

Collection Énergie nucléaire de l'AIEA

N° NW-T-3.8

**Principes
de base**

Objectifs

Guides

**Rapports
techniques**

**Estimation des coûts
des projets de
remédiation
environnementale**



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

PUBLICATIONS DE LA COLLECTION ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE L'AIEA

STRUCTURE DE LA COLLECTION ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE L'AIEA

Aux termes des articles III.A.3 et VIII.C de son Statut, l'AIEA est autorisée à « favoriser l'échange de renseignements scientifiques et techniques sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques ». Les publications de la **collection Énergie nucléaire de l'AIEA** présentent les bonnes pratiques et les avancées en technologie, ainsi que des exemples pratiques et des données d'expérience dans les domaines des réacteurs nucléaires, du cycle du combustible nucléaire, de la gestion des déchets radioactifs et du déclassé, et sur des questions d'ordre général ayant trait à l'énergie nucléaire. La **collection Énergie nucléaire de l'AIEA** est structurée en quatre niveaux :

- 1) Les **Principes fondamentaux de l'énergie nucléaire** présentent la justification et la perspective d'une utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.
- 2) Les **Objectifs** de la **collection Énergie nucléaire** décrivent ce qu'il faut prendre en considération et les objectifs spécifiques à atteindre dans les domaines considérés aux différents stades de la mise en œuvre.
- 3) Les **Guides** et **Méthodologies** de la **collection Énergie nucléaire** contiennent des orientations ou des méthodes précises sur les moyens d'atteindre les objectifs liés aux divers sujets et domaines touchant les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire.
- 4) Les **Rapports techniques** de la **collection Énergie nucléaire** contiennent des informations complémentaires plus détaillées sur les activités liées aux sujets examinés dans la **collection Énergie nucléaire de l'AIEA**.

Chaque document est examiné en interne par des pairs et soumis aux États Membres pour commentaires avant publication.

Les publications de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA sont classées selon les codes suivants : **NG** – énergie nucléaire général ; **NR** – réacteurs nucléaires (auparavant **NP** – électronucléaire) ; **NF** – cycle du combustible nucléaire ; **NW** – gestion des déchets radioactifs et déclassé. Elles sont également disponibles en anglais – et certaines en français – sur le site web de l'AIEA, à l'adresse :

www.iaea.org/fr/publications

Pour de plus amples informations, veuillez contacter l'AIEA, Centre international de Vienne, B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche).

Tous les lecteurs des publications de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA sont invités à faire part à cette dernière de leur avis sur ces publications afin qu'elles continuent de répondre à leurs besoins. Ils peuvent le faire sur le site web de l'AIEA, par courrier ou par courriel à l'adresse Official.Mail@iaea.org.

ESTIMATION DES COÛTS
DES PROJETS DE
REMÉDIATION ENVIRONNEMENTALE

Les États ci-après sont Membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique :

AFGHANISTAN	GABON	PAPOUASIE-NOUVELLE-GUINÉE
AFRIQUE DU SUD	GÉORGIE	PARAGUAY
ALBANIE	GHANA	PAYS-BAS
ALGÉRIE	GRÈCE	PÉROU
ALLEMAGNE	GRENADE	PHILIPPINES
ANGOLA	GUATEMALA	POLOGNE
ANTIGUA-ET-BARBUDA	GUYANA	PORTUGAL
ARABIE SAOUDITE	HAÏTI	QATAR
ARGENTINE	HONDURAS	RÉPUBLIQUE ARABE
ARMÉNIE	HONGRIE	SYRIENNE
AUSTRALIE	ÎLES MARSHALL	RÉPUBLIQUE
AUTRICHE	INDE	CENTRAFRICAINE
AZERBAÏDJAN	INDONÉSIE	RÉPUBLIQUE DE MOLDOVA
BAHAMAS	IRAN, RÉP. ISLAMIQUE D'	RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE
BAHREÏN	IRAQ	DU CONGO
BANGLADESH	IRLANDE	RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE
BARBADE	ISLANDE	POPULAIRE LAO
BÉLARUS	ISRAËL	RÉPUBLIQUE DOMINICAINE
BELGIQUE	ITALIE	RÉPUBLIQUE TCHÈQUE
BELIZE	JAMAÏQUE	RÉPUBLIQUE-UNIE
BÉNIN	JAPON	DE TANZANIE
BOLIVIE, ÉTAT	JORDANIE	ROUMANIE
PLURINATIONAL DE	KAZAKHSTAN	ROYAUME-UNI
BOSNIE-HERZÉGOVINE	KENYA	DE GRANDE-BRETAGNE
BOTSWANA	KIRGHIZISTAN	ET D'IRLANDE DU NORD
BRÉSIL	KOWEÏT	RWANDA
BRUNÉI DARUSSALAM	LESOTHO	SAINTE-LUCIE
BULGARIE	LETONNIE	SAINT-KITTS-ET-NEVIS
BURKINA FASO	LIBAN	SAINT-MARIN
BURUNDI	LIBÉRIA	SAINT-SIÈGE
CAMBODGE	LIBYE	SAINT-VINCENT-ET-LES-
CAMEROUN	LIECHTENSTEIN	GRENADINES
CANADA	LITUANIE	SAMOA
CHILI	LUXEMBOURG	SÉNÉGAL
CHINE	MACÉDOINE DU NORD	SERBIE
CHYPRE	MADAGASCAR	SEYCHELLES
COLOMBIE	MALAISIE	SIERRA LEONE
COMORES	MALAWI	SINGAPOUR
CONGO	MALI	SLOVAQUIE
CORÉE, RÉPUBLIQUE DE	MALTE	SLOVÉNIE
COSTA RICA	MAROC	SOUDAN
CÔTE D'IVOIRE	MAURICE	SRI LANKA
CROATIE	MAURITANIE	SUÈDE
CUBA	MEXIQUE	SUISSE
DANEMARK	MONACO	TADJIKISTAN
DJIBOUTI	MONGOLIE	TCHAD
DOMINIQUE	MONTÉNÉGRE	THAÏLANDE
ÉGYPTE	MOZAMBIQUE	TOGO
EL SALVADOR	MYANMAR	TONGA
ÉMIRATS ARABES UNIS	NAMIBIE	TRINITÉ-ET-TOBAGO
ÉQUATEUR	NÉPAL	TUNISIE
ÉRYTHRÉE	NICARAGUA	TÛRKÏYE
ESPAGNE	NIGER	TURKMÉNISTAN
ESTONIE	NIGERIA	UKRAINE
ESWATINI	NORVÈGE	URUGUAY
ÉTATS-UNIS	NOUVELLE-ZÉLANDE	VANUATU
D'AMÉRIQUE	OMAN	VENEZUELA,
ÉTHIOPIE	OUGANDA	RÉP. BOLIVARIENNE DU
FÉDÉRATION DE RUSSIE	OUZBÉKISTAN	VIET NAM
FIDJI	PAKISTAN	YÉMEN
FINLANDE	PALAUOS	ZAMBIE
FRANCE	PANAMA	ZIMBABWE

Le Statut de l'Agence a été approuvé le 23 octobre 1956 par la Conférence sur le Statut de l'AIEA, tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York ; il est entré en vigueur le 29 juillet 1957. L'Agence a son Siège à Vienne. Son principal objectif est « de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier ».

COLLECTION ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE L'AIEA N° NW-T-3.8

ESTIMATION DES COÛTS
DES PROJETS DE
REMÉDIATION ENVIRONNEMENTALE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2023

DROIT D'AUTEUR

Toutes les publications scientifiques et techniques de l'AIEA sont protégées par les dispositions de la Convention universelle sur le droit d'auteur adoptée en 1952 (Berne) et révisée en 1972 (Paris). Depuis, l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (Genève) a étendu le droit d'auteur à la propriété intellectuelle sous forme électronique et virtuelle. La reproduction totale ou partielle des textes contenus dans les publications de l'AIEA sous forme imprimée ou électronique est soumise à autorisation préalable et habituellement au versement de redevances. Les propositions de reproduction et de traduction à des fins non commerciales sont les bienvenues et examinées au cas par cas. Les demandes doivent être adressées à la Section d'édition de l'AIEA :

Unité de la promotion et de la vente
Section d'édition
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne
B.P. 100
1400 Vienne (Autriche)
Télécopie : +43 1 26007 22529
Téléphone : +43 1 2600 22417
Courriel : sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/fr/publications>

© AIEA, 2023

Imprimé par l'AIEA en Autriche

Mars 2023

STI/PUB/1857

ESTIMATION DES COÛTS DES PROJETS DE
REMÉDIATION ENVIRONNEMENTALE

AIEA, VIENNE, 2023

STI/PUB/1857

ISBN 978-92-0-229920-7 (imprimé), ISBN 978-92-0-230020-0
(pdf), ISBN 978-92-0-230922-7 (ePub)

ISSN 2617-944X

AVANT-PROPOS

Selon l'un de ses objectifs statutaires, l'AIEA « s'efforce de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier ». Cet objectif est notamment atteint par la publication de plusieurs collections techniques, parmi lesquelles la collection Énergie nucléaire et la collection Normes de sûreté de l'AIEA.

Aux termes de l'alinéa III A.6 du Statut de l'AIEA, les normes de sûreté sont des « normes de sécurité destinées à protéger la santé et à réduire au minimum les dangers auxquels sont exposés les personnes et les biens ». Les normes de sûreté comprennent les fondements de sûreté, les prescriptions de sûreté et les guides de sûreté. Elles sont principalement rédigées dans un style réglementaire et s'imposent à l'AIEA pour ses propres programmes. Les principaux utilisateurs de ces normes sont les organismes de réglementation des États Membres et d'autres autorités nationales.

La collection Énergie nucléaire de l'AIEA comprend des rapports destinés à encourager et à faciliter le développement et l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, ainsi que la recherche dans ce domaine. Ces rapports contiennent des exemples qui peuvent notamment être utiles aux propriétaires et aux exploitants d'entreprises de services publics, aux organismes d'application, aux universités et aux responsables publics. Les informations sont présentées dans des guides, des rapports sur l'état de la technologie et sur ses avancées et des pratiques optimales concernant les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, établies à partir des éléments communiqués par des experts internationaux. La collection Énergie nucléaire de l'AIEA complète la collection Normes de sûreté.

L'estimation des coûts de remédiation environnementale sert à éclairer les décisions quant au choix d'une solution, à peser les options offertes pour l'assainissement des sites de déchets ou à évaluer les responsabilités environnementales. La qualité et, au final, l'exactitude de l'estimation des coûts dépendront de la qualité des informations disponibles au moment de son établissement, ainsi que de l'application d'une méthodologie appropriée.

La présente publication traite de l'établissement des estimations de coûts relatives aux principales phases du cycle de vie de projets de remédiation environnementale, et des documents à réunir à cet effet. Elle a pour but d'aider le lecteur à déterminer en toute connaissance de cause comment chiffrer et étayer de tels projets. Elle indique clairement les procédures à suivre pour y parvenir et renferme une liste de contrôle des facteurs de coût, donne des exemples de structures de répartition des tâches, contient des plans et approches d'estimation des coûts, et présente un aperçu des techniques de remédiation potentiellement appropriées.

Les informations qui figurent dans cette publication s'adressent à un public dont les connaissances en matière d'estimation des coûts peuvent varier, à savoir des spécialistes de l'évaluation des coûts, des concepteurs, des entreprises chargées d'apporter un soutien technique, des gestionnaires de projets de remédiation, ou encore des responsables de programmes.

L'AIEA tient à remercier toutes celles et tous ceux qui ont contribué à la rédaction et à la révision du présent rapport, en particulier L. Martino (États-Unis d'Amérique). Au sein de l'AIEA, c'est à H. Monken-Fernandes, administrateur à la Division du cycle du combustible nucléaire et de la technologie des déchets, qu'a été confiée la réalisation de cette publication.

NOTE DE L'ÉDITEUR

La présente publication a été éditée par l'équipe rédactionnelle de l'AIEA dans la mesure jugée nécessaire pour en faciliter la lecture. Elle ne traite pas des questions de la responsabilité, juridique ou autre, résultant d'actes ou omissions imputables à une quelconque personne.

Bien que l'exactitude des informations contenues dans la présente publication ait fait l'objet d'un soin particulier, ni l'AIEA ni ses États Membres n'assument une quelconque responsabilité pour les conséquences éventuelles de leur utilisation.

Les orientations fournies dans la présente publication, qui décrivent des bonnes pratiques, représentent l'opinion d'experts mais ne constituent pas des recommandations formulées sur la base d'un consensus entre les États Membres.

L'emploi d'appellations particulières pour désigner des pays ou des territoires n'implique de la part de l'éditeur, l'AIEA, aucune prise de position quant au statut juridique de ces pays ou territoires, ou de leurs autorités et institutions, ni quant au tracé de leurs frontières.

La mention de noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur des droits de propriété et ne doit pas être considérée non plus comme valant approbation ou recommandation de la part de l'AIEA.

L'AIEA n'assume aucune responsabilité quant à la persistance ou à l'exactitude des adresses URL de sites Internet externes ou de tiers mentionnées dans la présente publication et ne peut garantir que le contenu desdits sites est ou demeurera exact ou approprié.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
1.1.	Toile de fond	1
1.2.	Objectif	2
1.3.	Portée.	3
1.4.	Structure	4
2.	PROCESSUS DE REMÉDIATION	4
2.1.	Introduction	4
2.2.	Étapes du processus de remédiation	5
2.2.1.	Évaluation rétrospective du site	6
2.2.2.	Critères de remédiation	6
2.2.3.	Caractérisation du site	8
2.2.4.	Planification de la remédiation.	8
2.2.5.	Déploiement des mesures correctives ; opérations et maintenance ; phases de contrôle et de maintenance postérieures à la remédiation.	8
2.2.6.	Opérations et maintenance	9
2.2.7.	Suivi et gestion postérieurs à la remédiation	10
2.3.	État final après remédiation (critères de remédiation)	10
2.3.1.	Considérations générales	11
2.3.2.	Évaluation des risques	11
2.3.3.	Participation des parties prenantes à la définition de l'état final	12
2.3.4.	Stabilité à long terme de l'état final	13
2.4.	Étude des options	14
2.4.1.	Étude des options : tri des solutions	14
2.4.2.	Étude des options : sélection de la solution (optimisation)	15
3.	PROCESSUS D'ESTIMATION DES COÛTS	15
3.1.	Planification.	15
3.2.	Identification et conceptualisation des problèmes.	16
3.3.	Objectifs et approches concernant l'élaboration des estimations de coûts	17
3.3.1.	Prévisions budgétaires	17
3.3.2.	Évaluation et comparaison des options	19
3.3.3.	Évaluation des offres de prix pour les attributions de marchés	21
3.4.	Étapes du processus d'estimation des coûts	21
3.4.1.	Introduction	21
3.4.2.	Sélection des différentes solutions possibles	23
3.4.3.	Analyse détaillée des différentes solutions envisageables	24
3.4.4.	Étapes du processus d'estimation des coûts pour l'option de remédiation sélectionnée (stade de la conception finale).	24
3.4.5.	Liste de contrôle des coûts	49
3.4.6.	Recueil de documents à l'appui de l'estimation des coûts	49

4.	FINANCEMENT	49
4.1.	Sources de financement des projets de remédiation environnementale	49
4.2.	Financement des coûts de gérance à long terme	50
4.3.	Contrôle externe exercé par les sources de financement.	50
4.4.	Évaluation comparative des projets par les sources de financement.	51
APPENDICE I:	OPTIONS POTENTIELLES DE REMÉDIATION.....	53
APPENDICE II:	EXEMPLE DE PLAN D'ÉTABLISSEMENT D'UNE ESTIMATION DE COÛTS.....	56
APPENDICE III:	EXEMPLE D'ESTIMATION DE COÛTS RELATIVE À UNE SOLUTION POSSIBLE DE TRAITEMENT SUR SITE.....	62
APPENDICE IV:	EXEMPLE DE STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES AUX FINS D'ESTIMATION DES COÛTS DE REMÉDIATION ENVIRONNEMENTALE.....	71
APPENDICE V:	COÛTS DE LA TECHNIQUE DE REMÉDIATION.....	77
RÉFÉRENCES	85
ANNEXE I:	STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES - LEXIQUE.....	87
ANNEXE II:	LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS D'UN PROJET DE REMÉDIATION.....	90
GLOSSAIRE	99
PERSONNES AYANT COLLABORÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN DU TEXTE	107
STRUCTURE DE LA COLLECTION ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE L'AIEA	108

1. INTRODUCTION

1.1. TOILE DE FOND

La présente publication aborde un certain nombre d'activités, parmi lesquelles l'extraction et le traitement de minerais ainsi que la fermeture des installations minières y afférentes, la production, l'utilisation, l'importation et l'exportation de sources de rayonnements ionisants, le transport de matières radioactives, la remédiation de sites et la gestion des déchets. Les installations dont il sera ici question sont, entre autres, les usines de production de combustible, les centrales électriques et autres réacteurs, les usines de traitement de combustible usé, les installations de gestion des déchets radioactifs et les installations nucléaires et radiologiques utilisées pour la recherche médicale ou industrielle. L'AIEA recommande aux États Membres de se doter d'un cadre législatif et réglementaire qui mette en avant les responsabilités liées aux activités et installations susmentionnées.

Il arrive parfois que d'anciennes pratiques ou de précédents accidents dont ont été le théâtre des installations de l'ère moderne, au demeurant très bien conçues et parfaitement gérées, nécessitent des travaux de remédiation du site sur lequel elles étaient implantées. Selon la nature de l'installation, il se peut qu'il faille traiter des déchets aussi bien radioactifs que non radioactifs (souvent désignés sous le vocable « déchets mixtes » lorsqu'ils sont combinés). Des opérations de prospection, d'extraction et de traitement du minerai d'uranium sont en cours dans une bonne trentaine de pays ; ce chiffre englobe à la fois les activités des fournisseurs, présents et anciens, ainsi que les perspectives nouvelles fondées sur des ressources établies [1]. Actuellement, ces opérations génèrent des millions de déchets mixtes. À l'époque de la guerre froide, certains complexes nucléaires éliminaient les déchets hautement toxiques provenant de la production d'armes dans des citernes qui n'avaient pas été conçues à cet effet, dans des tranchées dépourvues de revêtement, dans des puits, des bassins et autres lagons, ce qui avait pour effet de contaminer les infrastructures de la centrale, ses sols, les eaux souterraines et les eaux de surface. La présence de déchets mixtes dans l'environnement a suscité des interrogations quant aux effets néfastes qu'ils pourraient avoir pour l'environnement et la santé ainsi que pour le bien-être socio-économique des populations, en particulier dans les localités situées à proximité de ces installations.

De nombreuses opérations de remédiation d'envergure nationale et internationale sont en cours ou prévues, mais leur organisation, leur supervision et leur contrôle sont souvent du ressort des autorités locales.

Les mesures de remédiation ne doivent pas seulement garantir la sûreté des êtres humains et de l'environnement face aux risques que représentent les déchets radiologiques et mixtes ; il faut aussi en tirer le meilleur parti possible (pour les différents sites et pour les programmes nationaux dans leur ensemble) dans la limite des fonds disponibles. Un changement de paradigme peut être nécessaire dans certains cas, afin de convaincre les parties concernées que la remédiation n'est pas une simple question de dépenses, voire de perte financière, à envisager mais représente aussi un investissement stratégique dont le but est d'offrir aux hommes et aux écosystèmes un environnement sain, de reconverter des terres et des infrastructures anciennement contaminées, et de retirer de ces travaux des avantages à long terme. Ces avantages peuvent être ou ne pas être aisément quantifiables. Les coûts des solutions de remédiation peuvent néanmoins être estimés, ce qui permet aux parties prenantes de les comparer et de les différencier facilement parmi toute une série de choix proposés.

La remédiation peut ou non consister à remettre un site en parfait état, tel qu'il existait avant qu'il ait été utilisé (pour accueillir, par exemple, une usine de fabrication de combustible, une centrale électrique ou autre réacteur, une usine de traitement de combustible usé, une installation de gestion de déchets radioactifs ou encore une installation nucléaire et radiologique utilisée pour la recherche médicale ou industrielle). Aux termes de la section 5 des Normes fondamentales internationales de sûreté relatives à la radioprotection et sûreté des sources de rayonnements (collection Normes de sûreté de l'AIEA n° GSR Part 3) [2], « La mise en œuvre d'actions correctives (remédiation) n'implique pas l'élimination de toute la

radioactivité ou de toutes les traces de matières radioactives. Le processus d'optimisation pourra conduire à une remédiation étendue mais pas nécessairement au rétablissement des conditions antérieures. »

Les autorités en charge d'un projet de remédiation prévoient souvent, au cours du processus décisionnel, plusieurs stratégies d'étude du site et proposent de multiples solutions de remédiation, afin de laisser le choix aux parties concernées. En règle générale, chaque solution possible de remédiation a un coût qui lui est propre. Le coût apparaît le plus souvent comme un critère servant à comparer les diverses solutions qui ont été imaginées, si bien que l'estimation des coûts constitue un élément central au moment de déterminer quelle est, parmi toute une série d'options envisageables celle qui semble préférable. De plus, le coût que représente la mise en œuvre d'une solution proposée finit parfois par avoir une influence démesurée sur le processus de planification, pour peu qu'une approche initialement retenue pour la remédiation d'un seul et unique site devienne l'approche exemplaire retenue pour d'autres sites dans un programme national. À mesure que le cycle de vie du projet de remédiation avance, les estimations de coût se font plus réalistes étant donné que, plus le projet s'affine, plus les incertitudes s'estompent. La présente publication est consacrée aux méthodes d'estimation des coûts utilisées aux différents stades des projets de remédiation environnementale.

1.2. OBJECTIF

La présente publication expose les approches auxquelles peuvent recourir, aux fins d'estimation des coûts de remédiation, toutes les parties impliquées dans les projets de remédiation environnementale, notamment :

- les exécutants de ces projets ;
- les organismes de réglementation et les autorités chargées de délivrer les autorisations ;
- les sources de financement et les investisseurs ;
- les autres parties intéressées [par exemple, le public et les organisations non gouvernementales (ONG)].

