire de contamination soit bloquée et qu'il n'y ait pas d'interruption de la membrane.

S'il paraît difficile d'envisager un tel traitement pour les vastes zones arborées que constituent les mangroves, ce procédé pourrait s'avérer pertinent pour traiter les sédiments de retenues de surfaces limitées, une fois que sera résolue la contamination des eaux qui les alimentent : retenues collinaires, bassins aquacoles.

2.5) Articulations des méthodes de traitement à l'échelle du BV – définition de plan de gestion

Une fois ces pistes de remédiation identifiées, il faut les articuler à l'échelle du bassin versant, unité de mise en œuvre choisie afin de s'assurer de leur cohérence et de leur faisabilité globale.

En effet, étant donné la situation actuelle qui comprend la contamination de différents compartiments environnementaux engendrant des risques sur la santé, sur les écosystèmes et sur les ressources naturelles (notamment aquatiques), seule une combinaison de plusieurs actions permettra d'avoir une réduction concrète des risques.

Il convient de préciser que les options proposées pour la remédiation de l'eau, des sols et des sédiments ne sont pas universelles, elles peuvent n'être applicables que sur certains types de sol ou pour certaines conditions locales (pentes faibles à modérées par exemple).

Le tableau 5 récapitule donc les différentes propositions de remédiation en fonction du type de matrice. Les conditions d'utilisations envisageables (matrice, sol, pente, concentration en chlordécone) ainsi qu'une évaluation du coût et de l'impact social sont indiquées.

Cette première évaluation mérite cependant d'être approfondie.

MATRICE		TENEUR EN CLD	IMPACT SOCIAL	REMEDIACTION	COUT
SOL	Pente élevée	+ à +++	++	Phytoremédiation + atténuation naturelle renforcée	++
	Pente faible	+++	+	Méthodes chimiques et de microbioremédiation	++++
		++	++	Phytoremédiation sur ripisylves / séquestration (sur andosol) + microbioremédiation incluant des amendements de matières organiques	andosol : + _{seq.} à ++ _{bio.} niti/ferral sol : +++
		+	++	Phytoremédiation Contrôle de l'atténuation naturelle	++
SEDIMENT	Retenues collinaires	+ à +++		Confinement : Séquestrant ou dégradant Atténuation naturelle renforcée	++ à +++
	Mer	+ à +++	Tourisme et vie marine	Confinement : Séquestrant ou dégradant Atténuation naturelle renforcée	+++ à ++++
Production d'eau potable Gestion des déchets		?		Développement de nouvelles méthodes chimiques et microbiologiques suggéré	++ à ++++

Légende des coûts : ++++ : très élevé ; ++ : moyen ; + : bas

Tableau 5 : Récapitulatif des différentes options proposées et de leurs caractéristiques

A l'échelle du bassin versant, il existe donc différentes possibilités d'intervention. La combinaison de mesures de gestion et de traitement devra permettre d'atteindre les objectifs d'assainissement préalablement fixés.

