

Utilisation des Outils d'Aide à la Décision dans la Gestion des Mégasites

Rapport final

BRGM/RP-55223-FR
Décembre 2006

Utilisation des Outils d'Aide à la Décision dans la Gestion des Mégasites

Rapport final

BRGM/RP-55223-FR
Décembre 2006

S. Béranger, F. Blanchard, A. Archambault, D. Allier

Vérificateur :

Nom : D. Guyonnet

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Approbateur :

Nom : D. Darmendrail

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés :

Aide à la décision, analyse multicritère, analyse coût-bénéfice, outils SIG, incertitudes, gestion des mégasites, position française.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Béranger, S., Blanchard, F., Archambault, A., Allier, D., 2006. Utilisation des Outils d'Aide à la Décision dans la Gestion des Mégasites, Rapport brgm RC/RP-55223-FR.

Synthèse

Un mégasite est défini comme un site pollué de grande étendue, hébergeant de multiples sources de pollutions liées aux activités industrielles. Différentes familles de polluants y sont présentes. Ces sources ont un impact sur l'environnement tel qu'une réhabilitation totale à moyen terme des eaux et sols impactés n'est souvent pas réalisable pour des raisons techniques et/ou économiques. Ainsi, ces sites sont des sources régionales de pollution pour les eaux de surface et souterraines et les sols et sédiments. Des risques sanitaires, écologiques et de pollution diffuse peuvent s'en suivre. Une gestion durable de ces sites nécessite une approche pluridisciplinaire de la situation, pour répondre aux problèmes environnementaux, économiques et sociaux.

La gestion des sites pollués présente des objectifs multiples et souvent conflictuels. Des outils d'aide à la décision sont donc utilisés pour faciliter les prises de décision, mais aussi pour faire en sorte que le processus soit transparent, documenté et reproductible. Dans le cas des mégasites, ainsi que dans les zones géographiques où de nombreux sites entrent en interférence, la complexité du site, les polluants, les aspects légaux et les parties prenantes et/ou les coûts élevés nécessitent une approche de gestion différente de celle communément utilisée sur les sites potentiellement pollués.

Le présent rapport a pour objectif de recenser les outils d'aide à la décision disponibles, de faire l'état des lieux des méthodologies existantes pour une gestion optimale des mégasites et d'utiliser ces recherches bibliographiques pour développer une méthodologie de gestion des mégasites.

Les outils d'aide à la décision utilisés en matière environnementale incluent l'évaluation des risques, l'analyse du cycle de vie, l'analyse coût-bénéfice et l'analyse multicritère. Un ensemble de critères complexes doit être considéré pour une gestion durable des mégasites. Ces critères prennent en compte l'impact environnemental, la sécurité, les risques, l'aspect économique, légal, écologique, l'opinion des parties prenantes, etc. L'analyse multicritère d'aide à la décision semble donc l'outil le mieux adapté pour prendre en considération l'ensemble de ces critères dans le choix du scénario de gestion optimal. Elle peut être couplée à l'analyse coût-bénéfice, souvent utilisée comme outil décisionnel, afin de faciliter le choix du scénario final.

Nombre de projets, tels que RESCUE, CABERNET ou CLARINET, soulignent l'importance de la prise en compte des parties prenantes dans les projets de réhabilitation de sites dans le cadre du développement durable. De plus, les incertitudes relatives aux outils utilisés apparaissent à toutes les étapes du processus décisionnel. Il convient de les prendre en compte dans le choix du scénario optimal de gestion.

Les méthodologies de gestion des sites pollués développées dans le cadre européen et américain s'accordent sur les principales étapes à considérer dans la gestion des

sites pollués. Les approches diffèrent quant aux outils de gestion utilisés. Les projets WELCOME et INCORE proposent une méthodologie pour la gestion des mégasites. Ces deux méthodes se basent sur un découpage du site en plusieurs zones d'étude, afin de regrouper les zones ayant des caractéristiques semblables. Le projet INCORE développe une méthodologie incluant des critères techniques et économiques dans le choix du scénario de gestion, mais les parties prenantes n'apparaissent pas comme clefs dans le choix du scénario final. Le projet WELCOME fournit une méthodologie plus flexible et attrayante, soulignant les étapes principales à considérer dans la gestion des mégasites. Des outils techniques et économiques ont été développés pour aider au processus décisionnel à chaque étape. Cependant, les outils d'aide à la décision choisis reflètent peu la complexité de la situation. De plus, l'importance et l'intégration des parties prenantes dans le processus décisionnel sont mal prises en considération.

Les étapes proposées par WELCOME ont été adaptées à la méthodologie de gestion des sites pollués française. Le rôle des parties prenantes est précisé et les conditions nécessaires au développement durable sont incluses dans l'outil d'analyse multicritère d'aide à la décision proposé : ELECTRE III. Cet outil a été sélectionné pour sa capacité à gérer les incertitudes. Il pourrait ensuite être couplé à une analyse coût-bénéfice afin de faciliter le choix du scénario de gestion final. Le couplage de ces outils avec les outils SIG est à développer. Les outils SIG fournissent en effet une interface graphique attrayante pour la communication des paramètres et hypothèses relatives aux données d'entrée des outils d'aide à la décision sélectionnés, ainsi que pour la communication des résultats.

Cette première ébauche de méthodologie de gestion des mégasites doit être testée afin d'identifier les lacunes potentielles et de définir les critères clefs à considérer dans l'analyse multicritère d'aide à la décision. De plus, la place des incertitudes et les méthodes de communication aux parties prenantes / grand public devront être précisées.

Sommaire

1. Contexte Général	9
1.1. MOTIVATIONS ET OBJECTIFS DU PROJET	9
1.2. PRESENTATION DU RAPPORT	9
1.3. DEFINITIONS DES ELEMENTS CLEFS.....	10
1.3.1. Mégasites	10
1.3.2. Développement durable	13
1.3.3. Outils d'aide à la décision	13
1.3.4. Incertitudes	16
1.3.5. Parties prenantes	16
2. Outils d'aide à la décision, Systèmes d'information géographique et Parties prenantes.....	19
2.1. OUTILS D'AIDE A LA DECISION	19
2.1.1. Les différentes familles d'outils d'aide à la décision	19
2.1.2. Les principales méthodes d'analyse multicritère	22
2.2. LES SIG COMME OUTILS D'AIDE A LA DECISION	26
2.2.1. Typologie des Systèmes d'Informations Géographiques	26
2.2.2. L'intervention des SIG dans le processus décisionnel	28
2.2.3. Limites et Perspectives.....	31
2.3. LES PARTIES PRENANTES.....	34
2.3.1. Leur importance dans le processus d'aide à la décision	34
2.3.2. Leur intégration au processus d'aide à la décision.....	36
2.3.3. La communication au cours du processus décisionnel	37
3. Méthodes de Gestion des Sites et Mégasites Pollués	41
3.1. GESTION DES SITES POLLUES	41
3.1.1. Méthodologie Française	41
3.1.2. Gestion des sites potentiellement pollués au Danemark.....	46
3.1.3. Gestion des sites potentiellement pollués en Angleterre.....	46
3.1.4. Gestion des sites potentiellement pollués aux Etats-Unis.....	47
3.2. GESTION DES MEGASITES	47

3.2.1. Les « leçons » du programme « Superfund »	48
3.2.2. Projet WELCOME	48
3.2.3. Projet INCORE	52
3.2.4. Avantages et inconvénients de ces méthodes	56
3.3. RESEAUX D'INFORMATIONS	57
3.3.1. Réseau CLARINET	57
3.3.2. Réseau NICOLE	60
3.3.3. Avantages et inconvénients de ces méthodes	61
3.4. IMPLICATIONS DES PARTIES PRENANTES	61
3.4.1. Projet CABERNET	62
3.4.2. Projet RESCUE	64
3.4.3. Avantages et inconvénients de ces méthodes	66
3.5. GESTION DES INCERTITUDES	67
3.5.1. Détermination des incertitudes d'un outil d'aide à la décision	67
3.5.2. Gestion des incertitudes dans l'acquisition et l'interprétation de données	69
3.6. CONCLUSIONS	76
4. Méthodologie proposée pour la gestion des mégasites	79
4.1. OBJECTIFS	79
4.2. METHODOLOGIE	80
4.2.1. Etapes préliminaires	80
4.2.2. Etape 1 : Bilan de l'existant	81
4.2.3. Etape 2 : Evaluation des risques	82
4.2.4. Etape 3 : Analyse multicritère d'aide à la décision à l'échelle des zones du mégasite	84
4.2.5. Etape 4 : Analyse multicritère d'aide à la décision à l'échelle du mégasite	90
4.2.6. Etape 5 : Analyse coût-bénéfice à l'échelle du mégasite	92
4.2.7. Etape 6 : Choix du scénario final	92
4.2.8. Etape 7 : Chronologie de redéveloppement	93
4.3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	95
4.4. TEST : PRESENTATION DU SITE PILOTE – PROJET AIGRETTE	96
5. Bibliographie	97

Liste des figures

Figure 1 – Etapes principales du processus d'aide à la décision (CLARINET, 2002).....	15
Figure 2 - Les différentes phases du processus d'aide à la décision d'après Florent JOERIN (2006).....	28
Figure 3 – Gestion des Sites et Sols Pollués (Guide en cours d'élaboration)	42
Figure 4 – Plan de gestion	44
Figure 5 – Analyse des Risques Résiduels	45
Figure 6 - Les simulations de Monte Carlo en évaluation des risques et leur comparaison avec l'approche déterministe.....	54
Figure 7 - Simulation de la fonction de distribution de probabilité des risques non-cancérigènes pour les adultes	55
Figure 8 – Méthodologie du RBLM	58
Figure 9 – Procédure du SAT	66
Figure 10 - Comparaison de l'approche traditionnelle et du programme de travail dynamique de la méthodologie TRIAD	71
Figure 11 - Résultat du calcul hybride : distributions de plausibilité et de crédibilité pour la proposition « l'excès de risque individuel calculé est inférieur à une valeur seuil »	75
Figure 12 – Indice de crédibilité	88
Figure 13 – Indice de discordance.....	89

Liste des tableaux

Tableau 1- Outils développés dans le cadre de WELCOME.....	50
Tableau 2 – Définition des critères	84
Tableau 3 – Matrices des options	85
Tableau 4 – Poids de chaque critère	86
Tableau 5 – Valeurs Seuils	87
Tableau 6 – Définition des relations de sur-classement.....	88

Liste des annexes

Annexe 1 Méthodologie INCORE	103
Annexe 2 Méthodologie Française de Gestion des Mégasites.....	106

1. Contexte Général

1.1. MOTIVATIONS ET OBJECTIFS DU PROJET

La gestion des sites et sols pollués repose sur les principes visant à prévenir, connaître et traiter/réhabiliter les terres polluées. Une approche pluridisciplinaire de la situation est souvent requise pour répondre durablement aux problèmes environnementaux, économiques et sociaux liés à ces sites. La gestion des terres polluées a des objectifs multiples et souvent contradictoires. Des outils d'aide à la décision sont donc utilisés pour faciliter les prises de décision, mais aussi pour faire en sorte que le processus soit transparent, documenté et reproductible. Dans le cas des sites complexes, ou « mégasites », ainsi que dans les zones géographiques où de nombreux sites entrent en interférence, les outils d'aide à la décision existants ne sont pas adaptés.

Le présent rapport a pour but de :

- faire le point sur l'utilisation des outils d'aide à la décision,
- analyser les manques et contraintes des outils existants,
- développer les principes d'évaluation des risques pour la gestion des mégasites, prenant avantage des travaux existants, et optimisant les manques et contraintes afin d'améliorer le processus décisionnel.

1.2. PRESENTATION DU RAPPORT

Le présent rapport est organisé en quatre parties. Dans un premier temps, les éléments clefs du présent rapport sont définis. Les outils d'aide à la décision utilisés dans le domaine des sites et sols pollués sont ensuite présentés. Ces outils fournissent des résultats qui reflètent la qualité des données entrées dans le système. Ces résultats doivent donc être analysés de façon critique. Afin d'améliorer la confiance en un résultat, ou une solution, certains outils prennent en compte les incertitudes à différentes étapes du processus de décision. L'importance des incertitudes et leur intégration dans le processus d'aide à la décision sont donc également analysées dans cette partie. De plus, les parties prenantes (entrepreneurs, administrations, propriétaires, citoyens, etc.) ont un rôle important dans la réhabilitation du mégasite. Cette première partie traite également de la place, de l'importance et de l'intégration des parties prenantes dans les outils d'aide à la décision.

Dans une troisième partie, des projets ou réseaux d'informations liés à la gestion des sites pollués et/ou des mégasites, au niveau européen et américain, sont présentés. Dans cette partie, les manques et contraintes de chaque méthodologie développée sont analysés.

Enfin, dans une quatrième partie, une méthodologie pour la gestion des mégasites en France est proposée, en s'appuyant sur les méthodologies précédemment développées au niveau international.

1.3. DEFINITIONS DES ELEMENTS CLEFS

1.3.1. Mégasites

Définition

Le projet WELCOME définit le mégasite comme un site pollué de grande étendue (taille variant entre 5 et 500 km²), hébergeant de multiples sources de pollutions liées aux activités industrielles (passées). Différents types de polluants peuvent être présents. Ces sources ont un impact sur l'environnement tel qu'une réhabilitation totale à moyen terme (environ 25 ans) des eaux et sols impactés n'est souvent pas réalisable pour des raisons techniques et/ou économiques. Ainsi, ces sites sont des sources régionales de pollution pour les eaux de surface et souterraines et les sols et sédiments. Des risques sanitaires, écologiques et de pollution diffuse peuvent s'en suivre. La complexité du site, les polluants, les aspects légaux, les parties prenantes et/ou les coûts élevés nécessitent donc une approche de gestion différente de celle communément utilisée sur les sites pollués.

Steve Wallace (NICOLE, 2003) ajoute une nuance supplémentaire, en définissant le mégasite comme une zone où les sources de pollution et les vecteurs de transfert de cette pollution s'étendent sur plusieurs parcelles, demandant ainsi l'implication de plus d'un propriétaire pour comprendre le risque et mettre en place une solution de réhabilitation adéquate. Un facteur critique entrant dans la gestion du mégasite est dans ce cas la gestion des informations entre propriétaires.

Ces sites complexes, ou mégasites, existent partout en Europe et représentent 30 à 50 % des coûts associés à la réhabilitation des sols et des eaux contaminés en Europe (Rijnaarts, WELCOME). Les coûts de réhabilitation sur de tels sites sont estimés à plusieurs milliards d'euros par projet (WELCOME, 2002).

Les enjeux

Au niveau Européen, il a été constaté que les problèmes sanitaires et environnementaux liés aux mégasites coïncident souvent avec des problèmes socio-économiques, qui empêchent le redéveloppement de la région. Si la réhabilitation des mégasites permet de diminuer/contrôler les risques sanitaires liés à l'utilisation de la/des propriété(s), elle permet aussi de limiter les impacts écologiques, économiques ou sociaux liés à la présence de ces sites. Ces enjeux sont présentés plus en détail dans les paragraphes suivants.

Par définition, le mégasite étant un site complexe hébergeant différentes sources de pollution, la dépollution totale du site n'est pas possible d'un point de vue technique

et/ou économique. Une approche basée sur la gestion des risques est donc nécessaire.

• Enjeux sanitaires et écologiques

La réhabilitation d'un mégasite permet notamment :

- d'améliorer la qualité environnementale et sanitaire. Les mégasites sont souvent contaminés par des déchets industriels et toxiques qui exposent les populations avoisinantes et les travailleurs à des risques sanitaires. La dépollution de ces sites permet de réduire ces risques à des niveaux acceptables. De plus, elle vise à améliorer la qualité de l'air, réduire l'émission de gaz à effet de serre, et assurer une protection efficace des ressources en eaux souterraines, des zones humides et des habitats naturels,
- d'améliorer la qualité de vie des citoyens. Le redéveloppement est bénéfique aux résidents qui subissent les conséquences économiques et sanitaires liées aux terrains et bâtiments contaminés,
- de réduire l'expansion urbaine. En réhabilitant des terrains contaminés, la pression immobilière sur des terrains vierges est maîtrisée.

Cependant, réhabiliter un site entraîne également un certain nombre de nuisances, notamment lors des travaux de réhabilitation. Ces nuisances peuvent être liées aux problèmes de gestion des déchets et des effluents, à l'émission de polluants dans l'air (poussières et polluants volatils) et dans l'eau, aux problèmes de bruit et à l'utilisation de nouvelles ressources (énergie, substances chimiques additionnelles, matières premières). L'ampleur de ces nuisances est conditionnée par le choix de la méthode de remédiation, et les limites associées à cette méthode.

• Enjeux économiques et sociaux

La réhabilitation d'un mégasite n'a pas seulement des impacts environnementaux et sanitaires, elle permet aux populations voisines et aux parties prenantes :

- de redévelopper les terres réhabilitées,
- d'augmenter la valeur des terrains voisins et des taxes foncières,
- de diminuer le taux de chômage. Réhabiliter les sites pollués permet d'attirer les investisseurs et les créateurs d'emploi.

Cependant, comme souligné précédemment, la réhabilitation des mégasites est coûteuse. Une telle opération pourrait donc s'avérer une perte pour les investisseurs. La viabilité d'un projet, associée au bénéfice net, sera donc estimée avant d'entreprendre les travaux de réhabilitation.

La réhabilitation entraîne des coûts, liés notamment à la mise en place des méthodes de réhabilitation ; mais elle génère également des bénéfices. Ces derniers sont d'une

part des bénéfices directs, liés par exemple à la réutilisation du site, à la génération d'emplois, à la sauvegarde d'écosystèmes, ou d'espaces vierges ; et d'autre part à des coûts évités, tels que ceux liés à la surveillance du site, aux dommages payables aux propriétaires voisins, etc. Afin d'avoir une vision d'ensemble du site et du projet et de limiter les incertitudes sur le coût de la réhabilitation, il est souhaitable que les parties prenantes collaborent.

• Gestion des risques

De part leur taille et leur complexité, la dépollution totale des mégasites ne peut pas être une solution économiquement et/ou techniquement viable. Une alternative à cette méthode est une approche basée sur la gestion des risques qui permet d'atteindre des risques compatibles à l'usage du site tout en maintenant des coûts de dépollution réalistes.

Les risques sont définis comme la probabilité qu'une substance ou situation cause des dommages sous des conditions données (Bardos et al., 2001). Les risques sanitaires et environnementaux sont une combinaison de deux facteurs, à savoir la probabilité de l'exposition et les conséquences de cette exposition. Des risques sont donc présents lorsque trois composants cohabitent : la source (le(s) polluant(s)), le vecteur de transfert de ce(s) polluant(s) et le récepteur ou la cible.

Une approche basée sur la gestion des risques implique la détermination et la caractérisation de la relation source / vecteur / récepteur. Elle nécessite de :

- délimiter la source de pollution,
- évaluer le transfert de polluants vers différents récepteurs, en considérant tous les vecteurs d'exposition possible,
- évaluer les effets potentiels sur le récepteur,
- identifier les mesures potentielles pour réduire ou éliminer les risques de transfert de différentes sources,
- mettre en place des priorités d'actions en fonction des contraintes temporelles, économiques, techniques et sociales.

Le redéveloppement des grands sites potentiellement pollués est non seulement conditionné par la gestion des risques liés à la présence de sources de pollution, mais aussi par l'usage futur du site, le cadre administrativo-légal, la viabilité économique du redéveloppement et la vision des parties prenantes. L'ensemble de ces facteurs devront donc être inclus lors de la prise de décision relative à la réhabilitation du mégasite (Bardos et al., 2001). Afin de faciliter la prise en compte de ces facteurs et d'optimiser le scénario de gestion, des outils d'aide à la décision doivent être utilisés.

Conclusion

La réhabilitation des mégasites présente des enjeux sanitaires et écologiques, ainsi que des enjeux économiques et sociaux, liés à la remédiation et au redéveloppement du site. La complexité des mégasites et les enjeux associés nécessitent une approche de gestion basée sur la gestion des risques. En fonction des risques estimés, des priorités d'action pourront être définies, dans la limite des contraintes identifiées. La définition de ces priorités d'action nécessite de prendre en considération un ensemble de facteurs contradictoires. Des outils d'aide à la décision doivent être utilisés pour prendre en compte ces facteurs et définir un scénario optimal de gestion.

1.3.2. Développement durable

Le développement durable des sites pollués est défini comme « la gestion, la réhabilitation et le retour à un usage bénéfique de sites contaminés basés sur le besoin en ressources afin de satisfaire les besoins humains des générations présentes et futures, dans un environnement qui ne se dégrade pas, de façon économiquement viable, institutionnellement robuste et socialement acceptable » (RESCUE, 2004).

La réhabilitation des mégasites associe trois facettes du développement durable :

- **environnementale** : en réhabilitant des sites considérés comme dangereux au niveau sanitaire et environnemental et en conservant la terre en tant que ressource,
- **économique** : en générant des emplois et en redéveloppant des zones souvent touchées par la crise,
- **sociale** : en offrant un renouveau aux zones industrielles héritées de l'ère industrielle passée, en offrant de nouvelles opportunités aux populations voisines.

La notion de développement durable dans la gestion des sites pollués est mentionnée uniquement en Suisse, même si le développement durable est une notion implicite dans beaucoup de pays (CLARINET, 2002).

1.3.3. Outils d'aide à la décision

La réhabilitation des sites pollués implique l'intégration de considérations environnementales, techniques, socio-économiques et administrativo-légales. Les motivations du projet de réhabilitation, la gestion des risques, le développement durable, la satisfaction des parties prenantes et la faisabilité/pertinence technique sont autant de paramètres à prendre en compte dans le choix du scénario de remédiation. Afin de définir un scénario optimal, en tenant compte de la stratégie de redéveloppement et des contraintes présentes, des outils d'aide à la décision sont indispensables. CLARINET, projet européen dont les objectifs et conclusions sont développés plus en détail dans le chapitre 3 du présent rapport, identifie les facteurs

principaux dans la prise de décision comme étant le coût, la flexibilité de la solution, la faisabilité technique, l'usage planifié du site, la protection des personnes, et la protection de l'environnement.

Définition et objectifs

L'aide à la décision peut être définie comme la prise en compte de l'expérience, des données, et des connaissances spécifiques d'un problème, l'analyse et l'intégration de cette information pour produire un résultat aidant les décideurs (CLARINET, WG2, 2002).

Plusieurs étapes apparaissent dans le processus d'aide à la décision :

- utiliser l'expérience, les informations et les données relatives au site,
- utiliser ces informations pour développer des modèles conceptuels simples sur le comportement du site,
- baser l'analyse de la situation sur le modèle conceptuel,
- interpréter et analyser l'information en termes de variables décisionnelles,
- diffuser l'information aux décideurs, de manière transparente et compréhensible aussi bien par les parties prenantes que par les spécialistes.

Le but ultime est la prise de décision. Si l'information disponible n'est pas suffisante pour prendre une décision, les étapes énumérées ci-dessus peuvent être répétées, selon le schéma proposé en Figure 1 décrivant les principales étapes du processus d'aide à la décision.

L'implication des parties prenantes dans un processus d'aide à la décision est considérée comme étant de plus en plus importante (Vik et al., CLARINET WG7, 2001).

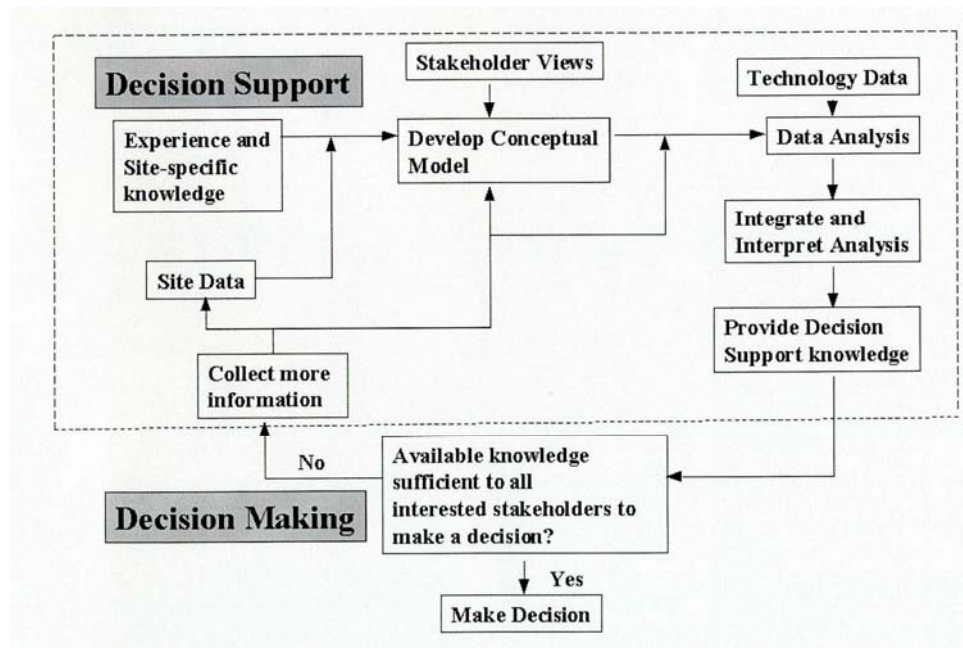


Figure 1 – Etapes principales du processus d'aide à la décision (CLARINET, 2002)

Avantages des outils d'aide à la décision

Les outils d'aide à la décision fournissent une méthode d'analyse de scénarii multiples. Ils aident à rendre la prise de décision robuste, consistante et reproductible. En effet, les outils d'aide à la décision fournissent des moyens de documenter les paramètres et les hypothèses utilisées dans l'analyse d'une décision particulière. Ils permettent d'améliorer la transparence du processus (CLARINET, WG2, 2002).

Une étude de sensibilité sur les paramètres inclus dans la variable décisionnelle permet de mesurer la robustesse de la décision. De plus, certains outils d'aide à la décision incluent les incertitudes dans le choix du scénario optimal. Leur influence sur la décision peut être estimée et/ou pris en compte (CLARINET, WG2, 2002).

Inconvénients des outils d'aide à la décision

Même si de nombreux avantages sont mentionnés dans l'utilisation des outils d'aide à la décision, leur acceptation par toutes les parties prenantes est souvent difficile à atteindre. Si l'outil n'est pas compris, les personnes non impliquées dans l'utilisation de l'outil ne valideront pas les résultats (CLARINET, WG2, 2002). Il convient donc aux développeurs et aux utilisateurs de fournir une information claire et transparente sur l'outil afin d'éviter cette perception.

Une bonne utilisation des outils d'aide à la décision nécessite une mise à jour régulière des paramètres et hypothèses d'entrée. Des changements de coûts, des données supplémentaires collectées ou reçues, des changements de paramètres, de limites,

etc. doivent être inclus afin d'assurer l'actualisation des résultats en sortie. La qualité des résultats de l'analyse repose sur la qualité des données, paramètres et hypothèses faites.

Exemple d'outils existants

Différentes techniques peuvent être employées dans l'aide à décision dans le domaine environnemental : l'analyse du cycle de vie, l'évaluation des risques environnementaux, l'évaluation de l'impact environnemental, l'analyse coût-bénéfice, l'analyse multicritères, l'analyse multi-attributs, l'audit environnemental, et l'évaluation durable. Le lecteur est renvoyé au chapitre 2 pour une description des différentes familles. Ces outils d'aide à la décision peuvent être combinés entre eux ou associés à d'autres outils de modélisation, de gestion et/ou d'exploitation des données, de communication, comme nous le verrons dans les chapitres suivants.

1.3.4. Incertitudes

Toute décision environnementale repose sur un ensemble de données, d'informations, d'hypothèses et d'analyse comportant des incertitudes. Le terme « incertitude » a plusieurs définitions, depuis la définition la plus commune jusqu'à celle de la théorie des probabilités. L'incertitude au sens strict fait référence à un manque d'information sur un paramètre. Elle peut être distinguée du terme « variabilité » qui est spécifiquement défini comme la distribution de fréquence d'une certaine quantité mesurable (poids d'un individu, analyse chimique d'un même échantillon par différents laboratoires par exemple). Dans la suite de ce document, nous parlerons d'incertitude au sens large, c'est-à-dire en incluant les phénomènes de variabilité.

Les incertitudes de l'outil d'aide à la décision peuvent être de deux niveaux :

- des incertitudes liées à des paramètres physiques ou économiques quantifiables : concentrations dans la source, modèles d'exposition, coût du redéveloppement...
- des incertitudes liées à la subjectivité des individus : qualité de formulation du problème, sensibilité des parties prenantes, projet retenu... Ces « incertitudes » ne sont pas quantifiables, ce ne sont pas des incertitudes scientifiques, ce sont plutôt des aléas subjectifs du processus décisionnel.

La place des incertitudes dans les étapes du processus de gestion des mégasites est développée plus en détail dans le chapitre 3 du présent rapport.

1.3.5. Parties prenantes

Au cours des paragraphes précédents, nous avons noté à plusieurs reprises l'importance des parties prenantes. Ces parties, dans le cadre de la réhabilitation des mégasites, sont tous les individus ou groupes d'individus qui sont impliqués dans le projet de redéveloppement ou affectés par celui-ci. Il peut s'agir des administrations nationales, régionales, départementales ou municipales, des entreprises locales, des

propriétaires, des entrepreneurs, des citoyens ou groupes de citoyens, des entreprises de gestion du risque environnemental, des organismes de santé publique.

Chacune de ces parties a sa propre vision, ses propres priorités et ses propres réticences, ses propres ambitions face au projet de réhabilitation du mégasite. Le scénario de gestion du mégasite le mieux adapté sera vraisemblablement celui qui offrira un équilibre entre les différentes parties prenantes, sans en défavoriser injustement une en particulier. Etant donné l'éventail d'intérêts rencontrés dans le cadre du mégasite, atteindre un consensus quant aux objectifs du projet et ses limites (temporelles, monétaires, spatiales, etc.) peut demander du temps et de l'argent et être irréalisable. Pourtant, c'est un élément essentiel pour assurer un développement durable (Vik et al., 2001).

Le rôle des parties prenantes dans le processus d'aide à la décision est développé dans le chapitre suivant.

2. Outils d'aide à la décision, Systèmes d'information géographique et Parties prenantes

Dans ce chapitre, nous nous attacherons d'abord à décrire les différentes familles d'outils d'aide à la décision existantes, et particulièrement les principales méthodes d'analyse multicritère. Nous présenterons ensuite comment les systèmes d'information géographique peuvent être utilisés dans le processus décisionnel. Enfin, nous analyserons le rôle des parties prenantes et leur importance dans la gestion durable des mégasites.