Elle traite des coûts inhérents à chacune des phases d'un projet, indique comment les calculer et explique comment les structurer. Ces coûts ne couvrent pas seulement les dépenses techniques visibles ; ils englobent aussi les frais non techniques et la valeur (économique) de divers aspects connexes ainsi que des avantages obtenus. En combinant d'un point de vue économique le cycle de vie de la remédiation et ses retombées, il est possible d'allouer efficacement les fonds, limités, mis à disposition pour les différents sites et de définir les sites prioritaires. Les avantages et inconvénients des différentes approches en matière de remédiation – vaut-il mieux, par exemple, contrôler ou éliminer les déchets ? – pourront être plus globalement pesés une fois l'utilisation future des sols intégrée dans la méthodologie.

La planification et l'organisation des actions correctives s'étalent habituellement sur une longue période, pendant laquelle il est procédé à une étude des caractéristiques du site ; les constatations qui en ressortent peuvent nécessiter un ajustement des conditions limites à prendre en compte dans le processus décisionnel, voire entraîner une modification du cahier des charges du projet proprement dit. Il en résulte des incertitudes considérables qui pèsent sur l'évaluation économique du problème, ce qui rend souvent difficile l'estimation des coûts de remédiation. Cela étant, il est possible d'appliquer des méthodes économiques et statistiques appropriées qui sont à même de déterminer et (de préférence) de quantifier ces incertitudes et de les intégrer dans la procédure d'évaluation. La mise en application de la remédiation finira par s'en trouver facilitée, tant en ce qui concerne la recherche de performances optimales au regard des coûts qu'en termes de fiabilité. Aussi la présente publication s'attache-t-elle plus particulièrement à lever les différentes sources d'incertitude et à expliquer comment les traiter efficacement dans un contexte économique.

En principe, la remédiation constitue le point d'équilibre entre des objectifs tels que la réduction des risques et les contraintes afférentes à un budget fixe ou limité. Si l'on veut avoir une image transparente des

différents éléments qui entrent dans les coûts et des facteurs auxquels ils sont sensibles, il est souhaitable d'adopter une procédure souple et structurée, qui puisse être adaptée aux conditions particulières qui sont propres au site. Il s'agit là d'une condition essentielle pour la communication entre les organismes de réglementation, les instances responsables, les sources de financement/bailleurs de fonds et les parties prenantes. Cela permet également de comparer objectivement un éventail de solutions différentes qui toutes pourraient conduire à la réalisation des objectifs de remédiation. Une analyse de scénarios de ce type devrait idéalement être complétée par une analyse de sensibilité fondée sur les coûts, de façon à cerner et gérer les facteurs économiquement complexes.

La présente publication a aussi pour objectif d'expliquer les étapes à suivre pour définir les grandes lignes du processus de remédiation et en estimer efficacement les coûts. Il est indispensable de comprendre le processus de remédiation environnementale dans son intégralité pour pouvoir établir une estimation sérieuse des coûts et/ou affiner celle-ci au fil des différentes phases.

1.3. PORTÉE

La présente publication vise à donner des informations sur les moyens permettant d'estimer et d'étayer les coûts de remédiation. Elle donne un aperçu synthétique du cycle de vie du processus de remédiation, sans aller au-delà de ce qui est nécessaire pour comprendre comment fonctionne l'estimation de ses coûts et pour situer le contexte dans lequel s'inscrit la méthodologie générale utilisée à cet effet. Elle n'est pas pour autant une boîte à outils qui servirait à chiffrer des coûts, tant il est vrai que les rouages de l'estimation varient selon le pays et le site.

Les données fondamentales du problème qui justifient le recours à des mesures correctives et les critères auxquels elles doivent répondre figurent dans la publication GSR Part 3 [2]. Le document intitulé *Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents* (IAEA Safety Standards Series No. WS-G-3.1) [3] est consacré à l'ensemble de la procédure de remédiation, et aborde aussi des questions plus spécifiques relatives à la planification, aux techniques utilisées, à la réglementation, à la gérance et à la phase postérieure à la remédiation. La publication de l'AIEA sur les facteurs non techniques qui influencent les décisions concernant l'assainissement de l'environnement [4] s'intéresse aux aspects économiques d'un projet de remédiation qui ne sont pas directement associés à la technologie, notamment ceux qui touchent à l'emploi, à l'éducation, aux infrastructures, à l'impact environnemental, aux risques professionnels et à la participation des citoyens. Elle aborde, dans ce contexte, les méthodes susceptibles de faciliter la prise de décisions, telles que l'analyse de critères multiples et l'évaluation économique – on en trouvera un exposé détaillé dans le rapport du projet CARE portant sur une « Approche commune de la restauration de sites contaminés » remis à la Commission internationale de protection radiologique [5]. Des précisions concernant le processus de remédiation figurent dans le document indiqué sous la réf. [3] ; les options technologiques sont passées en revue dans le document indiqué sous la réf. [6], et un aperçu des pratiques en matière de libération des sites de tout contrôle réglementaire à l'issue de la remédiation est fourni dans le document indiqué sous la réf. [7].

La présente publication décrit de manière générale le mode de calcul des coûts de remédiation environnementale, mais s'intéresse de plus près à la spécificité des projets qui concernent des sites exposés à une contamination radioactive. En effet, si le type de contamination – classique ou radioactive – ne change rien à l'approche générale de la remédiation environnementale, il est un certain nombre de points sur lesquels la contamination radioactive se distingue.

- Les technologies que requièrent l'étude et la remédiation du site peuvent être plus exigeantes car, outre les contaminants classiques, il faut prendre en compte la radioactivité. Ce facteur se reflète dans les estimations de temps comme de coûts, qui souvent se révèlent aussi plus incertaines.
- L'octroi des autorisations est plus complexe lorsque la remédiation porte sur des sites exposés à une contamination radioactive. La palette de compétences exigées de tous les acteurs concernés est ici

plus large, les délais sont généralement plus longs et les ressources mobilisées sont plus importantes que celles nécessaires aux projets classiques de remédiation.

- Les attentes des citoyens et des autorités sont plus grandes, et les questions relatives aux rayonnements soulèvent des inquiétudes qui peuvent avoir pour conséquence d’allonger les délais et d’alourdir les coûts. Le facteur émotionnel étant dans bien de cas partiellement responsable de ces inquiétudes, les incertitudes en termes de temps et de coûts s’en trouvent habituellement accrues.

1.4. STRUCTURE

La présente publication est organisée en quatre sections. La première consiste en une introduction au guide, qu’il situe dans son contexte. La deuxième décrit de manière synthétique le processus de remédiation et la fixation des objectifs à atteindre – condition préalable à sa planification et à l’estimation de ses coûts. Elle expose brièvement aussi les principes des politiques et stratégies en la matière, ainsi que les interactions avec les organismes de réglementation. La troisième explique les différentes étapes à suivre pour déterminer le coût estimatif de base de différentes mesures correctives proposées – description des solutions envisagées, identification de la structure des facteurs de coût, estimation de ces facteurs, prise en compte d’imprévus, analyse de la valeur actualisée, analyse de sensibilité et examen des estimations. La quatrième donne une vue d’ensemble des sources et mécanismes de financement, notamment pour ce qui concerne les coûts de gérance à long terme, et aborde succinctement certaines obligations spécifiques telles que le contrôle et la supervision desdites sources.

La présente publication compte également quatre appendices et deux annexes. L’appendice I dresse la liste des options potentielles de remédiation. L’appendice II donne un exemple d’une estimation des coûts que représente la planification d’essais de fixation d’uranium. L’appendice III présente une solution possible de traitement in situ. L’appendice IV esquisse les grandes lignes d’une structure de répartition des tâches (SRT) représentant la séquence des activités et leur mise en œuvre. L’appendice V offre un aperçu des coûts de certaines techniques de remédiation. L’annexe I contient une liste des termes utilisés dans une SRT, et l’annexe II une liste de contrôle de tous les coûts estimatifs associés à un projet de remédiation.

2. PROCESSUS DE REMÉDIATION

2.1. INTRODUCTION

Le paragraphe 3.1 du document n° WS-G-3.1 [3] [en anglais] dispose ce qui suit :

« Le processus global de remédiation ... se décompose en quatre activités principales : a) caractérisation initiale du site et sélection des critères de remédiation ; b) détermination des options de remédiation et optimisation de ces solutions, puis élaboration et approbation du plan de remédiation ; c) mise en œuvre du plan de remédiation ; d) gestion post-remédiation. »

La figure 1 donne une vue d’ensemble schématique du processus de remédiation tel que le conçoit l’AIEA [3]. Pour les sites d’enfouissement non contrôlés de déchets dangereux aux États-Unis, il est prévu parallèlement de réaliser une enquête avant remédiation et une étude de faisabilité (ER/EF). Ce processus, qui concerne les sites visés par la loi américaine CERCLA (*Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act*, également connue sous le nom de loi « Superfund ») telle que modifiée, fait l’objet des schémas de présentation reproduits dans les figures 2 et 3 [8].

2.2. ÉTAPES DU PROCESSUS DE REMÉDIATION

On trouvera ci-après une brève description des éléments du schéma présenté dans la figure 1. Les éléments les plus importants pour l'estimation des coûts, à savoir l'« état final après remédiation » et l'« étude des options », sont abordés plus en détail aux points 2.3 et 2.4 respectivement.

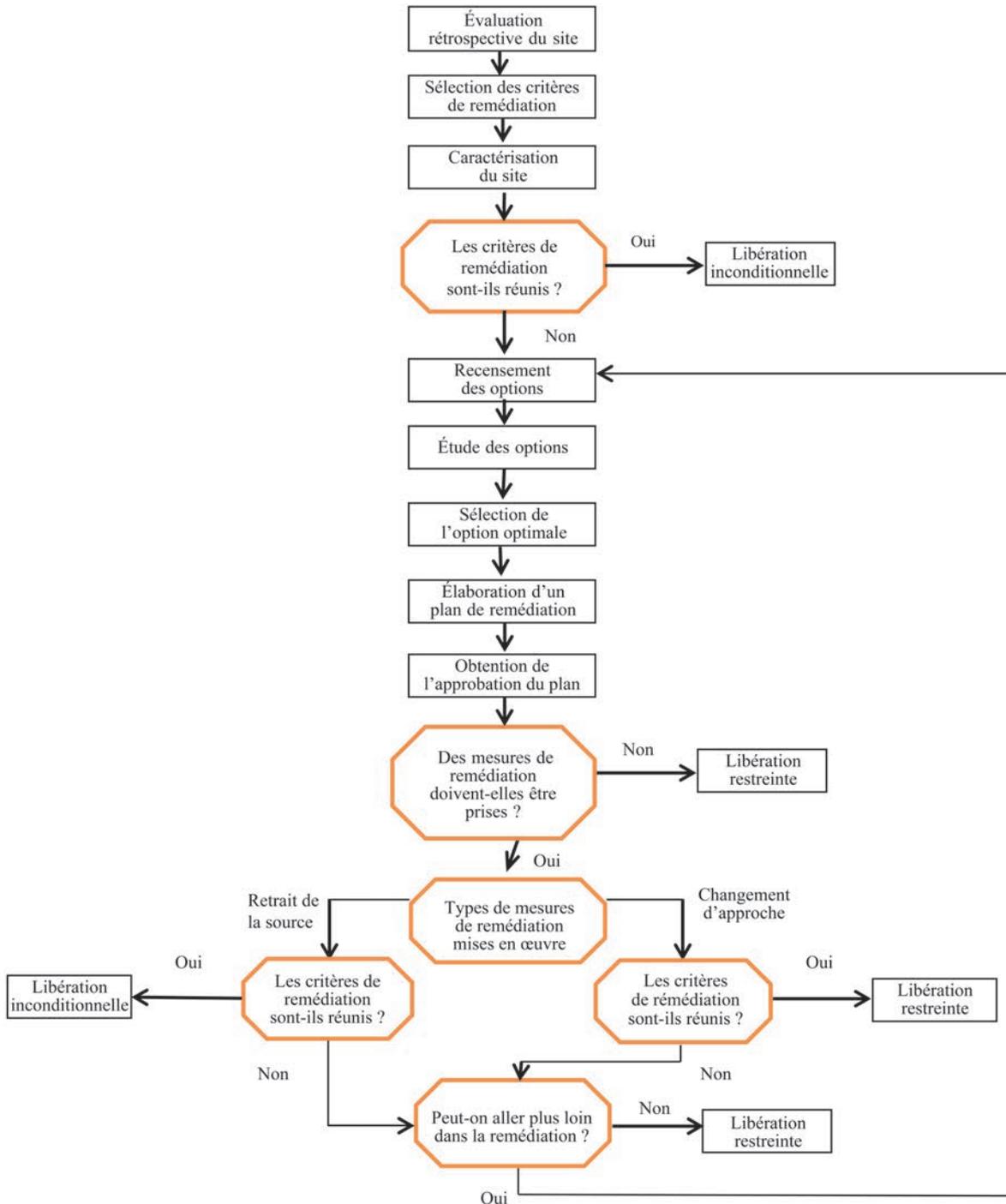


FIG. 1. Processus de remédiation de l'AIEA.

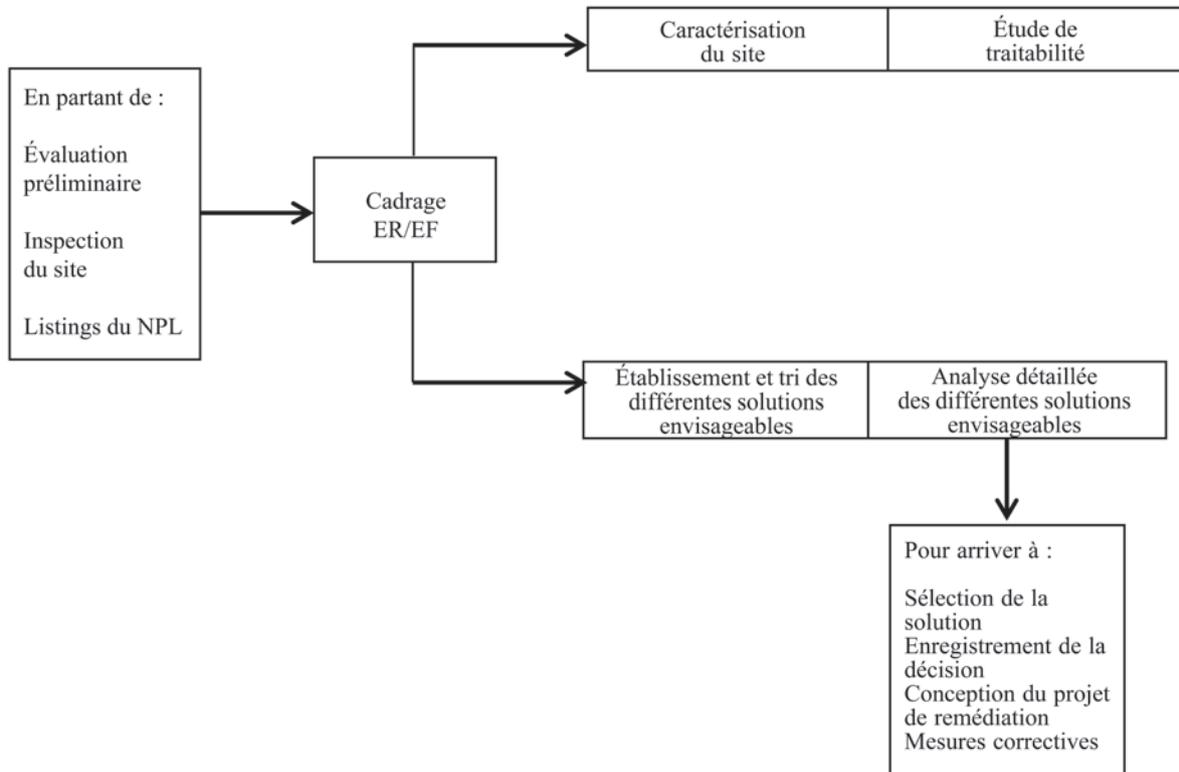


FIG. 2. Présentation sommaire du processus ER/EF [8].

2.2.1. Évaluation rétrospective du site

La première étape du processus de remédiation de l'AIEA consiste à réaliser une évaluation rétrospective du site. Cette évaluation vise principalement à recenser les éventuelles sources de contamination radiologique et non radiologique, à constituer un dossier sur des activités ou accidents connexes survenus antérieurement dans la région, et à déterminer, au moyen d'une évaluation qualitative, s'il est possible que des contaminants soient présents sur le site ou aient migré hors du site à des taux de concentration qui pourraient poser problème pour la santé humaine ou l'environnement. L'examen préliminaire – une étape consistant en une inspection du site – que prévoit le processus ER/EF (figures 2 et 3) est similaire à l'évaluation rétrospective du site (figure 1).

2.2.2. Critères de remédiation

Les critères de remédiation définissent les aspects radiologiques et non radiologiques de l'état final escompté. On trouvera des informations de référence sur les contaminants radiologiques dans le document GSR Part 3 [2] ainsi que dans d'autres règlements et principes directeurs propres à chaque pays. Des références relatives aux contaminants non radiologiques sont également disponibles dans des règlements nationaux.

L'élaboration des critères de remédiation est étroitement liée à l'ambition des parties prenantes concernant l'état final du site, à l'histoire du site, aux contaminants présents sur le site et à la synthèse entre les aspirations des parties prenantes et les résultats de la caractérisation du site. La question de la caractérisation du site est évoquée au point 2.2.3. L'élaboration des critères de remédiation fait quant

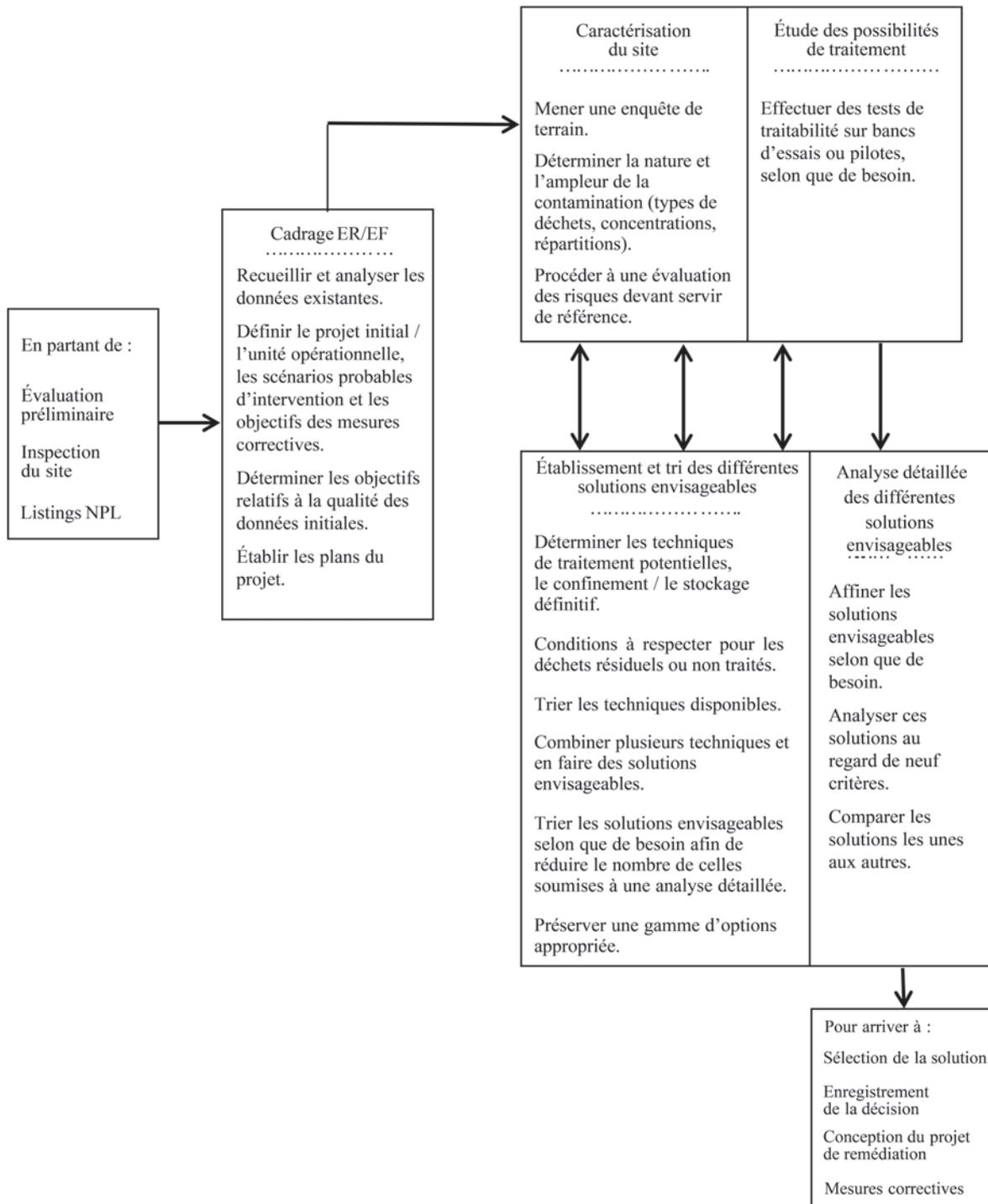


FIG. 3. Présentation détaillée du processus ER/EF [8].

à elle l'objet d'un exposé plus détaillé au point 2.3. La sélection des critères de remédiation intervient au tout début du processus d'assainissement que prévoit l'AIEA. De même, dans le processus ER/EF, les objectifs des mesures correctives et les critères de remédiation susceptibles d'être appliqués (les prescriptions dites « applicables ou pertinentes et appropriées ») sont définis lors du cadrage ER/EF et de la caractérisation du site.