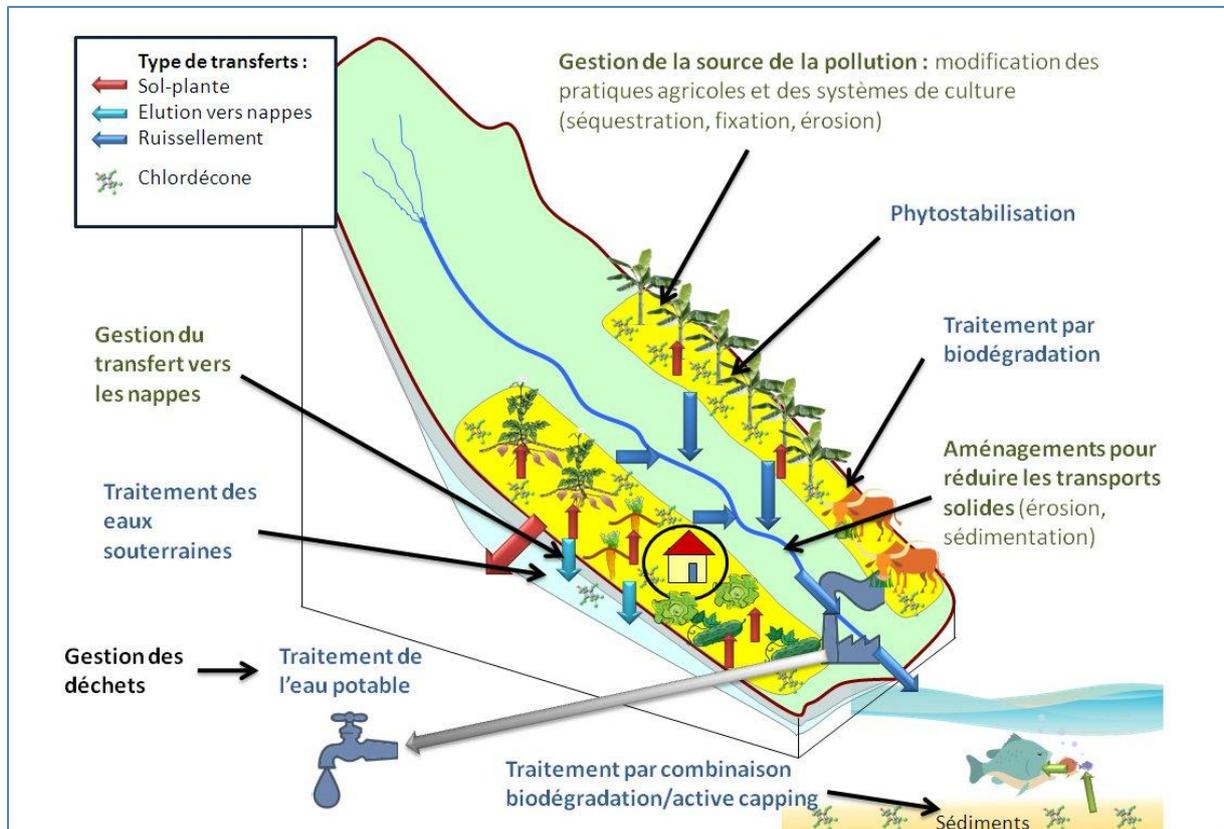


Figure 8 : Synthèse des actions possibles à l'échelle du bassin versant

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Lors de cet Atelier, l'émulation scientifique a permis d'identifier plusieurs options concrètes de remédiation à la pollution par la chlordécone que ce soit pour les eaux potables et brutes, pour les sols ou pour les sédiments. Certaines approches sont totalement innovantes et offrent des perspectives de gestion et de recherche jusqu'alors jamais envisagées comme pouvant être applicables au contexte local de pollution diffuse et chronique. La complémentarité entre experts du monde de l'industrie et de la recherche et, d'une manière générale, la motivation des experts, l'ambiance cordiale et constructive entre les participants ont contribué à la qualité des résultats obtenus.

Dans cette atmosphère, propice aux échanges et à la construction scientifique, des liens forts se sont tissés entre les laboratoires de recherche. De plus, l'organisation de l'Atelier sur place, en Martinique et en Guadeloupe, a permis de sensibiliser plus fortement les participants à la problématique de la chlordécone aux Antilles françaises. La dynamique ainsi créée se traduit par la poursuite des échanges entre experts dans le but d'approfondir certains points et, à court terme, de concrétiser les pistes de remédiation en projets de recherche structurés.

Néanmoins, les propositions des experts restent à finaliser avec les acteurs locaux par site et par bassin versant afin de déterminer les objectifs à atteindre ainsi que les moyens à mettre en œuvre. Il s'agit aussi de mobiliser les gestionnaires et les éventuels financeurs sur cette question afin d'aboutir à la révision du Plan National d'action chlordécone ainsi qu'à la mise en place effective de projets (assujettie à l'obtention de financements).

La perspective de pouvoir, par la suite, transposer le modèle développé aux Antilles françaises pour d'autres situations actuelles ou à venir (pollution agricole diffuse et durable par exemple) doit être une motivation supplémentaire à la mise en place de la démarche harmonisée proposée par les experts. Un projet de plateforme internationale adossée à une fondation a par exemple émergé.

Les conclusions de cet Atelier constituent une première réponse aux inquiétudes et attentes de la population sur cette question, reflétée par l'importance de la couverture médiatique¹⁴ dont cet événement a bénéficié.

¹⁴ Cf. Annexe 8 : Couverture médiatique

ANNEXES

Annexe 1 : Planning de préparation de l'Atelier

Annexe 2 : Grille de sélection des experts

Annexe 3 : Programme général de l'Atelier « Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles »

Annexe 4 : Curriculum Vitae des experts participants

Annexe 5 : Contributions des experts

Annexe 6 : Présentations des experts

Annexe 7 : Evaluation et commentaires des experts invités

Annexe 8 : Couverture médiatique