2.1. OUTILS D'AIDE A LA DECISION

Comme constaté dans le premier chapitre de ce rapport, la réhabilitation des mégasites présente des enjeux socio-économiques, sanitaires et écologiques. La viabilité d'un projet de redéveloppement dépendra donc d'un ensemble de facteurs, tels que les coûts, les bénéfices, l'impact environnemental, la sécurité, les risques, la faisabilité technique, l'opinion publique, etc. Nous avons donc, typiquement, un problème complexe, avec des facteurs contradictoires affectant la décision. Les outils d'aide à la décision sont donc communément utilisés dans le cadre des sites contaminés, afin de guider les décideurs vers un scénario de gestion du site optimal.

Dans ce paragraphe, différentes familles d'outils d'aide à la décision sont présentées. Les principales méthodes d'analyse multicritère utilisées dans le domaine de la réhabilitation des sites pollués sont ensuite introduites.

2.1.1. Les différentes familles d'outils d'aide à la décision

Le groupe de travail 2 du projet CLARINET fournit une revue des principaux outils analytiques d'aide à la décision couramment utilisés en Europe. Il s'agit des outils suivants : l'évaluation des risques environnementaux, l'analyse de cycle de vie, l'analyse coût-bénéfice, l'analyse multicritère, l'analyse multi-attributs (CLARINET WG2, 2002). Chacune de ces familles est sommairement présentée dans les paragraphes suivants.

L'évaluation des risques environnementaux

L'évaluation des risques environnementaux est l'examen des risques encourus par les écosystèmes, les animaux, les personnes et autres récepteurs (eaux souterraines, bâtiments). L'évaluation des risques sanitaires dans le cadre de la gestion de sites potentiellement pollués est un outil d'aide à la décision fréquemment utilisé dans de

nombreux pays (CLARINET, 2002). Le lecteur est renvoyé au paragraphe 3.1 pour des exemples de méthodologies développées en Europe.

L'analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie détermine les impacts sur l'environnement causés par un service ou un produit, tout au long de sa vie. Dans le cas de la production d'un produit, on évalue l'impact sur l'environnement associé aux matériaux primaires et l'énergie nécessaire pour la fabrication du produit, les déchets, les émissions générées et les impacts environnementaux potentiels associés.

Weth (2000) retranscrit une citation de Schmidt-Bleek (1993) définissant le cycle de vie comme une comparaison, aussi compréhensible que possible, des effets environnementaux de différents scénarios. Cette méthode a l'avantage de favoriser les scénarios ayant un impact minimal sur l'environnement. Cette méthode est à la base de la fabrication de produits industriels. Dans notre contexte, l'analyse du cycle de vie peut s'appliquer aux scénarii de réhabilitation. Cette méthode doit permettre de définir la technique de dépollution dont la mise en œuvre a un impact minimal sur l'environnement (nuisances liées aux travaux, produits, déchets, etc.).

L'analyse coût-bénéfice

L'analyse coût-bénéfice est un outil économique permettant de déterminer si les bénéfices d'un investissement, d'une politique ou d'un choix dépassent ses coûts, ou non. La prise de décision dans beaucoup de pays est maintenant souvent vue comme une balance entre les coûts et les bénéfices. Dans le cadre des mégasites, le travail de réhabilitation doit montrer un bénéfice net par rapport aux coûts. Les coûts sont considérés du point de vue environnemental comme du point de vue économique et social.

Certains facteurs, tels que les facteurs sociaux ou les impacts environnementaux, par exemple, ne sont, à priori, pas quantifiables monétairement et durablement. Les économistes peuvent cependant leur attribuer une valeur monétaire en associant à chacune de ces valeurs un intervalle de confiance.

Une version simplifiée de l'analyse coût-bénéfice est l'analyse de l'efficacité des coûts. Les bénéfices ne sont pas estimés de façon monétaire, mais sous forme de scores individuels. Une note d'ensemble est assignée aux bénéfices puis divisée par les coûts pour mesurer l'efficacité.

L'analyse multicritère

L'analyse multicritère est souvent utilisée dans la prise de décision. Ces outils d'aide à la décision ont été développés depuis les années 1960. Lorsque le décideur se trouve face à plusieurs scénarii possibles, il définit un ensemble de critères pour juger ces scénarios. Dans le cadre des mégasites, les critères de jugement étant complexes et conflictuels (d'ordre technique, environnemental, économique, social, et légal), aucun

scénario ne se dégagera du lot de manière évidente pour tous car aucun scénario ne sera le plus performant pour tous les critères. L'objectif même de l'analyse multicritère est alors de définir le scénario qui satisfait au mieux à un ensemble de critères potentiellement contradictoires.

L'analyse multicritère consiste à considérer tous les critères à prendre en compte dans le choix d'un scénario, à leur attribuer un poids en fonction de leur importance relative, à noter chaque scénario par rapport à tous les critères, et enfin à agréger le résultat (NATO/CCMS, 2000). Il y a trois grandes familles d'aide multicritère à la décision. Ces familles peuvent toutes prendre en compte des critères relatifs aux coûts, aux risques sanitaires et écologiques, aux valeurs sociétales associées aux bénéfices de la réhabilitation, à la faisabilité technique, etc. Elles diffèrent de par la façon de comparer les différents scénarii pour les classer. Ces trois familles sont les suivantes :

- l'agrégation complète : l'agrégation complète, ou la théorie de l'utilité multi-attribut, consiste à agréger les différents critères en une fonction unique afin de l'optimiser,
- l'agrégation partielle : cette méthode consiste à établir une relation de sur-classement entre les actions représentant les préférences du décideur,
- l'agrégation locale : elle alterne les méthodes de calcul et de dialogue avec le décideur.

La section suivante présente ces méthodes plus en détails.

Conclusion

L'aide à la décision dans les projets environnementaux est un exercice complexe qui nécessite des compromis entre les aspects socio-économiques, environnementaux, techniques et administrativo-légal. L'analyse coût-bénéfice est souvent utilisée comme outil décisionnel, mais la problématique des mégasites fait appel à un ensemble de critères complexes tels que l'impact environnemental, la sécurité, les risques, les opinions des parties prenantes, difficilement convertibles en valeur monétaire. Ainsi, les méthodes d'analyse multicritère semblent les mieux appropriées à l'aide à la décision dans le cadre des mégasites. Elle offre la possibilité d'analyser des flots d'information d'origine diverse (Linkov, 2004). Elle pourra être couplée à une analyse coût-bénéfice pour faciliter le choix du scénario final et reprendra bien entendu des étapes d'évaluation des risques environnementaux.

Il faut noter que si les outils d'aide à la décision aident le décideur à formuler un choix de façon plus transparente et robuste, ces techniques ne doivent pas être considérées comme fournissant des réponses définitives qui donnent la décision à prendre. Elles sont une partie de la prise de décision ; et la fiabilité de chaque technique doit être jugée au cas par cas. Toutes ces techniques combinent science et jugements de valeurs, à différents degrés. Certaines parties prenantes peuvent voir ces outils comme très subjectifs, mais le gestionnaire de chaque projet se doit de faire accepter l'outil

choisi à un maximum de parties prenantes afin de rendre le processus décisionnel transparent.

2.1.2. Les principales méthodes d'analyse multicritère

Un grand nombre de méthodes d'analyse multicritère a été développé. Cependant, Linkov et al. (2004), qui ont étudié les articles publiés durant les dix dernières années en matière d'analyse multicritère, constatent que peu d'études ont été réalisées sur l'application des outils d'analyse multicritère à la gestion des sites pollués. Ils fournissent une liste non-exhaustive d'études réalisées dans ce domaine, et les méthodes d'analyse multicritère utilisées pour chacune d'elles.

Les méthodes d'analyse multicritère sont basées sur une agrégation complète, partielle ou locale des critères entrant dans l'établissement de la hiérarchisation des scénarios. ANTEA (1997) présente les grandes classes d'analyse multicritère relatives aux problèmes de hiérarchisation. Un résumé de ces grandes classes est donné dans les paragraphes suivants.

L'agrégation totale

Lorsqu'on veut hiérarchiser des scénarii, la première idée qui vient à l'esprit est d'optimiser une fonction, sorte de note globale, en attribuant à chaque critère entrant dans le choix des scénarii un score. Les scénarii sont ainsi triés les uns par rapport aux autres. Cependant, il est supposé que tous les scénarii puissent être comparés les uns aux autres.

Trois familles de méthodes existent :

- les méthodes de la somme pondérée. Elles consistent en une agrégation complète par somme ou multiplication des scores ou notes. Le principal avantage de ces méthodes est leur facilité de mise en œuvre, mais elles ont peu de fondement théorique et ont donc une grande part d'arbitraire,
- les méthodes associées aux fonctions d'utilité. Elles admettent que la totalité de l'information est contenue dans sa fonction d'utilité. Cette fonction est supposée décomposable en k fonctions réelles, appelées utilités partielles, qui sont classées par le décideur selon deux relations binaires, à savoir la préférence et l'indifférence. Les différences entre les méthodes basées sur l'utilité résident dans la façon d'estimer les utilités partielles et la façon de les agréger. On citera par exemple la méthode des fonctions d'utilité multi-attributs et la méthode UTA. L'avantage de la méthode des fonctions d'utilité multi-attributs réside dans la prise en compte de la dimension du risque que prend le décideur. Cependant, elle est difficile à mettre en œuvre, car exige beaucoup d'informations que le décideur ne peut fournir. L'avantage de la méthode UTA réside dans l'exploitation maximale d'une information minimale demandée au décideur. Ces méthodes sont difficiles à mettre en œuvre lorsque le nombre de critères entrant dans la variable décisionnelle devient trop important,

- les méthodes basées sur la distance qui sépare une action donnée de l'action idéale, définie comme réalisant les meilleures performances pour chaque critère. Ces méthodes sont simples à mettre en œuvre, mais l'attitude des décideurs et les poids sont difficilement quantifiables en terme de distances.

Méthodes d'agrégation partielle ou méthodes de sur-classement

Dans certaines situations, il peut être difficile d'arriver à trier tous les scénarii les uns par rapport aux autres, par manque de données et/ou d'informations. Les méthodes qui suivent permettent de classer des scénarii, partiellement, même lorsque l'information est limitée.

Les méthodes de sur-classement permettent de définir si un scénario *a* domine un autre scénario *b*. Tel est le cas si *a* réalise une performance au moins aussi bonne que *b* sur tous les critères et comporte au moins une performance meilleure sur un critère.

Un certain nombre de méthodes, telles que PROMETHEE ou ELECTRE, ont été développées, puis testées sur différents problèmes. Ces deux méthodes sont applicables dans le contexte environnemental et ont été appréciées des utilisateurs (Salminen et al., 1998).

• Prométhée

Les méthodes PROMETHEE, développées par Brans et al. (1986) (cité dans Simon et al., 2004), sont des méthodes d'analyse multicritère de sur-classement. Elles permettent de définir des relations de sur-classement, d'indifférence et d'incomparabilité entre deux scénarii. Le but est de ranger les scénarii du meilleur au moins bon. Pour chaque scénario, une note et un poids sont attribués à chaque critère, afin d'évaluer l'indice de préférence d'un scénario sur l'autre. Cet indice est ensuite utilisé pour calculer l'attractivité d'un scénario sur l'autre, définie comme différence entre la dominance du scénario par rapport à tous les autres et la soumission de ce scénario par rapport à tous les autres.

Les méthodes PROMETHEE sont utilisées dans de nombreux cas de recherche opérationnelle, et plus récemment dans la prise de décision en matière environnementale (Simon et al., 2004).

• Electre

La méthode ELECTRE a été élaborée en 1978 par B. Roy (1989) (cité dans Rogers et al., 1998 ; Côme, 1995). Dans cette méthode, un ensemble de scénarii potentiels et des critères de sélection sont tout d'abord définis. Ces scénarii sont jugés deux à deux, en fonction de leur performance, de leur importance et des critères de sélection. Un pré-ordre, potentiellement non total, exprime les positions relatives de ces scénarii.

Il existe quatre sortes de méthodes ELECTRE. Electre I permet de définir deux sous-ensembles de scénarii, au moyen de la relation de sur-classement précédemment définie. Electre II classe les scénarii potentiels depuis le « meilleur » jusqu'au « moins

bon » en tolérant les ex aequo. La méthode Electre III introduit la notion de flou dans la relation de sur-classement. Electre IV abandonne la notion de pondération et la remplace par la double vérification, à savoir qu'aucun critère ne doit être prépondérant face à un regroupement d'une moitié quelconque des critères et qu'aucun critère ne doit être négligeable face à un regroupement d'une moitié quelconque des critères. ELECTRE III est la méthode la plus élaborée des méthodes ELECTRE (Rogers et al., 1998). Le lecteur est renvoyé dans le chapitre 4 du présent rapport pour le détail de la méthodologie ELECTRE III. Pour les autres méthodes, il est renvoyé au rapport de stage de Caillet (2003).

Les méthodes ELECTRE offrent la possibilité de :

- comparer des scénarii suivant chaque critère indépendamment, sans agrégation « brutale » des données ;
- construire chaque critère indépendamment des autres, c'est-à-dire d'utiliser, de la façon la plus appropriée, des échelles quelconques, ainsi que des critères qualitatifs et quantitatifs ;
- modifier les critères, d'en ajouter ou d'en supprimer ;
- introduire la qualité des données (imprécision, indétermination, incertitude), en particulier par le biais de différents seuils.

Une étude réalisée par ANTEA (1994, 1995) sur la méthode ELECTRE III souligne les avantages de cette méthode comparativement aux autres méthodes existantes :

- c'est une méthode robuste, offrant une modélisation plus fine et plus claire des préférences des décideurs,
- c'est une méthode évolutive : on peut changer/ajouter/effacer les critères de nature diverse, changer leur importance,
- une fois que les préférences sont fixées, la construction de la méthode est assez aisée,
- les critères sont indépendants,
- cette méthode prend en compte la qualité des données en insérant un seuil de préférence et d'indifférence,
- la présentation et lecture de la méthode sont simples,
- l'utilisation du temps est similaire à d'autres méthodes.

En revanche, la difficulté réside dans la sélection des critères et l'importance à leur donner.

Conclusion

Les méthodes reposant sur l'agrégation totale ont l'avantage d'être simple d'utilisation, mais réduisent les problèmes complexes à une seule échelle, ce qui est souvent une simplification exagérée. Ces méthodes conduisent souvent à une représentation trop conservatrice du problème. Les méthodes de sur-classement offrent une plus grande flexibilité en introduisant des échelles semi-quantitatives. Ces méthodes ont l'avantage d'introduire la notion d'incomparabilité qui peut être utile dans le cas de scénarii trop différents pour être comparés. ANTEA (1997) conseille l'utilisation des méthodes ELECTRE pour toute hiérarchisation dans le domaine de la géo-ingénierie.

La mise en place d'outils d'aide à la décision demeure rare dans la gestion des sites pollués (Linkov, 2004). Ceci est lié à la complexité du processus, nécessitant des concessions souvent difficiles. En revanche, les méthodes d'analyse multicritère ont été utilisées pour la résolution de problèmes similaires, tels que :

- la hiérarchisation des sites/zones d'activités industrielles/militaires. Les méthodes d'analyse multicritère ont été utilisées, en conjonction avec les outils SIG (Systèmes d'Information Géographique) pour identifier les zones polluées et sélectionner les limites du site,
- la sélection des technologies de réhabilitation,
- l'évaluation des impacts environnementaux,
- la gestion des ressources naturelles.

Les méthodes d'analyse multicritère ont également été utilisées pour la prise en compte des points de vue des parties prenantes. Linkov et al. (2004) fournissent des exemples d'études réalisées dans chacun de ces domaines, et les méthodes d'analyse multicritère utilisées dans chaque cas.

La littérature s'accorde à dire que le choix de la méthodologie fournit des résultats similaires et qu'il appartient au décideur de choisir la méthodologie qu'il souhaite utiliser (Khalil et al., 2004). Salminen et al. (1998) ont comparé les méthodes ELECTRE III, PROMETHEE I, II et SMART (analyse multi-attribut). Ils concluent que les différences entre les solutions d'ELECTRE III, PROMETHEE et SMART ne sont pas significatives. Elles sont dues aux procédures de construction du pré-ordre partiel qui diffèrent dans PROMETHEE et ELECTRE III. Ils suggèrent d'utiliser plusieurs méthodes, et, si les résultats diffèrent, de décrire aux décideurs les procédures et les laisser choisir. Si une seule méthode doit être choisie, ils recommandent ELECTRE III, principalement à cause du traitement des incertitudes proposé dans cette méthode.

2.2. LES SIG COMME OUTILS D'AIDE A LA DECISION

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sont aujourd'hui des outils communément utilisés pour le croisement des données, la localisation des enjeux, la détermination d'un zonage, les analyses spatiales ou la visualisation d'indicateurs territoriaux, mais encore peu exploités comme un outil dynamique d'aide à la décision.

Toutefois, dans les processus décisionnels, le recours aux SIG permet non seulement de diffuser les connaissances, mais également de faciliter le suivi ou la visualisation interactive des impacts du choix des décideurs sur la région d'étude.

2.2.1. Typologie des Systèmes d'Informations Géographiques

Selon les domaines d'utilisation

La nature des SIG¹ est très variable selon les thèmes abordés, chaque domaine a en effet des besoins spécifiques pour la gestion et le traitement des données spatiales.

Ainsi, *la géologie* sollicite des techniques d'interpolation, de visualisation 3D, d'analyse de courbes de niveaux.

La télédétection est quant à elle associée aux SIG pour *la gestion environnementale, l'agriculture, l'étude des paysages,...*

Les techniques d'observations en temps réel (de type radars ou satellites) seront plutôt utilisées pour *la gestion de crise* (par exemple par les services d'alerte de crues).

Pour *l'optimisation des réseaux ou de tracés* (Alimentation en Eau Potable, infrastructures de transports, réseaux de gaz et d'électricité), ce sont les analyses de distance, de coût, de la géomorphologie (pente, réseau hydrographique,...) et les outils topologiques qui sont pertinents.

En *planification urbaine*, c'est la représentation la plus réelle possible du territoire actuel et des futurs aménagements qui est recherchée. La visualisation interactive de cartes est aussi répandue (la ville d'Agen met ainsi en ligne la consultation de son Plan d'Occupation des Sols : <http://www.ville-agen.fr/mairie/info/pos/4.htm>). De plus, la production et la diffusion de cartes selon un processus participatif se développent, des techniques de cartographie participative sont ainsi mises en place notamment dans les pays en voie de développement (<http://iapad.org/>).

Concernant la *gestion des ressources ou les sites pollués*, la phase d'inventaire cartographique est essentielle. Les sites internet comme le portail de l'eau (<http://www.eaufrance.fr>) ou celui des Observatoires de Recherche en Environnement

¹ Ce terme ne fait pas référence ici aux outils logiciels, mais à tout ce qu'englobe un système d'information à référence spatiale (logiciels, données, matériel et savoir-faire).

(<http://www.ore.fr>), facilite l'accès aux données par la constitution d'une base de métadonnées. Le site internet BASIAS (<http://basias.brgm.fr>), qui inventorie les Anciens Sites Industriels et Activités de Service, est très consulté.

Selon les différents usages

Les productions cartographiques dans le domaine des sites pollués peuvent avoir plusieurs usages. Elles peuvent ainsi répondre à ces questions :

Où et Quoi ?

Le premier usage de la cartographie est la description de la région d'étude, l'identification des sources, des cibles, des vecteurs de pollution. Or la représentation des informations géographiques issues de bases de données ou d'analyses de terrain nécessite des outils permettant l'intégration de données d'origine et de nature diverses, le géoréférencement, le renseignement des métadonnées et l'optimisation de l'espace de stockage (comme les géodatabases²).

Comment ?

Une fois le domaine d'étude situé, les principaux objets géoréférencés, nous avons besoin de savoir comment les objets sont positionnés les uns par rapport aux autres, quelles sont leur relations. Par exemple, un SIG peut être utilisé pour connaître le processus de transfert d'un polluant, les conditions de transport via les réseaux hydrographiques, les distances entre les sources et les cibles, etc. L'usage analytique de la cartographie est reconnu et largement exploité. L'interprétation des données peut se traduire par la création d'indicateurs environnementaux spatiaux. De nombreux organismes s'appuient sur des indices issus d'analyse spatiale (comme le Ministère de l'Environnement du Canada³ pour l'analyse des pluies acides, l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique qui utilise notamment comme indicateur le nombre de jours de gel par an ou l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE), au travers du programme Corine Land Cover).

L'analyse peut être non seulement spatiale, thématique mais aussi temporelle.

Et si ?

Que se passerait-il s'il se produisait tel événement ? Il est désormais possible de visualiser un modèle d'évolution dans l'espace et dans le temps (propagation d'un incendie, comportement d'une foule, fonte des glaces, progression d'un virus...).

² Elles prennent en charge le stockage et la gestion d'informations géographiques (avec leurs liens topologiques) dans des tables du système de gestion de bases de données relationnelles standard. D'après une définition du guide d'utilisation du logiciel Arcgis.

³ Visualisation en ligne des dépôts humides moyens de sulfate au Canada : http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/Indicator_series/default.cfm

2.2.2. L'intervention des SIG dans le processus décisionnel

Les différentes phases

Selon Florent JOERIN⁴, comme aide à la décision territoriale, l'outil « SIG » intervient :

- soit pour déclencher des actions (phase diagnostic)
- soit /et pour construire la décision.

La représentation cartographique peut en effet contribuer à convaincre les différents acteurs impliqués de la nécessité d'agir (phases Observer et Evaluer dans la Figure 2). Elle joue aussi un rôle dans l'élaboration de projets, de variantes, de scénarii d'aménagement (phase Adapter dans la Figure 2).

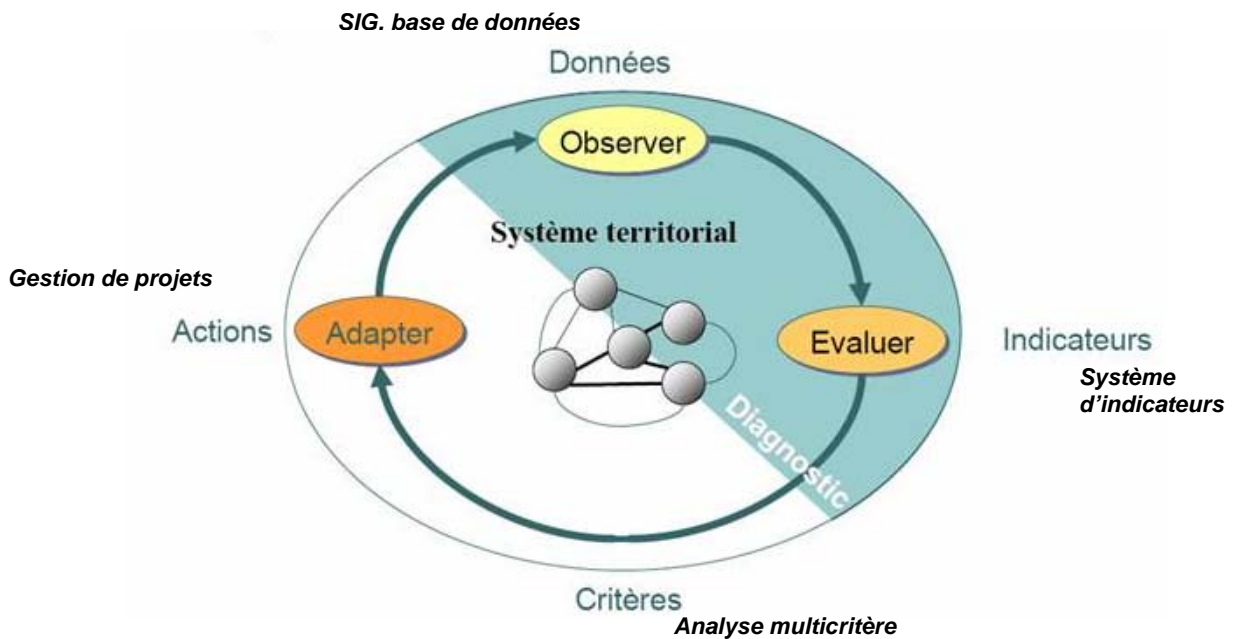


Figure 2 - Les différentes phases du processus d'aide à la décision d'après Florent JOERIN (2006)

Le SIG intervient dans les différentes phases de ce processus décisionnel en agissant sur les données :

⁴ Titulaire de la Chaire de recherche du Canada en aide à la décision territoriale

Phases	Actions sur les données
Observer	Collecte
Evaluer	Traitement
Adapter	Gestion

Outil de collecte :

La plupart du temps, la difficulté de cette étape est liée à l'hétérogénéité des données, il importe alors de renseigner avec précision l'origine, la source et la qualité de chaque information. Pour combler l'absence ou la mauvaise qualité des données à l'échelle locale, des techniques utilisées en cartographie participative sont parfois mobilisées. Selon Giacomina Rambaldi (2006), il est possible de générer de l'information spatiale en intégrant le savoir autochtone avec une approche fondée sur des langages visuels, des exemples de maquettes participatives dans des villages africains ont ainsi permis de collecter des données précises et d'une manière optimale en terme de temps et de coût.

Outil de traitement des données :

Les techniques d'analyse spatiale et thématique permettent de définir les enjeux, les critères et les variantes d'un projet, d'identifier des zonages. Il existe une palette d'outils allant de fonctions simples (comme les intersections de polygones, les requêtes sur les tables attributaires) à des modélisations spécialisées plus complexes ou des techniques d'interpolation ou de krigeage adaptées.

Outil de gestion :

Le SIG est un outil de gestion utilisé de façon très variable selon les domaines.

Il peut faciliter l'optimisation, la maintenance et l'implantation de nouveaux réseaux, l'identification des zones d'intervention, le suivi en temps réel de paramètres météorologiques (lame d'eau), physico-chimiques (pH, concentration en Nitrates, débits,...), etc. L'analyse des images satellite à des périodes différentes peut permettre de contrôler l'occupation des sols (contrôle de la déforestation en Guyane, protection d'espèces protégées, etc.). La phase « gestion des données » passe souvent par un couplage des SIG avec les outils de simulation ou avec une analyse multicritère.

Outil de communication, de diffusion

Via les interfaces web, les portails d'accès, les logiciels de type Google Earth, les données et les analyses spatiales sont consultables et facilement interrogeables par un large public. Les outils de visualisation sont de plus en plus évolués.

Exemples de SIG en tant qu'outil unique d'aide à la décision

Afin de permettre le choix d'un site parmi plusieurs sites de stockage de CO₂ dans le sous-sol à l'échelle européenne, un outil SIG d'aide à la décision a été développé par TNO et Ecofys [Egberts, 2003]. Il a pour objectif d'estimer un coût de capture et de stockage de CO₂ et d'optimiser le transport en fonction des infrastructures existantes (pipelines), de la distance entre les sources d'émission et les sites potentiels de stockage, de l'occupation du sol et des caractéristiques des sites.

La géomatique⁵ peut être un soutien à la prise de décision et à la surveillance en santé environnementale [Lebel, 2006]. Un système d'informations géographiques a ainsi été développé au Québec pour étudier la progression de l'infection au virus du Nil occidental. Celui-ci, basé sur une collecte et une analyse des foyers d'infection, a permis d'identifier des zones d'interventions préventives dans les zones à risque, d'établir des zones de surveillance et des recommandations en vue de l'application de larvicides ou d'adulticides en situation épidémique.

De nombreux exemples peuvent être cités pour l'évaluation et la gestion des risques de sécheresses, d'inondations, de carence d'alimentation en eau potable... [Chan, 2006], [Kunlun], [Mongkolsawat, 2000], [Nagarajan], [Wienand].

Exemples de SIG couplés avec les analyses multicritères

Le modèle MEDUSAT (MEthode d'aide à la Décision par l'Utilisation de SIG pour l'Aménagement du Territoire) a été développé par Florent Joerin en 1997. Il permet entre autres « de traduire les options ou le choix des acteurs par la simulation de faits et de conséquences ». « Le lien entre le SIG et la méthode d'analyse multicritère est réalisé par une description du territoire en zones homogènes ». Cette notion de zones homogènes aux caractéristiques semblables est reliée aux classements entre les critères dans les méthodes Electre (ici ELECTRE TRI). Ce modèle a été notamment utilisé pour la recherche d'un emplacement pour une usine d'incinération à Tunis.

Il est toutefois plus fréquent d'utiliser les deux méthodes (analyse multicritère et SIG) lors de l'élaboration d'un indicateur à partir de plusieurs variables dont les poids varient. Un exemple dans la gestion des risques environnementaux est cité ici.

Dans le cadre d'un projet de recherche du Cemagref, des indicateurs spatiaux ont été créés pour établir un zonage de risque potentiel de transferts de pesticides à l'échelle de bassins versants. L'analyse multicritère a été utilisée avec le SIG pour « combiner

⁵ La géomatique regroupe l'ensemble des disciplines et moyens informatiques permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques. (Wikipedia)

les différentes variables constitutives de l'indicateur ». Les méthodes Electre 3 et 4, avec et sans pondération, ont été comparées pour aboutir à l'identification de l'aléa phytosanitaire, à partir de critères définies par analyse spatiale comme la pente, la proximité au réseau hydrographique, la pression phytosanitaire (croisement de l'occupation du sol et du nombre de traitements surfaciques).

Exemples de SIG couplés avec des outils de simulation

Un moyen de prendre en charge à la fois l'aspect temporel et l'aspect spatial consiste à coupler un outil de simulation et un SIG.

Il existe par exemple de nombreux modèles de propagation du feu intégré dans un SIG. Basés sur des analyses statistiques et/ou des modèles physiques (direction et intensité du vent, etc.), ils permettent une prédiction du risque d'incendie. Ainsi, avec un de ces modèles, une cartographie dynamique des feux de forêt a été établie sur le département du Var [Alexandrian, 2003]. Le couplage entre le Simulateur de Propagation de Feu et le SIG a permis de représenter de manière précise le risque d'incendie, en tenant compte du relief, du vent, de la végétation et des enjeux à protéger.

Dans le domaine de l'eau, il existe aussi de nombreux modèles pour évaluer la demande en eau urbaine ou simuler la qualité des eaux d'un cours d'eau. Le modèle PEGASE (Planification Et Gestion de l'Assainissement des Eaux) est un modèle intégré bassin versant/réseau hydrographique [Smits, 1997]. Il fait un calcul prévisionnel et déterministe de la qualité des eaux en fonction des apports et rejets polluants, dans des conditions hydrologiques diverses. Les données d'entrée et les résultats calculés sont traités et visualisés par un SIG.