2.2.3. Caractérisation du site

Outre l'évaluation rétrospective du site, il est recommandé de réaliser une étude de caractérisation afin de recueillir des informations sur sa situation actuelle et de valider les données issues de l'évaluation précitée. La caractérisation du site envisagée dans le processus de l'AIEA correspond, dans le processus ER/EF, à l'enquête avant remédiation. Cette caractérisation peut se révéler un processus long et coûteux impliquant la collecte et l'analyse de nombreux échantillons de milieux environnementaux tels que le sol, les eaux de surface, les sédiments, l'air et les eaux souterraines. Elle peut nécessiter l'établissement de plans très précis de prélèvements et d'analyses d'échantillons corrélés à des plans d'assurance de la qualité, qui aborderont chaque aspect de l'examen – prélèvement de l'échantillon, analyse en laboratoire, réduction des données et communication des résultats. Elle peut entraîner des investigations géophysiques et géotechniques, ainsi que des prélèvements d'échantillons et analyses de tous milieux environnementaux (air, sol, sédiments et eaux de surface). Elle peut aussi exiger l'installation de puits de surveillance des eaux souterraines afin de recueillir des informations sur l'hydrogéologie du site. Les résultats de ce travail de caractérisation du site serviront à préparer l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux ainsi que l'établissement des options de remédiation envisageables ; ils contribueront également à indiquer aux parties prenantes ce qu'elles pourraient espérer quant à l'état final du site. Aussi ces résultats, qui constituent une étape clé du processus décisionnel, sont-ils généralement transmis à l'organisme de réglementation et aux parties prenantes. Bien que la présente publication soit principalement consacrée à l'estimation des coûts de la phase de remédiation, le lecteur doit savoir que la caractérisation du site peut être longue et coûteuse. À titre d'exemple, la société Aerojet-General Corporation a dû investir 30 millions de dollars É.-U. pour l'étude d'un site à Rancho Cordova, en Californie [9].

2.2.4. Planification de la remédiation

L'approche de l'AIEA consiste à recommander, lorsque la décision est prise d'assainir une zone contaminée, d'établir un plan de remédiation. La première étape dans l'élaboration de ce plan doit consister à déterminer et évaluer les options de remédiation, qui peuvent aller d'une remédiation complète suivie d'une libération inconditionnelle du site à une remédiation plus limitée, assortie de restrictions concernant certaines utilisations ultérieures du site. La remédiation devrait être planifiée en gardant à l'esprit le but ultime de l'opération. En règle générale, il faudrait également, à des fins de comparaison, prendre en compte dans le processus décisionnel l'option de « non-intervention ». Dans l'approche ER/EF, les options de remédiation envisageables sont évaluées et triées au stade de l'étude de faisabilité (voir le schéma présenté dans la figure 3), qui est celui auquel sont exposées les différentes solutions offertes. Au besoin, des études de traitabilité peuvent être effectuées dans le cadre du processus de sélection. Le plus souvent, les différentes solutions sont triées de manière à limiter l'analyse détaillée à une partie seulement des options initialement répertoriées. Voir également le point 2.4.

2.2.5. Déploiement des mesures correctives ; opérations et maintenance ; phases de contrôle et de maintenance postérieures à la remédiation

Lorsque le choix de l'option a été fait et que la planification de la remédiation a été approuvée, la mise en œuvre du plan de remédiation devrait démarrer dans un délai raisonnable. Dans le processus de l'AIEA, il s'agit des étapes intitulées « élaboration du plan de remédiation » et « type de remédiation mise en œuvre ». Dans le processus ER/EF, les étapes de planification et de mise en œuvre de la remédiation sont désignées comme étant les phases d'« enregistrement de la décision », de « conception du projet de remédiation » et de mise en place des « mesures correctives » que l'on retrouve dans la figure 3. Une fois la décision prise quant à la solution retenue tant sous l'angle de sa planification que de l'estimation de son coût, le projet de remédiation peut être subdivisé en trois phases : déploiement des mesures correctives, opérations et maintenance, et contrôle sur le long terme.

Les coûts liés à la phase de réalisation des mesures correctives sont généralement qualifiés d'« investissement initial » ou de « coûts de catégorie 1 », comme expliqué au point 3.4.4.1. La liste ci-après donne des exemples de problèmes et facteurs de coûts à prendre en considération lors de la phase de déploiement des mesures correctives :

- plans de réalisation des mesures correctives, permis, licences, approbations, documents descriptifs, etc. ;
- matériel et équipements, et mobilisation/démobilisation de personnel (pour le transport du matériel et des équipements sur le chantier, par ex.) ;
- améliorations du site nécessitant des interventions préalables à la réalisation des mesures correctives (déploiement de structures et agents de sécurité physique, lutte contre la sédimentation et l'érosion, travaux visant à améliorer les réseaux d'alimentation électrique, de distribution d'eau et d'évacuation des eaux usées, par ex.) ;
- tâches préparatoires aux mesures correctives (mise en place d'un système d'extraction des eaux souterraines ou adoption d'arrêtés visant à restreindre l'utilisation des sols, par ex.) ;
- manutention des déchets résiduels (transport hors site des déchets provenant de terres excavées et des déchets retrouvés à la suite d'investigations, par ex.) ;
- contrôle et supervision de la santé et de la sécurité des travailleurs sur site (formation des travailleurs, suivi de la protection contre les risques chimiques/radiologiques, par ex.) ;
- supervision et contrôle de qualité de la réalisation des travaux (phase pilotée par du personnel spécialisé, également appelée « gestion de la main-d'œuvre spécialisée ») ;
- tests de performance portant sur la mise en place des mesures correctives (tests de perméabilité des doublures d'argile, par ex.) ;
- gestion du projet ;
- frais liés aux appels d'offres et à la passation de marchés ;
- estimations des coûts imprévus (événements inattendus).

2.2.6. Opérations et maintenance

Une fois les mesures correctives mises en place, il convient d'assurer leur bon fonctionnement et leur maintenance. Les interventions et problèmes liés aux opérations et à la maintenance peuvent et doivent être considérés comme une phase en soi, distincte du déploiement des mesures correctives. En règle générale, la phase de mise en place des mesures entraîne un engagement de dépenses sur une courte durée – pour les frais encourus pendant le déploiement d'une technique de remédiation, par ex.). À l'inverse, la phase d'opérations et de maintenance implique un certain nombre de questions et mesures qui peuvent s'étaler sur une longue période – des années, des décennies, voire des siècles. De ce fait, la valeur temporelle de l'argent, c.-à-d. la valeur de l'argent telle qu'elle évolue au fil du temps, devient un facteur essentiel, surtout si l'on compare des mesures correctives qui obéissent à des calendriers différents. La phase d'opérations et de maintenance fait souvent la distinction entre les coûts dits annuellement récurrents et les coûts périodiques (qui se succèdent à des intervalles supérieurs à un an). Ces coûts sont généralement qualifiés de « coûts de catégorie 2 » et de « coûts de catégorie 3 »), comme expliqué au point 3.4.4.1.

La liste ci-après donne des exemples de problèmes et facteurs de coûts à prendre en compte lors de la phase d'opérations et de maintenance [10] :

- contrôle de performance de la technique de remédiation (efficacité de l'élimination des contaminants, par ex.) ;
- rejets liés à la technique de remédiation (dans les eaux de surface ou dans l'air, par ex.) ;
- contrôle d'une partie des systèmes de puits d'observation des eaux souterraines existants ;
- interventions du personnel chargé des opérations et de la maintenance (pour les systèmes d'extraction d'air interstitiel, par ex.) ;

- pièces et dispositifs nécessaires pour les réparations prévues du matériel et des équipements ;
- consommables (produits chimiques en vrac) ;
- frais à acquitter pour les services publics (frais d'alimentation électrique, droits de décharge à l'égout, par ex.) ;
- transport hors site et évacuation des résidus provenant de traitements ;
- coûts périodiques (intervenant en général plusieurs fois par an, pour le remplacement et la mise à jour d'un certain nombre d'éléments qui composent la solution retenue) ;
- maintenance de moyens de contrôle de l'utilisation des sols (clôtures, signalisation, surveillance institutionnelle, par ex.).

2.2.7. Suivi et gestion postérieurs à la remédiation

Plusieurs paramètres peuvent être fixés pour déterminer l'aboutissement du processus de remédiation :

- contrôle de milieux environnementaux (le prélèvement d'échantillons d'eaux souterraines et d'eaux de surface peut être exigé pour attester de l'efficacité des mesures correctives, par ex.) ;
- utilisation inconditionnelle de la zone ;
- utilisation restreinte et éventuellement contrôlée de tout ou partie de la zone, assortie d'un système d'autorisations d'urbanisme, par ex. ;
- accès de la zone soumis à des restrictions, assorti de mesures visant à s'assurer de leur respect.

Dans chaque cas, il peut être demandé de maintenir la surveillance et le suivi afin de confirmer l'efficacité du programme de remédiation sur le long terme, et il peut s'avérer nécessaire d'imposer des contrôles en fonction des résultats du suivi (voir aussi le point 4.2). Le niveau, l'étendue et la durée d'un contrôle éventuel (allant du suivi et de la surveillance à des restrictions d'accès) devront être examinés et formalisés en tenant dûment compte des risques résiduels. La durée du contrôle doit être prise en compte pour estimer les coûts futurs associés à cette phase.

Tout comme la phase d'opérations et de maintenance, celle qui suit la remédiation peut donner lieu à des problèmes et nécessiter des interventions sur une longue période. La liste ci-après donne des exemples de problèmes et facteurs de coûts à prendre en considération durant la phase de suivi et de gestion postérieure à la remédiation [10] :

- maintenance de moyens de contrôle de l'utilisation des sols (clôtures, signalisation, surveillance institutionnelle, par ex.) ;
- contrôles (prélèvements d'échantillons d'air, d'eaux de surface et d'eaux souterraines en vue de vérifier que la solution retenue fonctionne correctement) ;
- examens périodiques dès lors que des contaminants sont toujours présents après la remédiation (examens des systèmes de confinement et des systèmes de contrôle, ainsi que des postulats relatifs à l'évaluation des risques afin de s'assurer que la solution retenue continue d'offrir la protection requise).

2.3. ÉTAT FINAL APRÈS REMÉDIATION (CRITÈRES DE REMÉDIATION)

Au regard de la présente publication, le stade final est un critère prédéterminé qui désigne le stade auquel une tâche ou un processus spécifique est considéré comme terminé. Bien souvent néanmoins, la remédiation de site nécessitera l'une ou l'autre forme de gérance à long terme. La définition de l'état final qui est ici donnée intègre les risques résiduels réputés acceptables et peut donc être conservée telle quelle.

2.3.1. Considérations générales

Il est indispensable de définir clairement l'état final exigé à l'issue de la remédiation, sous peine de ne pouvoir déterminer ni les options techniques qui seraient à même d'obtenir le résultat attendu, ni, a fortiori, les coûts estimatifs y afférents. Le but ultime de la remédiation pourrait être la libération inconditionnelle du site. Des facteurs tels que les limites de la technologie et les contraintes budgétaires peuvent cependant y faire obstacle. L'appréciation des niveaux admissibles de contamination résiduelle est souvent influencée par l'idée que se font les citoyens d'une remise en service du site. L'évaluation des niveaux de contamination résiduelle devrait s'appuyer sur la méthode suivie pour l'appréciation des risques. Les questions relatives à l'évaluation sont abordées au point 2.3.2

Les contaminants résiduels admissibles peuvent différer en fonction de la législation, de l'utilisation des sols envisagée et des voies d'exposition prévisibles. Des sols voués à être étanchéifiés et affectés à un usage industriel pourraient ainsi présenter, après remédiation, un taux de contamination résiduelle plus élevé que celui des sols affectés à un usage résidentiel, récréatif ou agricole. L'un des critères à respecter devrait être l'établissement de niveaux de contamination résiduelle induisant des doses d'irradiation inférieures aux seuils réglementaires pour les êtres humains et considérés dès lors comme acceptables pour des activités humaines déterminées.

Le point 6.1 du document n° WS-G-3.1 [3] passe en revue les états finaux susceptibles d'être envisagés. Il faudra parfois s'y reprendre à plusieurs fois pour définir l'état final escompté d'un site après remédiation et la procédure d'optimisation que cela exige. Si, par exemple, il apparaît que l'état final initialement retenu soulève d'importantes difficultés techniques ou entraîne des frais exagérément élevés, il conviendra peut-être de le modifier de manière à revenir sur un coût acceptable. Ainsi donc, les coûts de remédiation seront fonction de l'état final qui aura été retenu, mais, vice-versa, l'état final envisageable pourra aussi dépendre de l'importance des coûts auxquels sont estimés ces travaux compte tenu du budget disponible.

2.3.2. Évaluation des risques

Les risques pour la santé humaine doivent être pesés au regard de l'exposition radiologique et chimique passée, présente et potentiellement à venir que l'on trouve dans l'air, le sol et l'eau. Les évaluations quantitatives ou qualitatives des risques visent à protéger la santé publique et sont généralement réalisées de telle façon qu'il est peu probable qu'elles sous-estiment les risques réels.

Elles reposent sur la connaissance scientifique du devenir des polluants (c.-à-d. leur toxicité et leur cycle de vie une fois rejetés dans l'environnement) et de leur spécificité en termes de transport, d'exposition et de dose. D'une manière générale, le risque dépend :

- de la quantité de polluant présente dans un milieu environnemental (le sol, l'eau ou l'air, par ex.) ;
- de la quantité de polluant à laquelle un individu est exposé dans le milieu en question ;
- de la toxicité du polluant.

Les données relatives à la quantité de polluant présente sur un site s'obtiennent lors de la phase de caractérisation de ce dernier. L'exposition potentielle peut être déterminée en combinant la qualité (c.-à-d. la masse ou l'activité) de la substance présente et ses caractéristiques en termes de propriétés physicochimiques, de devenir, de transport et de toxicité. Les données et caractérisations susmentionnées n'étant pas toujours disponibles, l'évaluation des risques exige, dans de nombreux cas, de procéder par estimations ou suppositions. Ces incertitudes se reflètent par conséquent dans les résultats des évaluations des risques et doivent être mentionnées et précisées autant que faire se peut.

Les évaluations des risques pour la santé humaine peuvent, en dépit de ces incertitudes, apporter des éléments de réponse à diverses questions élémentaires concernant les dangers d'une exposition à des substances chimiques :

- Quelles sont les expositions qui présentent les plus grands risques ?
- Quels risques l'ingestion d'eau ou de terre contaminée par ces substances comporte-t-elle ?
- Quelles sont les mesures d'intervention appropriées en cas d'urgence ?
- Faut-il procéder à la remédiation de sols ou d'eaux contaminés ?
- Quels sont les seuils maxima (objectifs de remédiation) à prévoir pour limiter l'exposition humaine à ces contaminants chimiques et radiologiques ?

La première étape quantitative du processus d'évaluation des risques doit porter sur le facteur d'exposition afin de déterminer dans quelle mesure les individus entrent en contact avec des contaminants potentiellement dangereux, par quelle voie (ingestion, inhalation ou contact avec la peau), par quel milieu environnemental (air, eau ou sol) et sur quelle durée. À partir de cette évaluation, il est possible de déterminer la concentration d'exposition, c.-à-d. la concentration d'un contaminant dans un milieu environnemental avec lequel un individu est en contact. Dans l'absolu, il serait souhaitable d'obtenir les concentrations d'exposition pour tous les milieux environnementaux, dans tous les lieux et sur toutes les durées susceptibles d'avoir donné lieu à un contact humain avec un contaminant problématique.

L'étape de l'évaluation des risques pour la santé humaine au cours de laquelle il est procédé à leur caractérisation consiste généralement en une estimation quantitative de l'exposition au regard de la valeur indicative la plus appropriée d'un point de vue sanitaire ou de la valeur recommandée pour le milieu environnemental considéré ; elle peut aussi consister à calculer le risque excédentaire de cancer sur la vie entière associé à l'exposition estimée.

Il est possible de déterminer, à partir de cette caractérisation des risques, l'ampleur de la remédiation à prévoir pour les sols comme pour les eaux souterraines. Le plus souvent, c'est à cette étape que se décide le volume (la masse) de sols à traiter, à éliminer ou à stabiliser, ainsi que le volume d'eaux souterraines à assainir.

2.3.3. Participation des parties prenantes à la définition de l'état final

Il est important de définir l'état final d'un site en concertation avec la population concernée. À défaut, le site assaini risquerait d'être utilisé à des fins pour lesquelles la solution de remédiation n'a pas été conçue, ce qui pourrait la rendre inefficace, voire inutile.

La définition de l'état final doit prendre en compte plusieurs aspects, qui peuvent considérablement varier selon les projets de remédiation et doivent être appréciés en fonction des spécificités du site :

- considérations liées à l'aménagement du territoire, qui peuvent faire ressortir un manque de ressources en terres ;
- proximité de zones résidentielles, agricoles ou industrielles ;
- mode de vie de la population locale et utilisation traditionnelle et/ou future de zones similaires ;
- considérations socio-économiques, y compris éventuellement la prise de conscience de la valeur ajoutée que la remédiation confère au site ;
- durée pendant laquelle une surveillance institutionnelle du site devrait être effectuée (ou pourrait même être garantie) ;
- valeurs et préférences sociétales.

La précision de la définition de l'état final est très variable ; elle dépendra de la façon dont l'envisagent les organismes de réglementation, du budget disponible et de l'opinion des parties prenantes. Il existe de multiples outils et directives qui indiquent comment consulter les populations et associer les

parties prenantes à cette concertation. Le Conseil international des mines et métaux offre ainsi toute une panoplie de solutions en la matière [11].

2.3.4. Stabilité à long terme de l'état final

Un autre aspect dont il faut tenir compte au moment de déterminer l'état final de la remédiation est sa stabilité à long terme. S'agissant de la durée de garantie de l'état final à prévoir lors de la conception du projet, il n'est aucune source qui fasse autorité. L'étendue de la période pendant laquelle le maintien de l'état final est important dépendra à l'évidence de la période physique des radionucléides présents sur le site. Selon les quelques informations nationales disponibles, telles que le règlement de l'Agence américaine de protection de l'environnement [12], les critères de performance doivent être respectés durant un minimum de 200 ans, la durée de vie nominale étant quant à elle généralement fixée à 1 000 ans. Cette condition a également été adoptée dans le programme de remise en état de sites d'extraction et de traitement de matières radioactives à Wismut, en Allemagne [13]. Autre exemple, celui de la Roumanie, qui exige une durée de vie nominale d'au moins 300 ans pour certains composants d'anciens bassins contenant des résidus d'uranium [14].

Il ne faut jamais perdre de vue de l'estimation des coûts d'un projet de remédiation doit couvrir l'intégralité de son cycle de vie, y compris les coûts d'opérations et de maintenance et les coûts de contrôle sur le long terme. Lorsque des interventions doivent être menées à longue échéance, il convient de prévoir une enveloppe financière suffisante pour permettre, entre autres :

- l'exécution desdites interventions selon la technique de remédiation retenue (installations de traitement de l'eau, par ex.) ;
- le contrôle des milieux environnementaux (eaux de surface, eaux souterraines ou air, par ex.) et la surveillance du site ;
- l'entretien de la revégétalisation des zones couvertes ;
- des actions correctives, en cas de défaillance de l'un ou l'autre moyen technique de contrôle.

On trouvera dans le document indiqué sous la réf. [15] un chapitre consacré à la surveillance d'anciens sites d'extraction et de traitement réhabilités, qui aborde toute une série de questions potentiellement pertinentes et de réponses facilement transposables à d'autres sites réhabilités.

Il doit être bien clair, tout au long du processus de décision et de conception, qu'un financement devra être assuré non seulement pour couvrir les dépenses en capital à court terme, mais aussi les besoins divers et variés à long terme. Il faut que l'on sache la durée probable des coûts d'opérations et de maintenance, des coûts périodiques ainsi que des coûts de contrôle et de gestion sur le long terme. Des modèles prévisionnels peuvent être utilisés pour en avoir une idée, mais leur configuration, leur calibrage et leur exploitation doivent être confiés à des spécialistes hautement qualifiés et nécessitent une base de données adéquate. Dans les faits, il arrive souvent que les sites changent de propriétaire une fois menées à bien les mesures de remédiation à court terme. Le transfert de propriété et d'éventuelles responsabilités pour les mesures à long terme doit être soigneusement préparé. L'une des tâches importantes incombant aux parties prenantes, évoquée au point 2.3.3, consiste précisément à identifier les futurs propriétaires des sites remis en état et à les doter de moyens suffisants pour procéder aux interventions à long terme. Des sources de financement appropriées doivent être trouvées et mises en place pour la phase postérieure à la remédiation, les bailleurs de fonds devant de préférence s'engager juridiquement à mettre l'argent à disposition au moment opportun et à l'endroit voulu. Lorsque le site est géré par une entité distincte, il peut en résulter des frais administratifs plus élevés ; il convient d'en tenir compte dans la planification des coûts.

Si plusieurs options assorties de besoins différents de financement à long terme sont proposées, il faudra préférer la solution la plus solide au cas où les fonds viendraient à manquer.

2.4. ÉTUDE DES OPTIONS

Une fois la caractérisation de l'ensemble du site terminée et après que les objectifs de remédiation ont été fixés, le recensement des différentes options possibles pour sa remédiation et l'évaluation de ces options peuvent commencer. Dès lors qu'il apparaît, au vu des constatations tirées de la caractérisation du site, que des mesures correctives s'imposent, il convient de répertorier celles qui sont appropriées et de procéder à une étude des options proposées afin de comparer leurs avantages et inconvénients respectifs (figure 4). Ces options doivent couvrir un large éventail de situations et s'appuyer sur un ensemble de scénarios d'exposition crédibles qui soient compatibles avec les limites de dose. Il faudra également prendre en considération les autres répercussions biophysiques (non radiologiques) et sociales. Chacune des options recensées devra faire l'objet d'une étude afin de déterminer celle qui sera la meilleure pour le site. Deux principes doivent entrer en ligne de compte dans l'étude des options : la justification et l'optimisation [3].

L'étude des options comporte deux grandes phases, expliquées plus en détail ci-après. Le point 2.4.1 est consacré à l'élaboration et au tri des options de remédiation ; le point 2.4.2 compare et analyse de manière plus précise les différentes options sélectionnées. L'appendice I dresse une liste d'options potentielles.

2.4.1. Étude des options : tri des solutions

Le processus de l'AIEA schématisé dans les figures 1 et 4 pour la série d'options passées au crible dans le présent rapport recommande d'optimiser le facteur de protection radiologique et non radiologique pour les options bien fondées, afin de déterminer quelle est celle qui offre le meilleur bénéfice net. Il faudrait, sur la base de cette optimisation, choisir une option préférée qui intègre également des considérations non quantitatives telles que les aspects sociaux, économiques et politiques. Les critères propres au site sont affinés pour pouvoir comparer les options et réduire le nombre de solutions possibles qui feront ensuite l'objet d'une analyse plus rigoureuse et plus détaillée. Il est possible, à ce stade, d'obtenir une estimation approximative des coûts afin d'écarter les options qui dépassent manifestement le budget disponible.

L'étape correspondante dans le processus ER/EF prévoit d'affiner et de trier les différentes options, et d'analyser ensuite de manière plus approfondie celles qui ont été retenues à l'issue de cette sélection,

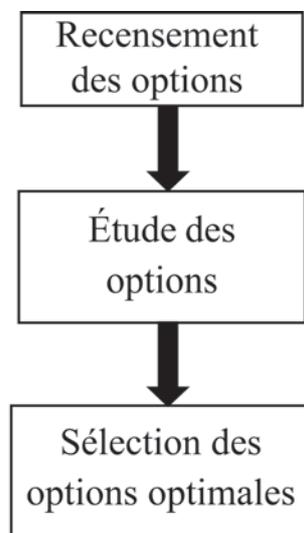


FIG. 4. Portion du processus de remédiation de l'AIEA [3].

comme illustré dans la figure 3. Des estimations approximatives des coûts sont ici aussi présentées, à l'instar de ce que fait l'AIEA, notamment lors du tri des différentes solutions envisageables. Ce dernier se fonde, dans le processus ER/EF, sur des critères d'efficacité, d'applicabilité et de coût.

2.4.2. Étude des options : sélection de la solution (optimisation)

La sélection de la solution qui s'effectue lors de l'étude des options s'accompagne d'une analyse plus approfondie des alternatives proposées, qui a pour but de donner aux décideurs suffisamment d'informations pour qu'ils puissent choisir celle qui conviendra pour le site.

Cette analyse approfondie permet d'évaluer les options à la lumière des critères de justification et d'optimisation. La justification du risque signifie que les options de remédiation seront conditionnées par une estimation du niveau de risque lié à l'exposition potentielle aux rayonnements. Le deuxième critère est l'optimisation, qui consiste à appliquer le principe voulant que l'exposition soit « aussi basse que raisonnablement possible » (*as low as reasonably possible - ALARA*). En d'autres termes, l'exposition aux rayonnements résiduels doit être ramenée au niveau le plus bas possible, en tenant compte des facteurs socio-économiques.

Dans le cadre de la phase de sélection de la solution, une estimation globale des coûts des quelques options sélectionnées devra être réalisée. Pour l'analyse des options sous l'angle du coût et des résultats des différentes solutions techniques, il est recommandé, afin de lever les éventuelles incertitudes, de s'appuyer sur des études de traitabilité réalisées à l'échelon expérimental ainsi que sur des études pilotes menées sur le terrain.

Le processus ER/EF prévoit une phase d'optimisation similaire. Les quelques solutions possibles qui ont été retenues à l'issue du tri opéré sur la base des critères d'efficacité, d'applicabilité et de coût vont ensuite être évaluées plus finement. Les critères utilisés pour cette analyse détaillée sont au nombre de neuf :

- protection de la santé humaine et de l'environnement ;
- conformité réglementaire ;
- efficacité à long terme et permanence ;
- diminution de la toxicité des contaminants, de leur mobilité ou de leur volume ;
- efficacité à court terme ;
- applicabilité ;
- coût ;
- acceptation par les autorités ;
- acceptation par les populations.

Le plus souvent, les différentes solutions possibles sont analysées individuellement au regard de chaque critère, puis comparées les unes aux autres [8].

3. PROCESSUS D'ESTIMATION DES COÛTS

3.1. PLANIFICATION

La planification tient une place importante dans la réussite de tout projet. La prise de décisions, la fixation des objectifs, stratégies et priorités, ainsi que la détermination des tâches et délais nécessaires à la réalisation de ces objectifs, sont au cœur de nombreuses sources d'information. Les mécanismes décisionnels formels font souvent de la planification stratégique la pierre angulaire de la réussite d'un programme de remédiation.

La gestion ou la planification du cycle de vie d'un projet exige la prise en considération de notions d'établissement des coûts, qui englobent plus largement les frais à engager pour établir et lancer le projet, depuis la phase initiale de préparation jusqu'aux phases de remédiation et de gérance à long terme. Cette notion de chiffrage du coût du cycle de vie est d'une importance capitale si l'on veut s'assurer que tous les éléments à planifier et leurs coûts correspondants seront pris en compte.

L'examen préliminaire de la planification doit en partie servir à déterminer les sources de financement. L'apport de fonds que requièrent non seulement les mesures immédiates de remédiation mais aussi les engagements à plus long terme doit être planifié d'entrée de jeu. Les coûts de planification initiale, de même que les coûts de mise en œuvre et de gérance à long terme du projet de remédiation, sont estimés sur la base de leur valeur actualisée, qui correspond aux sommes que l'on prévoit de déboursier jusqu'à la fin du cycle de vie dudit projet (y compris pour la gérance du site). L'une des préoccupations majeures des organismes de réglementation est de trouver le moyen de maintenir la surveillance institutionnelle de ces sites sur des durées supérieures à quelques dizaines d'années – en d'autres termes, de savoir comment faire appliquer les « règles » et garantir le financement des mesures à long terme.

3.2. IDENTIFICATION ET CONCEPTUALISATION DES PROBLÈMES

Chaque projet de remise en état de l'environnement commence par l'identification du problème spécifique qu'il pose (le problème source), suivie par la conceptualisation du problème à résoudre (le problème cible). Les problèmes peuvent avoir des origines multiples : informations faisant état d'un durcissement des normes réglementaires, concentrations de déchets anormalement élevées dans l'environnement, effets sanitaires et biologiques néfastes associés à certaines émissions provenant des activités d'exploitation, ou encore connaissance d'émissions accidentelles et de pratiques d'élimination des déchets risquant de contaminer l'environnement. Toutes les données disponibles doivent être mises à profit au cours de cette phase de reconnaissance du problème ; au besoin, des informations préliminaires supplémentaires devront être recueillies pour compléter les renseignements existants.

La phase de conceptualisation, qui suit l'identification du problème source, consiste à le schématiser de manière simple mais claire, en précisant ses spécificités, à savoir l'ampleur de la contamination, l'état final requis, les options de remédiation à examiner et un ordre de grandeur approximatif de la fourchette des coûts de remédiation. Cette fourchette doit être établie à la lumière de toutes les informations disponibles, y compris les données et connaissances tirées de projets similaires qui pourraient s'appliquer en l'espèce. Elle doit prendre en considération, dans les limites ainsi fixées, l'hypothèse la plus pessimiste et les imprévus auxquels le projet pourrait devoir faire face.

Les parties prenantes doivent participer à la phase de conceptualisation et, dans l'absolu, parvenir à un consensus. La conceptualisation servira ensuite de base à l'établissement de la proposition de financement qui sera adressée au bailleur de fonds approprié. Il faudra donc tout faire pour persuader ce dernier que son investissement portera ses fruits et assurera la réussite du projet. Les frais liés à la conceptualisation du projet ne sont pas inclus dans le coût total de ce dernier, étant donné qu'ils interviennent avant son approbation. Ils sont en revanche incorporés dans le coût du programme de l'organisation et seront très vraisemblablement pris en charge par le promoteur du projet ou par une autre source.

La proposition doit avant tout s'efforcer de convaincre l'organisme de financement que le problème de contamination existe, que la remédiation du site est justifiée et abordable, que des procédures de gestion et des garde-fous suffisants ont été mis en place pour maîtriser les coûts, et que des assurances ont été prévues pour que les interventions qui devraient au besoin s'effectuer après la remédiation puissent être menées à bien.

La crédibilité de la défense de la conceptualisation est primordiale pour que le feu vert soit donné au projet. Aucun effort ne devra donc être ménagé lors de la préparation de cette phase. Il faudra non seulement s'attacher à passer en revue les dossiers relatifs à des situations antérieures similaires qui pourraient s'appliquer au projet en question, mais aussi obtenir des données complémentaires en affinant si nécessaire la caractérisation – sans toutefois dépasser certaines limites.

Dans les pays qui respectent rigoureusement le principe du « pollueur payeur », ce dernier peut être tenu d'acquitter les frais d'assainissement. C'est lui qui, dans ce cas, sera la source de financement du projet. Ainsi, dans le cadre du processus ER/EF, le pollueur se charge généralement de tirer au clair la situation, d'élaborer et d'évaluer les différentes options de remédiation en concertation avec les parties prenantes et de mettre ensuite en œuvre la solution retenue. Quelle que soit la source de financement d'un projet de remédiation, il est essentiel de pouvoir s'appuyer sur une estimation fiable des coûts.

3.3. OBJECTIFS ET APPROCHES CONCERNANT L'ÉLABORATION DES ESTIMATIONS DE COÛTS

Les estimations de coûts relatives aux projets de remédiation sont nécessaires, et ce pour trois raisons majeures :

- 1) pour des questions de prévisions budgétaires, en ce qu'il s'agit de planifier au mieux l'utilisation de ressources financières limitées appelées à couvrir la remédiation d'un site en particulier et la remédiation de tous les sites figurant dans un catalogue national de projets d'assainissement ;
- 2) pour permettre, au même titre que de nombreux autres critères, l'évaluation et la comparaison des options envisageables pour la remédiation ;
- 3) pour contribuer à l'appréciation des propositions soumises par les fournisseurs en vue de la mise en œuvre de la solution retenue une fois l'option de remédiation sélectionnée.

Nous allons passer ces trois aspects en revue dans les points qui suivent.

3.3.1. Prévisions budgétaires

Les fonds destinés à des projets environnementaux bien précis sont attribués en fonction de leurs coûts estimatifs. Ces coûts englobent les coûts d'investissement, les coûts annuels d'opérations et de maintenance, les frais de gestion périodiques et à long terme, ainsi que les coûts de main-d'œuvre liés à la gérance du site, les dépenses de matériel et autres frais connexes. Souvent, le budget des projets est ventilé selon différentes tâches spécifiques, chacune d'elles se voyant affecter sa propre ligne de crédits. L'estimation des coûts sert à établir le budget d'un projet donné. En ce qui concerne les projets de remédiation, plusieurs approches sont possibles pour déterminer leur coût prévisionnel, notamment :

- l'établissement d'une structure de répartition des tâches (SRT) – analysée plus avant au point 3.3.1.1 et à l'appendice IV ;
- la mise à profit d'une estimation analogue – estimation des coûts fondée sur des réalisations ou expériences antérieures ;
- le recours à une estimation paramétrique – fondée sur un coût unitaire (coût au mètre carré, au mètre cube, à l'hectare ou au litre, par ex.) ; selon le projet, cette méthode – qui donne d'assez bons résultats dans le secteur du bâtiment – peut bien fonctionner pour les projets de remédiation environnementale ;
- l'application d'une approche en trois points – également appelée « technique d'évaluation et d'examen de programmes » – qui permet de donner des estimations selon que les options sont hautement probables, probables ou peu probables ;
- la recherche d'une fourchette d'estimation (optimiste, vraisemblable ou pessimiste) ;
- l'appui d'avis d'experts – estimation fournie par des experts faisant appel à leur capacité de jugement ;
- l'utilisation d'une méthode hybride – qui combine les techniques susmentionnées.

On trouvera ci-après une description de quelques-unes de ces approches.

3.3.1.1. Structure de répartition des tâches

Il est possible de définir une SRT en combinant une budgétisation dite « ascendante » et une budgétisation dite « descendante ». La budgétisation « ascendante » consiste à recenser toutes les tâches afférentes à l'exécution d'un projet et à définir les moyens et les fonds que requiert chacune d'elles. Généralement, dans une estimation des coûts « ascendante », plus la tâche à réaliser est petite, plus il est facile d'en déterminer le coût approximatif. Il arrive cependant que la budgétisation « ascendante » oblige des groupes distincts à effectuer des tâches spécifiques, de sorte que ce type d'estimation passe à côté de questions telles que la phase critique d'un projet et les redondances. La budgétisation « descendante » doit parfois être combinée à une budgétisation « ascendante » afin de fusionner harmonieusement les estimations des différents groupes et obtenir ainsi une estimation de projet cohérente. Un exposé détaillé de l'approche que suit la SRT figure à l'appendice IV.

3.3.1.2. Estimation analogue

Pour peu qu'un programme de remédiation ait été suffisamment mûri, il se peut que l'on puisse s'inspirer d'anciens projets de remédiation pour donner aux parties prenantes et aux décideurs des informations concernant les états finaux que l'on pourrait escompter, les niveaux d'assainissement optimaux, les techniques de remédiation et les coûts correspondants. Il serait ainsi possible de tirer les enseignements des coûts qu'il a fallu supporter pour des projets similaires (analogues) à celui envisagé. Si le projet envisagé est similaire à un projet qui a déjà été mené à bien dans un pays, la mise à profit de cette estimation analogue peut aboutir à une estimation assez proche de la réalité.

3.3.1.3. Estimation paramétrique

L'estimation paramétrique peut nécessiter un calcul manuel des coûts fondé sur une appréciation des frais que représente l'exécution d'opérations unitaires (il faudra ainsi extrapoler les coûts d'enlèvement de 1 000 mètres cubes de terre, sachant que les frais d'excavation s'élèvent à environ 300 \$ É.-U./m³) ou en ayant recours à des modèles d'estimation de coûts. Le modèle RACER (Remedial Action Cost Engineering and Requirements) fait partie de ces outils d'estimation paramétrique des coûts. Dûment vérifié, validé et homologué, cet outil, qui fonctionne sur Windows, permet de calculer le coût total que représentent le travail d'investigation et l'assainissement d'un site. Il a été homologué par Price-Waterhouse Coopers [17] ainsi que par l'US Air Force Civil Engineer Center [18].

Le modèle RACER est un système d'estimation paramétrique des coûts qui comporte deux éléments opérant en tandem, à savoir une base de données de prix unitaires très fournie et un système expert capable d'estimer le montant et la nature des travaux à effectuer pour réparer les dommages causés à l'environnement. L'utilisateur peut entrer des informations propres au site, de manière à personnaliser les solutions techniques génériques et à quantifier la main-d'œuvre, le matériel et les équipements dont il aura besoin pour mener le projet à bien. Les quantités ainsi déterminées et la base de données de prix unitaires lui permettront ensuite de calculer les coûts. Le système RACER propose un choix de 130 modules d'estimation de coûts à de multiples usages – études de faisabilité, travaux de chantier à réaliser sur le site, ou encore enlèvement, confinement, traitement et élimination de déchets. Il peut actuellement modéliser les coûts des techniques énumérées dans les figures 5 et 6.

Les techniques répertoriées dans la rubrique « Études » de la figure 6 font référence à des études associées à des programmes nationaux d'assainissement menés aux États-Unis. Elles comprennent les phases des ER/EF auxquelles il est fait référence dans les figures 2 et 3. Les études réalisées aux États-Unis ont toutefois leur pendant dans le processus de remédiation de l'AIEA ainsi que dans d'autres instances internationales. En règle générale, les techniques peuvent être rangées dans les grandes catégories suivantes : travaux d'investigation d'un site, mesures d'évacuation rapide, mise en place de mesures correctives, opérations et suivi à long terme, fermeture de site.

<p>Confinement Recouvrement Biodégradation sur site Barrières perméables Parois étanches Installation de cuves d'entreposage</p> <p>Démolition Démolition des ouvrages bâtis Démolition du collecteur Démolition des bassins / regards Démolition des clôtures Démolition des canalisations souterraines Démolition des accotements</p> <p>Évacuation Évacuation vers un site d'opérations de traitement réalisées par des entités publiques (POTW) Galerie d'infiltration Puits d'injection</p> <p>Stockage définitif Transport et gestion des déchets hors site Gestion des déchets résiduels</p> <p>Documents Dossiers administratifs Examen quinquennal Commission consultative pour la remise en état Documents relatifs à la clôture du chantier</p>	<p>Munitions et obus Rapport de consultation des archives MEC Surveillance institutionnelle MEC Suivi MEC Enlèvement MEC Caractérisation du site et évaluation des opérations d'enlèvement MEC Localisation MEC</p> <p>Matières radioactives Conduits, tuyaux et canalisations D&D Matériaux de construction contaminés D&D Étude de l'état final D&D Ouvrages bâtis radiocontaminés D&D Enlèvement des matières dangereuses provenant de ces ouvrages D&D Prélèvement d'échantillons et analyse D&D Comminution D&D Matériel de traitement spécialisé D&D Décontamination de surface D&D</p>	<p>Mesures d'appui à la remédiation Contrôles administratifs relatifs à l'utilisation des sols Entreposage de matériaux en vrac Prélèvement D&D d'échantillons et analyse Installations de décontamination Puits de surveillance des eaux souterraines Surveillance MEC institutionnelle Suivi MEC Installations diverses sur le terrain Suivi de l'atténuation naturelle Opérations et maintenance Gestion de la main-d'œuvre spécialisée Conception du projet de remédiation Gestion des déchets issus des travaux de remédiation Édification d'un système de traitement Réalisation de tranchées / aménagement de canalisations Estimation définie par les utilisateurs</p> <p>Enlèvement Désamiantage Récupération des fûts enterrés Matériaux de construction contaminés D&D Contamination de surface D&D Empilement des fûts Excavation Enlèvement des produits non contaminés Drain français Puits d'extraction d'eaux souterraines Localisation MEC Gestion des déchets résiduels Forage et aménagement de puits spéciaux Transport Fermeture / enlèvement des UST</p>
---	---	--

FIG. 5. Techniques RACER - 1 (avec l'aimable autorisation d'AECOM [16]). D&D – démolition et démantèlement ; MEC – munitions et explosifs dangereux ; POTW – opérations de traitement réalisées par des entités publiques ; UST – réservoir de stockage souterrain.

3.3.1.4. Estimation en trois points

La méthode d'estimation des coûts en trois points peut être particulièrement utile lorsqu'il existe un doute quant au bien-fondé d'un projet de remédiation environnementale (incertitude concernant l'ampleur de la contamination d'un site et/ou l'état final qu'escomptent les parties prenantes, par ex.). Les ingénieurs spécialisés dans le calcul des coûts sont en mesure d'établir des estimations qui permettront de lever ces doutes en appliquant des critères tels que la probabilité (hautement probable, probable, peu probable) ou les perspectives (pessimistes, envisageables, optimistes) de réussite du projet. On en trouvera quelques exemples ci-après, dans le tableau 1.

3.3.2. Évaluation et comparaison des options

Tout projet de remédiation doit faire l'objet d'une estimation des coûts, et ce pour deux raisons :

- 1) Il arrive, dans certaines circonstances, que ce ne soient pas les besoins propres à un projet qui dictent le budget à prévoir, mais que le projet soit conçu de telle manière que son coût corresponde aux fonds disponibles. L'estimation des coûts des divers éléments du projet permettra à celui ou celle qui en

<p>Travaux de chantier et utilisation du site Voies d'accès Nettoyage et aménagement paysager Défrichage et essouchement Travaux de terrassement Clôtures Chargement et transport Lignes électriques aériennes Aires de stationnement Remplacement du revêtement des voies de circulation / aires de stationnement Égouts sanitaires Réseau de gicleurs Égouts pluviaux Réservoirs d'eau Désaffectation de puits</p> <p>Études Étude des mesures correctives Étude de l'état final D&D Étude de caractérisation du site D&D Étude de faisabilité Puits de surveillance des eaux souterraines Rapport de consultation des archives MEC Caractérisation du site et opérations d'enlèvement MEC Évaluation Suivi Évaluation du site de l'UST de pétrole Évaluation préliminaire Gestion de la main-d'œuvre spécialisée Enquête relative aux installations au regard de la RCRA Enquête relative aux mesures correctives Inspection du site Forage et aménagement de puits spéciaux Stockage définitif - gestion des déchets Estimation définie par les utilisateurs</p>	<p>Traitement Processus d'oxydation avancé Injection d'air / bullage Stripage à l'air Bioventing Adsorption par le charbon (gaz) Adsorption par le charbon (liquide) Coagulation/floculation Compostage Exhaure (boues) Bioréacteurs hors site Exploitation agricole des terres hors site Solidification/stabilisation hors site Extraction des contaminants volatils hors site Extraction des contaminants volatils accélérée par la chaleur Biodégradation sur site Exploitation des terres sur site Solidification sur site Traitement des sols radioactifs de faible activité Filtration des milieux environnementaux Précipitation des métaux Neutralisation Transport et traitement thermique hors site Séparation pétrole/eau Incinération sur site Désorption à basse température sur site Traitement de l'eau par des moyens passifs Phytoremédiation Lessivage des sols Extraction des contaminants volatils des sols Lavage des sols Oxydation thermique et catalytique</p>
--	--

FIG. 6. Techniques RACER - 2 (avec l'aimable autorisation d'AECOM [16]). D&D – démolition et démantèlement ; MEC – munitions et explosifs dangereux ; RCRA – loi relative sur la conservation et la remise en état des ressources ; UST – réservoir de stockage souterrain.

- a la charge d'ajuster le nombre d'échantillons, le type de substances chimiques ou le volume d'eau contaminée, de façon à pouvoir optimiser l'acquisition des données ou le périmètre des mesures correctives en fonction de l'enveloppe budgétaire à disposition.
- 2) Les décisions relatives à la gestion des risques exigeront la mise au point de différentes options de remédiation et l'évaluation de diverses hypothèses fondées sur des facteurs tels que la faisabilité technique, l'efficacité à court et long terme, l'acceptabilité par le public et le coût.

Le plus souvent, la comparaison des options s'en remet aux facteurs précités, auxquels une note est attribuée. En calculant la valeur actualisée du coût du cycle de vie, il est possible de comparer plusieurs solutions possibles de remédiation qui s'étendraient sur des durées différentes, à partir d'une indication du coût ramené, pour chaque solution, à un seul et unique montant. Cette « valeur nette actualisée » (VNA) représente en quelque sorte le budget qui doit être réservé au début d'un projet de remédiation pour s'assurer qu'il puisse être financé sur toute sa durée, moyennant certaines conditions économiques. La notion de VNA fait l'objet d'un exposé plus détaillé au point 3.4.4.3.

TABLEAU 1. INCERTITUDE DES ESTIMATIONS DE COÛTS

Paramètre	Incidence du site sur les milieux environnementaux		
	Incidence minimale – Évaluation optimiste	Incidence modérée – Évaluation plausible	Incidence importante – Évaluation pessimiste
Nombre d'échantillons de sol requis	x	$2x$	$10x$
Nombre de puits de surveillance requis	x	$2x$	$10x$
Profondeur de sol contaminé (en mètres)	x	$2x$	$4x$
Volume d'eaux souterraines contaminées (en m ³)	x	$2x$	$4x$

3.3.3. Évaluation des offres de prix pour les attributions de marchés

Le prix constitue l'un des principaux éléments entrant dans l'évaluation des offres relatives à un projet de remédiation. On ne peut cependant se fier à une seule offre de prix, étant donné que les propositions peuvent varier selon l'approche dans laquelle s'inscrit le projet, la lecture du cahier des charges, la responsabilité à laquelle s'expose le promoteur du projet, ou encore la qualité du travail fourni par l'entreprise adjudicataire.