2.2.3. Limites et Perspectives

Les limites

Adéquation entre les outils et les besoins :

Selon les besoins exprimés, le choix des outils est variable : les données satellites ne sont ainsi pas forcément adaptées à une analyse fine à une échelle très locale.

De plus, de nouvelles techniques d'observation (imagerie spatiale de très haute résolution) et de diffusion des données (portail internet, ...) sont attrayantes, mais il importe de bien choisir les moyens à utiliser en fonction des besoins. Et les données facilement disponibles ne sont pas toujours les plus adéquates.

Risque juridique

La diffusion de données spatiales peut être l'objet de poursuites judiciaires. L'information géographique peut en effet être trompeuse. En Amérique du Nord, des diffuseurs de cartes (numériques ou sur papier) ont été déclarés responsables de

dommages matériels ou corporels, suite à des erreurs de positionnement d'objets géographiques, d'imprécision sur des distances calculées, de cartes incomplètes ou trop dures à interpréter. Marc GERVAIS définit trois obligations juridiques lorsque l'on diffuse une information géographique :

- Obligation de prudence et de diligence, à un degré supérieur,
- Obligation d'efficacité intellectuelle et technique,
- Obligation de renseignement.

Vers la nécessité d'intégrer les métadonnées

Dans le cadre des mégasites, les données seront très hétérogènes (selon les domaines : air, eau, sol...), à des échelles différentes.

Pour maîtriser la diversité des sources du SIG, pour s'assurer de la cohérence et de la fiabilité des informations spatiales, il importe de structurer les données. Pour répondre à ce besoin et pour permettre à l'utilisateur de connaître leurs limites d'utilisation, les données sont accompagnées d'informations qui les caractérisent : les métadonnées.

Elles détaillent la date de création, la méthode d'acquisition, le contenu, l'échelle, la structure, la qualité, les schémas spatiaux et temporels, la référence spatiale et la distribution des données géographiques.

Afin d'assurer l'interopérabilité du système d'informations, les métadonnées peuvent être définies par des normes qui contiennent un ensemble commun de termes, de définitions et de structures. La norme ISO 19115 est la norme ISO de métadonnées pour l'information géographique, elle a le statut de norme internationale (IS) depuis 2003.

D'après la cellule de normalisation de l'IGN, les éléments de métadonnées sont les suivants au sens de la norme ISO 19115 :

- informations d'identification:
 - intitulé, description, dates de référence, version, résumé, intervenants, ...
 - étendue des données
 - aperçus sur les données
 - informations sur les emplois possibles
 - contraintes légales et de sécurité, ...
- description du contenu
- système de coordonnées
- informations de géolocalisation et d'organisation des données

- informations de qualité (ou de qualification)
- mesures de qualité
 - précision géométrique, temporelle et sémantique,
 - exhaustivité,
 - cohérence logique
- informations de généalogie :
 - description des sources
 - description des processus appliqués aux sources
- modalités d'affichage (légendes)
- modalités de diffusion
- modalités de maintenance

Une donnée n'est pas décrite par une seule métadonnée mais par un jeu de métadonnées.

Pour la gestion de sites complexes comme les mégasites, les métadonnées sont particulièrement importantes pour permettre l'évaluation et la comparaison des données.

Des pistes de progrès

Dans un processus décisionnel, l'information géographique et sa facilité d'accès revêtent une importance cruciale [Péribois, 2005]. La diffusion de cartes via le réseau est en pleine expansion. La consultation et l'interrogation des données sont très faciles et certaines fonctionnalités plus avancées d'un SIG sont communément employées par le grand public (recherche du trajet le plus court pour aller du lieu A au lieu B, recherche du bureau de poste le plus proche de son lieu d'habitation, etc.). Chacun peut visualiser gratuitement les images aériennes de la France (via le Géoportail) ou les images satellites de la Terre en 2D ou en 3D (Google Earth).

Les logiciels libres de SIG permettent à un large public de manipuler des informations géographiques. Les portails SIG ressemblent de plus en plus à de véritables SIG de bureau professionnels, mais il est encore difficile et réservé à un public sensibilisé aux SIG voire professionnel de modifier des éléments géographiques et de faire des opérations topologiques (comme créer des intersections).

Quant aux logiciels payants, ils donnent de plus en plus d'importance à la diffusion aisée et à la facilité de traitement des cartes produites.

Ainsi, de gros efforts de recherche ont été faits et se poursuivent dans le sens de l'interopérabilité entre les SIG produits par des professionnels et l'interface utilisateur.

D'autre part, les outils SIG proposent certes une analyse puissante des données spatiales mais comportent de sérieuses lacunes en ce qui concerne leur volet temporel [PASTOR, 2004]. Ce constat fait en 2004 est encore d'actualité même si la visualisation de processus temporel (mutations du territoire, changement climatique, évolution du taux de CO₂ dans l'atmosphère, propagation d'un incendie, variation du niveau de la nappe ...) est très courante. Des progrès ont été réalisés et des recherches sont en cours sur la manière d'organiser le temps dans un SIG. En effet, lorsque les propriétés des objets géographiques évoluent au cours du temps, c'est par exemple la gestion des légendes qui est difficile. Le recours à des curseurs sur lesquels on peut faire défiler les années ou à des animations de type « séquences vidéo » est de plus en plus facile à mettre en place. Ainsi pour observer un phénomène de propagation d'un polluant, une animation, créée directement avec les outils SIG, permet de faire défiler des cartes de manière automatique comme si on visualisait une séquence vidéo.

Ainsi, les outils en plein essor comme la visualisation performante pour analyser l'évolution d'un phénomène ou l'interface entre les SIG professionnel et grand public sont des atouts qui font des SIG de véritables outils d'aide à la décision. Combinés aux outils classiques du SIG (indicateurs spatiaux, délimitation de zones prioritaires, etc.) et aux outils de simulation et d'analyse multicritère, ils offrent aux utilisateurs une analyse plus aisée de leur territoire.

2.3. LES PARTIES PRENANTES

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1 du présent rapport, les parties prenantes, dans le cadre de la réhabilitation des mégasites, sont tous les individus ou groupes d'individus qui sont impliqués dans le projet de redéveloppement ou affectés par celui-ci. Elles ont un rôle déterminant dans la gestion durable des mégasites (CABERNET, 2004).

2.3.1. Leur importance dans le processus d'aide à la décision

Les parties prenantes ont leurs propres visions et questions sur le site. Offrir la possibilité de participation aux différentes parties prenantes est une condition nécessaire au développement durable (CABERNET, 2004). Le respect de la convention Aarhus, ratifiée par la France en février 2002 et par la Communauté européenne en février 2005, va dans ce sens. Elle est relative à l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement. Elle s'inscrit dans le droit fil de la convention de Rio sur le développement durable. Elle vise à promouvoir l'implication de la population en matière d'environnement et à améliorer l'application de la législation environnementale. Elle comporte trois piliers : accès du public à l'information, participation au processus décisionnel, droit à réparation en justice en cas de non respect de la législation environnementale ou des droits qui précèdent.

Le groupe de travail 5 du projet RESCUE, axé sur le développement de méthodes innovantes en matière de participation des citoyens et de développement durable, a identifié cinq raisons de donner aux citoyens la possibilité de participer à la mise en place du projet :

- les citoyens ont le droit d'expression sur tous les sujets publics, comme spécifié dans la convention Aarhus,
- les citoyens doivent être impliqués dans le rassemblement et la diffusion d'information nécessaires au développement, à la mise en place et au respect d'une planification cohérente,
- l'implication des citoyens permet d'éduquer le public,
- la communauté est impliquée. Cela permet de renforcer la coopération entre les citoyens et entre les citoyens et leur gouvernement, et à promouvoir une diminution des conflits, réduisant ainsi les coûts et une meilleure acceptation des résultats,
- pour les planificateurs, promoteurs et investisseurs, la participation des citoyens offre une chance supplémentaire de réussite du projet et permet de donner la possibilité d'adapter le projet en fonction des besoins locaux.

La participation des citoyens dans la conception, la prise de décision, la mise en place et l'évaluation des projets de réhabilitation des mégasites permet d'assurer la transparence et la compréhension des projets, et permet ainsi une meilleure acceptation sociale. Les outils d'aide à la décision devront permettre de faciliter l'intégration des différents points des vues technique, économique ou subjectif des parties prenantes.

2.3.2. Leur intégration au processus d'aide à la décision

Le groupe de travail 1 du projet CABERNET, travaillant sur le rôle des parties prenantes et de la prise de décision dans la réhabilitation des sites pollués, remarque que les outils d'aide à la décision sont mal compris des personnes travaillant dans le domaine de la réhabilitation des sites pollués. Il y a donc besoin de communiquer des savoirs, non seulement en faisant connaître les outils disponibles, mais aussi en montrant des applications sur des projets pilotes qui mettent en évidence l'effet bénéfique qu'une participation bien organisée peut avoir sur le processus et les résultats d'un projet de réhabilitation. En effet, CABERNET reconnaît qu'une participation active des citoyens dans la prise de décision améliore le développement durable des projets de réhabilitation des sites pollués (CABERNET, 2004). CABERNET recommande des actions visant à :

- une meilleure diffusion de l'information, de la connaissance et des outils,
- collecter des exemples de bonne pratique afin d'améliorer la confiance en la participation des citoyens et en l'aide à la décision auprès des parties prenantes dans des projets de réhabilitations,
- mettre en valeur la participation des citoyens et l'aide à la décision afin de changer le mode de pensée actuel,
- former les personnes concernées aux pratiques de la participation des citoyens et de l'aide à la décision,
- ancrer les politiques et conventions européennes dans les politiques locales et régionales,
- placer plus de ressources dans les processus de participation des citoyens et de l'aide à la décision,
- améliorer les outils existants et développer de nouveaux modèles.

La façon de gérer efficacement une participation active des parties prenantes changera au cours des phases du projet, afin d'adapter la communication aux besoins des différentes phases.

2.3.3. La communication au cours du processus décisionnel

La communication dans le cadre d'un projet de réhabilitation des mégasites a deux aspects :

- la participation des citoyens au processus décisionnel,
- la communication de la décision et la diffusion de l'information au grand public.

Dans le premier cas, des outils de communication ont été développés pour faciliter la prise en compte des parties prenantes dans le processus décisionnel en matière de réhabilitation des sites pollués (www.ecoregen.com, www.epa.gov/publicinvolvement, EPA, 1995, RESCUE, 2005). CABERNET (2004) recommande qu'un projet de réhabilitation de site pollué prenne en compte non seulement les aspects techniques et environnementaux, mais aussi l'amélioration de la qualité de vie des populations locales, non seulement dans la définition de l'usage futur du site, mais aussi dans la participation des citoyens au processus décisionnel. Ce dernier aspect est considéré comme fondamental par le groupe de travail.

La communication de la décision et la diffusion de l'information au grand public est un processus délicat car nécessitant l'introduction des incertitudes inhérentes à l'évaluation des risques et au processus décisionnel.

La communication du risque et des incertitudes

La communication aux parties prenantes de tous les éléments du projet de redéveloppement, dont les études de risques, implique la reconnaissance et l'explication des différents types d'incertitudes inhérentes à toute évaluation du risque.

Les évaluations des risques concernent des sujets complexes et se fondent généralement sur des probabilités et non sur des certitudes. Quand des différences significatives d'appréciation des risques apparaissent, les scientifiques expliquent le phénomène en produisant plus de données factuelles incluant des analyses de probabilité. Mais cette approche technique, qui permet en effet de clarifier certains points à l'origine d'incompréhension, ne peut remettre en cause la perception globale du risque qui est plus complexe.

Les réunions publiques organisées lors de la présentation de nouveaux projets montrent que le public ne pense pas en terme de probabilités ; la réaction naturelle à l'exposition à un risque est de poser la question : « suis-je en sécurité ? ». Un autre facteur qui crée une confusion dans la communication du risque est le conflit d'experts appelés à cautionner les avis du promoteur du projet et les dires des opposants sur des sujets relatifs à la toxicité d'un produit, à l'évaluation du risque... Il arrive que les différentes incertitudes liées à l'identification des dangers ou des risques, soient mises

à profit par différents intervenants pour rassurer ou inquiéter le public, ceci étant fait en fonction d'objectifs variés liés à des intérêts individuels ou communautaires (Guyonnet et al., 2005).

Crédibilité du communicant, qualité de la communication

Cette crédibilité a un rôle important dans la façon dont le public perçoit le message fourni par l'équipe de projet et le sentiment de confiance dans ce message. Le gain de confiance est nécessaire à l'acceptabilité des risques et repose en partie sur la qualité des représentants du projet en matière de communication.

Dans les projets de réhabilitation des sites pollués, les a-priori des populations concernées sont généralement négatifs et la confiance doit se gagner, la compétence et l'expertise ne suffisent pas. Deux dimensions importantes sont à prendre en compte : la dimension scientifique qui relève du domaine des experts et la dimension sociale qui relève plus de la perception.

Organisation de la communication du risque

La perception du risque dépend de facteurs liés à l'organisation de la communication du risque : à quels moments du projet doit-elle être initiée ? Quelles seront les étapes clefs de la communication ? Avec qui ? Comment ?

Des erreurs dans un ou plusieurs domaines contribuent à diminuer durablement la crédibilité de l'information délivrée, à augmenter les craintes et l'anxiété vis-à-vis de phénomènes objectifs ou subjectifs et donc à rendre plus difficile la confiance qui doit s'établir entre l'équipe de projet et la communauté.

La transparence qui est recommandée doit conduire à une présentation équilibrée des scénarii, la présentation seule du scénario le plus pessimiste n'est pas le plus recommandé.

Enfin, la perception du risque va varier avec le temps, un programme de réhabilitation d'un mégasite peut mettre plusieurs années à se développer. Pendant la durée du projet, des paramètres internes au projet (changement d'équipe, erreurs ou faiblesses à un instant donné dans la stratégie de participation) ou des paramètres externes d'ordre politique ou institutionnel peuvent jouer sur la perception du risque des populations.

Utilisation d'outils de communication

Les outils méthodologiques d'évaluation des incertitudes font intervenir des notions de probabilité ou même de « probabilité imprécise » dont la communication à un large public est difficile. Ces notions devraient pouvoir être retranscrites dans un langage plus adapté à un contexte de communication, l'utilisateur in fine n'ayant nullement besoin de connaître les subtilités sous-jacentes (Guyonnet et al., 2005). Par exemple, l'utilisation de la notion « d'indice de confiance » présente l'avantage de ne pas se

référer à une école de pensée probabiliste ou possibiliste et possède des connotations positives. Un lien pourrait être établi entre un « indice de confiance » (de type prédiction météorologique) synthétique et communicable à un large public et les outils probabilistes et possibilistes utilisés dans l'évaluation des incertitudes. Des recherches BRGM appliquées au domaine de l'environnement devraient avoir lieu en 2007 sur ces notions.

3. Méthodes de Gestion des Sites et Mégasites Pollués

La gestion des sites pollués et des mégasites en particulier a fait l'objet de plusieurs études au niveau européen, dans le cadre de méthodologies nationales pour les sites et sols pollués et de projets européens tels que WELCOME et INCORE pour les mégasites. Des réseaux d'informations comme CLARINET et NICOLE ont été mis en place afin de regrouper un ensemble d'experts en matière de sites et sols pollués. Le rôle et l'importance des parties prenantes dans la gestion durable des sites et sols pollués a été souligné dans les projets CABERNET et RESCUE. Les paragraphes suivants s'attachent à décrire les motivations et objectifs de chaque projet ou réseau, leurs applications, le cas échéant, et les avantages et inconvénients des solutions / approches proposées. Le but de cette section est d'analyser les outils existants afin d'identifier les manques et contraintes, pour, dans le chapitre suivant, proposer une méthodologie de gestion des mégasites au niveau français. La dernière partie de ce chapitre s'attache à déterminer les incertitudes associées au processus décisionnel et à décrire différents outils permettant de les gérer.

3.1. GESTION DES SITES POLLUES

Dans ce paragraphe, la nouvelle méthodologie française est d'abord résumée. Des systèmes d'aide à la décision ont également été développés en Belgique, au Danemark, en Hollande, en Espagne et en Angleterre (CLARINET, 2002). Les méthodologies développées au Danemark et en Angleterre sont brièvement présentées dans cette section. Enfin, quelques outils développés par l'US-EPA, aux Etats-Unis, sont introduits.

3.1.1. Méthodologie Française

En France, la gestion des sites et sols potentiellement pollués est basée sur une gestion des risques sanitaires. Des outils méthodologiques ont été mis en place dans les années 1990 et sont actuellement en phase d'actualisation. Les nouveaux outils, disponibles en consultation sur le portail <http://www.sitespollues.ecologie.gouv.fr>, proposent une méthodologie de gestion des sites potentiellement pollués basée sur l'adéquation entre l'état du milieu et son usage. Cette nouvelle méthodologie propose de distinguer (Figure 3) :

- la démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) : il s'agit de s'assurer que l'état des milieux est compatible avec les usages déjà fixés,
- le plan de gestion : lorsque la situation permet d'agir aussi bien sur l'état du site que sur les usages qui peuvent être choisis ou adaptés.

Ces deux démarches peuvent être mises en œuvre indépendamment l'une de l'autre, simultanément ou successivement, selon les modalités et les limites explicitées dans le document du MEDD (2006). Par exemple, à l'issue d'une démarche d'interprétation de l'état des milieux, et dès lors que des actions simples de gestion ne sont pas suffisantes, un plan de gestion peut être nécessaire pour rétablir la compatibilité entre état des milieux et usages. A l'inverse, la mise en œuvre d'un plan de gestion pour la réhabilitation d'un site peut conduire à découvrir des pollutions hors des limites du site objet du projet. A l'extérieur du site, une démarche d'interprétation de l'état des milieux pourra alors permettre d'examiner la compatibilité entre les usages constatés et l'état des milieux pollués.

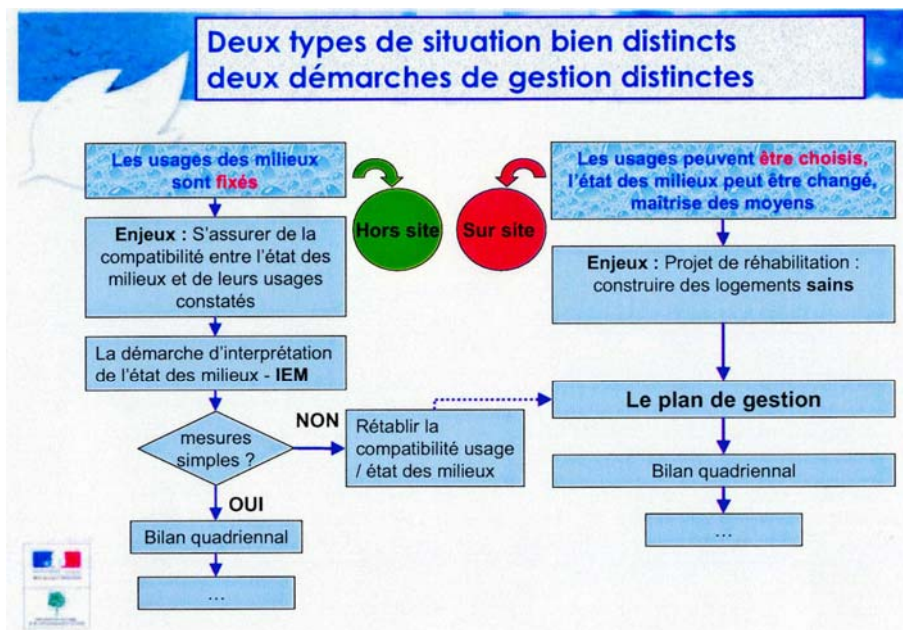


Figure 3 – Gestion des Sites et Sols Pollués (Guide en cours d'élaboration)

La première étape des deux démarches est le schéma conceptuel. Ce schéma doit permettre d'appréhender l'état des pollutions des milieux et les modes de contamination potentiels en fonction des activités et des usages du site étudié et de son environnement. Il doit préciser :

- les sources de pollution,
- les différents milieux de transfert et leurs caractéristiques,
- l'étendue des pollutions,
- les populations riveraines, les usages du site et des milieux, les milieux d'exposition,
- les ressources naturelles à protéger.

La démarche IEM devra distinguer :

- les milieux qui ne nécessitent aucune action particulière. Leurs usages n'exposent pas les populations à des niveaux de risques théoriques excessifs,
- les milieux qui peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion,
- les milieux qui nécessitent un plan de gestion.

Le plan de gestion a pour objectif de conduire à l'adéquation entre l'état des milieux et les usages auxquels on le destine. Le projet de réhabilitation sera adapté en fonction des contraintes des milieux. La démarche, illustrée en Figure 4, consiste à :

- identifier les problèmes,
- définir les objectifs de la réhabilitation par une évaluation quantifiée des risques sanitaires,
- mettre en place une analyse coûts / avantages des mesures de réhabilitation envisageables. Il conviendra de considérer en premier lieu les mesures visant à éliminer la source et en second lieu celles conduisant à annuler une ou des voies de transfert,
- mettre en œuvre les mesures de réhabilitation,
- analyser les risques résiduels et montrer qu'ils sont « acceptables », c'est-à-dire que l'état dans lequel se trouve le site après réhabilitation n'est pas de nature à conduire à des expositions inacceptables.

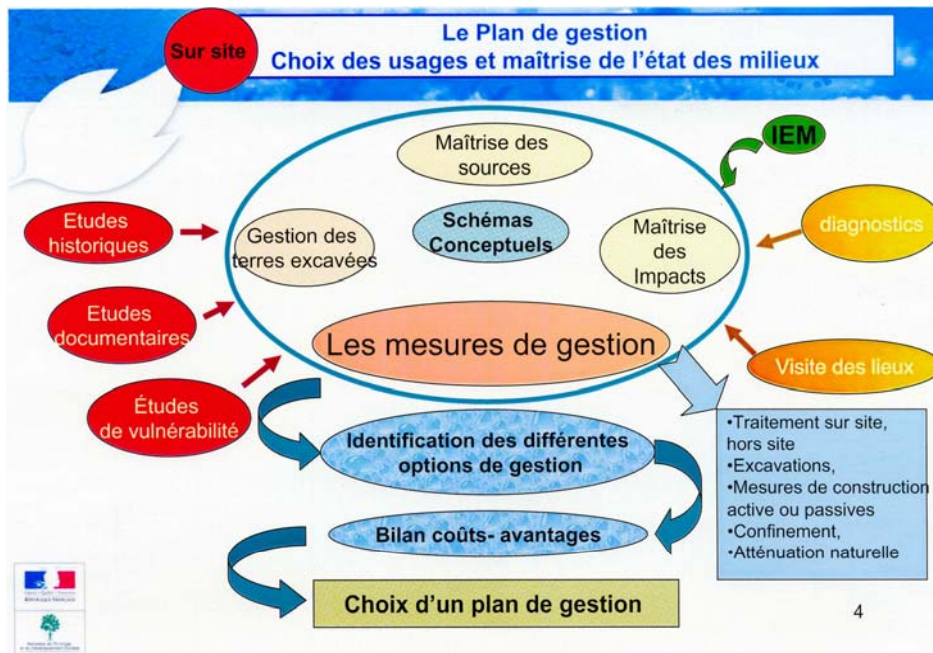


Figure 4 – Plan de gestion

L'analyse des risques résiduels (Figure 5) met en évidence une nouvelle approche de gestion des incertitudes dans l'évaluation quantitative des risques sanitaires. Les résultats des risques sanitaires par polluant peuvent être :

- très inférieurs aux seuils de risque, dans ce cas, le guide considère que les incertitudes inhérentes à la connaissance du site et aux calculs de risques ne peuvent jouer sur l'acceptabilité des risques sanitaires pour les usages considérés,
- très supérieurs aux seuils de risques, dans ce cas, le guide considère que les incertitudes inhérentes à la connaissance du site et aux calculs de risques ne peuvent jouer sur l'inacceptabilité des risques sanitaires pour les usages considérés,
- compris dans une fourchette appelée zone d'incertitude et se situant de part et d'autre des seuils de risques, dans ce cas, le site nécessite une « évaluation plus approfondie de la situation » (Annexe 1 à la circulaire, projet du 18 juin, MEDD, 2006).

Selon le guide méthodologique (MEDD, 2006), cette dernière configuration peut être gérée par une argumentation appropriée (réalisation d'une étude de sensibilité pour justifier la compatibilité entre l'état des milieux et les usages), par des mesures de gestion simples sans investigations complémentaires ou bien par la réalisation d'une évaluation quantitative des risques sanitaires plus approfondie.

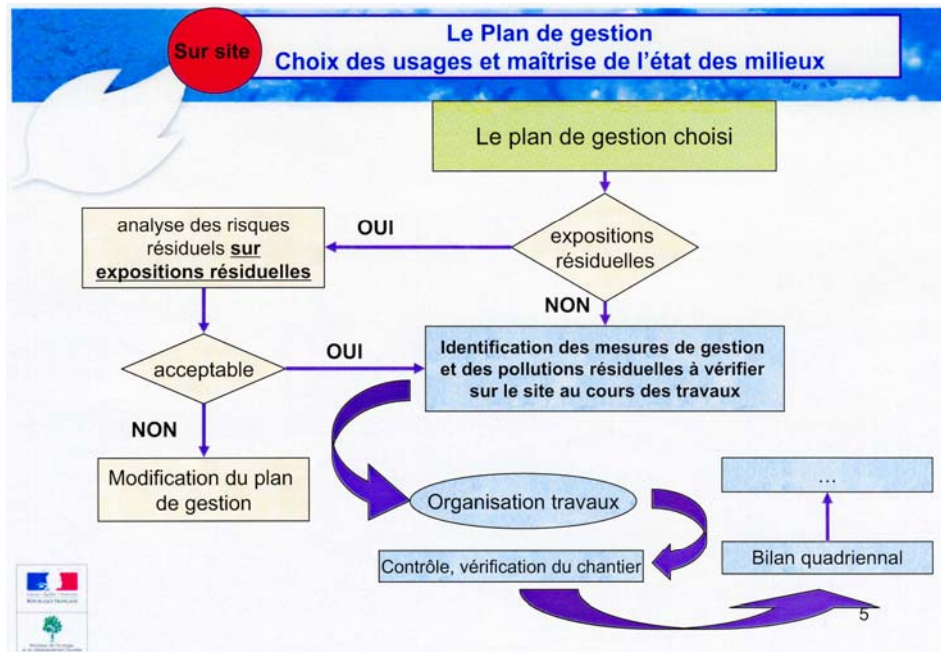


Figure 5 – Analyse des Risques Résiduels

Cette évaluation quantitative des risques sanitaires revient à réaliser une Evaluation Détaillée des Risques dont les incertitudes sont évaluées par des études de sensibilités pour chacun des paramètres. Aucune représentation graphique de ces incertitudes n'est préconisée. En termes de communication, c'est le résultat (risque acceptable ou non) qui est retenu au détriment de l'étude de sensibilité qui est souvent difficile à appréhender par le grand public.

Cependant, le nouveau guide méthodologique met l'accent sur une réflexion au cas par cas pour gérer les incertitudes : dans certains cas, une gestion simple du risque sanitaire (par exemple l'enlèvement des tâches de pollution ou le recouvrement des terres polluées) doit être préférée à une réduction des incertitudes qui peut nécessiter des techniques longues et coûteuses.

Cette méthodologie, basée sur la gestion du risque sanitaire, permet l'aide à la décision dans le cas d'un site pollué. Dans le cas d'un mégasite, l'analyse des risques doit être couplée à d'autres paramètres décisionnels.

3.1.2. Gestion des sites potentiellement pollués au Danemark

Le Danemark a développé l'outil REC. Il s'agit d'un système d'aide à la décision pour l'analyse et l'évaluation de stratégies de réhabilitation pour un site pollué. Avec cet outil, l'utilisateur peut estimer les résultats de la réhabilitation en termes de :

- réduction des risques : la réduction des risques sanitaires et écologiques. Une réduction importante des risques est synonyme de risques résiduels liés à la pollution faibles,
- mérite environnemental : la réhabilitation empêche l'extension de la pollution et tend à augmenter les volumes de sol et d'eau sains. Mais la réhabilitation entraîne également une utilisation des ressources, telles que l'énergie, l'eau, l'espace et peut polluer d'autres milieux tels que l'air ou l'eau. Le mérite environnemental mesure l'équilibre entre les coûts et les bénéfices,
- coûts : les coûts totaux nécessaires au nettoyage du site. Les coûts incluent la préparation, les opérations, la maintenance et les coûts de surveillance tout au long du suivi.

Le choix du scénario optimal se base sur ces trois composantes.

3.1.3. Gestion des sites potentiellement pollués en Angleterre

Une méthode basée sur l'évaluation des risques a été développée. La législation anglaise demande une action pour les sites où :

- la contamination pose des risques, potentiels ou réels, inacceptables pour la santé ou l'environnement,
- des moyens appropriés et rentables existent pour traiter ces risques. L'usage présent ou planifié du site devra être considéré dans l'analyse.

L'approche anglaise est divisée en cinq étapes :

- une étape d'identification des impacts : examen des caractéristiques du problème de contamination et des solutions associées,
- une analyse qualitative : recensement des impacts potentiels des options de remédiation,
- une combinaison analyse coût-rentabilité et analyse multicritère : cette étape sera utilisée quand il y a un conflit potentiel entre les parties prenantes et/ou quand il y a besoin d'une traçabilité dans le choix de l'option de remédiation,

- une analyse coût-bénéfice : lorsque les impacts peuvent être exprimés en termes de coûts, il est recommandé de le faire, afin de comparer la somme des bénéfices à celle des coûts pour justifier une option, économiquement parlant, plutôt qu'une autre,
- une analyse de la sensibilité et finalement, la sélection de l'option optimale. Le but de l'analyse de la sensibilité est de tester l'influence des incertitudes et des points de vue des différents partis, afin de définir la robustesse de l'option choisie.

3.1.4. Gestion des sites potentiellement pollués aux Etats-Unis

L'US-EPA a développé un certain nombre d'outils d'aide à la décision en matière de gestion des sites et sols pollués.

L'US-EPA a proposé MIRA (Multi-Criteria Integrated Resource Assessment) comme une alternative aux méthodes d'aide à la décision existantes. MIRA est une procédure qui guide les différentes parties dans l'organisation des données scientifiques, dans l'établissement de liens entre les différents résultats obtenus par la communauté scientifique, et leurs applications en matière de législation.

L'US-EPA a également mis en place FRED (Framework for Responsible Environmental Decision-Making) pour aider le développement de guides visant à promouvoir l'utilisation de produits et services plus favorables à l'environnement. La méthodologie développée dans FRED permet de lier les indicateurs de cycle de vie avec les facteurs techniques et économiques. L'analyse du cycle de vie de FRED peut être appliquée pour déterminer et comparer les impacts sur l'environnement et la santé humaine de plusieurs produits en compétition.

Le Ministère de l'Energie a proposé un livre guide sur l'aide à la décision (Baker et al., 2001). Huit étapes clés dans la décision sont identifiées, à savoir : la définition du problème, la détermination des besoins, l'établissement des objectifs du projet, l'identification des méthodes/produits alternatifs, la définition des critères, la sélection de l'outil d'aide à la décision approprié à la situation, l'évaluation des alternatives par rapport aux critères, et enfin la validation de la solution par rapport au problème posé.

3.2. GESTION DES MEGASITES

Les Etats-Unis ont mis en place le programme Superfund il y a une vingtaine d'années, initiant ainsi la gestion des grandes friches industrielles. Le réseau européen NICOLE a résumé un ensemble de points clés à considérer pour une bonne gestion de ces mégasites (NICOLE, 2002). Ces « leçons » sont donc d'abord présentées. Ensuite, les projets européens WELCOME et INCORE, relatifs à la gestion des mégasites sont introduits.

3.2.1. Les « leçons » du programme « Superfund »

Un certain nombre de points clefs a été retenu pour une gestion optimale des mégasites (NICOLE, 2002) :

- planifier des programmes adéquats de caractérisation du site. Pour ce faire, il est recommandé que l'équipe de travail soit pluridisciplinaire et expérimentée. Elle pourra développer des modèles conceptuels appropriés, et les utiliser pour mettre en place des programmes d'échantillonnages et d'analyses apportant les données nécessaires et suffisantes pour la prise de décision. De plus, il est recommandé que les parties prenantes soient incluses dans le processus de décision suffisamment tôt,
- planifier la caractérisation du site avec un objectif précis. Il est recommandé que les évaluateurs de risques écologiques et sanitaires soient impliqués tôt dans le processus, afin de déterminer l'échantillonnage adapté et les incertitudes analytiques,
- développer des plans de travail dynamiques et appliquer des méthodes analytiques sur site. Cette approche contribue à limiter les incertitudes liées à la connaissance des milieux (voir paragraphe 3.4.2),
- utiliser une approche basée sur une optimisation de réduction des risques. Pour cela, différentes expertises sont nécessaires, afin d'analyser les données de caractérisation du site au niveau technique, économique, social et environnemental,
- développer des politiques et des systèmes administratifs qui visent à réduire la bureaucratie.

3.2.2. Projet WELCOME

Le projet européen WELCOME (Water, Environment, Landscape Management at Contaminated Megsites) traite principalement des problèmes rencontrés dans les mégasites européens.

Motivations et Objectif

L'objectif général de WELCOME était d'aider les chefs de projet de mégasites, les autorités et les spécialistes techniques dans l'établissement d'une stratégie de gestion intégrée (Integrated Management Strategy, IMS). Cette stratégie a été développée en utilisant le travail de recherche et les expériences des dernières décennies. Les sujets abordés sont l'évaluation des risques, l'atténuation naturelle surveillée et l'optimisation des coûts.

Principe

Afin d'aider la mise en place d'une gestion des risques sur les mégasites, le projet WELCOME a développé une stratégie de gestion intégrée (IMS) disponible sur internet. L'IMS aide les propriétaires et leurs consultants à établir un plan de gestion des risques, techniquement réalisable et financièrement rentable, qui satisfait les législations européennes et protège les ressources en eau, sur et autour du mégasite.

L'IMS guide l'utilisateur dans le processus de planification de la gestion et réhabilitation du mégasite, depuis l'examen initial, en passant par la définition de la méthode de réhabilitation et des scénarii de réduction des risques, jusqu'à l'implémentation et la surveillance à long terme du plan de gestion. L'IMS permet de rassembler un ensemble d'informations pouvant être utilisées par différentes parties prenantes, que ce soit des gestionnaires techniques du mégasite, des propriétaires du site, des consultants, des spécialistes techniques, etc.

L'IMS aide à définir les zones du mégasite où les risques sont les plus élevés, et à établir des priorités en fonction des risques acceptables, du degré de dépollution, et des investissements relatifs nécessaires. Cette gestion est basée sur l'évaluation des risques à l'échelle régionale, ce qui permet une optimisation des coûts dans le temps et l'espace, et ainsi une meilleure répartition des ressources financières.

L'IMS est à appliquer étape par étape. Le processus peut révéler des données manquantes, à définir et/ou à collecter. Les données collectées ultérieurement peuvent être entrées et utilisées pour améliorer les résultats à n'importe quel moment du processus. Le site internet www.euwelcome.nl/kims/manual/index.php liste et détaille les quatre étapes primaires de la méthode, que sont : la mise en place de l'IMS, l'évaluation des risques, les scénarios de gestion des risques et la mise en place du scénario choisi. Pour certaines étapes, un outil permettant de valider l'étape est proposé.

Le lecteur est renvoyé au portail www.euwelcome.nl pour la méthodologie à suivre au cours de chacune de ces étapes primaires.

Outils développés dans le cadre du projet

Le tableau 1 résume les différentes étapes de l'IMS et l'ensemble des outils correspondants développés dans le cadre du projet WELCOME. Pour une description de ces outils, le lecteur est renvoyé au site internet de WELCOME : <http://www.EUWELCOME.nl>. D'autres outils sont également accessibles, mais ont été développés en dehors du projet.

Etape de l'IMS	Outil WELCOME	Sujet
Introduction		
Début de l'IMS		
Définition du problème Organisation des actionnaires Conditions aux limites Inventaire des informations Construction d'un modèle conceptuel Décision sur l'IMS	ROCO	Estimation des coûts
Evaluation des Risques		
Caractérisation du mégasite	PRICON DEMONA SEDINA DSM-NA	Sélection des contaminants prioritaires Atténuation naturelle Atténuation naturelle dans les sédiments Atténuation naturelle à l'interface eaux souterraines-eaux de surface
Méthode de clusterisation Modélisation	CARO BAM	Optimisation des coûts Atténuation naturelle des sédiments et sols
Détermination des risques Finalisation du cluster	RAS	Evaluation des risques
Scénarios de gestion des risques		
Scénarios de base	PRESTO HEMENA	Aide à la décision en matière de réhabilitation Immobilisation des métaux lourds
Scénarios potentiels et préférés Scénario final	CARO	Optimisation des coûts
Mise en place		
Plan de gestion Programme de surveillance Processus de révision		

Tableau 1- Outils développés dans le cadre de WELCOME

Ces outils visent à aider dans la décision technique et économique du choix du scénario final.

Application

Dans le cadre du projet WELCOME, l'IMS a été testée sur quatre mégasites européens :

- Bitterfeld (Allemagne),
- Tarnowskie Góry (Pologne),
- Le port de Rotterdam (Hollande),
- Partiellement au port d'Anvers (Belgique).

Chacun de ces sites est brièvement présenté dans les paragraphes suivants. Le lecteur est renvoyé au rapport WELCOME (<http://www.euwelcome.nl>) pour plus de détails.

Sur l'ensemble de ces sites, la situation économique a été améliorée grâce à cette approche. L'établissement de plans de gestion avec une approche d'évaluation des risques permet d'envisager des solutions environnementales adaptées à des situations difficiles et complexes.

• Mégasite de Bitterfeld

Bitterfeld est une petite ville dans une région industrielle de l'Est de l'Allemagne. La situation actuelle est le résultat de plus d'un siècle d'activités industrielles liées à l'exploitation de la lignite à ciel ouvert, la production d'énergie et la présence d'industries chimiques.

Plus de 5000 produits et composés différents ont été identifiés sur une zone de 10 km² environ. La production chimique et l'entreposage de déchets chimiques dans les anciennes mines de lignite a entraîné une pollution des eaux souterraines et des sols de grande échelle. Ainsi, approximativement 100 millions de m³ d'eaux souterraines sont contaminées. La réhabilitation complète du site n'est pas faisable techniquement et économiquement. L'approche de l'IMS a conduit à l'élaboration d'un scénario réalisable, où le niveau de réduction des risques et les coûts associés sont optimisés. La mise en œuvre du plan est en cours.

• Mégasite de Tarnowskie Góry

Le mégasite de Tarnowskie Góry est une grande zone industrielle située dans la région la plus urbanisée et la plus industrialisée de Pologne. Le site a été fermé en 1995 et devait être redéveloppé. Une industrie chimique était implantée depuis 1921, et neuf sites de décharge ont été répertoriés aux environs du site.

Environ 1,7 million de m³ de déchets dangereux contenant du Ba, B, Zn, Cu et Sr ont été déversés sur 0,34 km². Deux larges aquifères sont menacés par la contamination

accumulée sur le site. L'IMS a permis d'identifier les scénarii de gestion préférentiels du mégasite. La décision finale dépendra du financement, de la possibilité de combler les lacunes techniques et technologiques, et la mise en place de la législation environnementale.

• **Mégasite du port de Rotterdam**

Le port de Rotterdam est un site clef dans la circulation des marchandises au niveau international. C'est le second port mondial, avec une superficie de 42,5 km². Le mégasite est défini comme étant l'ensemble du port. Diverses industries et services logistiques y sont implantés. Ces activités incluent l'expédition et la transformation de matières premières, comme le pétrole, les produits chimiques, le charbon et les minerais.

La contamination des eaux souterraines, touchant l'ensemble du port, rend inadaptée la réhabilitation isolée des sites contaminés. L'IMS a été utilisée pour faire une évaluation régionale des risques et arriver à un accord entre les autorités et les utilisateurs industriels sur les conditions aux limites et les objectifs du plan de gestion. Les décisions finales du plan de gestion sont attendues dans les années à venir. Le projet WELCOME a permis de changer significativement la compréhension et la perception des usagers.

• **Mégasite du port d'Anvers**

Les contraintes financières de l'étude n'ont pas permis l'application de l'IMS à l'ensemble du site du port d'Anvers, mais seulement à une section située entre le quai 4 et 5. De plus, les données étant limitées, les conclusions de l'IMS restent incertaines et demandent davantage d'investigations et de recherche avant de pouvoir être confirmées.

3.2.3. Projet INCORE

Le projet INCORE (Integrated Concept for Groundwater Remediation) est constitué de 7 groupes de travail (www.umweltwirtschaft-uw.de/incore/).

Motivations et objectifs

Le but du projet INCORE est de proposer un ensemble d'outils technico-administratifs rentables pour optimiser l'investigation, l'évaluation et la gestion des eaux souterraines et des sols pollués dans des zones urbaines industrielles. Le projet prend en compte des aspects régionaux, tels que l'extension des zones industrielles et des zones polluées.

Quatre villes européennes confrontées à des problèmes similaires d'eaux souterraines dans leurs zones industrielles se sont engagées à développer cet ensemble d'outils. La diversité des problèmes rencontrés sur cet échantillon de projets est considéré comme représentative de ce qui peut être rencontré au niveau des sites industriels européens.

Principe

Le programme de travail a été découpé en trois phases : investigation, évaluation et réhabilitation. Cette approche commence par un examen des panaches à l'échelle du site, continue par un examen des sources et finit par la réhabilitation de zones isolées ou l'isolement de panaches. Le principal avantage est que la surface des zones étudiées diminue d'une phase à l'autre. Par conséquent, les études commencent sur une zone potentiellement polluée de grande superficie puis ciblent les zones sources de pollution de faible étendue à réhabiliter.

Cette nouvelle approche répète le cycle investigation / évaluation / réhabilitation à différentes échelles (INCORE, 2003). Le détail de la procédure est présenté en annexe 1.

- **Cycle I** : le cycle débute par une définition des objectifs du projet, avec les usages présents et futurs des sols et de l'eau souterraine. En fonction de ces usages, des critères de décision sont fixés. Une analyse des informations historiques est ensuite réalisée, afin de définir un modèle conceptuel. A ce stade, la zone d'étude est définie et l'investigation sur les eaux souterraines commence, afin de déterminer les positions et intensités potentielles des sources. Le but ultime de ce cycle est de définir des zones de taille raisonnable à l'intérieur de la zone d'étude.
- **Cycle II** : seuls les sites où la qualité de l'eau n'est pas acceptable sont considérés. Une évaluation dynamique du site, reposant sur un échantillonnage adapté et des méthodes analytiques, est utilisée pour remonter à la source de pollution et identifier les sources. Les principales données du cycle II sont la taille de la zone affectée par les eaux souterraines contaminées et le nombre et la localisation des sources.

Pour confirmer la relation panache-source, les caractéristiques de la source devront correspondre à celles du panache, l'intensité de la source (étendue, concentration, solubilité) devra correspondre aux concentrations du panache, et les données devront être vraisemblables et en accord avec le modèle conceptuel mis à jour.

Les décisions quant au besoin de réhabilitation future peuvent être prises pour chaque source. Si aucun projet de réhabilitation n'est entrepris, il peut être nécessaire de définir un programme de surveillance à long terme, un programme de surveillance périodique, des investigations ultérieures, etc.

La conclusion du cycle II conduit donc à des actions de réhabilitation.

- **Cycle III** : Les caractéristiques des zones sources sont considérées pour les études de faisabilité des options de réhabilitation proposées sur le site. Ceci comprend l'évaluation des options de réhabilitation pour la source, le panache et les solutions combinées source/panache. La technologie la mieux appropriée est sélectionnée, en tenant compte des avantages et limites de chaque

scénario de réhabilitation, du seuil de réduction du niveau de contamination à atteindre (en considérant l'usage futur du site), ainsi que de la rentabilité de chaque solution. Le concept RBLM, développé dans le projet CLARINET (voir paragraphe 3.3.1) est utilisé pour définir le scénario de réhabilitation final.

Gestion des incertitudes

Une approche probabiliste du risque sanitaire est développée dans cette méthodologie. Cette démarche permet de gérer les incertitudes concernant la partie « exposition sanitaire » de l'étude de risque : les paramètres physiologiques (volume inhalé...) et anthropométriques (poids, surface du corps...) ainsi que les concentrations d'expositions et les paramètres de temps d'exposition (fréquence d'exposition, durée d'exposition...) sont rentrés comme des fonctions de distribution de probabilité qui intègrent les variabilités des paramètres. Le résultat des simulations Monte Carlo est une fonction de distribution de probabilité du risque. Cette distribution permet de déterminer quelle est la probabilité d'avoir un risque donné.

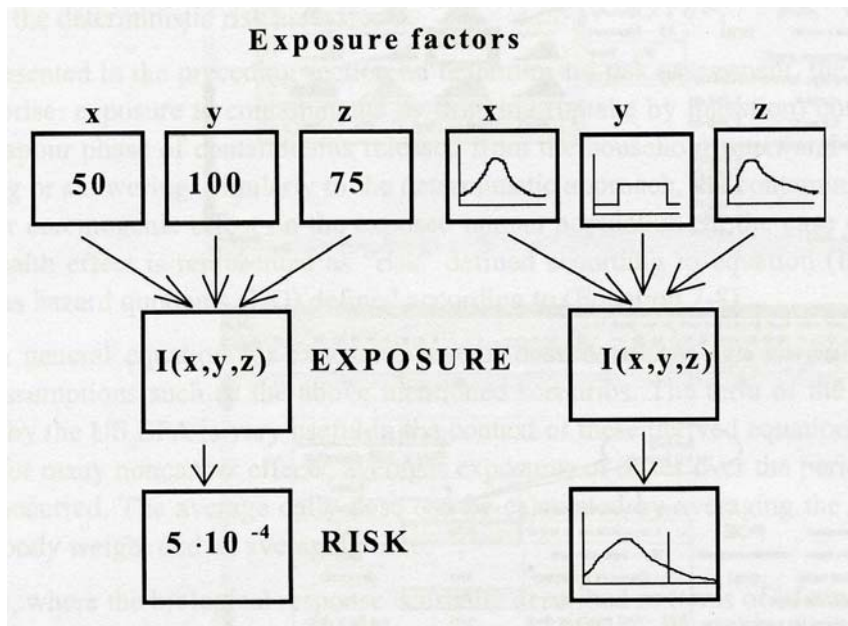


Figure 6 - Les simulations de Monte Carlo en évaluation des risques et leur comparaison avec l'approche déterministe

L'outil utilisé est la technique de Monte Carlo qui traite toutes les variables comme des fonctions de distribution de probabilité. Un processus de simulations répétées est réalisé durant lequel, les indices de risques sont calculés un grand nombre de fois (environ 10 000 fois) dans le domaine de variation de chacun des paramètres. Le résultat final est donné sous forme de fonction de distribution de probabilité du risque (cf. figure 6). Le logiciel utilisé pour le traitement des simulations Monte Carlo est Crystal Ball 2000 utilisable sous environnement Excel.

Un exemple de résultat obtenu est présenté ci-après (INCORE, 2003). Le risque sanitaire non-cancérigène pour les adultes a une probabilité de 90% d'être compris entre les valeurs $9,19 \cdot 10^{-2}$ et $1,42 \cdot 10^{-1}$ (risque acceptable si inférieur à 1).

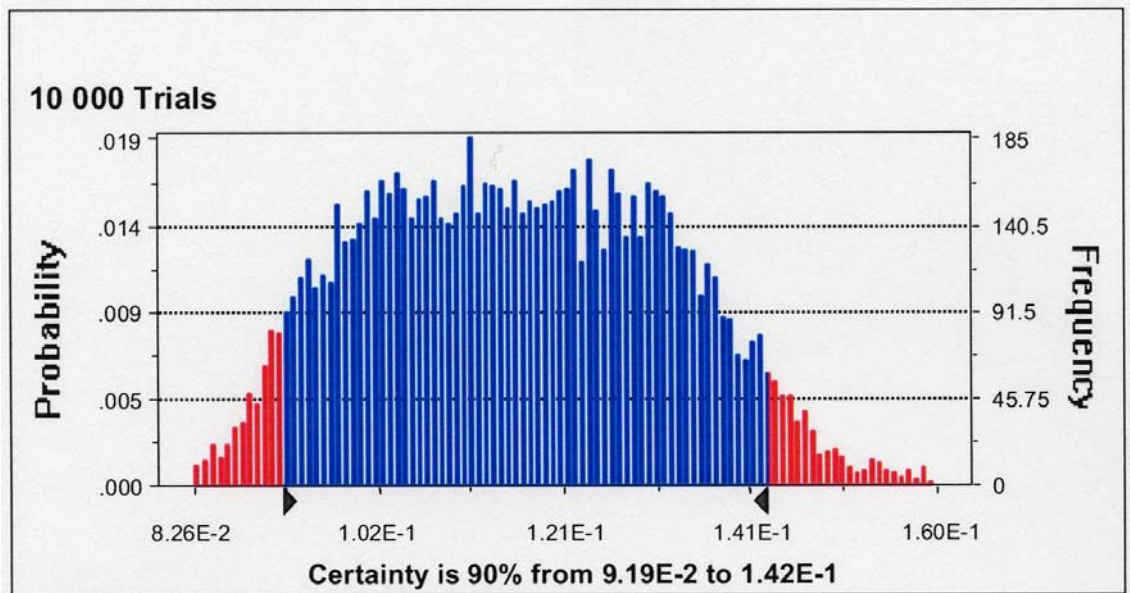


Figure 7 - Simulation de la fonction de distribution de probabilité des risques non-cancérigènes pour les adultes

Cette méthode probabiliste ne doit pas être utilisée dans tous les cas de gestion des sites pollués : dans les cas simples, une approche classique est souvent suffisante notamment quand le risque sanitaire calculé est négligeable. La méthode probabiliste doit être utilisée dans des cas plus complexes et permet d'aider à la décision du scénario final de gestion du site : par exemple, quand les calculs de risque classiques mettent en évidence un risque inacceptable, quand le coût de la dépollution est très élevé et que le risque est proche du seuil d'acceptabilité... (INCORE, 2003).

De plus, la recherche d'une fonction de distribution de probabilité à appliquer à un paramètre est souvent difficile, surtout lorsque l'information disponible sur un paramètre est faible (faible échantillonnage par exemple). Le problème est d'arriver à justifier, au vu des informations disponibles, l'utilisation de distributions de probabilité uniques (Guyonnet et al., 2005).

Cette méthode permet également de quantifier des incertitudes qui passent souvent en arrière plan vis-à-vis du résultat numérique du risque (indice de risque par exemple), plus simple à appréhender. Par contre, c'est un outil probabiliste qui reste difficile à communiquer à un large public.

Application

La méthodologie présentée dans le projet INCORE a été appliquée à trois sites :

- **Milan (Italie)** : Un large site industriel (« Meton », 660 000 m²) au Sud-Est de la ville abritait une usine produisant des produits chimiques inorganiques de 1914 à 1980. Des pesticides et herbicides ont ensuite été fabriqués sur le site. En 1988, un plan urbain de redéveloppement du site a été mis en place. Cet ancien site industriel est destiné à être transformé en parcs, quartiers résidentiels et zones commerciales.
- **Strasbourg** : Le site de la « Plaine des Bouchers » est situé au Sud de la ville. Les activités industrielles sur ce site ont débuté en 1918, et ont été liées à la sidérurgie et l'industrie chimique. La zone est maintenant désignée comme zone industrielle et commerciale. Seules de petites zones au Nord sont décrites comme parcs et parkings.
- **Stuttgart** : Le site est situé à l'Est de la ville, dans une vallée le long de la rivière Neckar. L'industrialisation de cette vallée remonte à 1845, avec l'apparition de la ligne de chemin de fer. La gestion du fleuve a permis l'installation d'industries sur les plaines alluviales et les zones inondables à partir de 1920. Cette zone devient une zone industrielle majeure à partir de 1958, avec l'ouverture du port de Stuttgart. Cette zone n'est plus viable économiquement. Les impacts de la pollution du site sur les personnes et l'environnement sont bien connus.

3.2.4. Avantages et inconvénients de ces méthodes

La méthode proposée dans WELCOME est basée sur l'évaluation des risques, ce qui est compatible avec l'approche française de gestion des sites pollués. De plus, le découpage en quatre étapes primaires est clair. Chaque étape a un objectif qui lui est spécifique, et la validation de chaque étape permet d'avancer dans le choix du scénario final de réhabilitation du mégasite. Les informations ou données complémentaires pouvant être collectées tout au long du projet sont facilement intégrables, grâce au processus cyclique de déroulement de la méthode.

En revanche, outre les outils techniques, les outils d'aide à la décision utilisés dans la méthode sont orientés vers l'analyse coût / bénéfice. Ceci semble être un moyen simpliste de traiter du problème complexe des mégasites. En effet, s'il est concevable que chaque critère entrant dans le choix du scénario puisse se voir attribuer une valeur monétaire, il est en revanche plus difficile de baser le choix du scénario final sur une seule base économique. Il semblerait souhaitable de comparer les scénarios de réhabilitation potentiels en fonction de critères préalablement validés par les parties prenantes, d'effectuer une première hiérarchisation des scénarios sur cette base avant d'attribuer une valeur monétaire aux scénarios préférentiels.

Ainsi, appliquer une méthode d'analyse multicritère à la décision avant de mettre en place une analyse coût-bénéfice améliorerait la confiance dans le choix du scénario

final de redéveloppement. De plus, l'intégration des outils SIG et les outils de communication avec les parties prenantes sont mal définis. La méthodologie s'applique davantage à définir les étapes à suivre, et à développer des outils techniques et économiques d'aide à la décision qu'à définir les interactions avec les parties prenantes et développer des méthodes de communication en utilisant des outils existants ou en développant de nouveaux outils. Enfin, les incertitudes inhérentes aux différentes phases du processus ne sont pas définies de façon explicite. Il conviendrait d'étudier les outils proposés en détail afin de savoir si elles sont considérées au sein même de ces outils.

La méthode proposée dans INCORE présente une façon technique d'aborder le problème des grands sites pollués, en diminuant au cours de chaque des étapes, l'étendue de la zone à considérer. En revanche, les parties prenantes dans le projet de réhabilitation ne semblent pas être au cœur des discussions, alors que nombre de projets de réhabilitations soulignent l'importance jouée par ces personnes dans l'acceptation du projet (CABERNET, 2004 ; RESCUE, 2005). De plus, la notion de développement durable n'apparaît qu'à la dernière phase, lors de la mise en place du RBLM. Cette méthode semble donc peu adaptée pour traiter de façon robuste et transparente le problème complexe de gestion durable des mégasites. En revanche, le traitement des incertitudes est réalisé dans la partie concernant la gestion des risques sanitaires. C'est un point important à approfondir.

3.3. RESEAUX D'INFORMATIONS

Dans ce paragraphe, les réseaux européens CLARINET et NICOLE sont présentés.

3.3.1. Réseau CLARINET

CLARINET est le « Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies in Europe ». Ce groupe a rassemblé au niveau européen la connaissance et l'expertise d'universitaires, de décideurs nationaux, d'experts gouvernementaux, de consultants, de propriétaires industriels et des promoteurs de technologies.

Motivations et Objectif

L'objectif principal de CLARINET est d'identifier les moyens de gestion efficace et durable des sites pollués, afin d'assurer leur réhabilitation et de diminuer la pollution des eaux, dans le but de maintenir la fonctionnalité des sols et des écosystèmes de l'eau.

CLARINET a noté des ressemblances dans la façon de traiter du problème des sites pollués au niveau européen et mondial. L'enquête menée par le groupe de travail de CLARINET sur 16 pays Européens conclue qu'internationalement une approche générale se détache en matière d'évaluation de la pollution sur un site. Les tâches identifiées incluent typiquement l'identification du problème, l'investigation du problème et les décisions du besoin de réhabilitation, l'identification du risque, l'évaluation

détaillée des risques et identification de l'objectif de réhabilitation, la sélection et mise en place des mesures de réhabilitation et le suivi des sites après la réhabilitation.

Certaines différences apparaissent au niveau opérationnel, au niveau de l'application des principes généraux, de l'utilisation des techniques analytiques, des données et hypothèses, des priorités en matière de protection de l'environnement, de l'approche administrative, de la législation et des méthodologies disponibles.

Pour répondre aux problèmes rencontrés lors de la réhabilitation des sites pollués, CLARINET recommande une gestion des problèmes environnementaux, économiques et sociaux, en prenant en compte le développement durable. CLARINET reconnaît un manque d'outils et de méthodologie dans le redéveloppement des sites pollués, et propose ainsi une méthodologie de gestion des sites basée sur l'évaluation des risques (« Risk Based Land Management », RBLM) qui promeut le développement de politiques, recherches et pratiques pour une gestion durable des sites pollués.

Principe

La méthodologie du RBLM est illustrée sur la Figure 8.

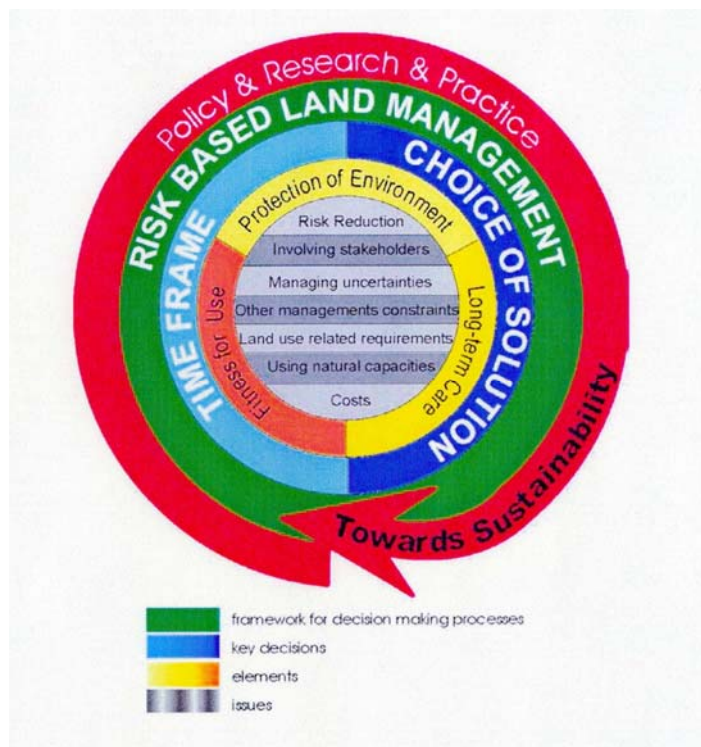


Figure 8 – Méthodologie du RBLM

Le RBLM inclut principalement deux facteurs dans la réhabilitation des sites pollués, à savoir :

- le temps. Il s'agit d'établir des priorités face aux risques encourus et aux effets à long terme résultant des choix passés ou présents,
- le choix de la solution. Il nécessite l'estimation des bénéfices globaux, des coûts et des effets environnementaux secondaires, de la valeur et des utilisations du site, des visions de la communauté, etc.

Ces deux facteurs doivent prendre en compte les spécificités du site, mais aussi englober une vision plus stratégique, puisque l'impact des sites pollués sur l'environnement peut avoir une dimension régionale, mais aussi des impacts sur le long terme. La prise de décision est établie à partir de trois composantes principales, qui forment le noyau du concept de RBLM :

- **l'adaptation à l'usage.** Pour assurer une utilisation ou réutilisation sans danger du site, les risques sanitaires et écologiques doivent être réduits à des niveaux acceptables. L'adaptation à l'usage met l'accent sur les exigences qualitatives de l'usage du site, et prend en considération les délais d'utilisation particulière du site, par exemple, l'évaluation prend en compte la durée d'exposition du récepteur à la pollution. Il est également nécessaire de considérer toutes les activités futures et de surveiller le site pour s'assurer que les risques à long terme sont aussi contrôlés,
- **la protection de l'environnement :** la protection de l'environnement a deux objectifs :
 - ❖ prévenir ou réduire l'impact négatif sur les zones naturelles limitrophes, incluant la santé et la biodiversité de l'écosystème,
 - ❖ conserver et, si possible, améliorer la qualité et la quantité des ressources.
- **la surveillance à long terme :** si la solution de réhabilitation choisie laisse une pollution dans le sol, une surveillance à long terme s'impose pour assurer que la solution reste appropriée, qu'elle continue de fonctionner et que les restrictions d'usage sont respectées.