3.4. ÉTAPES DU PROCESSUS D'ESTIMATION DES COÛTS

3.4.1. Introduction

Avant d'établir une estimation détaillée des coûts d'un projet, une étude des options peut être réalisée afin de bien cerner la nature et l'étendue des risques que posent les substances radioactives et autres matières dangereuses pour l'environnement et d'évaluer les solutions potentielles de remédiation. L'étude des options – ou l'étude de faisabilité – s'appuie sur la phase d'identification et de conceptualisation des problèmes évoquée plus haut et doit servir de point de départ pour l'établissement d'une estimation plus élaborée des coûts d'un projet de remédiation.

Comme indiqué au point 2.4, l'étude des options et l'étude de faisabilité comportent deux grandes phases : la mise au point et le tri des différentes solutions possibles pour les mesures correctives, et l'analyse détaillée de chaque solution sélectionnée à des fins de comparaison. Les différentes solutions envisageables pour les mesures correctives sont passées au crible lors de l'étude des options et l'étude de faisabilité, à mesure que parviennent les données issues de la caractérisation, des études pilotes permettant par ailleurs de lever certains doutes concernant le coût et l'efficacité des différentes possibilités offertes sur le plan technique. Dans certains cas, la meilleure option de remédiation ressort d'emblée, et une solution « présumée » peut être recherchée en concentrant les efforts sur l'optimisation des coûts.

Une estimation des coûts consiste en quelque sorte en une évaluation de tous les facteurs de coût tels que définis dans le cahier des charges du projet tel qu'il en a été décidé. Le coût estimatif total d'un projet dépend principalement de la qualité ou de la précision de la définition du projet (c.-à-d. de son « périmètre » ou de la complétude de sa conception). Il va sans dire que toute modification apportée à la définition d'un projet impliquera une révision de l'estimation de son coût.

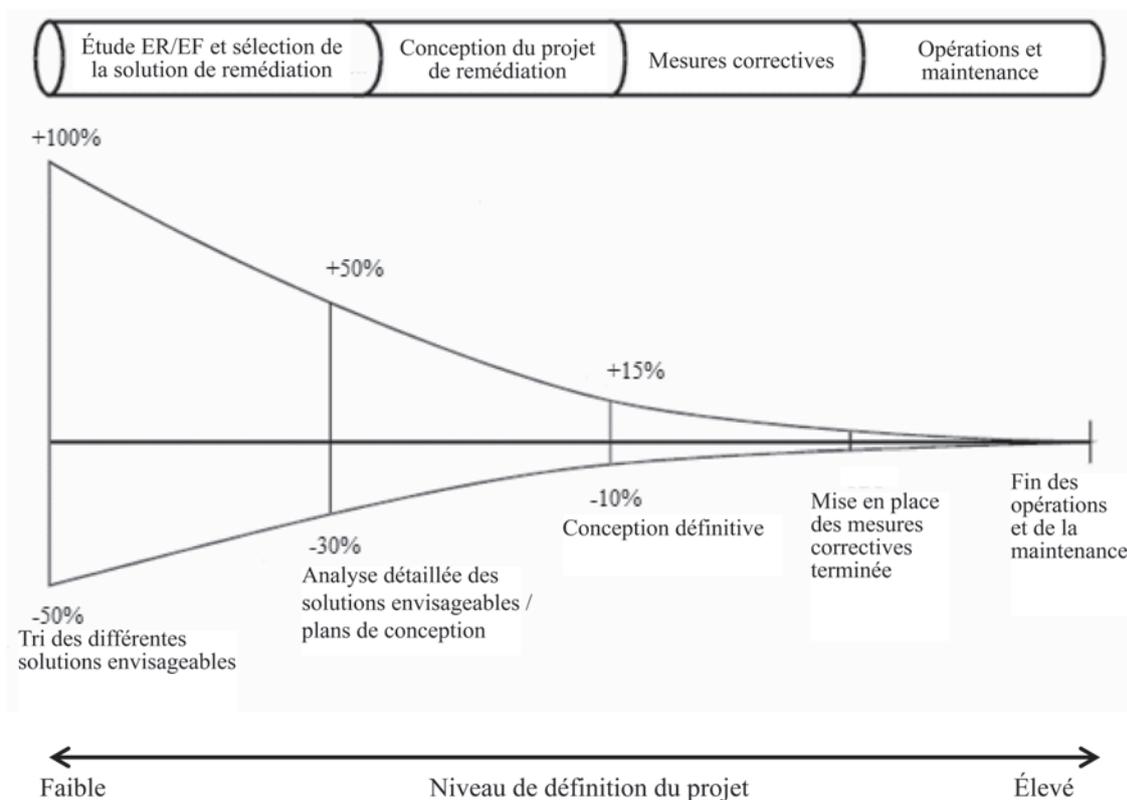


FIG. 7. Amélioration de la précision de l'estimation des coûts au fil de l'avancement du projet [8].

À mesure que le projet avance et passe du stade de la planification à celui de la conception, puis de l'exécution, le degré de précision de sa définition s'accroît, ce qui permet d'affiner l'estimation de son coût. Une première estimation des coûts du cycle de vie du projet est réalisée lors de l'étude des options et/ou de la faisabilité, afin de choisir l'approche retenue pour la remédiation.

À ce stade, la conception du projet de mesures correctives demeure abstraite (en d'autres termes, le degré de précision est encore peu élevé) ; aussi l'estimation de son coût est-elle considérée comme un « ordre de grandeur ». L'ingénieur spécialisé dans le calcul de son coût posera un certain nombre d'hypothèses concernant la conception détaillée afin de pouvoir faire une estimation. Lors de la mise en œuvre du projet (qui correspond à la phase de conception du projet de remédiation dans le processus ER/EF, de nouveaux éléments viennent compléter la conception, et l'estimation des coûts prend un caractère plus définitif, qui devrait ensuite s'affiner.

Lors de l'étude des options, chaque solution possible pour les mesures correctives fait l'objet d'une estimation des coûts à des fins de comparaison. La précision de ces estimations est liée à la qualité des données issues de la caractérisation du site, qui constitue une étape fort importante dans la définition du cahier des charges de chacune des solutions envisagées. Les travaux d'investigation du site et l'étude des options offertes ne pouvant lever tous les doutes, si bonnes les données soient-elles, la précision escomptée des estimations des coûts prises en compte lors de l'étude des options est moindre que celle des estimations élaborées aux stades ultérieurs.

Dans le cadre du processus ER/EF, les estimations de coûts sont établies d'une part lors du premier tri des options et d'autre part à un stade plus avancé, avec un degré de précision escomptée compris respectivement entre - 50 à + 100 % et entre - 30 et + 50 %, comme le montre la figure 7. Les estimations forgées à ces deux stades sont expliquées plus en détail dans les pages qui viennent. La figure 7 fait également ressortir que la précision des estimations de coûts augmente à mesure que le projet avance.

À l'issue du processus ER/EF, une estimation détaillée des coûts doit être établie. Elle suit généralement les étapes indiquées ci-après et décrites plus avant au point 3.4.4 :

- 1) établissement des paramètres de planification ;
- 2) estimation des quantités et coûts unitaires – estimations ponctuelles ;
- 3) analyse du cycle de vie ;
- 4) analyse des facteurs de risques ;
- 5) examen et vérification (par un organisme indépendant).

3.4.2. Sélection des différentes solutions possibles

Les estimations de coûts réalisées au stade de la sélection des différentes solutions possibles servent à écarter celles qui seraient exagérément onéreuses de manière à pouvoir en retenir d'autres, plus appropriées, qui pourraient être examinées plus avant. Elles devraient être établies avec une précision relative qui permette de les comparer les unes aux autres. Les procédures utilisées à cet effet sont similaires à celles auxquelles fait appel l'analyse détaillée, à ceci près que les différentes solutions possibles ne sont guère affinées et que les facteurs de coûts sont peu détaillés. La fourchette de précision au stade de cette sélection se situe généralement entre - 50 et + 100 %.

Les estimations de coûts établies à cette occasion sont obtenues à partir de diverses sources : courbes des coûts, coûts unitaires génériques, informations communiquées par les fournisseurs, guides et modèles d'estimation de coûts standard, données de coûts antérieures, estimations relatives à des projets similaires et modifiées en fonction des spécificités du site. Les coûts d'investissement et les coûts d'opérations et de maintenance devront ici être tous deux pris en compte, le cas échéant. Sachant que les coûts d'opérations et de maintenance peuvent représenter la part la plus importante du coût global, surtout si le projet porte sur une longue période, il conviendra de fournir une estimation de la durée sur laquelle ces coûts devront être supportés.

Les coûts d'investissement et les coûts d'opérations et de maintenance peuvent, pour bon nombre de techniques de remédiation, être déterminés au moyen d'une grille de sélection qui a été mise à disposition sur un site web à l'occasion de la Table ronde fédérale qui leur a été consacrée aux États-Unis [19]. Dans cette grille figurent des informations sur les techniques qui peuvent être utilisées pour décontaminer les eaux souterraines et les sols. Lesdites techniques sont par ailleurs classées en deux catégories, selon qu'elles sont configurées pour un usage sur site ou hors site. Les coûts sont donnés pour la mise en place et l'exploitation des techniques en question sur des sites « faciles » ou « difficiles » (la distinction étant fonction de leur contexte hydrogéologique), ainsi que sur des sites « de petite taille » ou « de grande taille » (selon le volume que représente le milieu environnemental à assainir). L'attention des experts doit être attirée sur le fait que cette approche simplifie des facteurs de coûts qui peuvent être très différents d'un site à l'autre. Il leur faudra par conséquent prendre en compte qu'une estimation qui ne reposerait que sur les coûts renseignés dans la grille peut varier selon un ordre de grandeur donné. On trouvera dans le tableau 2, à titre d'illustration, un récapitulatif des coûts de mise en place et d'exploitation d'un certain nombre de techniques recensées dans la grille de sélection. Il convient également de préciser que la valeur des coûts indiqués dans le tableau 2 remonte à 2007.

La même source provenant de la Table ronde fédérale américaine sur les techniques de remédiation [19] renseigne également le coût (valeur 2007) d'autres techniques qui pourraient s'appliquer au traitement de radionucléides ou de déchets mixtes en milieu aqueux. Les coûts de traitement de ces eaux dépendront de leurs débits, des concentrations de contaminants et des concentrations cibles que l'on souhaite obtenir dans les effluents. Les coûts d'une technique fondée sur l'échange d'ions se situent entre 0,08 \$ É.-U. et 0,21 \$ É.-U. pour 1 000 litres. Les coûts de séparation/filtration vont de 0,36 \$ É.-U. à 1,20 \$ É.-U. pour 1 000 litres. Les coûts de traitement des eaux au moyen de charbon activé en granules à raison d'un débit de 0,4 million de litres par jour oscillent entre 1,70 \$ É.-U. et 32,0 \$ É.-U. pour 1 000 litres. À partir de ces informations et des données qui figurent dans le tableau 2, un chef de projet devrait arriver à prévoir les coûts afférents à la mise en place, à la conception et à l'exploitation de bon

nombre de techniques de remédiation environnementale. Les coûts renseignés dans le tableau pour chaque technique dépendent de l'ampleur de la contamination ; aussi sont-ils donnés par unité de milieu environnemental contaminé, à savoir en \$ É.-U./m³ de sol ou en \$ É.-U./litre d'eaux souterraines.

3.4.3. Analyse détaillée des différentes solutions envisageables

Les estimations de coûts établies lors de l'analyse détaillée permettent ensuite de procéder à une comparaison des différentes solutions envisageables et viennent éclairer le choix des options de remédiation. Grâce aux estimations de coûts destinées à l'analyse détaillée, il est possible de se faire une idée du montant total des coûts que représentera sur la durée (c.-à-d. les « coûts du cycle de vie ») chaque solution envisageable. Ces estimations sont donc habituellement fondées sur des informations plus affinées et devraient offrir un degré de précision supérieur à celui des estimations établies pour la sélection. La fourchette de précision au stade de l'analyse détaillée se situe généralement entre - 30 et + 50 %.

3.4.4. Étapes du processus d'estimation des coûts pour l'option de remédiation sélectionnée (stade de la conception finale)

Avant de commencer à réaliser une estimation des coûts, il convient de régler une série de questions d'une importance majeure concernant le périmètre du projet. Regroupées en une succession d'étapes (voir figure 8), elles appellent une réponse qui sera indispensable à la réalisation de cette estimation.

3.4.4.1. Étape 1 : Établissement des paramètres de planification

La qualité de l'estimation des coûts est proportionnelle à la précision avec laquelle a été défini le périmètre du projet. Pour réaliser une estimation des coûts d'un projet, la première étape doit consister à déterminer de manière détaillée son cahier des charges. Pour ce faire, il est essentiel de s'assurer que le niveau de précision qui y aura été apporté sera suffisant aux fins de l'estimation. Une estimation précise des coûts d'un projet donné suppose qu'aient été parfaitement fixés :

- les objectifs du projet ;
- les plans d'estimation des coûts ;
- les tâches à effectuer et la structure d'estimation ;
- le calendrier des activités.

a) Définition des objectifs du projet

Il convient, dans un premier temps, de déterminer quels sont les buts et objectifs assignés au projet. En voici quelques-uns, fréquemment rencontrés :

- identification de la nature du type de contaminant présent sur le site ;
- détermination de l'ampleur de la contamination, tant horizontalement que verticalement (éventuellement aussi, détermination du volume que représente le milieu contaminé) ;
- identification des voies de migration, des voies d'exposition et des récepteurs potentiels ;
- identification des propriétés du site qui influent sur les choix des options de remédiation (caractéristiques des aquifères ou des sols, par ex.) ;
- collecte de données du type et de la qualité nécessaires aux fins du recouvrement des coûts ;
- protection de la santé et de la sécurité des travailleurs employés sur le site et de la population résidente / des travailleurs à proximité du site durant le projet ;
- conformité du projet au regard des réglementations environnementales.

Suite du texte p. 34

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Technique de décontamination d'eaux souterraines : Injection et bullage d'air				
Volume contaminé (en m ³)	841	3 899	16 821	77 989
Coût du traitement par injection et bullage d'air, marge incluse (en \$ É.-U.)	30 648	79 300	174 047	1 178 583
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	30 169	53 869	206 194	797 662
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	2	2	5	5
Coût de conception du projet de remédiation (en \$ É.-U.)	10 000	10 000	19 145	94 287
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	70 817	143 169	399 386	2 070 532
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	84,20	36,72	23,74	26,55
Technique de décontamination d'eaux souterraines : Oxydation chimique				
Débit de l'affluent (en litres/minute)	76	76	379	379
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	2	2	5	5
Coût du traitement par oxydation chimique, marge incluse (en \$ É.-U.)	181 842	180 030	335 248	330 597
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	127 638	170 520	446 198	668 839
Coût de conception du projet de remédiation (10 % ou 10 000 \$ É.-U.)	18 184	18 003	33 525	33 060
Coût total des travaux (en \$ É.-U.)	327 664	368 553	814 971	1 032 496

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Volume traité (en litres)	79 575 840	79 575 840	994 698 000	994 698 000
Coût unitaire (en \$ É.-U./10 000 litres)	41,18	46,31	8,19	10,38
Technique de décontamination d'eaux souterraines : Stripage à l'air (<i>air stripping</i>) hors site – colonne à plateaux à profil bas				
Débit de l'affluent (en litres/minute)	189	189	1 892	1 892
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	2	2	5	5
Coût du traitement par stripage à l'air hors site, marge incluse (en \$ É.-U.)	42 109	49 610	165 160	209 031
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	52 966	52 966	341 127	341 127
Coût de conception du projet de remédiation (10 % ou 10 000 \$ É.-U.)	10 000	10 000	16 516	20 903
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	105 075	112 576	522 803	571 061
Volume traité (en litres)	198 939 600	198 939 600	4 973 490 000	4 973 490 000
Coût unitaire (en \$ É.-U./10 000 litres)	5,28	5,66	1,05	1,15
Technique de décontamination d'eaux souterraines : Stripage à l'air (<i>air stripping</i>) hors site – tour de garnissage fixe				
Débit de l'affluent (en litres/minute)	189,25	189,25	1 892,5	1 892,5
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	2	2	5	5

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Coût du traitement par stripage à l'air hors site, marge incluse (en \$ É.-U.)	56 304	105 433	124 371	301 156
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	60 346	60 346	388 942	388 942
Coût de conception du projet de remédiation (10 % ou 10 000 \$ É.-U.)	6 756	11 598	13 681	30 116
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	123 406	177 377	526 994	720 214
Volume traité (en litres)	198 939 600	198 939 600	4 973 490 000	4973 490 000
Coût unitaire (en \$ É.-U./10 000 litres)	6,08	8,98	1,06	1,32
Technique de décontamination d'eaux souterraines : Murs de traitement passif/réactif				
Longueur de la porte (en mètres)	30	30	182	182
Largeur de la porte (en mètres)	0,608	0,608	0,608	0,608
Profondeur de la porte (en mètres)	4,56	4,56	7,60	7,60
Mousse de tourbe (en m ³)	49,70	0,00	917,52	0,00
Limaille de fer (en m ³)	0,00	48,52	0,00	895,68
Fréquence de remplacement du milieu (en mois)	120	120	120	120
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	2	2	5	5

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Coût de décontamination par de traitement passif/réactif, marge incluse (en \$ É.-U.)	96 889	128 843	954 942	1 526 539
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	4 885	6 813	278 475	603 659
Coût de conception du projet de remédiation (en \$ É.-U.)	5 813	7086	42 972	61 062
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	107 587	142 742	1 276 389	2 191 260
Taille du mur de traitement (en m ³)	85	85	849	849
Coût du mur de traitement (en \$ É.-U./m ³)	1 267	1 681	1 503	2 580
Volume d'eaux souterraines traitées (en m ³)	520 119,15	520 119,15	13 002 978,75	13 002 978,75
Coût de traitement des eaux souterraines (en \$ É.-U./m ³)	0,21	0,27	0,10	0,17
Technique de décontamination d'eaux souterraines : Phytoremédiation				
Zone de remédiation (en m ²)	12 150	12 150	243 000	243 000
Coût du traitement par phytoremédiation, marge incluse (en \$ É.-U.)	43 148	67 480	556 722	1 037 020
Coût d'utilisation de la méthode d'atténuation naturelle (échantillonnage) (en \$ É.-U.)	151 541	149 886	594 330	594 330
Durée des opérations et de la maintenance	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
Coût de conception du projet de remédiation (en \$ É.-U.)	10 000	11 095	59 020	90 886

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	204 689	228 461	1 210 072	1 722 236
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ²)	16,85	18,80	4,98	7,09
Technique de décontamination de sols : Lessivage des sols				
Sous-total des coûts (en \$ É.-U.)	34 844	57 612	91 278	134 266
Coût de conception (en \$ É.-U.)	10 000	10 000	10 953	14 769
Coût total des travaux (en \$ É.-U.)	44 844	67 612	102 231	149 035
Volume traité (en m ³)	1 061,3	1 061,3	4 243,5	4 243,5
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	42,26	63,71	24,09	35,12
Technique de décontamination de sols : Bioventing				
Volume contaminé (en m ³)	63,08	63,08	1 266,92	1 266,92
Coût du traitement par bioventing, marge incluse (en \$ É.-U.)	16 547	18 919	41 044	76 171
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	40 237	40 237	53 954	53 954
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	2	2	5	5
Coût de conception du projet de remédiation (en \$ É.-U.)	2 317	2 649	5 336	9 141
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	59 101	61 805	100 334	139 266

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	937	980	79	110
Technique de décontamination de sols : Extraction des contaminants volatils du sol				
Sol contaminé (en m ³)	64	64	382	382
Durée (en années)	2	2	2	2
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	51 689	62 094	78 404	180 087
Coût de conception du projet de remédiation (10 % ou 10 000 \$ É.-U.)	10 000	10 000	10 000	17 125
Coût du traitement par extraction des contaminants volatils du sol, marge incluse (en \$ É.-U.)	18 606	21 442	64 585	171 253
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	80 295	93 536	152 989	368 465
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	1 275	1 485	405	975
Technique de décontamination de sols : Solidification/stabilisation				
Type de déchets	Solides	Boues	Solides	Boues
Quantité de déchets (en m ³)	764,6	764,6	38 230	38 230
Temps par lot (en minutes)	20	20	20	20
Volume de déchets éliminés (en m ³)	971,0	1 022,3	48 542,2	51 117,3

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Proportion ciment - déchets	0,15 : 1	0,40 : 1	0,15 : 1	0,40 : 1
Proportion eau - ciment	0,40 : 1	s.o.	0,40 : 1	s.o.
Proportion produits chimiques brevetés - déchets	0,01 : 1	0,01 : 1	0,01 : 1	0,01 : 1
Coût de solidification/stabilisation, marge incluse (en \$ É.-U.)	149 546	171 663	4 280 064	6 555 059
Coût de conception du projet de remédiation - détaillé sur site (en \$ É.-U.)	16 450	18 883	342 405	458 854
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	165 996	190 546	4 622 469	7 013 913
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	216	248	124	190
Technique de décontamination de sols : Traitement thermique				
Volume de sols contaminés (en m ³)	4 245	4 245	12 735	12 735
Sous-total des coûts (en \$ É.-U.)	257 050	310 305	441 586	574 864
Pourcentage de conception	10	10	10	11
Coût de conception (en \$ É.-U.)	25 705	31 031	44 159	51 738
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	282 755	341 336	485 745	626 602
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	66,70	81,09	37,93	49,70

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Technique de décontamination de sols : Extraction chimique				
Quantité de matières (en m ³)	760	760	38 000	38 000
Durée du traitement (en mois)	1	1	12	23
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
Coût du traitement par extraction chimique, marge incluse (en \$ É.-U.)	1 093 102	1 186 027	12 363 101	12 480 085
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
Coût de conception du projet de remédiation (10 % ou 10 000 \$ É.-U.)	109 310	118 603	1 236 310	1 248 009
Coût total majoré (en \$ É.-U.)	1 202 412	1 304 630	13 599 411	13 728 094
Technique de décontamination de sols : Incinération				
Volume total de déchets (en m ³)	11 469,00	11 469,00	76 460,00	76 460,00
Teneur en humidité (%)	20	55	20	55
Teneur en cendres (%)	78	40	78	40
Distance de mobilisation (en km)	80	80	80	80
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.