Les deux premières composantes du RBLM sont liées à une utilisation sécurisée du site, en incluant la prévention des nuisances et la protection des ressources. La troisième étend la portée de la solution, en incluant la notion de durabilité.

La façon dont ces trois objectifs sont atteints diffère d'une solution de réhabilitation à l'autre. Il n'y a pas de solution universelle à la gestion des sites pollués, chaque solution a ses avantages et inconvénients, fonction des particularités physiques, écologiques et socio-économiques du site.

Pour assurer une solution durable de réhabilitation, le chef de projet doit considérer :

- la réduction des risques,
- les usages du site,
- l'utilisation des sols et des eaux, en l'absence de contraintes,
- les coûts,
- l'implication des parties prenantes,
- la gestion des incertitudes.

Gestion des incertitudes

CLARINET introduit la notion de gestion des incertitudes. Des incertitudes trop importantes et leur méconnaissance sur un site pollué peuvent mener à des solutions extrêmes de gestion du site :

- fixer des exigences très rigoureuses et préventives (choisir des facteurs conservatifs de sécurité pour compenser les incertitudes),
- adopter une attitude de « laisser aller » (en laissant aux générations futures le soin de traiter le problème).

Les études des incertitudes permettent de mettre en évidence des erreurs techniques et un manque de connaissance. Selon CLARINET, les incertitudes, à chaque étape de l'évaluation des risques, doivent être mises en évidence par l'utilisation d'outils probabilistes ou d'autres techniques d'évaluation des incertitudes. L'outil d'aide à la décision doit fournir les indications permettant aux gestionnaires de trouver un équilibre entre réduction des incertitudes et coût additionnel d'investigations (Clarinet, 2002).

3.3.2. Réseau NICOLE

NICOLE (The Network for Industrially Contaminated Land in Europe) est un groupe de travail européen sur la gestion des sites pollués, prônant la coopération entre les industries, les universités et les fournisseurs de services en matière de développement et d'application de technologies de réhabilitation dans le cadre du développement durable.

NICOLE est un groupe de travail accès sur la gestion des sites pollués dans le cadre du développement durable. C'est un réseau ayant un nombre limité de personnes impliquées dans le domaine de l'industrie, des fournisseurs de services et des chercheurs. Ce réseau publie des rapports ou soumet des projets visant à développer une facette de la gestion durable des sites pollués.

Les principaux objectifs de NICOLE sont :

- fournir un groupe européen pour la diffusion et l'échange de connaissances et d'idées en matière de sites pollués résultant d'activités commerciales et industrielles,
- identifier les besoins en recherche et promouvoir la collaboration afin de permettre aux industries européennes d'identifier, d'évaluer et de gérer les sites pollués plus efficacement et rentablement,
- collaborer avec d'autres réseaux internationaux, européens ou non, et ainsi englober les visions d'un ensemble de groupes aux intérêts divers.

Un ensemble de bonnes pratiques pour la gestion durable des sites pollués est disponible sur le portail internet www.nicole.org.

3.3.3. Avantages et inconvénients de ces méthodes

Les trois composantes de base du processus de RBLM développées dans CLARINET s'ancrent dans la nouvelle méthodologie française, qui met l'accent sur la compatibilité entre l'état du site et son usage. Le processus du RBLM tient compte des problèmes que le gestionnaire du site doit adresser pour assurer une gestion durable des sites pollués. En revanche, peu d'informations sont disponibles sur la façon d'appuyer les parties prenantes de façon défendable et transparente. De plus, aucune suggestion n'est faite quant à l'utilisation d'une méthode d'aide à la décision facilitant la prise en compte des critères à considérer pour le choix d'un scénario de gestion durable des sites pollués. Seuls les coûts sont mentionnés.

Cette méthode fixe les conditions nécessaires pour développer un scénario de gestion dans le cadre du développement durable, mais ne fournit pas les détails de la méthodologie ni les outils recommandés pour choisir le scénario optimal.

Le réseau NICOLE quant à lui n'a à ce jour pas développé de méthodologie de gestion des sites pollués, mais fournit un ensemble de bonnes pratiques pour la gestion durable des sites pollués.

3.4. IMPLICATIONS DES PARTIES PRENANTES

Dans cette partie, deux projets européens, CABERNET et RESCUE, relatifs à la gestion durable des sites urbains potentiellement pollués, sont présentés. Ces projets sont d'avantage accès sur l'implication des parties prenantes dans la gestion des sites potentiellement pollués.

3.4.1. Projet CABERNET

Le projet CABERNET (Concerted Action on Brownfield and Economic Regeneration Network) est constitué d'un réseau d'experts européens multidisciplinaires, dont le but est de favoriser de nouvelles solutions durables pour les friches industrielles urbaines.

Motivations et objectifs

Ce réseau a pour but d'améliorer la réhabilitation des sites pollués dans le contexte du développement durable des villes européennes, en partageant des expériences européennes, en proposant de nouvelles stratégies de gestion, des outils innovants et une base d'activités de recherche coordonnée.

Principe

CABERNET est divisé en six groupes de travail s'articulant autour des problèmes clefs rencontrés dans la réhabilitation des sites pollués :

- la participation des citoyens et la prise de décision,
- le contexte légal,
- les aptitudes professionnelles,
- les questions d'ordre environnemental,
- les questions d'ordre social et culturel,
- les questions d'ordre économique.

Les membres des différents groupes travaillent sur :

- une meilleure prise de conscience et une compréhension des problèmes rencontrés sur les sites pollués,
- un modèle conceptuel des problèmes rencontrés sur les sites pollués,
- une coordination des activités de recherche entre différents secteurs et pays,
- une identification des bonnes pratiques et outils disponibles.

Les résultats de ce projet devraient être bientôt disponibles sur le portail www.cabernet.org.uk.

Applications

Un ensemble de onze études de cas est présenté sur le portail internet du projet (www.cabernet.org.uk). Ces exemples sont donnés pour illustrer plusieurs aspects du succès de réhabilitation de sites pollués, tels que l'héritage culturel, la méthode de participation des citoyens, etc. Un bref descriptif de certaines de ces études de cas est donné dans les paragraphes suivants.

• Industrie – Und Gewerbegebiet Radbod

Cette étude de cas est présentée pour ses succès en matière de régénération du site pollué, de la conservation des bâtiments historiques, de la création d'emploi et de l'information et participation des citoyens au cours du processus.

Ce site est une ancienne mine de charbon, employant jusqu'à 4200 employés, qui a fermé en 1990. A sa fermeture, un plan de redéveloppement a été mis en place. Il prévoyait la reconversion du site en zone commerciale et industrielle.

La planification est basée sur un concept flexible, permettant d'inclure les bâtiments historiques, les espaces verts existants et la diversité de l'aménagement routier. Le concept devait être flexible afin d'intégrer et de réagir aux idées des investisseurs. L'objectif final est de créer un environnement urbain harmonieux.

• Berryhill Fields, Stoke on Trent

Ce site a été choisi pour montrer le rôle que peut avoir les populations locales lorsqu'elles sont impliquées activement dans le développement et la mise en place d'un projet mettant en valeur l'héritage culturel.

Cet ancien site industriel a été abandonné au milieu du 20^{ème} siècle. Ce site s'est naturellement reconverti, et, au milieu des années 1980, il est devenu un espace apprécié par la population urbaine environnante. Les riverains utilisaient ce site comme parc, alors qu'il était fermé et potentiellement dangereux. Une proposition de redéveloppement en mine de charbon avait été faite, puis abandonnée à cause de la pression de l'opinion publique. Suite à cela, une réhabilitation du site sur le long-terme a été proposée.

• Havnestad, Copenhague

Ce site a été choisi comme exemple de site fortement pollué anciennement utilisé comme zone de production industrielle et transformé en zone résidentielle. La planification a nécessité la coopération des propriétaires du site et de la municipalité. Le plan de réaménagement a été préparé avec des recommandations en matière d'architecture, de matériaux de construction, et d'harmonisation des espaces verts. Les bâtiments historiques ont été conservés et reconvertis. Le public a été informé du développement du projet grâce à la municipalité et aux journaux locaux. Le succès de la réhabilitation a permis une reconversion plus rapide que prévue et un bénéfice notable pour les propriétaires du site.

• **Holgate Development in York, Yorkshire, UK**

La fermeture de cet ancien site industriel de 18,5 ha a entraîné une perte massive d'emplois. Le principal objectif du plan de réhabilitation était de créer des emplois dans cette zone affectée par la fermeture du site. Le plan de redéveloppement proposait de transformer les sites en zones ayant des fonctions diverses.

Une partie du site a été reconvertie en zone résidentielle et industrielle, créant des emplois et des logements abordables, comme le prévoyait le plan de redéveloppement. L'autre partie du site reste encore à reconvertir, en zone commerciale et communautaire.

• **The Lowry, Manchester, UK**

Cet ancien site industriel fortement contaminé a été abandonné pendant 20 ans avant d'être redéveloppé. Il était connu pour ses taux de criminalité élevés et ses logements très pauvres. A la fin des années 1980, la ville a décidé que cette zone nécessitait une attention particulière afin de stimuler l'économie locale, d'impliquer le voisinage et de se défaire de la perception négative de ce quartier.

La ville a décidé d'implanter un centre d'arts sur l'un des quais. La population locale a été impliquée dans le choix des offres et sollicitée pour la main d'œuvre.

Le projet a été complété en 2000. Le succès du site a permis la création de nombreux emplois et a entraîné la réhabilitation et le redéveloppement de ce quartier.

3.4.2. Projet RESCUE

RESCUE (Regeneration of European Sites in Cities and Urban Environments) est un projet européen dont le but était de développer et de tester une approche systématique pour la réhabilitation durable des sites pollués européens en milieu urbain.

Motivations et objectifs

RESCUE avait pour but de développer des outils destinés aux propriétaires, aux architectes, aux planificateurs, aux ingénieurs et aux autorités publiques impliqués dans des problèmes de réhabilitation de sites pollués. Le but de RESCUE était d'optimiser les coûts associés à de tels projets afin de remédier aux problèmes actuels liés à ces sites, de contribuer à réduire la pression exercée sur le développement de terres saines et ainsi sauvegarder des ressources naturelles. En se basant sur des études de cas, le processus de réhabilitation a été découpé en étapes et analysé par des équipes multidisciplinaires internationales.

C'est ainsi que RESCUE a développé un ensemble de guides de bonnes pratiques en matière de gestion de la pollution et réutilisation des sols et remblais, de gestion des bâtiments et infrastructures existantes, d'utilisation des terres et de l'architecture urbaine dans le cadre du développement durable. Une méthodologie en matière de participation des citoyens a également été mise en place. Elle est résumée dans le

paragraphe suivant. Ces guides sont disponibles sur le site internet www.rescue-europe.com.

Principe

RESCUE a analysé et évalué les méthodes de redéveloppement des sites pollués dans le cadre du développement durable et a proposé des améliorations à ces méthodes. Cette analyse était basée sur l'étude de huit sites dans les régions industrielles françaises, anglaises, polonaises et allemandes et a conduit à la rédaction d'un livre de bonnes pratiques en matière de redéveloppement durable de sites pollués (RESCUE, 2005).

RESCUE fournit des outils destinés aux parties prenantes afin de redévelopper durablement les sites pollués. Les parties prenantes incluent les chefs de projets, les propriétaires, les développeurs, les planificateurs, les citoyens ou groupes de citoyens, les régulateurs, etc. L'implication active de toutes ces parties est nécessaire pour développer un projet dans le cadre du développement durable (RESCUE, 2004, 2005).

RESCUE reconnaît qu'en fonction de l'utilisation du site, la méthode de redéveloppement utilisée sur un site ne s'applique pas forcément à un autre, assujetti à des contraintes de temps et des priorités différentes, fixées par les parties prenantes. Dans ce contexte, développer une méthode permettant de définir si oui ou non un site pollué est réhabilité en satisfaisant les critères du développement durable a été écarté. Une généralisation du terme « développement durable » pour tous les sites pollués n'est pas possible.

C'est dans ce cadre que RESCUE a proposé un outil d'évaluation du développement durable (Sustainability Assessment Tool, SAT). Cet outil permet d'ancrer la réhabilitation de sites pollués dans le développement durable, ceci grâce à une méthodologie flexible, permettant d'inclure des paramètres variables et des priorités multiples et complexes associés à ces projets.

Le SAT fonctionne en trois étapes :

- collaboration des différents acteurs pour fixer des priorités sur les aspects du développement durable à considérer, en réunissant les différentes parties prenantes et en leur demandant d'attribuer, par exemple, des poids aux différents objectifs du développement durable,
- demande de ressources : le meneur du projet développe un plan de gestion et devra justifier des différences entre son plan et les priorités de développement durable fixées par les parties prenantes,
- modèle d'évaluation quantitative pour la prise de décision : L'U.E. ou l'agence fournissant les fonds devra juger de la durabilité du projet et la façon dont les priorités établies par le public ont été prise en compte.

La procédure du SAT est détaillée en figure 7. Chacune des étapes est expliquée en détail dans RESCUE (2005).

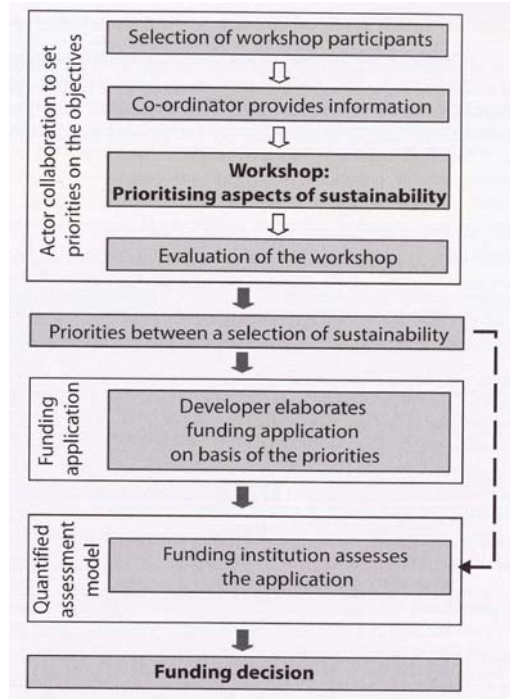


Figure 9 – Procédure du SAT

RESCUE propose que la prise en compte du développement durable soit obligatoire à l'obtention de fonds publics pour les projets de réhabilitation des sites pollués. RESCUE suggère que le SAT devienne l'outil d'évaluation du développement durable pour de tels projets.

Applications

RESCUE liste une série de bonnes pratiques dans la réhabilitation durable des sites pollués. Plusieurs projets sont donnés en exemple (RESCUE, 2005). La méthodologie proposée dans le SAT a été appliquée sur un site en Allemagne.

3.4.3. Avantages et inconvénients de ces méthodes

Le projet CABERNET est en cours et peu d'informations sont actuellement disponibles quant aux conclusions et recommandations de ce projet. Seul l'importance des parties prenantes est soulignée dans les informations disponibles sur le portail internet. D'autres articles devraient être téléchargeables sous peu.

La méthodologie développée par RESCUE concerne l'intégration des parties prenantes dans la gestion durable des sites pollués. Le SAT a des limites :

- pour être efficace, le SAT doit être implémenté dans la phase initiale du projet,
- l'approche méthodologique développée par RESCUE doit être respectée, notamment en ce qui concerne le choix des parties prenantes, qui ne doit pas être biaisé,
- les coûts liés à la mise en place du SAT doivent être évalués et pris en compte. Certains retards dans le projet peuvent apparaître suite à l'implication des parties prenantes et à la prise en compte de leurs points de vue,
- tous les objectifs liés au développement durable ne peuvent être pondérés.

De plus, l'intégration des parties prenantes dans la gestion des mégasites intervient à différentes étapes du processus décisionnel. Selon les étapes, il convient d'adapter la méthode proposée pour répondre au mieux au besoin de consultation.

3.5. GESTION DES INCERTITUDES

3.5.1. Détermination des incertitudes d'un outil d'aide à la décision

Les incertitudes sont une composante incontournable de l'outil d'aide à la décision, elles concernent toutes les étapes de la démarche de gestion du mégasite : caractérisation de la situation environnementale, évaluation des risques, analyse multicritère d'aide à la décision, analyse coût-bénéfice, choix du scénario final.

Les incertitudes de l'outil d'aide à la décision peuvent être de deux niveaux :

- des incertitudes liées à des paramètres physiques ou économiques quantifiables : concentrations dans la source, modèles d'exposition, coût du redéveloppement...
- des incertitudes liées à la subjectivité des individus : qualité de formulation du problème, sensibilité des parties prenantes, projet retenu... Ces « incertitudes » ne sont pas quantifiables, ce ne sont pas des incertitudes scientifiques, ce sont plutôt des aléas subjectifs du processus décisionnel. Ce type d'incertitudes est abordé dans le paragraphe 2.3.

Caractérisation de la situation environnementale

La caractérisation du site est réalisée sur la base de données de terrain (analyses de sol, essais de perméabilité, détermination des polluants...) et de données bibliographiques (historique du site et des produits utilisés, études existantes des milieux...). Ces données, qui sont à la base de la position du problème et de la réalisation du premier schéma conceptuel (sources, vecteurs, cibles) élaboré à la suite de cette étape sont des facteurs d'incertitudes.

Pour limiter les incertitudes sur le site, les investigations de terrain doivent se faire dans une démarche itérative pouvant comporter plusieurs étapes d'investigations progressives de plus en plus détaillées. Mais les limites de cette démarche sont d'une part, le coût des investigations par rapport au coût du projet de redéveloppement et d'autre part, la durée des études par rapport à la réalisation d'un projet.

Evaluation des risques environnementaux

L'évaluation des risques présente, à chaque étape de sa démarche, des incertitudes :

- évaluation de la toxicité des polluants sur l'homme et l'environnement,
- évaluation de l'exposition aux pollutions (définition des cibles et des usages, des paramètres et des modèles utilisés...).

Ces incertitudes peuvent être liées à l'état des connaissances actuelles sur les polluants, leur toxicité et leur comportement dans l'environnement, aux modèles de transports utilisés, aux estimations sur les durées d'exposition des cibles.

Afin de faciliter le choix du scénario optimal de gestion, un outil d'aide à la décision peut être utilisé. La section 2.1.1 souligne que les outils les plus utilisés sont les analyses coût-bénéfice, mais les mieux appropriés pour la gestion des mégasites sont les analyses multicritères. Ces deux outils introduisent des incertitudes dans le choix du scénario optimal.

L'analyse coût-bénéfice

Cette association est intéressante dans la présentation d'un projet dont le développement est conditionné par son acceptabilité par la communauté. Les risques environnementaux ou sanitaires font partis des coûts potentiels, ils sont comparés avec les bénéfices du projet (impacts sur l'économie...).

Une étude coût-bénéfice peut permettre de faire un bilan et de justifier des choix. Il se pose alors la question suivante : comment intégrer dans un même cadre des informations non valorisables (cadre de vie...) et des éléments facilement quantifiables (nombre d'emplois...). Il existe au niveau de ces études des incertitudes sur la réalité des bénéfices qui peut accroître l'image négative du projet et donc la perception du risque associé. Parmi les paramètres clefs, il faut citer l'équité de l'exposition aux risques induits par le projet et de l'affectation des bénéfices (Guyonnet et al., 2005).

L'analyse multicritère d'aide à la décision

L'analyse multicritère est réalisée à partir de paramètres d'entrée fixés par les parties prenantes. Dans le cas de l'analyse multicritère Electre III, décrite plus en détail dans le chapitre 4 du présent rapport, ces paramètres d'entrée sont :

- la définition des critères,
- la standardisation de l'échelle de mesure,
- la pondération des critères,
- les seuils.

La définition des critères et leur pondération sont des étapes qui dépendent des parties prenantes en fonction de leurs convictions. De plus, l'analyse multicritère Electre III fait intervenir d'autres paramètres subjectifs : seuils d'indifférence, de préférence et de véto. Les analyses multicritères dépendent d'aléas subjectifs et non quantifiables.

De plus, les analyses multicritères d'aide à la décision se basent sur des critères qui sont évalués de diverses manières pour chacune des options : utilisation du SIG, d'études de risque, notes attribuées selon des perceptions... Les notes attribuées à chacun des critères présentent des incertitudes qui sont liées, d'une part à un ensemble de perceptions et d'autre part, à des résultats d'études présentant elles même des incertitudes.

Mais nous verrons que certains outils d'aide à la décision multicritère (dont Electre III) utilisent des systèmes d'interférence floue (SIF) qui peuvent inclure dans l'analyse, les incertitudes affectant l'évaluation des critères.

3.5.2. Gestion des incertitudes dans l'acquisition et l'interprétation de données

Ce paragraphe décrit quelques outils permettant de quantifier ou de mettre en évidence les incertitudes d'une étude de risques (phase d'acquisition de données et phase de quantification du risque) ou d'un outil d'aide à la décision multicritère.

Triad Resource Center (2004) – un outil d'investigations dynamiques

Dans le processus de gestion d'un site contaminé, les données de terrain (concentrations en polluant...) sont souvent intégrées telles quelles, sans analyse critique des valeurs obtenues. Pourtant, ces données de terrain sont celles qui vont permettre d'élaborer le schéma conceptuel et la problématique du site.

TRIAD est un projet scientifique porté par l'US EPA qui vise à gérer les incertitudes des décisions dans le cadre de la gestion des sites pollués. C'est une méthodologie de gestion des sites pollués dont les buts sont l'efficacité et l'optimisation, aussi bien au niveau des coûts, de la durée des investigations, que de la gestion des risques sanitaires ou environnementaux mis en évidence. Cette méthodologie permet principalement de gérer les incertitudes liées aux investigations de terrain.

Le schéma conceptuel du site, qui est la base de la méthodologie, est optimisé tout au long de l'étude en gardant à l'esprit l'aspect coût-bénéfice de la réhabilitation du site. Le schéma conceptuel vise d'abord à distinguer différentes familles de polluants pour lesquelles les techniques de dépollution diffèrent. La méthodologie TRIAD est composée de trois éléments :

1/ Un « planning stratégique » dont le but est d'assurer la confiance dans les décisions prises et la satisfaction des parties prenantes ;

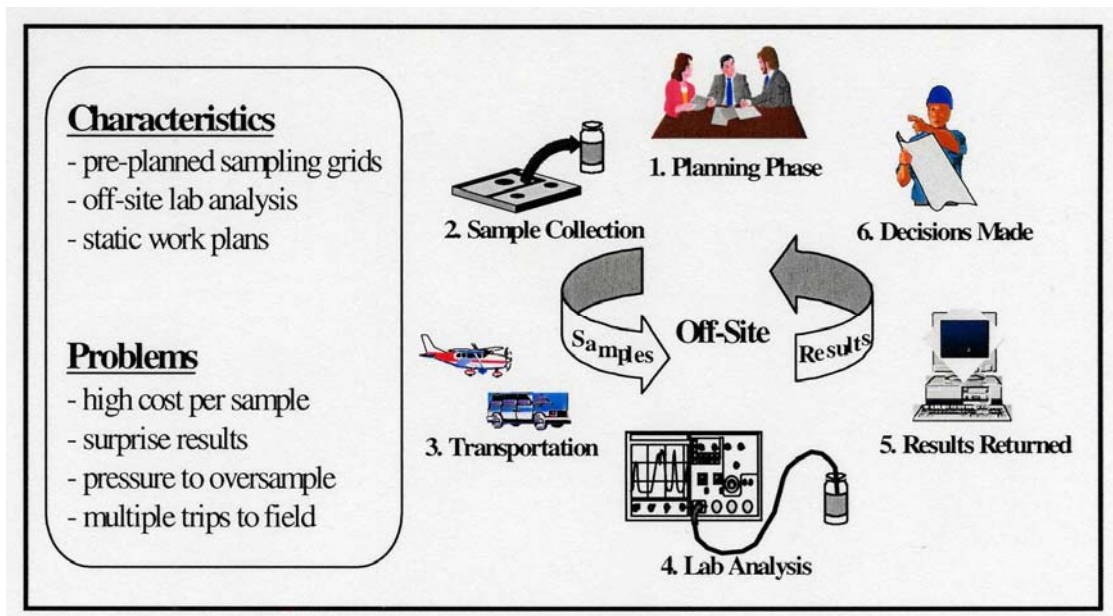
2/ Une « stratégie de travail dynamique » qui est l'élément permettant au schéma conceptuel d'être complété de manière rapide avec un coût financier optimisé. L'optimisation du schéma conceptuel et des incertitudes est réalisée en temps réel en fonction de l'avancement des études de terrain. Un des aspects de cette méthodologie dynamique est le « contrôle qualité » qui permet de limiter les incertitudes des données acquises.

3/ Des « technologies de mesures en temps réel » permettent un travail dynamique en assemblant, interprétant et distinguant les données de manière rapide. Les mesures en temps réels incluent des analyses de terrain, des techniques de géophysiques et des outils de compilation informatiques. La densité des échantillons prélevés augmente de manière à pallier les incertitudes liées aux hétérogénéités mises en évidence par ces outils. Ceci permet de créer un schéma conceptuel dont la précision est suffisante pour mener à des décisions de réhabilitation fiables, précises et économiques.

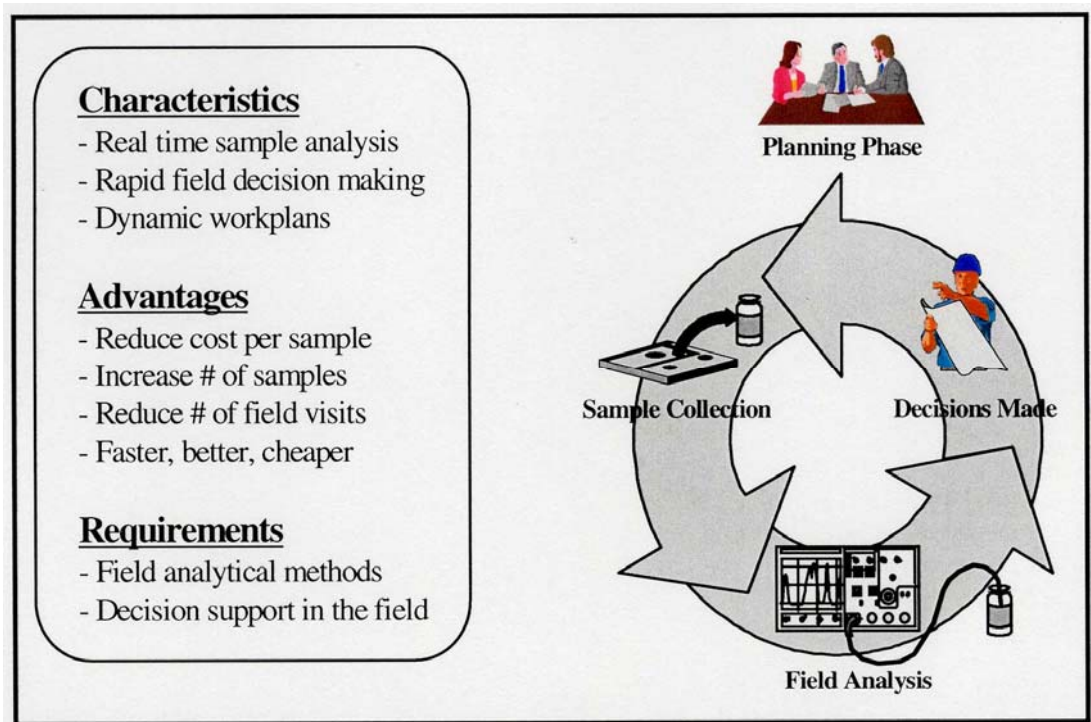
Les outils utilisés (dont l'outil SADA : Spatial Analysis and Decision Assistance) font intervenir des analyses spatiales, des analyses statistiques, des études environnementales et de risques sanitaires, des analyses coût-bénéfice, ils sont présentés sur le site internet : www.triadcentral.org. Les analyses géo-spatiales de l'outil SADA font intervenir des variogrammes qui permettent de localiser les secteurs où les incertitudes sur les concentrations sont importantes, les investigations seront alors ciblées sur ces secteurs pour affiner l'analyse de risque.

Les décisions de dépollutions seront alors efficaces, ciblées sur les zones à risques, et leurs coûts optimisés.

La Figure 10 présente un des aspects de la méthodologie TRIAD : le programme d'analyse dynamique.



Investigations traditionnelles



Approche de travail dynamique

Figure 10 - Comparaison de l'approche traditionnelle et du programme de travail dynamique de la méthodologie TRIAD

Les outils d'analyses de sensibilité des modèles

Les modèles, qu'ils soient quantitatifs ou qualitatifs, se basent sur des opérations mathématiques qui combinent plusieurs variables d'entrée afin de représenter au mieux la réalité dans un objectif de prédiction. La capacité d'un modèle à refléter la réalité dépend, en grande partie, de l'exactitude des valeurs des variables d'entrée du modèle, de l'interaction entre les variables, du niveau de connaissance des phénomènes physiques, biologiques et chimiques impliqués et de la structure du modèle. Les modèles doivent donc être vérifiés, et validés avant de pouvoir être utilisés (Beaulieu, 2005).

L'analyse de sensibilité est un élément clé de l'utilisation des modèles environnementaux (Beaulieu, 2005). C'est une des étapes de vérification d'un modèle et son importance est depuis longtemps reconnue. L'analyse de sensibilité sert d'outil d'évaluation, de calibration et de formulation des modèles utilisés dans la définition des politiques environnementales. L'analyse de sensibilité peut être définie comme la quantification de l'effet d'une ou de plusieurs variables d'entrée sur la ou les variables de sortie. Il existe plusieurs types d'analyses de sensibilité : les analyses à variations fixes et les analyses stochastiques (Beaulieu, 2005).

• Analyse de sensibilité à variations fixes

Les analyses de sensibilité à variations fixes résultent en un coefficient de sensibilité représentant les variations de la variable de sortie du modèle suite à une variation de la valeur d'une des variables d'entrée (Beaulieu, 2005). Chaque variable d'entrée se voit attribuer une valeur de base qui représente les conditions du milieu. L'analyse de sensibilité s'effectue en faisant varier la valeur de base d'une variable d'entrée en gardant toutes les autres variables d'entrée à leurs valeurs de base respectives. En modifiant la valeur de base de seulement une variable d'entrée à la fois, les analyses de sensibilité à variations fixes ne peuvent couvrir qu'une partie de toutes les combinaisons des valeurs possibles des variables d'entrée (Beaulieu, 2005).

Selon Nearing et al. (cité dans Beaulieu (2005)), les analyses de sensibilité à variations fixes ont deux limitations:

1) La corrélation entre les variables d'entrée n'est pas considérée, pouvant ainsi générer des valeurs irréalistes de la variable de sortie.

2) Les analyse de sensibilité à variation fixes sont souvent basées sur des variations de +/- 5%, 10%... autour de la valeur de base des variables d'entrée du modèle. Le coefficient de sensibilité à variations fixes attribué à chacune des variables d'entrée ne reflète pas nécessairement la complexité d'un modèle donné, puisque les valeurs de base ainsi que leurs variations pour chacune des variables d'entrée ne représentent pas toute la complexité de la distribution de la densité de probabilité de la variable d'entrée (Beaulieu, 2005).

• Analyse stochastique

Cette approche intègre les densités de probabilité de chacune des variables d'entrée au lieu de leurs valeurs de base. L'utilisation des densités de probabilité permet d'enlever les limites des analyses à variations fixes; 1) en incluant la corrélation entre les variables d'entrée, 2) en utilisant toute la densité de probabilité des variables d'entrée au lieu de seulement quelques valeurs et 3) en traitant simultanément toutes les variables d'entrée. Les analyses de sensibilité de type stochastique représentent le modèle comme un système dynamique et non statique (Beaulieu, 2005). Selon Biesemans et al., cité dans Beaulieu (2005), il est préférable d'utiliser les densités de probabilité au lieu de valeurs déterministes des variables d'entrée dans la modélisation des processus environnementaux.

La technique de Monte Carlo (MC) date de la fin de la seconde Guerre Mondiale, lorsqu'un groupe de physiciens a commencé à utiliser la simulation de nombres aléatoires pour étudier certains processus complexes. Les simulations de MC sont des techniques numériques opérant sur des systèmes complexes ayant des composantes aléatoires. Une simulation comprend un nombre suffisant d'itérations pour estimer la densité de probabilité de la variable de sortie du modèle. L'itération consiste en la répétition d'une séquence d'instructions, ou d'une partie de programme, un nombre de fois fixé à l'avance ou tant qu'une condition définie n'est pas remplie, dans le but de reprendre un traitement sur des données différentes (Grand dictionnaire terminologique 2005). Selon la technique MC, le logiciel utilisé sélectionne une valeur pour chaque variable d'entrée selon sa densité de probabilité, puis le modèle génère une valeur de la variable de sortie. Cette procédure est répétée un nombre suffisant d'itérations pour estimer la densité de probabilité de la variable de sortie (Hession et al., cité dans Beaulieu (2005)).

CLEA (2002) – outil de modélisation de l'exposition aux pollutions

Dans un modèle d'exposition aux pollutions classique, de type modèle d'Evaluation Détaillée des Risques de l'ancienne méthodologie française, des valeurs pessimistes sont retenues pour chaque paramètre pour pallier les incertitudes de chacun de ces paramètres. Un résultat unique est obtenu (risque acceptable ou risque non acceptable) et une étude de sensibilité permet la discussion du résultat. Cette approche qui est défendable pour la variation d'un paramètre, l'est beaucoup moins pour le modèle d'exposition qui fait intervenir plusieurs paramètres. Par exemple, s'il est choisi le 90^{ième} percentile pour chacun des trois paramètres du modèle d'exposition, le résultat obtenu correspond au 99,9^{ième} percentile de l'exposition (CLEA, 2002). Même si l'étude de sensibilité permet de relativiser le résultat, la communication au grand public de l'incertitude restera difficile. L'intégration d'un résultat unique étant plus simple que l'explication d'une étude de sensibilité, c'est le résultat final (oui, le seuil de risque est dépassé ou bien non, le risque est inférieur au seuil) qui est intégré, compris et retenu par le public.

CLEA (Contaminated Land Exposure Assessment) est la méthodologie d'évaluation des risques sanitaires aux Royaumes Unis. Elle fait intervenir un modèle probabiliste

d'exposition qui présente huit paramètres dont les distributions de probabilité sont définies : poids et surface corporelle, taux de respiration, dose d'ingestion journalière de sol, poids de végétaux ingéré par jour... Ces paramètres ne dépendent pas du site pollué, leur fonction de distribution de probabilité est fixée par le modèle.

Le résultat fourni par CLEA est une fonction de distribution de probabilité de la dose d'exposition. La valeur de dose d'exposition retenue comme résultat et comparée avec la valeur toxicologique de référence est le 95^{ième} percentile de la distribution de probabilité.

Cependant, l'outil CLEA ne prend pas en compte de manière probabiliste les incertitudes sur certains paramètres (les concentrations en polluant dans les sols) et ne prend pas en compte certaines incertitudes : valeur toxicologique de référence, modèle de transfert de polluant, fréquence d'exposition...

En outre, la fonction de distribution de probabilité est un outil qui peut être communiqué dans certains groupes de travail pour mettre en exergue la notion d'incertitude sur le résultat fourni. Cet outil est également utilisé dans le projet INCORE.

Hyrisk (2005) – outil probabiliste et possibiliste

Comme vu précédemment, les incertitudes peuvent dans certains cas être traitées par des notions de probabilité, c'est le cas des processus aléatoires (jeux de hasard par exemple).

Dans le domaine des risques environnementaux, les difficultés d'utilisation des probabilités classiques sont liées au choix de distributions de probabilité lorsque l'information disponible est de nature incomplète ou imprécise. Souvent, les informations obtenues sur un paramètre n'expriment pas une variabilité de type aléatoire mais de l'imprécision (ou ignorance partielle). Dans les études de risques environnementaux, on a souvent affaire à ces deux types d'informations : variabilité aléatoire et imprécision (Guyonnet et al., 2005).

Un des principaux objectifs de la méthode "hybride" utilisée dans **HyRisk**, est de permettre une représentation de l'incertitude relative aux paramètres d'un modèle qui soit cohérente avec l'information réellement disponible concernant ces paramètres.

Pour cela **HyRisk** utilise deux types de représentations :

- les distributions de probabilité (cas d'une information "riche", par exemple des mesures mettant en évidence de la variabilité), propagées par la méthode de Monte Carlo,
- les distributions de possibilité (cas d'une information plus "pauvre" de nature incomplète/imprécise, par exemple du jugement d'expert), propagées à l'aide du calcul d'intervalle flou.

Dans la pratique de l'évaluation des risques, il est fréquent d'avoir affaire à ces deux types d'information (variabilité et information incomplète/imprécise).

Une fois que l'utilisateur de **HyRisk** a représenté l'information dont il dispose à l'aide des outils de représentation qui lui paraissent appropriés, **HyRisk** propage cette information à l'aide de la méthode "hybride" pour estimer l'incertitude relative au résultat du modèle. Ce résultat, qui est synthétisé sous la forme de deux distributions de probabilité limitantes (plausibilité et crédibilité), issues de la théorie de l'évidence de Dempster-Shafer (ou théorie des fonctions de croyance), peut ensuite être comparé à un seuil de tolérance.

Un exemple de résultats est présenté sur la Figure 11.

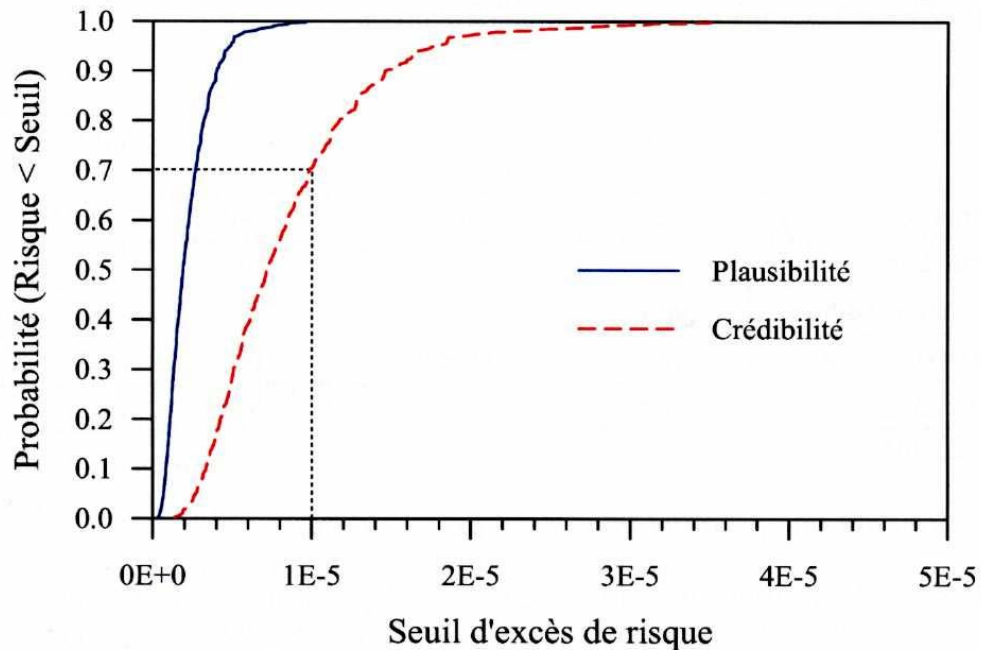


Figure 11 - Résultat du calcul hybride : distributions de plausibilité et de crédibilité pour la proposition « l'excès de risque individuel calculé est inférieur à une valeur seuil »

Pour la proposition « l'excès de risque est inférieur à 10^{-5} », on obtient une probabilité comprise entre 0,7 et 1. L'écart entre ces deux valeurs est la conséquence de la nature imprécise de notre connaissance relative à certains facteurs de risque.

Se pose ensuite la question de l'acceptabilité de la comparaison entre le risque calculé et l'objectif de risque (10^{-5} pour un risque cancérigène). Une alternative consiste à utiliser la probabilité basse qui est la plus sécuritaire (courbe de crédibilité). L'autorité sanitaire devrait alors fixer un niveau de crédibilité à atteindre pour accepter le niveau de risque calculé. Une valeur de crédibilité de 70 % (voir Figure 11) pourrait paraître peu élevée, mais exiger une crédibilité de 100% serait une application trop stricte du principe de précaution.

Une limite de l'outil, est que Hyrisk n'aborde pas le problème de l'incertitude relative aux modèles conceptuels. Une manière d'aborder cet aspect pourrait consister à

utiliser plusieurs modèles « envisageables », puis à effectuer une synthèse des résultats provenant de ces différents modèles.

Les résultats obtenus par Hyrisk permettent de mettre à disposition, sous une forme aussi accessible que possible, des notions probabilistes et possibilistes de traitement de l'incertitude. Dans le cadre de groupes de travail avertis, ces résultats peuvent présenter de réels avantages en termes d'outils d'aide à la décision vis-à-vis des incertitudes. Cependant, dans un contexte de communication, ces notions ne pourront être comprises et l'outil utilisé risque d'alourdir la communication des résultats.

La place des incertitudes dans l'analyse multicritère - Electre III

Une étude de sensibilité des résultats de l'analyse multicritère peut être menée pour indiquer dans quelle mesure les résultats obtenus sont provoqués par quelques facteurs isolés ou bien témoignent plutôt de la concordance globale des paramètres subjectifs choisis.

Dans ELECTRE III, l'analyse de sensibilité peut être réalisée en faisant varier le poids des critères, les seuils d'indifférence, les seuils de préférence stricte et les seuils de veto. Ce type de démarche est très utile en cas de désaccord entre les parties. En effet, il permet de calculer l'effet marginal sur la décision finale qui est associée à un compromis sur quelques critères ou sur la pondération qui leur est associée. Dans ce sens, c'est à cette étape de l'analyse multicritère que l'on retrouve, pourvu que les parties y consentent, le meilleur potentiel de négociation assistée, une attitude qui est souvent plus difficile à susciter lors d'une réunion de consultation classique. En effet, l'analyse de sensibilité permet d'identifier les vrais enjeux de controverse et comporte tous les outils nécessaires pour détecter les alliances éventuelles entre les groupes d'acteurs (Joerin *et al.*, 1998).

Dans ELECTRE III, les seuils reflètent une estimation des performances en utilisant la logique floue qui permet de considérer des facteurs peu déterminés ou des différences imprécises. Les seuils de discrimination permettent de pallier l'imprécision, l'ambiguïté et l'incertitude associées au signifié d'une mesure (Prévil *et al.*, 2003). La méthode Electre III permet de prendre en compte les incertitudes liées à l'évaluation des critères.

3.6. CONCLUSIONS

Les projets européens en matière de gestion des sites et sols pollués présentent différentes méthodologies et/ou guides de bonnes pratiques. Ces méthodologies s'accordent sur les principales étapes à considérer dans la gestion durable de ces sites. Les approches diffèrent selon les outils de gestion proposés. Certaines abordent principalement les aspects techniques et économiques, d'autres se penchent d'avantage sur les notions de développement durable et le rôle de parties prenantes. Certains réseaux s'attachent enfin à définir les lacunes à combler en matière de gestion durable des sites et sols pollués.

Les mégasites sont parties intégrantes des sites et sols pollués. Leur complexité nécessite une méthode de gestion spécifique, adaptée à leur taille. Les projets WELCOME et INCORE ont proposé une telle méthodologie. Ces deux méthodes proposent un découpage du site en plusieurs zones d'étude pour les besoins de remédiation. Le projet INCORE développe une méthodologie incluant des critères techniques et économiques dans le choix du scénario de gestion, mais les parties prenantes n'apparaissent pas comme clefs dans le choix du scénario final. Le projet WELCOME fournit une méthodologie plus flexible et attrayante, soulignant les étapes principales à considérer dans la gestion des mégasites. Des outils techniques et économiques ont été développés pour aider au processus décisionnel à chaque étape. Cependant, les outils d'aide à la décision choisis reflètent peu la complexité de la situation. De plus, l'importance et l'intégration des parties prenantes dans le processus décisionnel sont mal retranscrites. Aucun outil n'a été développé avec cet objectif et les interactions entre les étapes, les outils et les parties prenantes sont peu claires. Hors, nombres de projets, tels que RESCUE, CABERNET ou CLARINET soulignent l'importance de la prise en compte des parties prenantes dans le projet de réhabilitation du site dans le cadre du développement durable. Il apparaît ainsi nécessaire de clarifier le rôle des parties prenantes dans les différentes étapes de gestion. De plus, les incertitudes sont inhérentes au processus décisionnel. Leur rôle et leur poids sur le choix du scénario optimal de gestion doivent être clairement défini.

Ainsi, il est suggéré que la méthodologie proposée par WELCOME soit adaptée au contexte français et en prenant en compte la consultation des parties prenantes afin de répondre aux exigences de développement durable. Les conditions nécessaires au traitement durable du projet de redéveloppement développées dans le projet CLARINET (paragraphe 3.3.1) devront être prise en considération dans le choix du scénario de réhabilitation optimal.

4. Méthodologie proposée pour la gestion des mégasites

4.1. OBJECTIFS

En France, la gestion des sites pollués est conduite suivant une méthodologie initialement développée dans les années 1990. Cette méthodologie est actuellement réécrite sous forme de guides en cours de consultation et applicables en 2007. Cette méthodologie s'applique au cas des sites potentiellement pollués en général. Dans le cadre des mégasites, la complexité du problème nécessite des étapes additionnelles dans le processus de décision, et la prise en compte de critères de sélection multiples afin de satisfaire au développement durable.

Le projet européen WELCOME a défini une méthodologie pour la gestion des mégasites. Les différentes étapes développées dans cette méthodologie ont été reprises et adaptées au cadre légal français. Le couplage d'un outil d'analyse multicritère d'aide à la décision avec un outil d'analyse coût-bénéfice a été retenu pour aider au choix du scénario de gestion optimal.

De plus, le rôle des parties prenantes ayant été défini comme clef dans la gestion durable des sites pollués par les projets européens CLARINET et RESCUE, il paraît important de les inclure tout au long du processus de décision. Leur intégration doit être structurée afin de palier au problème actuel qui ne garantit pas que toutes les parties prenantes soient intégrées. La méthodologie développée dans RESCUE a été retenue pour palier au manque de la méthodologie développée dans WELCOME.

Enfin, les incertitudes sont inhérentes à la gestion des sites et sols pollués. Elles interviennent à différentes étapes du processus. Il conviendra, à chaque étape, d'analyser le rôle de ces incertitudes et d'identifier leur impact sur la décision, en mettant en place, notamment, des études de sensibilité.

Il est recommandé que les outils SIG soient utilisés tout au long du processus décisionnel. Ces outils permettent, entre autre, de visualiser les paramètres, hypothèses ou résultats intervenant dans les différentes étapes de la méthodologie. Une interface graphique semble un moyen efficace d'assurer une communication claire et transparente.

Une proposition de méthodologie pour la gestion des mégasites est développée dans le paragraphe suivant. Cette proposition demeure provisoire et un certain nombre d'améliorations potentielles est suggéré dans la section 4.3.

4.2. METHODOLOGIE

La méthodologie proposée est présentée en Annexe 2. Cette méthodologie est destinée à guider l'utilisateur dans le processus de gestion du mégasite. Elle a été développée dans le but de minimiser les coûts du projet tout en optimisant ses retombées, en dirigeant les investissements vers les zones sensibles.

Différentes étapes sont définies. Chacune de ces étapes est synthétisée sur les figures 2.2 à 2.8. En pratique, l'utilisateur sera amené à itérer la méthode, en fonction des informations nouvelles et/ou des données collectées tout au long du projet de réhabilitation.

4.2.1. Etapes préliminaires

Caractérisation de la situation

L'objectif principal de cette phase est de définir le site comme un mégasite, avec, entre-autre, différentes sources de pollution, la présence d'une pollution des eaux souterraines et des sols étendue, un nombre important de parties prenantes. Le site sera défini comme mégasite en fonction :

- du niveau de pollution des eaux souterraines,
- de l'impossibilité de dépolluer les eaux souterraines d'un point de vue technique, économique et/ou politique, dans un temps imparti.

Vision du projet

Avant de mettre en place la méthodologie de gestion du mégasite, les parties prenantes devront définir les idées initiales de développement, et poser les bases des étapes suivantes. Un coordinateur du projet sera désigné. Il sera la liaison entre le comité d'experts, en charge de l'aspect technique du projet, et les parties prenantes. Cette, ou ces, personne(s) sera(seront) responsable(s), entre autre, d'expliquer les différentes phases de la méthodologie et leur but, en mettant un accent particulier sur le rôle joué par les parties prenantes dans chacune des étapes.

4.2.2. Etape 1 : Bilan de l'existant

Le but de cette étape est de faire un état des lieux des informations disponibles issues d'études historiques, d'études documentaires, d'études de vulnérabilité, de diagnostics et des visites du site. Ces informations devront être traitées afin d'identifier :

- les populations riveraines concernées, les facteurs sociaux associés au projet, les intérêts des populations,
- les enjeux environnementaux, les polluants, les modes de contamination plausibles,
- les fonds disponibles et les coûts de redéveloppement,
- le contexte administrativo-légal.

Tous ces facteurs seront identifiés pour qualifier l'état zéro du site. Afin de faciliter la gestion de la masse d'informations disponibles et leur diversité, il est conseillé de mettre en place, à ce stade, un système de gestion des données. Parmi les informations à traiter pour qualifier l'existant au niveau du mégasite, les informations spatialisées ont une grande importance; c'est pourquoi le recours à un système d'information géographique semble nécessaire, afin d'intégrer des données d'origines et de nature multiples (spatialisées ou non).

L'analyse des données disponibles aboutit à la définition d'un modèle conceptuel retraçant les relations entre les sources de pollution, les vecteurs de transferts et d'exposition et les récepteurs potentiels, en fonction des usages constatés des milieux et de l'environnement du site. Ce modèle est un outil qui sera utilisé lors des discussions avec les parties prenantes. Il est développé afin de mieux comprendre les problèmes environnementaux associé au site, en termes de risques et de priorités d'action. Ce schéma s'inscrit dans une démarche itérative qui le fera évoluer au cours du temps. Le lecteur est invité à consulter le guide « le schéma conceptuel et le modèle de fonctionnement » (<http://www.sitespollues.ecologie.gouv.fr>) pour d'avantage d'information sur la construction du modèle conceptuel.

En parallèle, un comité de pilotage sera mis en place. Il sera composé sur la base des parties prenantes dans le projet de réhabilitation du mégasite. Les parties prenantes sont définies au chapitre I du présent rapport. Si le comité de pilotage n'est pas constitué de l'ensemble des parties prenantes, il conviendra de s'assurer que le comité de pilotage soit représentatif des parties prenantes. Le comité de pilotage sera consulté afin de définir une stratégie de redéveloppement du site. Cette stratégie devra s'ancrer dans le développement durable, en définissant les objectifs à atteindre en matière environnementale, économique et sociale. Ces objectifs pourront être précisés ultérieurement, lorsque d'avantage d'information ou de données auront été collectées pour mieux caractériser le site.

RESCUE (2005) propose une méthodologie de consultation du comité de pilotage (SAT) afin d'inscrire le projet dans le cadre du développement durable. La première étape de cette méthodologie sera reprise à chaque consultation des parties prenantes.

4.2.3. Etape 2 : Evaluation des risques

Cette étape a été développée en respectant la méthodologie proposée par le MEDD pour la gestion des sites potentiellement pollués. Après avoir établi et exploité l'état des lieux dans la première étape, il convient de définir les zones de gestion des risques. Les mégasites sont des sites complexes ; certaines zones présentent des risques sanitaires et environnementaux plus importants que d'autres. Une bonne gestion de ces sites nécessite donc une zonation du site, en fonction des risques, réels ou potentiels, que chaque zone présente.

Pour ce faire, il conviendra, dans un premier temps, de distinguer les zones sur site et les zones hors site qui peuvent être sous l'impact de la pollution potentielle du mégasite. Sur site, les usages peuvent être adaptés en fonction de l'Etat des Milieux. Hors site, le plan de gestion doit permettre une adéquation entre les usages constatés et l'Etat des Milieux.

Hors-site, la démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) a pour but de différencier les milieux qui :

- ne nécessitent aucune action particulière, c'est-à-dire ceux qui permettent la libre jouissance des usages des milieux par les populations,
- nécessitent la mise en œuvre de mesures de gestion simples pour rétablir la compatibilité entre leur état et les usages qui leur sont affectés,
- nécessitent l'élaboration d'un plan de gestion. Il s'agit des cas où :
 - ❖ l'état des milieux, dégradé par rapport à l'état initial ou à l'environnement témoin, ne respecte pas les valeurs de gestion réglementaires en vigueur sur les milieux d'exposition,
 - ❖ des substances non réglementées, mais toxiques pour la santé, sont présentes dans de l'eau destinée à la consommation humaine,
 - ❖ les niveaux de risques théoriques calculés sont manifestement inacceptables.

Dans les deux premiers cas, il n'est pas utile d'intégrer le milieu concerné dans la zone de gestion des risques à l'échelle du mégasite, alors que dans le dernier cas, le milieu doit faire partie intégrante de cette zone. Les zones voisines, nécessitant l'élaboration d'un plan de gestion, ainsi que le mégasite, nécessitant par définition un plan de gestion, forment la zone de gestion des risques à l'échelle du mégasite.

Pour établir ce zonage de gestion des risques, les outils SIG de traitement et de gestion de données (analyse spatiale, création d'indicateurs spatiaux appropriés, simulation du transfert de polluants...) pourront être mis en œuvre.

Le plan de gestion sera amélioré au fil du temps ou adapté aux projets de réaménagement. Il devra donc être interactif et itératif pour représenter au mieux les populations, milieux et ressources naturelles à protéger, ainsi que les connaissances de l'état des milieux. Pour établir ce plan, plusieurs étapes, développées dans les paragraphes suivants, sont nécessaires. Dans un premier temps, un aller-retour entre :

- la connaissance des milieux,
- l'acquisition de connaissances sur les populations, sur les ressources naturelles à protéger ainsi que le choix ou les préférences des usages,
- les contraintes réglementaires,
- la maîtrise des sources de pollution,
- la maîtrise des impacts,

se fera afin de définir les zones ayant des caractéristiques similaires et pouvant faire l'objet des mêmes options de gestion. Cette zonation, ou découpage, de la zone de gestion a pour but d'optimiser les méthodes de gestion appliquées sur chaque zone, ou « cluster ». Il convient de choisir, pour chaque zone, un ensemble de mesures de traitement possibles avant de passer à l'étape 3.

Le choix des mesures de traitement sera basé sur l'évaluation des risques sanitaires et les seuils de dépollution à atteindre pour aboutir à un risque acceptable sur chaque zone, en fonction de son état et de son usage, présent ou futur. Un schéma conceptuel des expositions sera dressé et identifiera notamment, pour chaque zone précédemment définie :

- les propriétés des substances et des milieux,
- les populations,
- les usages,
- les modes de transfert des pollutions résiduelles vers les milieux d'exposition, en tenant compte des hypothèses du scénario de redéveloppement,
- les points d'exposition et les voies d'administration des contaminants pour les populations potentielles exposées.

Le lecteur est invité à consulter les guides spécifiques aux risques sanitaires « *La démarche d'évaluation des risques sanitaires* », guides MEDD en consultation sur www.sitespollues.ecologie.gouv.fr.

Dans ce processus, il convient de mettre en place les modalités appropriées de communication. Une information des personnes et des élus peut être un préalable nécessaire pour connaître les usages des sols et des milieux et pour accéder aux milieux d'exposition afin d'y réaliser les diagnostics appropriés. Les outils SIG utilisés en cartographie participative permettent d'informer d'une manière attractive les parties prenantes et d'intégrer plus facilement leurs savoirs locaux.

4.2.4. Etape 3 : Analyse multicritère d'aide à la décision à l'échelle des zones du mégasite

Après avoir identifié les options de gestion pour chaque zone du mégasite, il convient de hiérarchiser ces options afin de sélectionner l'option optimale pour chaque zone. Au cours de cette étape, un ensemble de critères en compétition dans le choix de l'option seront entrés et pondérés afin de sélectionner l'option ou les options de réhabilitation optimales pour la zone du mégasite considérée. Cette étape permet de sélectionner la ou les option(s) optimale(s) de gestion de façon transparente et reproductible.

La mise en place du système d'aide à la décision est illustrée dans le cas de la méthode ELECTRE III. Cette méthodologie peut être adaptée si une autre méthode d'analyse multicritère d'aide à la décision était choisie.

Sous-étape A : Définition des objectifs et critères

Dans le cadre du développement durable, cinq objectifs sont à considérés : objectifs d'ordre techniques, environnementaux, sociaux, économiques et légaux. Chacun de ces objectifs se verra attribuer des paramètres sous lesquels seront définis des critères. Par exemple, dans le cadre des objectifs environnementaux, on pourra définir des paramètres d'impacts sur la santé, sur les écosystèmes, etc. Ces paramètres rassemblent un ensemble de critères que sont, par exemple, les impacts sur la qualité de l'eau souterraine, sur les eaux de surface, sur l'air.

Cette étape aboutira à un tableau à double entrée, tel que présenté sur le Tableau 2.

Objectifs	Paramètres primaires	Paramètres secondaires	Critères (C _i)	Unités
Techniques				
Environnementaux				
Sociaux				
Economiques				
Légaux				

Tableau 2 – Définition des critères

Sous-étape B : Définition de la matrice des options

Après avoir sélectionné les options de gestion (Etape 2) et après avoir défini les critères à prendre en considération pour le choix d'une option de gestion (Sous-étape A), il convient de « noter » chaque option par rapport aux critères de sélection. Cette grille de notes sera établie en prenant en considération, notamment, les résultats de modélisation hydrogéochimique, les résultats de modélisation des risques sanitaires, la bibliographie accessible, l'avis d'experts, les incertitudes pesant sur chaque option et/ou chaque critère.

Cette sous-étape aboutira à la création d'un tableau à double entrée de type tel que présenté sur le Tableau 3.

	Critères			
Options	C ₁	C ₂	...	C _n
O ₁				
O ₂				
...				
O _m				

Tableau 3 – Matrices des options

Sous-Etape C : Définition des poids à attribuer à chaque critère

Une fois les critères de sélection définis, il convient de classer leur importance dans la prise de décision. Afin d'assurer une décision transparente, il est nécessaire de faire appel aux parties prenantes dans cette étape. La consultation permettra de prendre en compte les avis, souvent divergents, quant à l'importance relative des différents critères.

Cette consultation pourra se faire en suivant les principes de la méthode SAT développée dans RESCUE (2005). Il appartient au coordinateur du projet de synthétiser les résultats et de définir le poids final à attribuer à chaque critère. Au cours de ce processus, il serait intéressant de relever les variations de poids entre les parties prenantes. L'analyse de sensibilité réalisée ultérieurement pourra utiliser ces intervalles de variations.

Une matrice de pondération de chaque critère sera ainsi définie (Tableau 4).

Personnes impliquées	Critères			
	C ₁	C ₂	...	C _n
P ₁				
P ₂				
...				
P _m				
Moyenne				
Minimum				
Maximum				

Tableau 4 – Poids de chaque critère

Sous-étape D : Définition des seuils d'indifférence, de préférence et de veto

La méthode ELECTRE est basée sur la comparaison d'options, deux à deux. A partir de la matrice des options (Sous-étape B), on peut calculer la différence, d , de notes entre deux options pour un même critère, et ceci pour toutes les options et tous les critères.

ELECTRE III nécessite ensuite la définition de trois valeurs seuils, à savoir le seuil d'indifférence, de préférence et de veto. Ces seuils permettent d'incorporer les incertitudes inhérentes à l'évaluation des critères. Pour chaque critère, ces seuils correspondent à :

- le seuil d'indifférence, q , est la valeur en dessous de laquelle le décideur est indifférent au choix de deux options,
- le seuil de préférence, p , est la valeur en dessus de laquelle le décideur montre une préférence stricte pour une option plutôt que l'autre,
- le seuil de veto, v , est tel que si la différence de notes soit en valeur absolue supérieure à ce seuil, le décideur exclut l'action qui se comporte mal sur ce critère.

Pour chaque critère, on définira un tableau (exploitable sous SIG), tel que présenté dans le Tableau 5.

Critères	Seuil d'indifférence q	Seuil de Préférence p	Seuil de véto v
C ₁			
C ₂			
...			
C _n			

Tableau 5 – Valeurs Seuils

Rogers et al. (1998) ont étudié la définition de p et q dans le cadre de l'évaluation des risques. Ils remarquent que toutes les méthodes utilisées pour définir ces seuils se basent sur une notion, telle que l'imprécision, l'erreur ou l'incertitude de l'évaluation des critères. La définition de ces valeurs peut s'avérer subjective. Certains auteurs suggèrent même d'utiliser le bon sens pour la sélection de p et q . Cependant, Rogers et al. (1998) défendent le fait que p et q doivent être choisis de manière défendable et rationnelle, en incluant la perception des parties prenantes dans leur définition. q devrait ainsi être défini comme le point pour lequel une option peut quantitativement être distinguée d'une autre, en supposant que l'on puisse percevoir une telle différence. Ainsi, il semble raisonnable de définir le seuil d'indifférence principalement en fonction des imprécisions. p pourrait être défini comme le point à partir duquel une option est perçue comme clairement préférable à une autre.