TABLEAU 2. ESTIMATIONS DES COÛTS DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉCONTAMINATION D'EAUX SOUTERRAINES ET DE SOLS (suite)

	Site de petite taille		Site de grande taille	
	facile	difficile	facile	difficile
Coût de conception du projet de remédiation (3 %, en \$ É.-U.)	347 647	511 396	2 024 029	3 096 904
Coût d'incinération, marge incluse (en \$ É.-U.)	11 588 242	17 046 523	67 467 651	103 230 123
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	11 935 889	17 557 919	69 491 680	106 327 027
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	1 047	1 540	914	1 399
Technique de décontamination de sols : Phytoremédiation				
Volume contaminé (en m ³)	382,3	382,3	7 646	7 646
Coût du traitement par phytoremédiation, marge incluse (en \$ É.-U.)	26 181	26 181	272 226	272 226
Coût d'utilisation de la méthode d'atténuation naturelle (échantillonnage) (en \$ É.-U.)	176 367	770 691	770 720	3 079 798
Coût d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	29 590	83 255	39 191	297-578
Durée des opérations et de la maintenance (en années)	5	20	5	20
Coût de conception du projet de remédiation (en \$ É.-U.)	7 344	7 554	39 709	41 888
Coût total, marge incluse (en \$ É.-U.)	239 482	887 681	1 121 846	3 691 490
Coût unitaire (en \$ É.-U./m ³)	626	2322	147	483

Note : Tous les coûts sont exprimés en dollars des États-Unis (\$ É.-U.) (valeur 2007), s.o. = sans objet

b) Élaboration d'un plan d'estimation des coûts

Pour être de bonne qualité, l'estimation des coûts exige une préparation rigoureuse. Il faut notamment avoir accès à des documents détaillés et à des données antérieures, faire appel à des analystes de coûts hautement qualifiés et expérimentés, prévoir une analyse des risques et incertitudes, fixer plusieurs niveaux de confiance, et constituer des réserves suffisantes pour les dépenses imprévues et les frais de gestion. Les estimations de coûts sont bien souvent établies en parfaite connaissance de la solution technique qui sera retenue en définitive. Aussi l'équipe chargée de procéder à une telle estimation doit-elle gérer une grande part de risque, surtout lorsqu'il s'agit de programmes particulièrement complexes ou à la pointe de la technologie. Afin de lever les incertitudes et de faire face à la complexité que peut présenter un projet, les spécialistes des évaluations de coûts préconisent fortement d'établir d'entrée de jeu un plan d'estimation des coûts. Ce plan fixe les rôles, les responsabilités, le périmètre du projet et les hypothèses de départ à prendre en considération dans l'estimation des coûts, ainsi que les exigences à respecter pour la constitution du dossier, le contrôle de qualité et la gestion des données. On trouvera à l'appendice II un exemple de plan d'estimation des coûts. L'appendice III donne un exemple de ventilation des coûts pour une solution de traitement sur site faisant appel, pour décontaminer les sols et les eaux souterraines de la zone source, à la technique combinant injection d'air/bullage et extraction des contaminants volatils du sol.

Il arrive parfois que le budget affecté au projet ne soit pas suffisant pour constituer dans son intégralité l'équipe de projet dont il est question dans l'appendice II. Les responsables de projets peuvent utiliser des données de coûts antérieures pour mieux cerner l'estimation et tenir compte des incertitudes qui entourent la conceptualisation du processus de remédiation. Des outils paramétriques permettent ainsi de

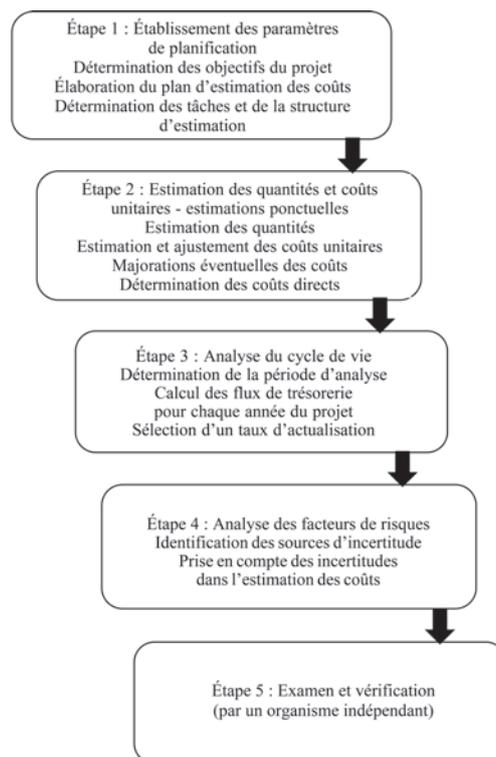


FIG. 8. Étapes du processus d'estimation des coûts pour l'option de remédiation sélectionnée.

préparer une estimation de coûts détaillée en présupposant du choix des techniques et en y associant ensuite des informations minimales concernant le site ou le projet. Pourront ainsi figurer parmi ces données :

- la profondeur à laquelle se situent les eaux souterraines (donnée importante pour la construction des puits) ;
- le nombre et les types de puits à creuser (donnée importante pour l'observation des eaux souterraines) ;
- le nombre d'échantillons de sol à prélever (donnée importante pour la caractérisation du site) ;
- le matériel nécessaire au prolongement analytique (donnée importante pour déterminer la nature de la contamination du site) ;
- la masse volumétrique de contamination dans la zone vadose (donnée importante pour les systèmes d'extraction des contaminants volatils du sol) ;
- le volume d'eaux souterraines contaminées et le débit escompté d'un puits d'extraction de ces eaux (donnée importante pour un système de pompage et de traitement des eaux souterraines) ;
- la durée des opérations (donnée importante pour le calcul des coûts opérationnels sur le long terme) ;
- la distance entre les centres logistiques (donnée importante pour le calcul des coûts de main-d'œuvre et de transport du matériel).

Le système expert s'appuiera ensuite sur un modèle d'estimation des coûts antérieurs dans lequel il aura intégré les informations propres au projet pour calculer les coûts des besoins spécifiques en termes de personnel, de matériel et d'équipements, de matériaux et d'opérations et maintenance, à partir d'une base de données contenant les prix unitaires y afférents (en valeur actualisée). Le logiciel RACER, par exemple, fournit, outre un récapitulatif des coûts tels que les coûts d'investissement, les coûts d'opérations et de maintenance et les coûts de contrôle à long terme, un fichier indiquant, sous forme de « combinaisons RACER », les prix unitaires, les conditions requises et les coûts correspondants. Les informations qui figurent dans ces combinaisons peuvent servir de source pour l'établissement du plan d'estimation des coûts et pallier ainsi les connaissances qui feraient défaut à l'équipe de projet et que celle-ci ne pourrait se procurer par d'autres moyens.

c) Tâches à effectuer et structure d'estimation

Le moment venu, il conviendra de prendre tous les éléments du projet un par un, jusqu'au plus petit, pour établir une estimation précise des coûts. La première étape consistera ici à répertorier les principales tâches. Pour les activités qui devront être menées sur le terrain, ces tâches pourront recouvrir plus largement, par exemple :

- le prélèvement et l'analyse d'échantillons ;
- le contrôle des installations de pompage ;
- l'excavation des sols contaminés ;
- l'enlèvement des sources de déchets sur site (fûts, par ex.) ;
- l'installation de système de traitement sur site.

L'un des moyens les plus couramment utilisés pour établir une estimation de coûts est d'élaborer la structure de répartition de ces derniers (voir aussi l'appendice IV). Chaque tâche est ensuite décomposée, élément par élément. Pour la phase de caractérisation du site, il faudra notamment indiquer (sans que cette liste soit limitative) :

- le type et la quantité de matériaux à acheter ;
- le nombre d'experts et de techniciens nécessaire, en précisant le nombre d'heures à effectuer (avec le coût horaire), ainsi que les frais de voyage et indemnités de séjour à verser ;
- les milieux environnementaux sur lesquels porteront les investigations ;

- le nombre d'analyses à réaliser pour chacun de ces milieux, y compris le prolongement analytique, les besoins en termes de qualité des données et les délais requis pour leur exécution ;
- les volumes de déchets qui seront générés et leur gestion, en ce compris leur stockage définitif ;
- la mobilisation et la démobilisation du matériel et des équipements de terrain (matériel de forage ou laboratoire mobile, par ex.).

Pour les projets de remédiation, il pourra notamment être fait mention dans les éléments de coûts :

- de tous les postes indiqués pour les projets d'investigation ;
- de la superficie et du volume de milieux environnementaux contaminés ;
- du mode de transport et de la distance à couvrir pour expédier les déchets résiduels vers une installation de traitement ou de stockage définitif ;
- du coût de stabilisation/traitement sur site ;
- de la durée des opérations et de la maintenance ;
- de la durée de contrôle et de gestion sur le long terme.

Chaque activité de terrain nécessitera une série de tâches de planification et d'analyse qui devront être effectuées dans les bureaux, à savoir notamment :

- la révision des données, cartes et rapports existants ;
- l'élaboration de systèmes d'évaluation des performances et de programmes de protection médicale, de sécurité et d'assurance qualité ;
- la passation de marchés avec des entreprises de terrain et des laboratoires, et ce du simple contact téléphonique jusqu'à l'établissement de commandes, à la définition de normes de conception et au lancement de dossiers d'appel d'offres ;
- l'acquisition et/ou la maintenance de matériel et d'équipement pour le prélèvement d'échantillons sur le terrain et de dispositifs de contrôle de santé et de sécurité ;
- des activités d'analyse de données, en ce compris la cartographie et la modélisation des contaminants, la validation de données et les calculs d'évaluation des risques ;
- la participation à toutes les réunions relatives au projet et aux discussions avec les organismes de régulation ;
- l'établissement de rapports et/ou documents de conception, y compris pour ce qui concerne le volet d'assurance ou contrôle de qualité.

d) Détermination du calendrier d'activités

Il peut être indiqué d'organiser les activités en différentes catégories selon la date à laquelle elles devraient avoir lieu. C'est le cas, par exemple, des activités réalisées au début d'un projet, au moment de sa mise en place initiale et de son lancement, que l'on distinguerait ainsi de celles liées aux opérations et à la maintenance d'une solution fonctionnelle. De même, une distinction pourrait être faite entre les activités périodiques qui devraient être menées dans les dernières années du projet, comme le remplacement de matériel, et celles relevant des deux premières catégories de tâches. Il conviendrait donc de structurer les activités, de façon aussi détaillée que possible, à l'aide des trois catégories suivantes (sur lesquelles nous reviendrons plus loin) :

- Catégorie 1 : les activités initiales, à savoir les tâches liées à la mise en place d'un projet de remédiation. Au nombre de ces activités figurent celles qui ont trait à la conception et à la mise en œuvre initiales de mesures correctives, mais non celles nécessaires aux opérations ou à la maintenance de la solution jusqu'à son extinction. Les coûts d'investissement représentent généralement la part la plus importante des coûts associés à ces activités.

- Catégorie 2 : les activités annuelles, à savoir les tâches postérieures à la réalisation des travaux de mise en place, qui ont trait aux opérations et à la maintenance nécessaires pour veiller à ce que la solution retenue demeure efficace. Les coûts associés à ces activités sont généralement désignés sous le vocable de « coûts d'opérations et de maintenance ».
- Catégorie 3 : les activités périodiques, à savoir les tâches effectuées à intervalles de quelques années (l'évaluation de la solution retenue, tous les cinq ans ; le remplacement du matériel et des équipements, tous les dix à quinze ans, par ex.) ou une seule fois sur toute la durée du projet (la fermeture du site, l'échec de la solution retenue et son remplacement, par ex.). Les coûts associés aux activités de cette nature peuvent être considérés soit comme des coûts d'opérations et de maintenance, soit comme de nouveaux coûts d'investissement.

3.4.4.2. *Étape 2 : Estimation des quantités et coûts unitaires - estimations ponctuelles*

À présent que les activités du projet, de même que leur calendrier, ont été déterminées, il convient d'en estimer, pour chacune d'elles, l'ampleur et le coût unitaire.

a) Estimation des quantités

L'estimation des quantités est liée à la qualité et à la quantité de données issues de la caractérisation du site. Le volume des sols ou des eaux souterraines à décontaminer pour atteindre l'objectif d'assainissement dépendra des données qui ont été recueillies en vue de déterminer la nature et l'ampleur de la contamination. Les calculs de quantités produits à l'appui d'une estimation des coûts doivent être correctement étayés. Les informations sur lesquelles ils reposent peuvent nécessiter une analyse chimique des sols percés ainsi que des diagraphies et dessins à l'échelle permettant de voir l'étendue latérale et verticale de la contamination et de cerner des caractéristiques physiques telles que le poids et la porosité par unité de matière sèche qui influent sur l'estimation de la quantité. Les hypothèses retenues pour estimer les quantités doivent être clairement présentées.

Il faudra ainsi indiquer le nombre de zones à défricher et essoucher, les puits d'observation, le volume des milieux réactionnels et la longueur des canalisations à prévoir. Parmi les activités annuelles figureront notamment le nombre de mois d'opérations, la main-d'œuvre requise pour le système de pompage et les différents prélèvements d'eaux souterraines à effectuer aux fins de surveillance du site.

b) Estimation des coûts unitaires

Les coûts sont affectés à des activités spécifiques (initiales, annuelles ou périodiques), soit en tant que coûts d'investissement, soit en tant que coûts d'opérations et de maintenance. Les données relatives aux coûts unitaires peuvent être tirées de sources diverses et variées :

- guides/références servant à l'estimation des coûts ;
- devis établis par les fournisseurs ou les entreprises ;
- expérience acquise lors de projets similaires ;
- logiciels/bases de données conçus pour l'estimation des coûts (RACER, par ex.).

Les guides ou références tarifaires servant à l'estimation des coûts (catalogues de prix unitaires, par ex.) renseignent les coûts d'un large éventail de travaux, dont ceux liés à l'assainissement du site. Certains de ces guides sont spécialisés dans l'estimation des coûts de projets de remédiation environnementale. Les informations qu'ils renferment sont parfois classées en différentes catégories (matériel et équipements, main-d'œuvre et matériaux) et peuvent inclure ou non la marge de l'entreprise adjudicataire. Généralement, chaque coût est mis en corrélation avec une équipe et du matériel spécialisés, ainsi qu'avec un taux de production donné. Les coûts indiqués sont généralement ceux pratiqués en moyenne au niveau national pour l'année de publication de la référence. Les devis émanant de fournisseurs ou d'entreprises

qui seraient chargés de la réalisation des travaux peuvent avancer des montants qui tiennent davantage compte des spécificités du site que ne le font les guides et références standard. Ils incluent le plus souvent les marges des entreprises (plutôt que d'être classés en différentes catégories telles que la main-d'œuvre, le matériel ou les équipements) et indiquent généralement le coût total. Dans l'absolu, il faudrait solliciter les devis de plusieurs fournisseurs.

Les devis provenant de différentes sources peuvent être ramenés à une moyenne. Il est également possible de prendre pour l'estimation des coûts le devis le plus élevé si l'on soupçonne que les devis reçus ont tendance à (ou semblent) se situer dans la partie inférieure de la fourchette des prix pratiqués par ce secteur. Des informations relatives à la conception des interventions peuvent être obtenues auprès des fournisseurs ou des entreprises. Ces mêmes sources peuvent également donner des informations concernant la capacité opérationnelle, les taux de production, la durée de vie du matériel et des équipements, ou encore la fréquence des entretiens – autant de facteurs qui peuvent influencer sur les coûts d'opérations et de maintenance.

L'expérience acquise dans le cadre de projets similaires, tant au niveau des estimations que des coûts réels, peut constituer, elle aussi, une source de données pour le calcul des coûts. Cela étant, une réflexion technique tenant compte des paramètres propres au site ou à la technique retenue s'impose dès lors que l'on prend comme indicateur les données de coûts tirées d'un autre projet.

Enfin, il peut être fait appel aux bases de données et logiciels d'estimation de coûts. Les outils logiciels existants sont le plus souvent conçus pour permettre de chiffrer le coût de certains facteurs bien précis, ou de l'ensemble des facteurs d'une solution donnée.

c) Ajustement des coûts unitaires

Si elles émanent de sources différentes, les données relatives aux coûts unitaires doivent faire l'objet de quelques ajustements avant de pouvoir être intégrées dans l'estimation des coûts d'un projet. Il faudra ainsi :

- appliquer des facteurs de productivité selon le niveau de protection exigé en termes de santé et de sécurité ;
- appliquer des facteurs de coûts régionaux ;
- ramener les coûts à l'année de référence de l'estimation ;
- ajouter les marges des entreprises.

Il est à noter que, plus le niveau de protection en termes de santé et de sécurité augmente (exigences en matière de contrôles et d'équipements de protection individuels, par ex.), plus la productivité diminue, ce qui, par voie de conséquence, fait grimper les coûts. Il convient donc d'appliquer aux coûts de main-d'œuvre et de matériel les facteurs qui reflètent la baisse de la productivité résultant de niveaux de protection plus élevés en termes de santé et de sécurité. Les coûts unitaires qui proviennent de sources vieilles d'un an ou plus devront être actualisés ou ramenés à l'année de référence, qui est généralement l'année en cours. Les coûts unitaires subissent parfois des variations saisonnières dont il faut tenir compte. De même, il convient d'appliquer les facteurs de coûts régionaux aux coûts unitaires provenant de sources qui s'appuient sur une moyenne nationale (les guides tarifaires standard, par ex.) ou qui ont été établis dans d'autres lieux géographiques (projets similaires, par ex.).

À cela doivent être ajoutées les marges des entreprises, qui peuvent varier selon les coûts d'activité. Ces marges comprendront les frais généraux et le bénéfice du maître d'œuvre et des éventuels sous-traitants. Elles doivent s'appliquer au coût des différentes activités, mais peuvent aussi l'être à l'ensemble des coûts d'activité pour autant que les données de coûts proviennent de la même source pour chacune d'elles. Il faudra ici veiller à éviter de cumuler les marges ou de les appliquer à des coûts dans lesquels les marges ont déjà été intégrées.

La nécessité d'appliquer ou non une marge et les modalités de son application, le cas échéant, seront dictées par la source des données de coûts. Le devis d'un fournisseur ou d'une entreprise pourra fort bien

inclure les frais généraux et le bénéfice, alors qu'un prix unitaire tiré d'un guide standard utilisé à des fins d'estimation des coûts ne les comprendra pas. D'ordinaire, les coûts estimés à partir de catalogues tarifaires sont majorés des frais généraux et du bénéfice. Les frais généraux sont essentiellement de deux ordres :

- 1) ceux liés aux conditions générales (afférents à une tâche donnée ou au bureau de terrain, par ex.) ;
- 2) ceux qui relèvent des frais généraux et administratifs (afférents au siège social, par ex.).

Les frais généraux afférents aux bureaux de terrain englobent les rémunérations du personnel employé dans ces bureaux et des agents chargés de la supervision des travaux sur le terrain, les charges dues au titre des services essentiels et équipements collectifs de distribution et les facilités temporaires, les frais de téléphone et de communication, les autorisations et permis, les frais de déplacement et indemnités de séjour, les équipements de protection individuels, les assurances, les frais liés au contrôle de qualité, les taxes et garanties. Le coût global lié à l'exploitation de l'entreprise relève quant à lui des frais généraux afférents au siège social et au bureau de terrain ; il sera partiellement financé par le projet. Le retour sur investissement que l'entreprise tirera du projet constituera le bénéfice.

d) Majorations des coûts (le cas échéant)

Il peut s'avérer nécessaire de majorer les coûts au titre de l'inflation. Deux types de projets sont ici concernés :

- 1) les projets comportant une seule étape, à réaliser dans un court laps de temps. Relèvent de cette catégorie les projets d'investigation et les travaux de remédiation tels que l'excavation et l'évacuation de sols contaminés (projets terminés une fois tout le site débarrassé des contaminants). Ces activités ne devant pas prendre plus d'un an, il n'y a pas lieu de majorer les coûts de l'un ou plusieurs volets du projet. Le coût du projet tout entier sera ici majoré en fonction du délai qui sépare la date à laquelle il a démarré et celle à laquelle son coût estimatif a été établi ;
- 2) les projets comportant plusieurs étapes ou s'étalant sur une très longue durée. Relèvent de cette catégorie les projets de remédiation dont la réalisation nécessite, de par leurs objectifs, un temps très long (remédiation d'eaux souterraines, par ex.), ainsi que ceux qui exigent un suivi périodique au fil des ans. Il faudra ici majorer de divers facteurs un certain nombre de volets du projet. Lorsqu'il s'agit de postes uniques, tels que des frais de laboratoire, leur coût est généralement valable sur une durée déterminée. Cette durée générale de validité des coûts doit être fixée ; elle sera le plus souvent comprise entre un et six mois.

e) Détermination des coûts directs

Les coûts directs sont ceux qui ont trait à la location et/ou l'achat de matériel et d'équipements, aux rémunérations des experts et des techniciens de terrain, aux déplacements, à la gestion des déchets (y compris leur stockage définitif) et aux analyses.

Les coûts qui concernent le matériel et les équipements couvrent en général :

- l'achat du matériel nécessaire à la planification du projet (cartes, rapports et photos aériennes), des équipements de protection individuelle (chaussures, gants et combinaisons), les matériaux et équipements requis pour les puits (PVC, bentonite et pompes), le matériel d'échantillonnage (écopes, bocal pour échantillons et fluides de décontamination), les instruments de contrôle (pH-mètres, par ex.), les fûts destinés à l'entreposage des déchets et matériaux utilisés pour les travaux (terre de remblais et terre de recouvrement, clôtures et enrochement) ;
- la location de matériel de forage ou d'engins de travaux, notamment – sans que cette liste soit limitative – des engins de forage, des générateurs, des pompes, des bulldozers, des niveleuses et

autres engins de terrassement, des réservoirs pour les essais de puits, du matériel géophysique et des excavatrices. Ces coûts sont le plus souvent indiqués sous la forme de tarifs horaires, journaliers ou hebdomadaires, mais peuvent aussi être combinés avec les coûts à prévoir pour les équipes spécialisées et les opérateurs.