Quant à v , il sera choisi significativement plus grand que p . Rogers et al. (1998), recommandent que, contrairement à ce qui a été préconisé par le développeur d'ELECTRE, v soit défini comme le point à partir duquel l'impact est tel qu'il nécessite un arrêt ou un abandon de l'option en question. Cette définition exclut ainsi tout lien avec p et q .

Rogers et al. (1998) soulignent donc l'importance de la sensibilité des parties prenantes et de leur perception. Il apparaît donc important, à ce stade de l'analyse multicritère, de consulter les parties prenantes pour le choix des seuils de préférence, indifférence et véto.

Sous-étape E : Evaluation des options de gestion

Après définition des seuils d'indifférence, de préférence et de véto, chaque couple d'options de gestion, notées ici A et B , peut être évalué pour chaque critère selon les définitions suivantes (Tableau 6).

$d \geq p$	A est fortement préféré à B
$p \geq d \geq q$	A est faiblement préféré à B
$q \geq d \geq 0$	A et B sont indifférents
$-q \leq d \leq 0$	A et B sont indifférents
$-p \leq d \leq -q$	B est faiblement préféré à A
$d \leq -p$	B est fortement préféré à A

Tableau 6 – Définition des relations de sur-classement

On accorde ensuite un indice de crédibilité à l'hypothèse « A surclasse B » pour le critère considéré, en fonction du niveau de préférence défini par les seuils de préférence. Cet indice de crédibilité est fonction de d . Un d négatif indique que l'action B se comporte mieux que A relativement au critère considéré. Cet indice de crédibilité reflète la certitude que l'on a que « A soit au moins aussi bon que B ». Dans la zone d'indifférence, on peut également considérer que « A soit au moins aussi bon que B ». Ainsi, si $-q \leq d$, l'indice de crédibilité vaut 1. Si B est fortement préféré, $d \leq -p$, on considère que A ne peut être meilleur que B, et l'indice vaut 0. Entre ces deux zones, on suppose que cet indice varie linéairement.

Ainsi, pour $p=6$ et $q=2$, la valeur de l'indice de crédibilité de l'hypothèse « A surclasse B » serait défini par la Figure 12.



Figure 12 – Indice de crédibilité

Cet indice de crédibilité, pondéré par les poids respectifs des critères (Sous-étape C) permet de définir l'indice de concordance global pour l'hypothèse « A surclasse B ».

De même, on définit un indice de discordance global pour l'hypothèse « A surclasse B ». Si la différence de note entre A et B est inférieure à $-v$, le degré de discordance de l'hypothèse « A surclasse B » vaut 1. Si cette différence de notes est supérieure à $-p$, le degré de discordance vaut 0. Entre les deux, on suppose que le degré de discordance varie linéairement.

Ainsi, pour $v=10$ et $p=6$, la valeur de l'indice de discordance de l'hypothèse « A surclasse B » sera définie par la Figure 13.

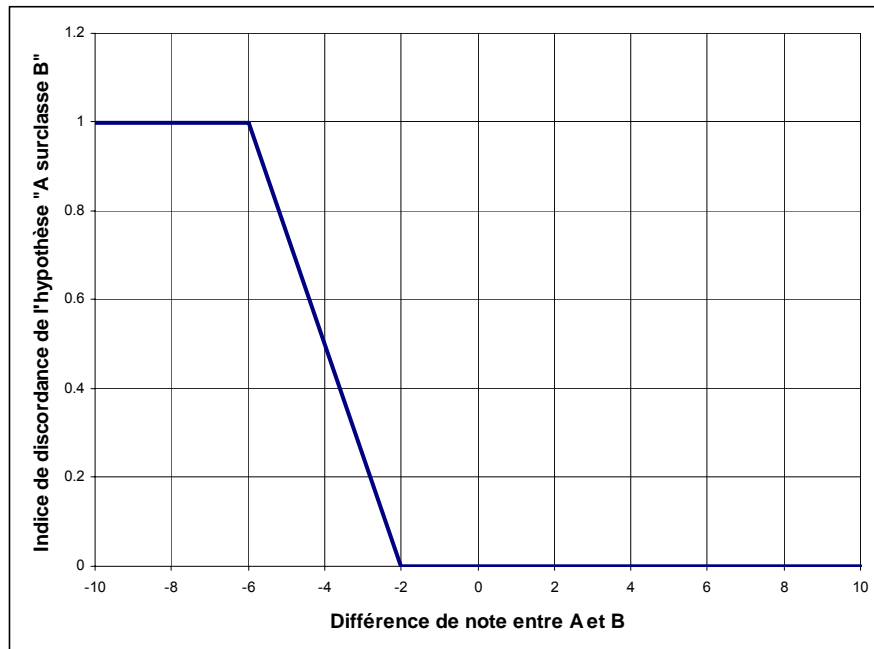


Figure 13 – Indice de discordance

L'indice de discordance global de l'hypothèse « A surclasse B » sera calculé en sommant les degrés de discordance pour chacun des critères, pondérés par leurs poids respectifs.

Enfin, on fixe des seuils sur les indices de concordance et de discordance afin de déterminer des relations de préférence (faible ou forte) et d'indifférence entre les options. Cela permet de hiérarchiser partiellement les options.

Sous-étape F : Etude de sensibilité

Afin d'évaluer le degré de confiance de la relation de sur-classement établie dans la sous-étape E, il convient d'effectuer une étude de sensibilité du modèle vis-à-vis des

poids attribués pour chacun des critères (sous-étape C) et vis-à-vis des valeurs seuils définies (sous-étape D).

Sous-étape G : Avantages et Inconvénients de chaque option retenue

Pour conclure l'analyse multicritère, un résumé de l'analyse, comprenant les critères retenus, leurs notes et poids respectifs, les valeurs seuils retenues et le résultat de l'étude de sensibilité devra être soumis au comité de pilotage pour assurer la transparence du processus de décision. Une présentation utilisant les outils SIG sera utile pour visualiser les différences observées au niveau des résultats de l'analyse multicritère des différentes zones du mégasite.

Dans le cadre du résumé des résultats de l'analyse multicritère à l'échelle des zones du mégasite, il sera bon de rappeler les avantages et inconvénients des options retenues pour chaque zone. De plus, une analyse coût/bénéfice sommaire pourra être effectuée afin d'éliminer à ce stade du projet les options n'entrant pas dans le cadre du budget alloué.

Le comité de pilotage devra valider les travaux.

4.2.5. Etape 4 : Analyse multicritère d'aide à la décision à l'échelle du mégasite

Le but de cette étape est de définir un ensemble d'options, ou scénarii, pouvant être mis en place au sein de la zone de gestion du mégasite, et de hiérarchiser ces ensembles en mettant en place une analyse multicritère d'aide à la décision.

Pour ce faire, les résultats de l'étape 3 seront d'abord analysés afin de définir des ensembles d'options cohérents à l'échelle du mégasite. L'analyse coût-bénéfice sommaire effectuée en dernière phase de l'étape 3 pourra être utile dans l'élimination des ensembles trop coûteux. De plus, les ensembles présentant des combinaisons redondantes ou incompatibles seront éliminés. Il conviendra d'utiliser le bon sens dans la sélection des ensembles à considérer pour l'analyse multicritère. Cette sélection devra être validée par le comité de pilotage.

Une fois que les ensembles d'options à considérer dans l'analyse multicritère ont été sectionnés, l'analyse multicritère peut être mise en place. Le processus suivi est le même que dans l'étape 3, à savoir :

Sous-étape A : Définition des objectifs et critères

Les critères définis à l'échelle du mégasite pourront être identiques aux critères définis à l'échelle des zones, en s'appuyant à ne sélectionner que les critères importants à l'échelle supérieure. Un tableau, comparable au Tableau 2 sera généré.

Sous-étape B : Définition de la matrice des options

Cette étape reprendra les ensembles d'options validés par le comité de pilotage au début de cette étape. Les ensembles se verront attribués une note en fonction des résultats de modélisation hydrogéochimique, des résultats de modélisation des risques sanitaires, de la bibliographie accessible, de l'avis d'experts, des incertitudes pesant sur chaque ensemble d'options et/ou chaque critère. Une matrice similaire à la matrice présentée en Tableau 3 sera mise en place.

Sous-étape C : Définition des poids à attribuer à chaque critère

Comme pour l'étape 3, une fois les critères de sélection définis, il convient de classer leur importance dans la prise de décision. Afin d'assurer une décision transparente, il est nécessaire de faire appel au comité de pilotage dans cette étape. La consultation permettra de prendre en compte les avis, souvent divergents, quant à l'importance relative des différents critères et de définir ainsi une matrice de pondérations des critères. Un tableau comparable au Tableau 4 sera défini.

Sous-étape D : Définition des seuils d'indifférence, de préférence et de véto

Le processus à développer dans cette étape est identique à celui développé dans la sous-étape D de l'étape 3.

Sous-étape E : Evaluation des ensembles d'options

Cette étape est identique à la sous-étape E de l'étape 3 et aboutit à une hiérarchisation des ensembles d'options.

Sous-étape F : Etude de sensibilité

Cette étape est identique à la sous-étape F de l'étape 3.

Sous-étape G : Avantages et Inconvénients de chaque ensemble d'options retenu

Pour conclure l'analyse multicritère à l'échelle du mégasite, un résumé de l'analyse, comprenant les critères retenus, leurs notes et poids respectifs, les valeurs seuils retenues et le résultat de l'étude de sensibilité devra être soumis au comité de pilotage pour assurer la transparence du processus de décision. Une présentation utilisant les outils SIG sera utile pour visualiser les différences observées au niveau des ensembles d'options retenus dans l'analyse multicritère.

Dans le cadre du résumé des résultats de l'analyse multicritère à l'échelle du mégasite, il sera bon de rappeler les avantages et inconvénients des ensembles d'options, ou

scénarii, retenus pour référence ultérieure. Les résultats devront être communiqués et validés par le comité de pilotage.

4.2.6. Etape 5 : Analyse coût-bénéfice à l'échelle du mégasite

Le but de cette étape est de chiffrer les coûts et bénéfices associés à chaque ensemble d'options classé dans l'Etape 4. Pour ce faire, un économiste sera responsable de l'attribution des coûts et des bénéfices aux critères qui ne sont pas directement quantifiables. Une attention particulière devra être portée aux hypothèses sous-tendant la traduction en terme monétaire de ces critères. Les incertitudes devront être évaluées et leur rôle dans l'analyse coût-bénéfice déterminé par une étude de sensibilité.

Le comité de pilotage devra valider les sommes attribuées à chacun des critères qualitatifs.

Le bénéfice net sera ensuite calculé pour chaque ensemble d'options.

4.2.7. Etape 6 : Choix du scénario final

A l'issue de l'analyse coût-bénéfice, les différents scénarios seront présentés aux décideurs, en précisant leurs avantages, leurs inconvénients et leurs coûts. Les outils SIG pourront être utilisés afin d'illustrer les possibilités et restrictions associées aux différents scénarii. Les décideurs choisiront le scénario le mieux adapté en fonction :

- des résultats de l'analyse multicritère,
- des résultats de l'analyse coût-bénéfice et du budget dont ils disposent,
- du contexte administrativo-légal,
- du plan d'occupation des sols / du plan de redéveloppement.

Le choix du scénario final sera communiqué au comité de pilotage et au public, en utilisant les outils de communication les mieux adaptés. Le SIG aura ici une place prépondérante dans la visualisation des critères sélectionnés dans l'analyse multicritère, dans la visualisation des options qui seront mis en place dans chacune des zones du mégasite et leurs rôles dans la réduction des risques sanitaires et environnementaux, dans la visualisation des projets de redéveloppement envisagés et leurs conséquences au niveau environnemental et social.

Le rapport remis à l'issue de cette étape devra préciser les limites du scénario choisi, et les objectifs environnementaux, sociaux, économiques, techniques et légaux à atteindre après mise en place du scénario de réhabilitation.

4.2.8. Etape 7 : Chronologie de redéveloppement

La complexité des mégasites ne permet pas de choisir un scénario éliminant de façon pérenne les sources de pollution et/ou supprimant les voies de transfert entre les sources de pollution et les populations. Des pollutions résiduelles ou des expositions résiduelles seront présentes. Le scénario final choisi doit garantir que les expositions résiduelles sont acceptables, sans pour autant garantir une absence de pollution. En effet, une pollution ne présente un risque que lorsque des expositions ou des modes de contamination sont possibles.

Impacts résiduels après mise en place du scénario de réhabilitation

Le choix du scénario de réhabilitation dans l'étape 6 conduit à déterminer un ensemble d'objectifs à remplir en termes environnementaux, sociaux, économiques, techniques et légaux. Dans cette partie, il conviendra de rassembler les modélisations hydrodynamiques faites dans le cadre de l'évaluation des risques (Etape 2) et d'appliquer les options sélectionnées sur chaque zone du mégasite afin de prévoir les impacts résiduels. Il conviendra de mesurer l'impact social du scénario de réhabilitation proposé et il sera bon de rappeler les coûts et bénéfices associés à la réhabilitation de chaque zone du mégasite (Etape 5).

Plan de redéveloppement du mégasite

En fonction des impacts environnementaux résiduels, des objectifs sociaux définis et des coûts et bénéfices attribuables à la réhabilitation de chaque zone du mégasite, le redéveloppement du mégasite pourra être planifié. L'ampleur des travaux nécessite un phasage de l'intervention. Une analyse multicritère simplifiée pourra être mise en place afin de définir les zones prioritaires de mise en place du plan de redéveloppement. Les risques sanitaires présents, des risques sanitaires et environnementaux associés aux travaux, les coûts et les bénéfices associés à chaque phase, les contraintes techniques pourront être autant de critères entrant en considération dans la sélection des priorités d'intervention.

Ce plan de redéveloppement sera communiqué et validé par le comité de pilotage dans un premier temps, puis il sera présenté au public. En parallèle à la mise en place de ce plan de gestion, une analyse des risques résiduels devra être faite.

Analyse des risques résiduels

Une analyse des risques résiduels (ARR) sera conduite au cours de la phase de réhabilitation. Elle se compose conventionnellement de quatre étapes identiques à celles de l'évaluation des risques sanitaires présentée en étape 2 (<http://www.sitespollues.ecologie.gouv.fr>) :

- l'identification des dangers,
- l'estimation des relations dose-réponse,

- l'estimation des expositions,
- la caractérisation des risques sanitaires.

Les résultats de l'ARR, en synthèse de l'ensemble de la démarche de redéveloppement, doit montrer l'acceptabilité des risques liés aux expositions résiduelles. Le document qui sera transmis au comité de pilotage devra identifier :

- les concentrations des substances étudiées dans les milieux d'expositions résiduelles,
- les contraintes constructives passives ou actives,
- les usages.

Si les risques résiduels ne sont pas en adéquation avec les usages déterminés dans le plan de redéveloppement, ce plan sera adapté ou ajusté afin de veiller à l'adéquation entre l'état des milieux et leur usage présent ou futur.

Contrôle et validation des mesures de gestion (phase chantier)

Les éléments identifiés dans l'analyse de risques et devant faire l'objet de contrôles durant le chantier devront clairement être précisés, ainsi que le moment auquel ces contrôles devront être réalisés. En effet, durant les chantiers de réhabilitation, une caractérisation des pollutions résiduelles devra être menée par le biais de campagnes de mesures adaptées. Les résultats de mesures de teneurs résiduelles en polluants sont à comparer aux objectifs de réhabilitation définis en étape 6 et dans la première phase de l'étape 7. Si les objectifs ne sont pas remplis, le plan de redéveloppement devra être ajusté, ou une nouvelle démarche de gestion justifiant l'acceptation du plan devra être faite. Ceci permet d'assurer la compatibilité entre états des milieux et usages.

Les incertitudes liées aux différentes étapes, que ce soit dans le choix des options de gestion ou dans l'analyse de risques, devront être signalées.

A l'issue des travaux, un rapport de synthèse récapitulant l'ensemble de la démarche et des contrôles sera remis au comité de pilotage. Ce rapport pourra inclure les mesures de surveillance à mettre en place pour vérifier que les options de réhabilitation inscrites dans le long terme, comme l'atténuation naturelle, fonctionne telle que prévu dans l'étape 6 et la phase initiale de l'étape 7. Ce rapport sera une synthèse du plan de gestion développé pour le mégasite et devra être validé par le comité de pilotage avant d'être communiqué au public.

4.3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La méthodologie développée dans la section 4.2 nécessite de développer davantage certains aspects du processus décisionnel afin de faciliter sa mise en place. Il conviendra de :

- définir des critères à prendre en compte de façon systématique dans l'analyse multicritère d'aide à la décision. Des critères additionnels pourront être insérés afin d'adapter l'analyse à chaque mégasite,
- étudier l'influence du choix des critères sur la décision finale, ainsi que l'influence du poids des critères sur la décision finale,
- appliquer la méthodologie à un cas simple afin d'identifier les « failles » potentielles. Cette « mise en pratique » permettra de mieux définir le couplage analyse multicritère / analyse coût-bénéfice / outils SIG et d'évaluer la mise en place de la méthodologie. Il conviendra d'évaluer notamment la facilité d'utilisation et la clarté de la méthodologie,
- il serait intéressant de tester les méthodes ELECTRE et PROMETHEE sur cet exemple, afin de suivre les recommandations de Salminen et al. (1998),
- créer une « boîte à outils ». Elle référencera les différents outils disponibles pouvant être utilisés dans les différentes phases du processus décisionnel, tels que des outils facilitant le choix d'options de gestion potentielles, des outils de modélisation, des outils de communication, etc. Il est suggéré que les outils développés ou proposés dans WELCOME soient testés afin de juger si ces outils sont utilisables dans la méthodologie française ou si d'autres outils sont mieux adaptés ou sont à développer,
- développer des méthodes de communication adaptées à chacune des étapes du processus décisionnel. Une revue détaillée des outils existants, développé dans le cadre européen et américain, semble nécessaire. La consultation des parties prenantes a été étudiée par RESCUE, mais les méthodes de communication optimale du risque, des incertitudes, de la décision finale restent à définir dans la présente méthodologie,
- adapter / développer les méthodes de prise en compte des incertitudes aux différentes phases du projet. Définir si des outils spécifiques sont nécessaires pour mieux les traiter ou si des études de sensibilité et d'évaluation de risques sont suffisantes,
- développer des techniques de communication des incertitudes de type « indice de confiance » sur le résultat présenté,
- inclure les conclusions et bonnes pratiques développées dans le projet CABERNET.

4.4. TEST : PRESENTATION DU SITE PILOTE – PROJET AIGRETTE

Il est proposé d'appliquer la méthodologie développée ci-dessus sur l'espace SAN OUEST PROVENCE qui comprend le complexe industrialo-portuaire de Fos, appelé à se développer notamment dans le cadre du projet Fos 2XL. Ceci fera l'objet d'un projet de recherche en 2007.

Le complexe de Fos possède les caractéristiques d'un mégasite industriel dont les effets cumulés sur tous les éléments constitutifs du milieu (sol, air, eaux, biodiversité) du territoire du SAN OUEST PROVENCE sont peu ou pas connus. A ce complexe, concentrant l'essentiel des activités industrielles du SAN OUEST PROVENCE, viennent s'ajouter des nuisances liées aux trafics routier, aérien et maritime ainsi qu'éventuellement des pollutions « externes » pouvant provenir des communes limitrophes.

Les caractéristiques de ce complexe sont :

- de grandes surfaces impactées (de façon avérée ou potentielle à l'échelle de plusieurs km²),
- la coexistence de multiples industriels, acteurs partie prenante et de populations diverses, utilisateurs d'un milieu naturel menacé et sensible de type : plages marais et littoraux, sansouires ou encore chênaies relictuelles...
- l'existence de multiples sources de contamination potentielle de nature diversifiée (pétrochimie, sidérurgie, incinération de déchets industriels...), affectant de multiples milieux de transfert (air, eaux de surface, eaux souterraines, sols et sédiments) et de multiples milieux récepteurs (golfe de Fos, zones de conchylicultures, zones urbaines, agricoles ou de loisirs..),
- des ressources financières mises à disposition par les industriels et acteurs nationaux ou locaux, insuffisantes pour remédier aux effets cumulatifs néfastes à l'échelle régionale.

5. Bibliographie

Alexandrian, D., Tran, P. (2003) : Cartographie dynamique des feux de forêt dans le département du Var.

ANTEA (1994) : Aide multicritère à la décision et hiérarchisation de sites pollués : Etude pilote. Rapport ANTEA n° A00822. Auteur : Creuse, L.

ANTEA (1995) : Applicabilité d'une méthode d'analyse multicritère à 4 domaines de l'environnement. Rapport ANTEA n°A 02190. Auteur : Jamen, A.S.

ANTEA (1997) : Analyse Multicritère pour le classement et la hiérarchisation – Guide méthodologique. Rapport n°A 08274. Auteur : El Magnouni, S.

Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Krupa, J., Sorenson, K. (2001) : Guidebook to Decision-Making Methods. Developed for the Department of Energy. WSRC-IM-2002-0002.

Bardos, R.P., Kearney, T.E., Nathanail, C.P., Weenk, A., Martin, I.D. (2000) : Assessing the wider environmental value of remediating land contamination, 7th international FZK/TNO Conference on Contaminated Soil "ConSoil 2000".

Bardos, R.P., Mariotti, C., Marot, F., Sullivan, T. (2001) : Framework for Decision Support used in Contaminated Land Management in Europe and North America. Land Contamination & reclamation, Vol. 9, No. 1, pp. 149 - 163.

Beaulieu, L. (2005) : Analyse de sensibilité d'un indice de risqué de perte de phosphore en zone cultivée. Collection électronique mémoires et thèses, université de Laval.

Brans, J.P., Vincke, Ph., Mareschal, B. (1986) : How to select and how to rank projects: the Promethee method, European Journal of Operational Research 24, pp.228-238.

Brousseau-Doiron, P., Cambon, P., Larose, M-P., Veronneau, E.(2005) : Système d'indicateurs pour la MRC de Montmagny : un outil d'aide à la décision pour une gestion intégrée du territoire. Université Laval. Québec.

CABERNET (2004) : Citizen Participation in Brownfield Regeneration. CABERNET Position Paper. www.cabernet.org.uk.

Caillet, R. (2003) : Analyse multicritère : étude de l'existant et application en analyse du cycle de vie. Rapport de stage, CIRAIG.

Carlou, C., Giove, S., Agostini, P., Critto, A., Marcomini, A., The Role of Multi-Criteria Decision Analysis in a Decision Support System for Rehabilitation of Contaminated Sites (the DESYRE software).

Chan, P. (2006) : Experience of applying geographic information system (GIS) technology in the operation and maintenance of water supply and distribution network of water supplies department, Hong Kong SAR Government.

CLARINET (2002) : Review of Decision Support Tools for Contaminated Land Management, and their Use in Europe.

CLARINET (2002) : Sustainable Management of Contaminated Land : An Overview.

CLARINET (2002) : Brownfields and Redevelopment of Urban Areas.

Côme, B., Creuse, L. (1995) : Analyse multi-critères et hiérarchisation des "risques" liés aux sites pollués : résultats d'une étude pilote. TSM n°4.

Egberts, P., Keppel, F., Wildenborg, T., Hendriks, C., van der Waat, A.S.(2003) : GESTCO-DSS; a decision support system for Underground Carbon Dioxide Sequestration.

Environment Agency UK (2002) : The Contaminated Land Exposure Assessment (CLEA) model : technical basis and algorithms. R&D publication CLR10.

Gopal Krishna, P., Beeme Rao, P., Rajendra Prasad, J., Sai, K.S.K. : The role of spatial information technology (SIT) and conventional techniques in participatory natural resource management in drought prone areas of Warangal district in Andhra Pradesh.

Greuter, G. (2001) : Etude et prototypage d'un système de conception interactive multicritère Application à la renaturation de cours d'eau.

Guyonnet, D., Blanchard, F., Harpet, C., Ménard, Y., Côme, B., Baudrit, C. (2005) : Projet IREA – traitement des incertitudes en évaluation des risques d'exposition. Rapport BRGM/RP-54099-FR.

INCORE (2003) : Integrated Concept for Groundwater Remediation. www.image-train.net.

Joerin, F., Rondier, P., Lebreton, M., Desthieux, G. (2006) : Des indicateurs aux systèmes d'indicateurs - Proposition méthodologique basée sur l'approche systémique. Présentation lors de l'Atelier « Les indicateurs socio-territoriaux »

Joerin, F. (2006) : Outils géomatiques pour la prise de décision territoriale. Bilan et apprentissages de quelques expériences. Présentation au colloque Jacques Cartier « Développement Durable et Systèmes d'Informations Environnementales ».

Joerin, F. (2004) : Utilisation de l'application ELECTRE TRI dans MapInfo

Joerin, F., Golay, F., Musy, A. (1998) : GIS and Multi-criteria Analysis for Land Management. COST C4 Final Conference.

Joerin, F. (1997) : Décider sur le territoire – Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. Thèse No 1755. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

Joliveau, T. (2006) : Systèmes d'information et planification environnementale; prise en compte des usages et des usagers. Présentation au colloque Jacques Cartier « Développement Durable et Systèmes d'Informations Environnementales ».

Joliveau, T., Molines, N., Caquard, S. (2000) : Méthodes et outils de gestion de l'information pour les démarches territoriales participatives. Rapport du CNRS

Gervais, M., (2006) : La diffusion des données spatiales et temporelles : stratégies de gestion du risque juridique et leurs mises en oeuvre. Présentation au colloque Jacques Cartier « Développement Durable et Systèmes d'Informations Environnementales ».

Khalil W.A.-S., Goonetilleke, A., Kokot, S., Carroll, S. (2004) : Use of chemometrics methods and multicriteria decision-making for site selection for sustainable on-site sewage effluent disposal. *Analytica Chimica Acta*, 506, pp 41-56.

Kunlun Xin, Haifeng Jia, Shengtong Cheng, TaoTao : GIS-based reclaimed water network planning – A case study in Bejiing urban area.

Lebel G. (2006) : Un Système d'informations environnementales en soutien à la prise de décision en santé environnementale. Présentation au colloque Jacques Cartier « Développement Durable et Systèmes d'Informations Environnementales ».

Linkov, I., Varghese, A., Jamil, S., Seager, T.P., Kiker, G., Bridges, T., Multi-criteria decision analysis: a framework for structuring remedial decisions at contaminated sites. In: *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*. p. 15-54.

Linkov, I., Varghese, A., Jamil, S., Seager, T.P., Kiker, G., Bridges, T. (2004) : Multi-criteria decision analysis : a framework for structuring remedial decisions at contaminated sites, *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*, Kluwer, p. 15-54.

Macary, F., Vernier F. (2006) : Indicateurs environnementaux pour le zonage de risque potentiel de transferts de pesticides à l'échelle de bassins versants : méthodologies pour un changement d'échelle. Cemagref

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (2000). Gestion des sites pollués – version 0. BRGM Editions.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (2006). Sites et sols pollués – Principes et modalités de gestion – Comment gérer un problème de site (potentiellement) pollué ? Projet du 18 juin 2006.

Mongkolsawat, C., Thirangoon, P., Suwanweramtorn, R., Karladee, N., Paiboonsank, S., Champathet, P. (2000) : An evaluation of drought risk area in northeast thailand using remotely sensed data and GIS.

- Nagarajan, R., Subrata Mahapatra : Land base information system for drought analysis.
- NATO/CCMS Pilot Study (2000): Evaluation of demonstrated and emerging technologies for the treatment of contaminated land and groundwater (Phase III). Special Session on Decision Support Tools. Wiesbaden, June 26-30, 2000.
- NICOLE (2002) : Cost-effective Site Characterization – Dealing with uncertainties, innovation, legislation constraints.
- NICOLE (2003) : Sharing Experiences in the management of megasites : towards a sustainable approach in land management of industrially contaminated areas.
- Pastor, J., (2004) Conception d'une légende interactive et forable pour le SOLAP. Université Laval.
- Péribois, C., Roche, S., Caron, C. (2005) : Etude des variables conditionnant l'usage de l'information géographique pour la participation publique locale.
- Prévil, C., Thériault, M., Rouffignat, J. (2003) : Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : vers une amélioration du processus décisionnel ? Cahiers de Géographie du Québec, Vol.47, No 130, pp 35-61
- Rambaldi G. (2006) : Participatory spatial information management and communication in developing countries. Présentation au colloque Jacques Cartier « Développement Durable et Systèmes d'Informations Environnementales ».
- RESCUE (2004) : Administrative Tools and Incentives for Sustainable Brownfield Regeneration.
- RESCUE (2004) : Methodological guide. Best practices in Citizen Participation for Brownfield Regeneration.
- RESCUE (2005) : Best Practice Guidance for Sustainable Brownfield Regeneration. Publication RESCUE. www.rescue-europe.com.
- Rijnarrts, H., TNO-MEP (NL). WELCOME Risk Based Management for Megasites.
- Rogers, M., Bruen, M. (1998) : Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE. European Journal of Operational Research, 107, 542-551.
- Rogers, M., Bruen, M. (1998) : A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III. European Journal of Operational Research, 107, 552-563.
- Roy, B. (1989) : The outranking approach and the foundations of Electre methods, Document du Lamade 53 Université Paris-Dauphine.

Salminen, P., Hokkanen, J., Lahdelma, R. (1998) : Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 104, pp. 485-496.

Simon, U., Brüggemann, R., Pudenz, S. (2004) : Aspects of decision support in water management – example Berlin and Postdam (Germany) I – spacially differentiated evaluation. *Water Research* 38, pp 1809-1816.

Smits, J., Everbecq, E., Deliege, J. F., Descy, J. P., Wollast, R., Vanderborght, J. P. (1997) : Pégase, une méthodologie et un outil de simulation prévisionnelle pour la gestion de la qualité des eaux de surface. *La Tribune de l'eau*, vol. 50, no 588, pp. 3-72, pp. 83-87, pp. 73-82.

Spatial Analysis and Decision Assistance (2006) : www.tiem.utk.edu – University of Tennessee.

Steward, R. (2000) : Geospatial Decision Frameworks for Remedial Design and Secondary Sampling. University of Tennessee, USA

Triad Resource Center (2006) : www.triadcentral.org – U.S. Environmental Protection Agency.

Van der Molen, P., Lemman, C. : Technology and Land Administrations : developpments and innovations.

Vik, E.A., Bardos, P., Brogan, J., Edwards, D., Gondi, F., Henrysson, T., Jensen, B.K., Jorge, C., Mariotti, C., Nathanail, P., Papassiopi, N. (2001) : Towards a Framework for Selecting Remediation Technologies for Contaminated Sites. *Land Contamination & Reclamation*, Vol. 9, N°1, pp. 119 – 127.

WELCOME, 2005. Development of an Integrated Management Strategy (IMS) for prevention and reduction of Pollution of Waterbodies at Contaminated Industrial Megsites, 3rd Periodic Report.

WELCOME (2002) : Cost-Efficiency Assessment of Megsite Management Options [as part of the European Research Project WELCOME]. ZAG - Annual Report.

Weth, D. (2000) : Case Study : Cost benefit analysis / multi-criteria analyses for a remediation project. IN United States Environmental Protection Agency (2001) NATO Committee on Challenges to Modern Society: NATO/CCMS Pilot Study Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater. Phase III 2000 Special Session Decision Support. NATO/CCMS Report No 245. EPA Report: 542-R-01-002 (Editors Bardos, R.P and Sullivan, T.).

Wienand, I., Kistemann, T. : Development of a GIS-based water safety plan as an instrument for risk management in catchment areas.

Annexe 1

Méthodologie INCORE

Annexe 2

Méthodologie Française de Gestion des Mégasites

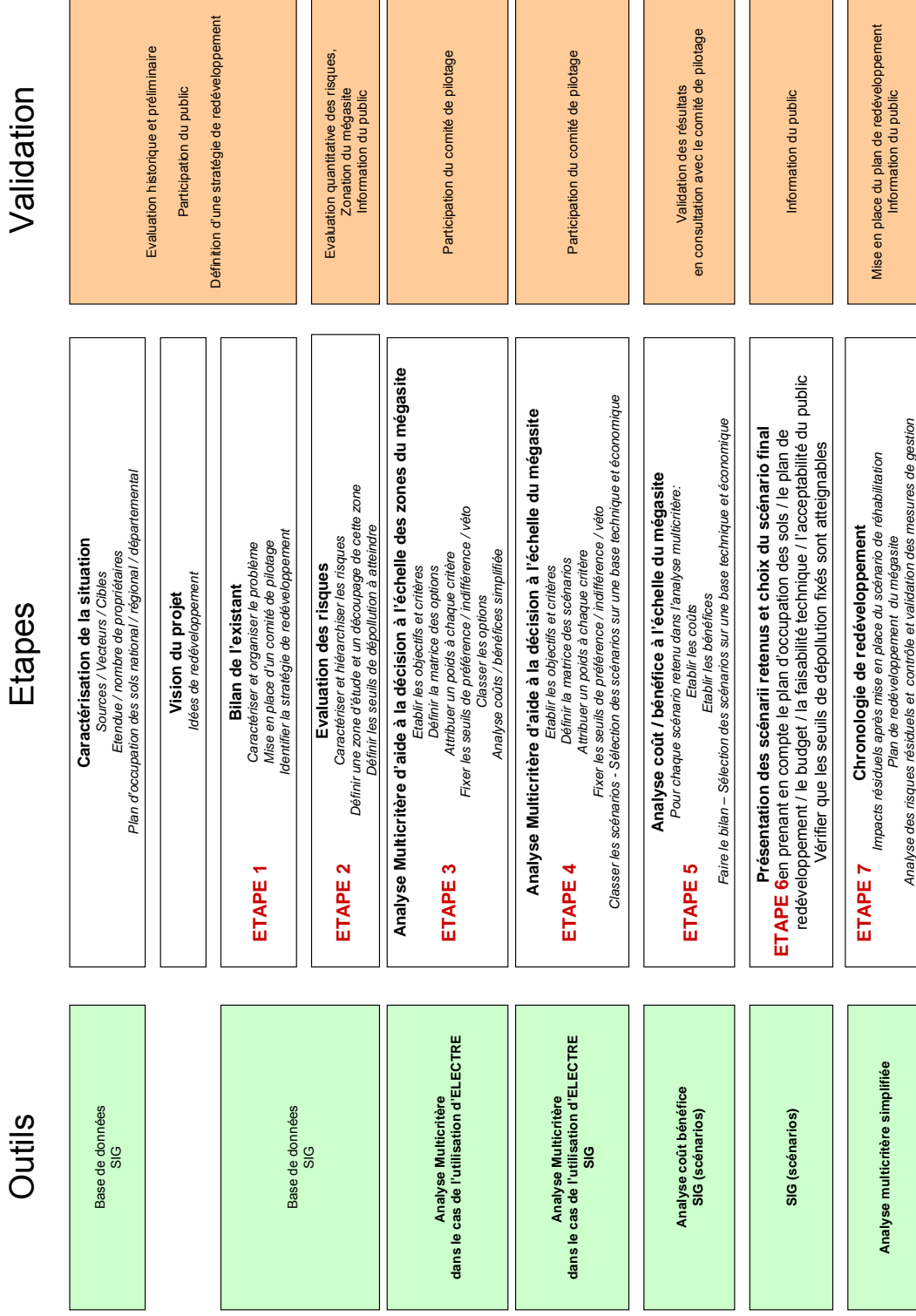


Figure 2.1 – Méthodologie de gestion des mégasites

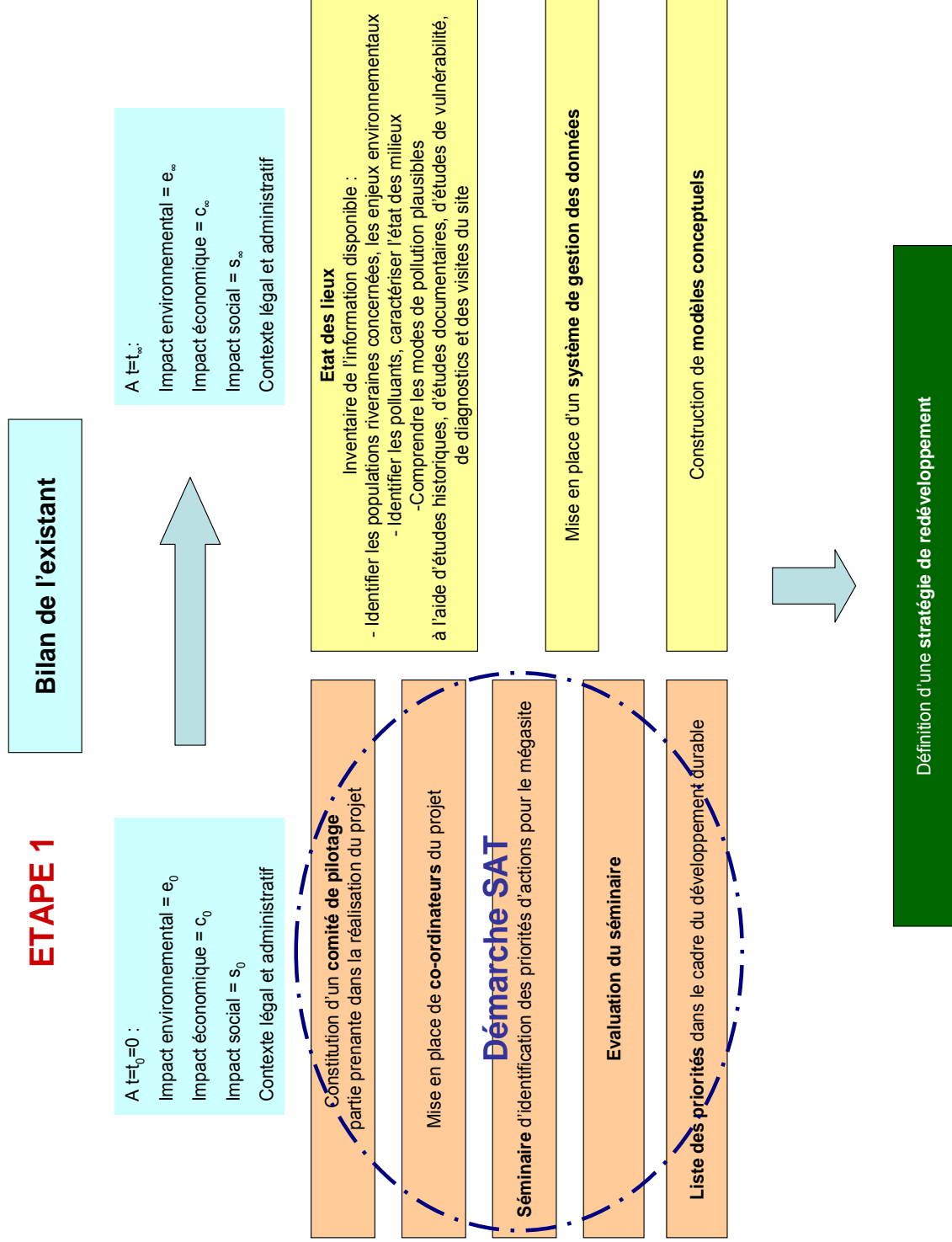


Figure 2.2 – Détail de la méthodologie – Etape 1

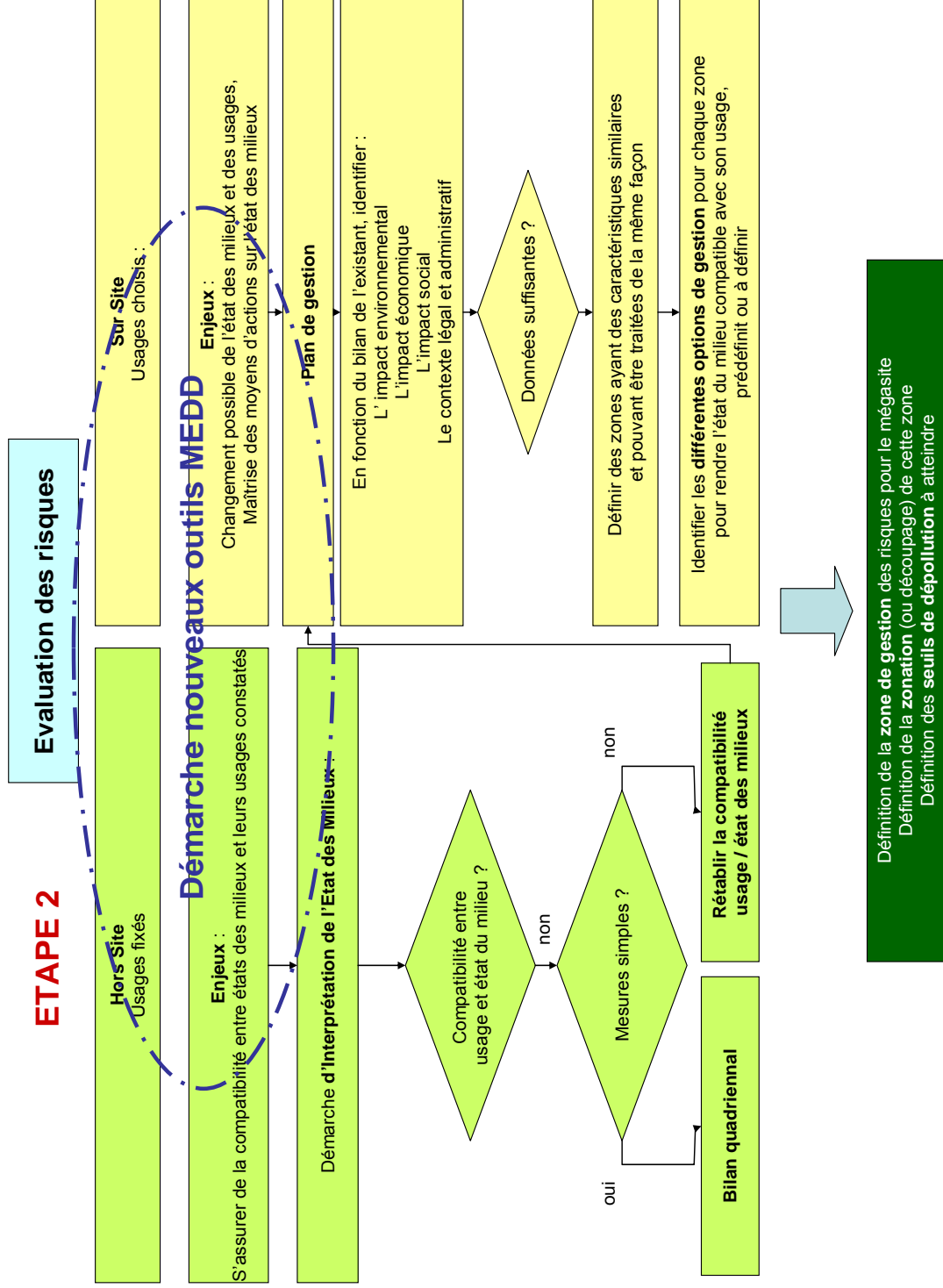


Figure 2.3 – Détail de la méthodologie – Etape 2

ETAPE 3

Analyse multicritère d'aide à la décision à l'échelle des zones du mégasite

Pour chaque zone :

Séminaire de définition des poids et seuils à attribuer à chaque critère (SAT)

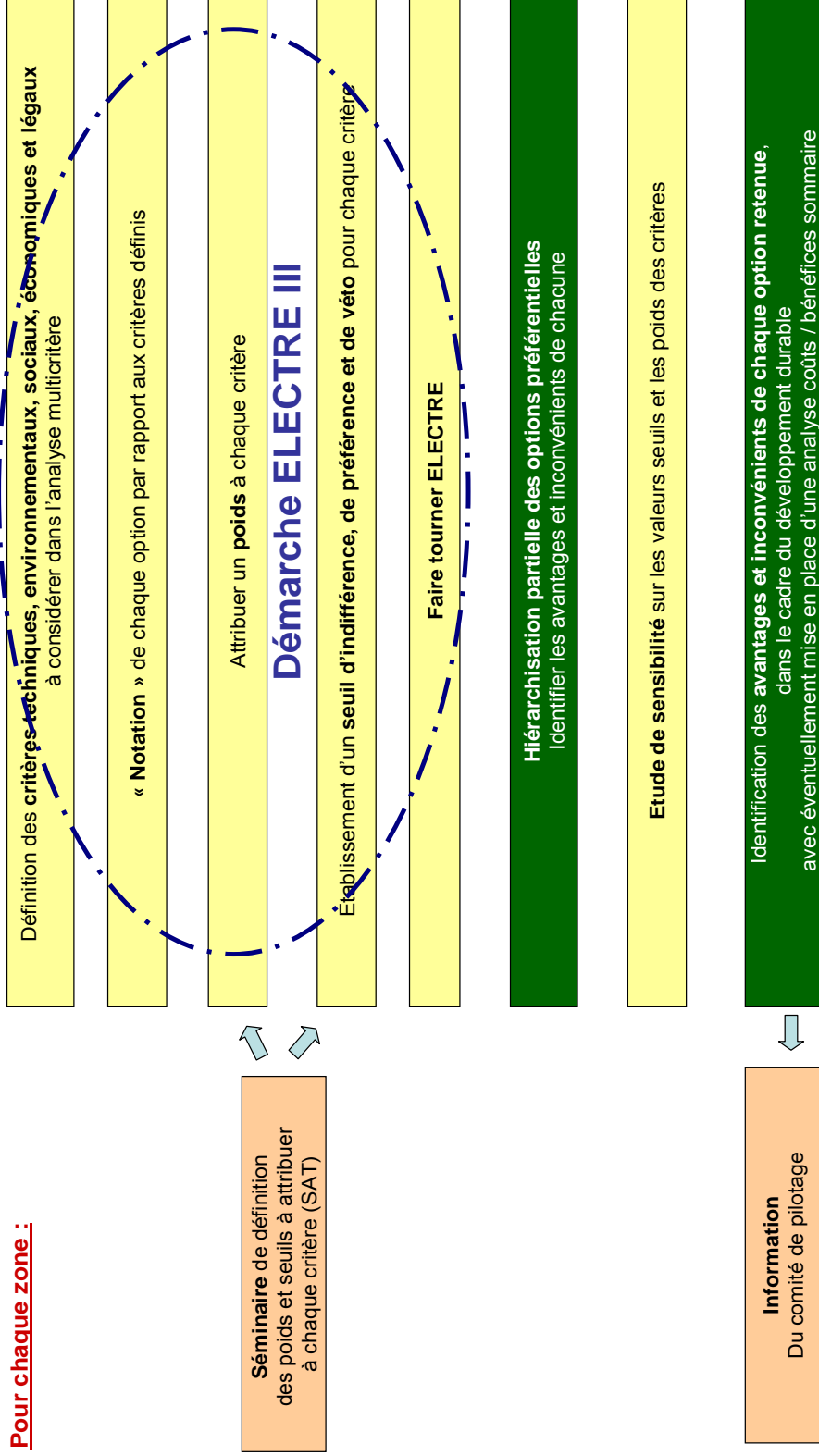


Figure 2.4 – Détail de la méthodologie – Etape 3

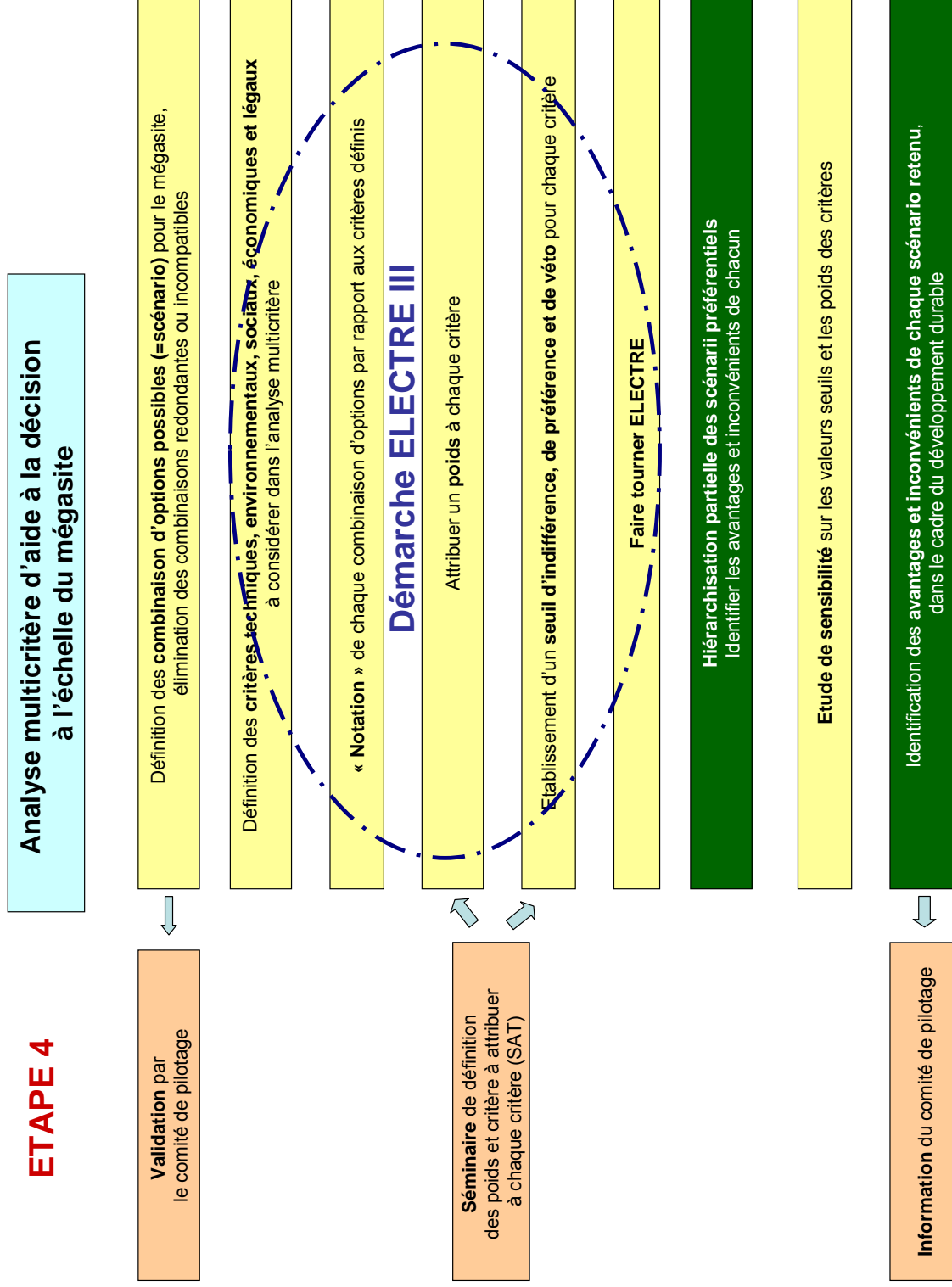


Figure 2.5 – Détail de la méthodologie – Etape 4

ETAPE 5

Analyse coûts / bénéfice à l'échelle du mégasite

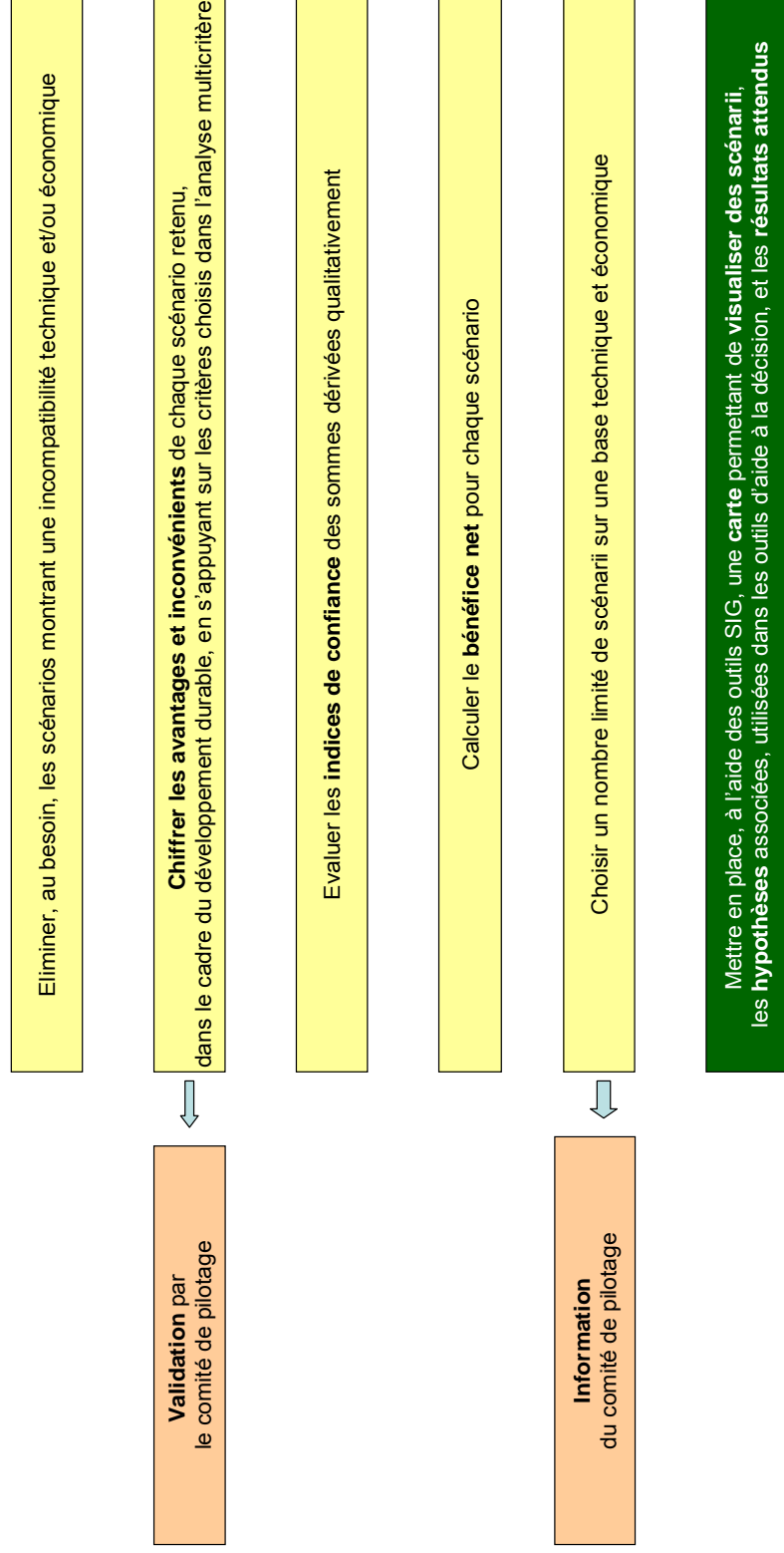


Figure 2.6 – Détail de la méthodologie – Etape 5

ETAPE 6

Présentation des scénarii retenus et choix du scénario final

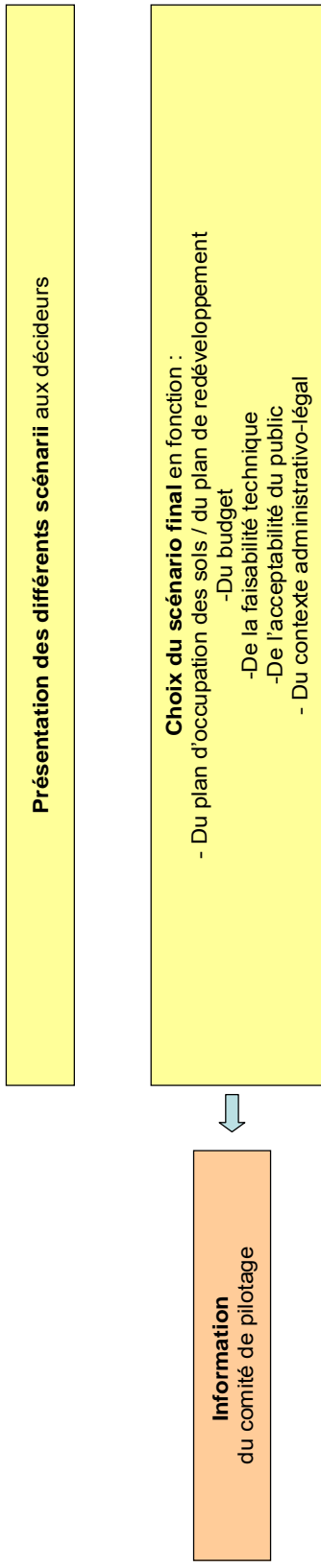


Figure 2.7 – détail de la méthodologie – Etape 6

ETAPE 7

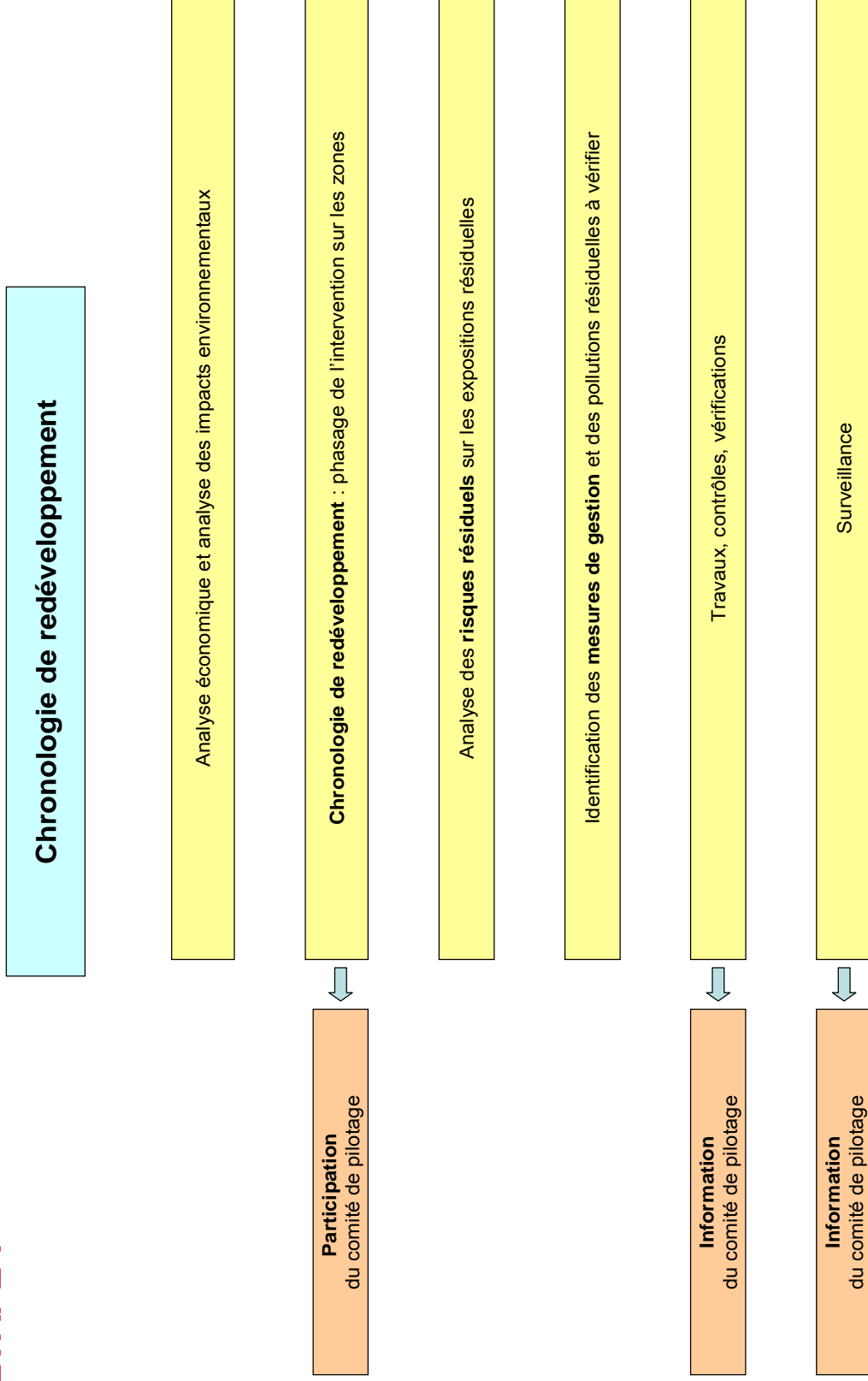


Figure 2.8 – Détail de la méthodologie – Etape 7



**Centre scientifique et technique
Service EPI**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34