Les coûts afférents au temps de travail des experts et techniciens concernent généralement celui passé par :

- des ingénieurs, géologues et autres experts en vue d'élaborer les plans du projet (plans des travaux, plans de santé et de sécurité, plans d'assurance de qualité), de trouver et d'encadrer des sous-traitants de terrain et du personnel de sous-traitance analytique, de mener et/ou superviser des activités de terrain, de réaliser des analyses de données (cartographie des contaminants, validation de données, évaluation des risques, modélisation informatique, estimation des coûts et analyse des options de remédiation envisageables), de faciliter les relations avec la population locale, de participer aux réunions consacrées à la planification et à l'avancement du projet avec le client et les organismes de réglementation, et de rédiger des rapports. Les coûts directs de main-d'œuvre concernent uniquement les rémunérations versées au personnel, généralement sur la base d'un taux horaire ;
- les techniciens de terrain qui s'occupent du prélèvement des échantillons, de l'installation des puits, des levés géophysiques et de la réalisation des travaux. Ces coûts peuvent être présentés comme des coûts horaires directs, ou être combinés au coût total de location du matériel et des équipements.

Les coûts afférents aux déplacements englobent en règle générale :

- les frais de logement et les indemnités de séjour pour le personnel de terrain ;
- les frais de transport aérien, de location de voiture, et/ou les indemnités kilométriques.

Leur estimation dépend du nombre exact de personnes appelées à travailler sur le terrain, du volume et des types de matériel et équipements à louer, des véhicules et de leur durée d'utilisation sur site.

Les coûts de traitement et/ou de stockage définitif des déchets incluront vraisemblablement le transport des milieux environnementaux contaminés qui devront être évacués à l'extérieur du site, des équipements de protection individuelle contaminés, de l'eau utilisée pour les opérations de purge ou de développement (nettoyage) des puits, des résidus des forages, des fluides de décontamination et des matériaux et déchets (fûts, sols et eaux souterraines contaminés, par ex.).

Le stockage définitif des matériaux (déchets) contaminés s'est révélé à maintes reprises constituer le poste le plus élevé des coûts de remédiation. Il est donc tout indiqué d'établir une estimation raisonnable de ces coûts, mais aussi de voir quelles seraient les solutions qui permettraient de les réduire. L'un des moyens de faire baisser les coûts de stockage définitif consiste à séparer les déchets. Il pourrait ainsi être prévu, dans la conception du suivi de la remédiation, de mettre en place des procédures de prélèvement d'échantillons et de tri au moment de l'excavation des déchets, de façon à séparer ceux qui présentent un caractère dangereux. Le fait de séparer les déchets tout au long de l'exécution d'un projet de remédiation peut être source d'économies non négligeables. Les coûts d'analyse d'échantillons comprennent généralement :

- l'analyse des milieux environnementaux, l'objectif étant de déterminer et délimiter la contamination lors de l'étude du site. Cette analyse pourrait notamment porter sur des échantillons du sol et du sous-sol, d'eaux souterraines, d'eaux de surface, de sédiments, d'air, du biote ou de sources de déchets ;
- l'analyse de déchets, de sols contaminés et de fluides utilisés lors du processus de décontamination, ainsi que de l'eau ayant servi aux opérations de développement des puits de surveillance et autres milieux pour les besoins de la caractérisation des déchets dangereux ;
- l'analyse d'échantillons provenant des parois d'une excavation et/ou de sols situés sous une source de déchets, afin de vérifier que la couche de matériau contaminée a bien été retirée ;

- l'analyse des eaux de surface ou des eaux souterraines dans le cadre des contrôles à long terme mis en place lors ou à la suite du déploiement des mesures correctives ;
- l'analyse des échantillons destinés à déterminer le niveau de fond et à servir à des fins d'assurance/contrôle de qualité ;
- la location ou l'achat d'autre matériel ou d'autres équipements sur site à des fins d'observation, d'échantillonnage et d'essais.

Divers facteurs peuvent influencer sur les coûts d'analyse :

- Nombre d'échantillons : Celui-ci peut être difficile à estimer. Il faut tenir compte, lorsque l'on chiffre un projet, de la diversité des échantillons destinés à déterminer le niveau de fond et à servir à des fins d'assurance/contrôle de qualité – ils représentent en général 10 % de l'ensemble des échantillons prélevés.
- Prolongement analytique : Les coûts peuvent être limités dès lors que le prolongement analytique est limité.
- Données de qualité >< résultats rapides : Le coût des analyses issues de l'examen préliminaire sur le terrain, qui donnent des informations en temps réel sur la présence ou l'absence d'un contaminant, se calcule généralement par échantillon et est bon marché. De nombreux laboratoires mobiles capables de réaliser des analyses complètes en peu de temps proposent bien souvent des tarifs journaliers ou hebdomadaires. Les laboratoires fixes offrent une plus grande précision, mais leurs délais sont plus longs si l'on s'en tient à la grille tarifaire ordinaire ; pour peu que l'on souhaite obtenir les résultats plus rapidement, leurs prix s'élèvent. Le recours à une procédure d'analyse accélérée est possible, mais les tarifs sont alors sensiblement majorés.

En général, les coûts analytiques représentent une part importante du budget alloué à la caractérisation du site et aux projets de remédiation. Ces coûts peuvent être moindres dès lors que l'on diminue le nombre d'échantillons, les gammes d'analyses demandées et l'assurance/contrôle de qualité exigé. La détermination des niveaux de fond revêt une grande importance pour pouvoir apprécier l'ampleur de la contamination. La méthode la plus couramment utilisée pour faire baisser les coûts d'une étude de site consiste à réduire les coûts analytiques. Ces derniers représentent aussi la cause la plus fréquente des dépassements de coûts et de délais, pour peu qu'une étude nécessite des cycles de prélèvements d'échantillons supplémentaires.

f) Calcul des coûts indirects

Si l'on utilise des données de coûts pour le chiffrage d'un projet, il est important de savoir si la source dont elles sont tirées répertorie aussi bien les coûts directs qu'indirects, ou simplement les premiers. Les facteurs de coûts indirects à prendre en considération pour ce qui concerne les entreprises sont les suivants :

- Frais généraux : ils comprennent les coûts que doit supporter l'entreprise pour les espaces de bureaux et autres facilités, l'administration des marchés, le matériel informatique, la gestion, les assurances, le marketing et autres dépenses indispensables à l'exercice de ses activités.
- Administration générale : ces coûts sont liés à l'assistance administrative dont l'entreprise a besoin (comptabilité et passation de marchés, par ex.). Les postes ici couverts sont multiples et variés : taxes, dépréciations, honoraires juridiques et droits d'inscription, dépenses liées à un appel d'offres et à la soumission de propositions. Les coûts en question diffèrent selon chaque entreprise ou organisme.

- Achats et manutention : bien souvent, les entreprises ajoutent une commission au coût direct des articles ou matériaux dont ils ont fait l'acquisition pour des travaux spécifiques.
- Bénéfice.

Lorsqu'un poste de coût provient d'une source de données qui n'inclut que les coûts directs, les coûts indirects doivent faire l'objet d'une estimation et y être ajoutés. Il se peut qu'une source de coûts n'indique pas clairement s'il s'agit de coûts directs ou globaux. Il faut alors faire preuve de discernement et procéder à quelques comparaisons rapides pour savoir quels sont les coûts connus et déterminer par ce biais si un coût répertorié a été ou non inclus dans le montant annoncé. On trouvera aux points g) et h) ci-après des explications complémentaires concernant la différence entre les coûts directs et indirects.

g) Coûts supplémentaires

Les coûts supplémentaires englobent des services techniques et professionnels tels que la gestion et la conception du projet. Ils peuvent être calculés en pourcentage du coût total, ou détaillés selon les activités concernées. On trouvera ci-après quelques exemples de ce que peuvent recouvrir ces coûts :

- Gestion du projet : planification et établissement de rapports, mobilisation des parties prenantes et travail de communication lors de la réalisation des travaux ou pendant la phase d'opérations et de maintenance, gestion des marchés et des offres, obtention de permis (s'ils n'ont pas déjà été fournis par l'entreprise en charge des travaux ou de la phase d'opérations et de maintenance) et services juridiques divers hors surveillance institutionnelle.
- Conception du projet de remédiation : collecte et analyse de données de terrain préalablement à la conception du projet proprement dite, étude technique aux fins de la conception du projet, étude de traitabilité (à l'échelle pilote, par ex.) et éléments divers propres à la phase de conception, tels que l'analyse, les plans, les spécifications, les coûts estimatifs et le calendrier du projet à ses différentes étapes (préliminaire, intermédiaire et finale, par ex.).
- Gestion de la réalisation des travaux : examen des documents soumis, modifications apportées à la conception, observation ou supervision des travaux, études techniques destinées à la réalisation des travaux et à l'élaboration de manuels d'opérations et de maintenance, dossiers de récolement et documents aux fins de contrôle/assurance de la qualité.
- Appui technique : supervision des activités d'opérations et de maintenance, mise à jour des manuels d'opérations et de maintenance, et établissement de rapports sur l'avancement du projet.

h) Prise en compte des avantages financiers tirés de la remédiation et des compensations partielles de ses coûts

Parallèlement à l'estimation des coûts d'un projet de remédiation, il convient de prendre en considération les avantages économiques qui résultent d'une telle opération et qui peuvent contribuer à recouvrer une partie des dépenses y afférentes. Ces avantages, qui ne se limitent pas à ceux énumérés ci-après, peuvent notamment être les suivants :

- utilisation des bâtiments et infrastructures pour mettre sur pied d'autres activités commerciales ;
- récupération de la valeur des métaux (ferraille) ;
- recettes tirées d'activités touristiques sur un site réhabilité ;
- récupération de précieuses ressources grâce au retraitement des déchets (résidus et décharges, par ex.).

Il devra être tenu compte des aspects juridiques et des textes réglementaires en vigueur qui encadrent ces différentes possibilités, afin de ne pas nourrir d'espoirs trop optimistes. Les opportunités précitées devront de surcroît faire l'objet d'une évaluation critique en fonction des spécificités du site.

3.4.4.3. *Étape 3 : Analyse du cycle de vie*

En règle générale, les coûts qu'impliquent les projets de remédiation environnementale interviennent en deux temps : il y a d'abord ceux à engager au moment de leur mise en route (coûts d'investissement initial, par ex.), puis ceux à prévoir dans les années suivantes, qui concernent l'exécution et la maintenance de la solution de remédiation après la période initiale de réalisation des travaux (frais annuels d'opérations et de maintenance et coûts périodiques, par ex.).

L'un des moyens d'évaluer le montant global des dépenses à supporter sur des durées différentes consiste à réaliser des analyses de valeur actualisée. Cette méthode standard permet de comparer plusieurs solutions de remédiation à partir d'une indication du coût de chaque solution envisageable ramenée à un seul montant. Ce montant unique – la « valeur actualisée » – est la somme qu'il faudra réserver initialement (l'année de référence) pour s'assurer que les fonds seront disponibles au fur et à mesure des besoins, dans un environnement économique donné.

a) Détermination de la période d'analyse

La période d'analyse à prendre en considération est essentiellement la période sur laquelle se calcule la valeur actualisée. Elle devrait en général équivaloir à la durée du projet, ce qui permet d'obtenir une estimation du coût du cycle de vie complet que représente le déploiement de la solution de remédiation. La durée du projet débute le plus souvent au moment de la planification, de la conception et de la réalisation de la solution de remédiation envisagée. Elle se poursuit tout au long de la phase d'opérations et de maintenance à court et à long terme, pour s'achever au moment de la clôture du projet, une fois celui-ci mené à bien. Chaque solution de remédiation peut comporter une durée de projet différente.

b) Calcul des flux annuels de trésorerie

L'étape suivante de l'analyse de la valeur actualisée consiste à additionner les flux annuels de trésorerie que requiert le projet. Dans ces flux de trésorerie figureront le coût d'investissement initial associé à la solution de remédiation envisagée, les coûts annuels d'opérations et de maintenance pour ladite solution sur sa durée de vie prévue, ainsi que les coûts périodiques autres que ceux qui n'interviennent qu'à intervalles de plusieurs années. Les recettes provenant de la vente d'actifs pourront également y être intégrées. Dans la plupart des cas, les coûts d'investissement sont engagés, en tout ou en partie, lors de la réalisation des travaux et de la mise en route du projet (c.-à-d. avant le début de la phase d'opérations et de maintenance qui se répètera d'année en année). Bien que la valeur actualisée des coûts périodiques soit peu élevée lorsque l'on approche de la fin du projet (et qu'il ne reste plus que les frais de clôture, par ex.), elle doit les prendre en compte.

Les analyses de coûts partent de l'hypothèse que la durée initiale de mise en place et de démarrage du projet ne dépassera pas un an (l'idée prévaut, en d'autres termes, que les travaux y afférents se dérouleront au cours de l'« année zéro » du projet). Cette hypothèse reposant sur une « année zéro » peut être modifiée si un calendrier préliminaire a déjà été défini et s'il est entendu que les coûts d'investissement relatif à la réalisation des travaux s'étaleront sur plus d'un an.

c) Sélection d'un taux d'actualisation

La sélection d'un taux d'actualisation (similaire à un taux d'intérêt) constitue l'étape suivante. Ce taux sert à tenir compte de la valeur temporelle de l'argent. L'idée sous-jacente est qu'une monnaie a plus de valeur aujourd'hui qu'elle n'en aura demain, étant donné que l'argent que l'on pourrait investir à une autre fin aujourd'hui pourrait dégager un rendement (c.-à-d. produire des intérêts). L'application d'un taux d'actualisation reflètera ainsi la rentabilité des capitaux. Si les capitaux ne sont pas utilisés à une fin spécifique, ils produiront de la valeur s'ils sont employés à d'autres fins. Le taux d'actualisation répercute également l'inflation.

Le choix d'un taux d'actualisation constitue une décision de la plus haute importance, car il affecte directement la valeur actualisée d'un coût estimatif, sur lequel repose ensuite la sélection de la solution retenue pour la remédiation. Plus le taux d'actualisation est élevé, plus basse est la valeur actualisée des futurs flux de trésorerie.

Le choix peut également se porter sur des taux d'actualisation qui diminuent avec le temps, dès lors que l'on craint l'évolution future des taux de croissance. Il est donc possible d'opter pour un taux d'actualisation qui s'amenuise au fil du temps, ce qui atténue le problème de la valeur décroissante des conséquences appelées à se manifester dans un avenir lointain. Cela étant, on peut aussi s'en remettre à la circulaire n° A-94 de l'Office of Management and Budget (OMB) qui recommande, pour l'estimation des coûts de projets, des taux d'actualisation différenciés selon que leur cycle de vie est de 3, 5, 7, 10, 20 ou 30 ans [20]. Il ne faut pas impérativement utiliser le même taux d'actualisation pour l'ensemble des coûts et bénéfiques (économiques et sanitaires, par ex.).

d) Calcul de la valeur nette actualisée

La dernière étape du processus consiste à calculer la valeur nette actualisée (VNA). La VNA d'une solution de remédiation représente la somme des valeurs actualisées de toutes les dépenses futures associées au projet. La valeur actualisée d'un futur paiement correspond au montant qui sera réellement déboursé, actualisé à un taux approprié. Pour un paiement C_t devant intervenir au cours de l'année t et assorti d'un taux d'actualisation de i , la VNA se calcule selon la formule que voici :

$$VNA = \sum_t C_t (1+i)^{-t}$$

L'opérande $(1+i)^{-t}$ peut être considérée ici comme un « facteur d'actualisation ». Cette méthode de calcul de la VNA tient compte de ce que les dépenses totales qui seront engagées au cours d'une année donnée le seront en début d'exercice.

La tableau 3 donne un exemple de calcul de la VNA pour une solution de remédiation où les coûts de réalisation des travaux s'élèvent à 1 800 000 \$ É.-U. l'année zéro, les coûts annuels d'opérations et de maintenance à 50 000 \$ É.-U. sur dix ans, et les coûts périodiques à 10 000 \$ É.-U. la cinquième et la dixième année, auxquels s'ajoutent encore 40 000 \$ É.-U. la dixième année.

Une autre possibilité consiste à créer une feuille de calcul reprenant les flux annuels de trésorerie qui sont prévus pour la durée du projet, et d'appliquer ensuite une formule intégrée dans le logiciel pour obtenir la VNA. Le logiciel Excel de Microsoft peut ainsi déterminer la VNA sur la base des flux annuels de trésorerie prévus pour le cycle de vie d'un projet.

La figure 9 reproduit un tableau sommaire des coûts d'un projet dont le cycle de vie est de 31 ans. Le coût du projet sur 31 ans est de 1 550 123 \$ É.-U. en valeur actuelle. Il représente, en VNA, 938 544 \$ É.-U. Comme indiqué dans la barre de formule, cette valeur est celle qui résulte de l'application de la formule que propose Excel pour calculer la VNA. Dans le cas d'espèce, le calcul prend pour hypothèse de départ un taux d'actualisation de 4,5 %.

3.4.4.4. Étape 4 : Analyse des facteurs de risques

a) Identification des sources d'incertitude

Plusieurs facteurs compliquent l'estimation précise des coûts et contribuent à alimenter les doutes et les risques :

- structure de répartition des tâches (SRT) incomplète ou inexacte ;
- incertitudes d'ordre réglementaire ;
- manque de sources fiables de données de coûts ;

TABLEAU 3. EXEMPLE DE CALCUL DE LA VALEUR ACTUALISÉE D'UNE SOLUTION DE REMÉDIATION

Année	Coûts d'investissement (en \$ É.-U.)	Coûts annuels d'opérations et de maintenance (en \$ É.-U.)	Coûts périodiques annuels (en \$ É.-U.)	Coûts par an (en \$ É.-U.)	Taux d'actualisation fixé à 7%	Coûts en valeur actualisée nette à 7% (en \$ É.-U.)
0	1 800 000	0	0	1 800 000	1,000	1 800 000
1	0	50 000	0	50 000	0,935	46 800
2	0	50 000	0	50 000	0,873	43 700
3	0	50 000	0	50 000	0,816	40 800
4	0	50 000	0	50 000	0,763	38 200
5	0	50 000	10 000	60 000	0,713	42 800
6	0	50 000	0	50 000	0,666	33 300
7	0	50 000	0	50 000	0,623	31 200
8	0	50 000	0	50 000	0,582	29 100
9	0	50 000	0	50 000	0,544	27 200
10	0	50 000	50 000	100 000	0,508	50 800
Total	0	500 000		2 360 000		2 183 900

— retards pris dans la planification et l'exécution du projet.

b) Structure de répartition des tâches (SRT) incomplète ou inexacte

Si l'on veut établir une estimation précise des coûts d'un projet, il est essentiel de s'assurer que sa SRT est exacte, détaillée et totalement définie. Parmi les points fréquemment omis ou mal évalués figurent :

- le temps (sous-estimé) que requièrent l'élaboration et la rédaction des plans de travaux, la participation aux réunions, l'analyse des données et la rédaction de rapports ;
- les données relatives au site, inexactes ou insuffisantes. Une mauvaise appréciation des volumes de déchets, des débits observés dans les mines, ou d'autres caractéristiques propres au site qui influent lourdement sur l'estimation des coûts totaux en sont un exemple ;
- le nombre (insuffisant) d'échantillons destinés à établir le niveau de fond et à servir à des fins d'assurance/contrôle de la qualité ;
- les délais et coûts (sous-estimés) de mobilisation et de démobilisation sur site ;
- les coûts détaillés (non pris en compte) des équipements de protection individuelle, du matériel d'échantillonnage, etc. ;
- les questions de décontamination du site (non prises en compte dans leur intégralité), notamment pour ce qui concerne la réalisation d'un poste de décontamination, le temps de décontamination, ou encore la collecte et le stockage définitif de l'eau de décontamination ;

A	B	C	D	E
			Évolution de la couverture du projet au fil du temps (avec marges)	
Phase	Intitulé de la phase		1 ^{ère} année calendaire 2014	2 ^e année calendaire 2015
Surveillance de 18 puits à une seule reprise (base de référence)			36 624 \$ É.-U.	
Surveillance de 10 puits deux fois par an pendant cinq ans				33 505 \$ É.-U.
Surveillance de 7 puits une fois par an pendant les vingt-neuf années de leur durée de vie			28 214 \$ É.-U.	
Opérations et maintenance des puits d'extraction ; stripper —> Contrôles SNERP et examen périodique quinquennal				1 491 \$ É.-U.
Construction du puits d'extraction ; installation du stripper			116 073 \$ É.-U.	
Coût total			180 911 \$ É.-U.	34 996 \$ É.-U.
Avec marge pour imprévus de 35 %			244 230 \$ É.-U.	47 245 \$ É.-U.
Coût total sur 31 ans		1 550 123 \$ É.-U.		
Coût en valeur actualisée		938 544 \$ É.-U. (61 % du coût total)		

FIG. 9. Feuille de calcul de la valeur nette d'actualisation concernant un projet dont les coûts s'étalent sur 31 ans. SNERP = Système national d'élimination des rejets de polluants.

— tout ce qui est nécessaire à la remise en état d'un site une fois les opérations de remédiation ou d'excavation terminées (non pris en compte).

c) Incertitudes d'ordre réglementaire

Les projets de remédiation environnementale exigent le respect d'un large éventail de règlements nationaux, régionaux et locaux. Les coûts d'un projet peuvent en être affectés à divers titres :

- Délais nécessaires à l'obtention d'approbations et permis : l'établissement d'un permis en bonne et due forme ou de documents relatifs à la gestion du projet demande un certain temps.
- Correction des irrégularités exigée préalablement à l'approbation : il peut s'avérer nécessaire de modifier certaines spécificités du projet et/ou de réaliser des aménagements supplémentaires, pour des questions de conformité.
- Connaissance insuffisante de la réglementation en vigueur : l'incapacité à identifier et régler les problèmes de conformité avant le démarrage du projet a souvent pour effet de retarder sa mise en œuvre et d'en alourdir le coût.
- Définition ambiguë (ou absence) de normes et règlements : sans cadre réglementaire clair, le maître d'œuvre ne pourra jamais savoir si l'objectif recherché en termes d'état final acceptable a été atteint.
- Incompatibilité ou versatilité des compétences des autorités concernées : des organismes de réglementation différents peuvent avoir des approches divergentes sur une même point, ce qui peut conduire à des exigences différentes (voire conflictuelles).
- Manque de compréhension du projet de la part des organismes de réglementation et autres autorités chargées de délivrer les autorisations : faute de bien comprendre les aspects techniques d'un projet,

les organismes de réglementation ont tendance à se montrer prudentes, ce qui peut allonger les délais requis pour mener à bien le projet et finir par occasionner des dépassements de coûts en raison des retards pris dans sa réalisation ainsi que dans la remédiation du site.

d) Manque de sources fiables de données de coûts

De telles carences entravent inévitablement l'estimation des coûts réels d'investissement lors de l'évaluation de chacun des projets ou de la comparaison des différentes solutions techniques susceptibles d'être retenues dans un projet. Une prise en compte insuffisante de l'inflation, des hausses de prix et de la progression des niveaux de rémunération pèsent sur le coût total du projet. Les données de coûts unitaires peuvent être sélectionnées parmi des sources diverses et variées, comme le montre le tableau 4.

Toutes ces données devraient être vérifiées et mises à jour, de manière à refléter les tarifications les plus récentes et à effectuer des extrapolations correctes en termes d'échelle et de temps.

TABLEAU 4. SOURCES DE DONNÉES DE COÛTS UNITAIRES

• Guides/références servant à l'estimation des coûts	→	Les variations régionales et saisonnières doivent être prises en considération.
• Devis établis par des fournisseurs ou des entreprises	→	Il faut s'assurer que les hypothèses sur la base desquelles ont été établis les précédents devis demeurent valables pour le présent projet.
• Expérience acquise lors de projets similaires	→	Les projets doivent être d'une portée et d'une complexité comparables.
• Logiciels/bases de données conçus pour l'estimation des coûts	→	Les bases de données doivent être applicables au projet en question, ce qui suppose une bonne compréhension des types d'activités et d'équipements utilisés, la prise en compte des frais généraux et des coûts de mobilisation/démobilisation, etc.

e) Retards pris dans la planification et l'exécution du projet

Tout retard dans la planification et/ou l'exécution d'un projet contribue à faire planer des incertitudes quant à l'estimation des coûts, et ce essentiellement pour les raisons indiquées ci-après :

- Les attentes des parties prenantes et des organismes de réglementation peuvent évoluer. Un nouvel organisme de réglementation peut demander de revenir sur un consensus qui avait été trouvé précédemment. Il se peut aussi que les préférences locales concernant la solution de remédiation changent.
- Des déchets industriels et/ou ménagers peuvent être déversés sur un ancien site, d'où un volume plus important de déchets ou de milieux contaminés à traiter.
- Des panaches de contaminants qui n'allaient pas, initialement, au-delà d'une zone relativement petite peuvent se disperser avec le temps et amener ainsi à devoir pomper et traiter une plus grande quantité d'eaux souterraines contaminées.
- La planification de nouveaux besoins peut nécessiter une modification ou une réactualisation de la conception du projet.
- Peut-être faudra-t-il reprendre à zéro les procédures de décision, de consultation publique et de délivrance des autorisations.

Tous ces éléments exigent de diligenter les nécessaires étapes de planification, d'octroi des autorisations et d'exécution du projet.

f) Prise en compte des incertitudes dans l'estimation des coûts

Il existe plusieurs moyens de prendre en compte les incertitudes dans une estimation des coûts. Une première possibilité consiste à réaliser, à la fin du processus d'estimation, une analyse de sensibilité quantitative qui se concentrera sur tous les facteurs présentant un degré non négligeable d'incertitude et appelant une modification très limitée de leur valeur, ce qui pourrait avoir des répercussions considérables sur le coût global du projet. Les résultats d'une telle analyse devraient être étayés de manière à pouvoir mieux apprécier l'incertitude associée à l'estimation des coûts du projet.

Autre facteur qui insinue l'incertitude dans l'estimation des coûts d'un projet de remédiation environnementale : les coûts imprévus. Dans une estimation de coût, la notion d'imprévus couvre les inconnues, les circonstances inattendues ou les situations non anticipées qui ne pouvaient être évaluées à partir des données disponibles au moment de l'estimation des coûts. Cela permet de limiter le risque de dépassements de coûts. Dans l'exemple qu'illustre la figure 9, une marge pour imprévus de 35 % a été retenue pour les coûts à prévoir chaque année. Cette marge de 35 % fait passer le coût des mesures correctives de 180 911 \$ É.-U. à 244 230 \$ É.-U. À défaut, une approche probabiliste pourrait être suivie.

En ce qui concerne les estimations de coûts réalisées au tout début du cycle de vie d'un projet, une marge pour imprévus est généralement appliquée sous la forme d'un pourcentage du coût total, plutôt que d'un pourcentage sur différentes activités ou différents postes (bien que ce type d'analyse serait sans aucun doute possible dès lors que les données sont plus nombreuses). La détermination du pourcentage de marge pour imprévus mérite une réflexion technique lorsque l'estimation des coûts intervient à un stade précoce.

Les imprévus sont principalement de deux ordres : ceux liés à la portée du projet et ceux liés à l'offre. Les premiers couvrent les coûts inconnus qui pourraient survenir à la suite de changements apportés au périmètre du projet lors de sa conception. Les seconds couvrent les coûts inconnus résultant des travaux ou de l'exécution du cahier des charges d'un projet donné. Les imprévus liés au périmètre d'un projet concernent les risques associés à l'inachèvement de la conception. Ils représentent des coûts que l'on estime impossibles à prévoir et qui seront connus à mesure que la conception du projet de remédiation avance – ce qui explique qu'ils soient quelquefois qualifiés d'« imprévus de conception ». Ils sont en principe appelés à diminuer en même temps que la conception du projet se précise et à tendre à 0 % lorsque la phase de conception est terminée. Si les imprévus liés au périmètre d'un projet sont peu élevés, cela signifie que les modifications apportées au cahier des charges du projet durant la phase de conception seront vraisemblablement minimales. S'ils sont élevés, cela indique que le cahier des charges du projet sera sensiblement modifié entre la phase de sélection des options et celle de la conception définitive.

3.4.4.5. *Étape 5 : Examen et vérification par un organisme indépendant*

Il importe à ce stade de vérifier les calculs et de s'assurer que les hypothèses retenues sont solidement étayées et que rien ne manque. Diverses questions peuvent ici se poser.

- La solution envisagée a-t-elle été clairement décrite ?
- Les activités initiales, annuelles et périodiques de cette solution, de même que les coûts d'investissement et d'opérations et maintenance y afférents, ont-ils été identifiés ?
- Le volume d'activités a-t-il été estimé avec une marge de sécurité suffisante ?
- Les coûts unitaires des activités ont-ils été estimés avec une marge de sécurité suffisante ?
- Une marge pour imprévus a-t-elle été appliquée au total des coûts afférents aux activités initiales, annuelles et périodiques ?
- D'autres coûts ont-ils été dûment ajoutés ?
- Les principes directeurs relatifs à l'analyse de la VNA ont-ils été respectés ?

- Les incertitudes qui subsistent suffisent-elles à justifier une analyse de sensibilité des facteurs clés ? S'il a été procédé à une analyse de sensibilité, ses résultats ont-ils été clairement présentés pour ce qui concerne la VNA de la solution envisagée ?

Aussitôt la phase d'examen et de vérification terminée, un récapitulatif de l'estimation complète pourra être fourni.

3.4.5. Liste de contrôle des coûts

Les listes de contrôle constituent une aide à l'évaluation des coûts d'investissement et d'opérations et maintenance pour chaque solution de remédiation envisageable. Elles servent également à limiter le risque d'omettre des facteurs de coût importants. Une estimation des coûts sera en règle générale plus « complète » dès lors que l'on peut tenir compte d'un maximum de facteurs de coûts, même si des incertitudes peuvent subsister concernant leur nombre ou leurs coûts unitaires. Les listes de contrôle permettent en outre d'assurer une plus grande cohérence entre les estimations. On trouvera à l'appendice III des exemples de listes de contrôle concernant respectivement les coûts d'investissement, les coûts annuels d'opérations et maintenance et les coûts périodiques. Ces listes se veulent souples et ne suivent, dans leur conception, aucune SRT standard ni système de numérotation. Elles ne prétendent pas à l'exhaustivité, de sorte que les facteurs de coûts qui y sont répertoriés ne sont pas censés valoir pour chacune des solutions de remédiation possibles. Elles doivent au contraire pouvoir servir à déterminer les facteurs de coûts applicables pour qu'ils puissent être ajoutés ou modifiés selon que de besoin.

3.4.6. Recueil de documents à l'appui de l'estimation des coûts

L'équipe de projet se doit de réunir des documents justifiant l'estimation des coûts à mesure qu'ils évoluent au cours du cycle de vie du projet. La façon dont cette estimation devra être étayée et présentée aux parties prenantes dépendra des besoins spécifiques au projet et de la transparence qu'elles escomptent ou exigent. Les listes de contrôle visées ou le récapitulatif du contenu de la SRT peuvent être mis à profit pour étayer l'estimation des coûts. Quelles que soient les modalités suivies pour réunir ces documents, il conviendra de consigner les étapes 1 à 5 illustrées dans la figure 8 et de faire en sorte qu'elles puissent être facilement passées en revue et communiquées aux parties prenantes.

4. FINANCEMENT

4.1. SOURCES DE FINANCEMENT DES PROJETS DE REMÉDIATION ENVIRONNEMENTALE

Les sources de financement des projets de remédiation environnementale sont très diverses et varient en fonction de la taille, du périmètre et de la localisation du projet. Elles incluent, sans que cette liste soit limitative :

- les autorités nationales ;
- les institutions financières internationales ;
- les fonds constitués par des exploitants à des fins de remédiation environnementale ;
- les fonds fiduciaires mis sur pied par des exploitants mais gérés par des fiduciaires indépendants ou des organismes gouvernementaux ;
- les parties responsables.

Les autorités du pays dans lequel est situé le projet de remédiation environnementale a de fortes chances de jouer un rôle majeur dans son financement en qualité de gestionnaire ou de principal contributeur. Les autorités nationales peuvent recourir à de multiples méthodes pour financer des projets environnementaux. Elles peuvent ainsi lever des fonds en instituant des taxes, droits ou redevances sur les activités d'un secteur industriel donné. Certains pays mettent à profit des fonds fiduciaires spécialement créés pour financer des projets de remédiation environnementale. Les pouvoirs publics peuvent par ailleurs imposer des amendes en cas d'infraction à la législation environnementale ou recouvrer des fonds en assignant en justice des exploitants responsables de pratiques portant atteinte à l'environnement. Les polices d'assurance, garanties ou lettres de crédit déposées aux fins de la remédiation d'un site peuvent également servir à financer de tels projets.

Les institutions financières internationales comme la Banque mondiale et les banques régionales de développement constituent d'autres sources de financement, sans oublier les aides provenant de pays étrangers ainsi que les prêts et financements bancaires privés émanant d'ONG ou de particuliers.

Dans la mesure où elles ont pour mission de stimuler le développement et d'améliorer le niveau de vie de différents pays, les institutions financières internationales représentent des sources de financement d'une importance capitale pour de tels projets, surtout lorsque le prêt concédé pour le projet risque fort de n'être pas remboursé dans sa totalité. Avant de déboursier les fonds, ces institutions posent souvent des conditions et règles très strictes pour la mise en œuvre des projets de remédiation environnementale. Il arrive aussi que d'autres sources de financement fassent appel auxdites institutions pour surveiller le décaissement des fonds destinés à un projet donné de remédiation environnementale qu'elles financent conjointement.

L'une des solutions pour trouver le financement initial nécessaire au lancement d'un projet environnemental et aux examens préliminaires qu'il suppose, ainsi que pour obtenir les fonds supplémentaires que requiert la phase technique d'un projet, est de s'adresser à des organisations gouvernementales internationales et à des ONG.

4.2. FINANCEMENT DES COÛTS DE GÉRANCE À LONG TERME

Certains projets de remédiation sont d'une telle ampleur qu'ils nécessitent un contrôle et une gérance à long terme du site. Les activités de remédiation envisagées sur le long terme supposent des moyens financiers suffisants, sous peine d'anéantir tout le bénéfice environnemental qui a pu être acquis en menant à bien le volet principal du projet. Selon le projet, les coûts de gérance à long terme peuvent être importants, surtout si les activités non circonscrites (pompage et traitement de grandes quantités d'eau sur une longue période, par ex.) représentent une lourde dépense. L'entité chargée de superviser le projet de remédiation environnementale devra absolument penser aux sources de financement des coûts de la future gérance dès le début du processus de planification, étant donné que l'accès à des financements à long terme peut influencer sur le choix de la stratégie de remédiation.

Si les institutions financières internationales et les ONG peuvent accepter de s'engager à financer les coûts de gérance sur le long terme, elles se montrent généralement plus méfiantes à l'idée de financer des dépenses non circonscrites qui pourraient s'étaler sur des décennies. Les administrations locales et nationales sur le territoire desquelles le projet est implanté sont donc les entités les plus susceptibles de pouvoir financer les coûts de gérance à long terme.

4.3. CONTRÔLE EXTERNE EXERCÉ PAR LES SOURCES DE FINANCEMENT

Lorsque le financement de projets de remédiation environnementale est assuré par des structures internationales, gouvernementales ou non gouvernementales, il est d'usage qu'elles demandent à exercer un contrôle externe du projet afin de vérifier que leurs fonds servent à la réalisation des objectifs de ces projets et ne sont ni détournés ni gaspillés. Outre le contrôle externe des aspects financiers du projet,

il arrive qu'une source de financement veuille conditionner l'octroi de fonds en faveur du projet de remédiation environnementale à un certain nombre d'obligations supplémentaires. Les projets de ce type qui sont financés par les administrations locales ou nationales sur le territoire desquelles ils sont implantés seront pour la plupart soumis à la supervision et aux contrôles financiers propres à ce pays.

4.4. ÉVALUATION COMPARATIVE DES PROJETS PAR LES SOURCES DE FINANCEMENT

L'évaluation comparative consiste à voir comment le processus et les résultats d'un projet – tant sur le plan qualitatif que quantitatif – se situent par rapport aux meilleures pratiques observées dans le même secteur ou dans des secteurs similaires. S'agissant des projets de remédiation environnementale, l'évaluation comparative porte le plus souvent sur les coûts, les délais et la qualité des travaux exécutés dans le cadre du projet par rapport à d'autres projets similaires (le « groupe témoin ») tels que définis aux fins de l'évaluation. Les créanciers ou autres bailleurs de fonds recourent généralement à l'évaluation comparative dans le but de vérifier que le projet se déroule conformément au plan qui avait été fixé, et comparent ensuite le projet en question à d'autres projets faisant partie du groupe témoin.

Appendice I

OPTIONS POTENTIELLES DE REMÉDIATION

La liste d'options présentée dans le tableau 5 indique les différentes techniques qui pourraient être envisagées pour un projet de remédiation. Ces options sont regroupées selon le type de traitement – chimique, physique, thermique et biologique – et en fonction du milieu à assainir – sols ou eaux souterraines. Les contaminants susceptibles d'être éliminés au moyen d'une technique particulière sont également mentionnés.

TABLEAU 5. OPTIONS POTENTIELLES DE REMÉDIATION

Type de traitement	Technique	Milieu	Contaminant	Caractérisation sommaire
Chimique	Solidification sur site	Sols, boues	Radionucléides, métaux lourds	Visé à réduire la mobilité des contaminants en injectant des liants (ciment, solutions salines sursaturées à précipitation contrôlée, ou polymères organiques ou inorganiques) qui réagissent au contact des contaminants, de l'eau et/ou des sols pour produire un solide faiblement soluble.
	Solidification hors site	Sols, boues	Radionucléides, métaux lourds, (composés organiques)	Un solide faiblement soluble peut être produit à partir d'un sol (ou autre) contaminé en le mélangeant avec un liant réactif (ciment, gypse, polymères organiques ou inorganiques). Cette matière solide peut être stockée sur site ou dans un dépôt désigné à cet effet.
	Traitement chimique hors site	Eaux souterraines	Radionucléides, métaux lourds, (composés organiques)	Il peut être fait appel aux techniques d'échange d'ions, de précipitation, d'osmose inverse, etc. afin de concentrer les contaminants en vue de leur conditionnement ultérieur.
	Barrières réactives	Eaux souterraines	Composés, métaux lourds, radionucléides	Méthode sur site consistant à canaliser l'écoulement naturel ou amélioré des eaux souterraines grâce à une barrière physique contenant des substances chimiques réactives (à des fins d'oxydation ou de précipitation), des catalyseurs métalliques (à des fins de réactions d'oxydoréduction), des bactéries (à des fins de biodégradation) ou des adsorbants.
	Oxydation chimique sur site	Sols, eaux souterraines	Composés organiques (métaux lourds, radionucléides)	L'injection d'ozone (O ₃), de peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) ou de composés chlorés induit une réaction d'oxydoréduction qui a pour effet de convertir chimiquement les contaminants en composés moins toxiques, ce qui permet de réduire leur mobilité à l'intérieur d'un panache de contamination.

TABLEAU 5. OPTIONS POTENTIELLES DE REMÉDIATION (suite)

Type de traitement	Technique	Milieu	Contaminant	Caractérisation sommaire
Physique	Excavation	Sols, boues	Tous types	Les matières contaminées sont retirées du site et transférées vers un dépôt désigné à cet effet. Il arrive qu'elles doivent être conditionnées avant leur évacuation.
	Pompage et traitement	Eaux souterraines	Tous types	Les eaux souterraines sont pompées vers la surface et traitées par diverses méthodes. L'efficacité de cette solution dépend du type et de la concentration de contaminants.
	Systèmes d'entonnoirs et de vannes	Eaux souterraines	Tous types	Les méthodes reposant sur le pompage et traitement et sur les barrières réactives peuvent être améliorées en édifiant des parois imperméables et/ou en canalisant l'écoulement des eaux vers le puits ou la barrière réactive.
	Isolation	Sols	Tous types	Installation de barrières physiques telles que des parois étanches ou des rideaux de palplanches pour empêcher la circulation des contaminants.
	Ségrégation physique	Sols	Radionucléides, métaux lourds	Souvent, les contaminants (y compris les radionucléides) se fixent à des fractions granulométriques dans le sol. Le fractionnement granulométrique par tamisage ou flottation permet ainsi d'obtenir un volume sensiblement plus petit de matières contaminées à traiter.
	Lavage des sols sur site	Sols	Tous types	Procédé consistant à lessiver les matières contaminées sur site. Implique l'injection et l'extraction de solutions acides ou basiques additionnées de surfactants, de chélates, etc., afin de dissoudre, désorber et éliminer les contaminants.
	Lavage des sols hors site	Sols	Tous types	Cette technique hors site utilise des solutions dont le pH est contrôlé, additionnées d'acides ou de bases, de surfactants ou de chélates afin de dissoudre, désorber et éliminer les contaminants. Des solvants organiques peuvent être utilisés pour les contaminants organiques. Un fractionnement granulométrique préalable améliorera l'efficacité des opérations et réduira le volume de matières à traiter.
	Filtration hors site	Eaux souterraines	Radionucléides, métaux lourds	Les eaux souterraines ou de surface contaminées sont acheminées par une colonne de filtration en vue d'ôter les matières solides contaminées en suspension. Les tourteaux de filtrage que produit ce procédé doivent être ensuite traités et éliminés.

TABLEAU 5. OPTIONS POTENTIELLES DE REMÉDIATION (suite)

Type de traitement	Technique	Milieu	Contaminant	Caractérisation sommaire
Thermique	Vitrification	Sols, boues	Radionucléides, métaux lourds	Les matières contaminées sont mélangées avec des composants vitrifiables et des fondants de façon à obtenir des blocs de verre solides ou des produits de type scories.
	Vitrification sur site	Sols, boues	Radionucléides, métaux lourds	Les sols sont vitrifiés sur site afin d'immobiliser les contaminants par application d'une résistance électrique ou procédé de fusion par induction.
Biologique	Biosorption	Eaux de surface et eaux souterraines	Radionucléides, métaux lourds	Certains micro-organismes absorbent des ions métalliques dans les parois de leurs cellules ou à leur surface ; ce processus peut être utilisé pour concentrer les contaminants. Des végétaux peuvent servir de bioréacteurs ou être utilisées dans des stations de phytoépuration (phase organique stationnaire).
	Zones humides construites	Eaux de surface et eaux souterraines	Radionucléides, métaux lourds	Les eaux contaminées sont dirigées vers des « marécages » artificiels, dans lesquels les métaux sont absorbés par les tissus végétaux, qui sont ensuite récoltés et incinérés. Les cendres résiduelles sont stockées définitivement.

Appendice II

EXEMPLE DE PLAN D'ÉTABLISSEMENT D'UNE ESTIMATION DE COÛTS

II.1. EXEMPLE DE PLAN D'ÉTABLISSEMENT D'UNE ESTIMATION DE COÛTS POUR DES ESSAIS DE FIXATION D'URANIUM

II.1.1. But de l'estimation

Le plan qui est ici présenté indique les tâches à effectuer pour obtenir une estimation des coûts à prévoir pour des essais de fixation d'uranium réalisés par infiltration goutte à goutte de solutions de phosphate à partir de la surface du sol et injection dans des puits conduisant à la zone vadose située plus en profondeur. Il a été démontré, lors d'essais antérieurs menés à plus petite échelle sur le site, que les solutions de phosphate diminuaient la solubilité et, partant, la mobilité de l'uranium dans la zone vadose et dans les eaux souterraines. Si les essais prouvent que cette façon de procéder permet effectivement de limiter la production de lixiviats d'uranium, la nécessaire réduction des risques pourrait être obtenue à un coût sensiblement moindre que celui associé aux méthodes classiques de « creusement et enlèvement ».

L'estimation couvrira la conception des essais de fixation d'uranium, les travaux nécessaires à leur mise en place, leur démarrage, les opérations et la maintenance, ainsi qu'un récapitulatif des conclusions y afférentes. L'exactitude de l'estimation et les efforts nécessaires pour parvenir à ce degré d'exactitude seront fonction de la fourchette d'estimation choisie ; la fourchette la plus restrictive, à savoir l'estimation officielle indépendante (*independant government estimate* - IGE) utilisée pour la modification du marché, est celle qui sera la plus exacte. Dans l'absolu, une estimation IGE à des fins d'acquisition relèverait au minimum de la catégorie 2 (contrôle ou offre/soumission), avec une fourchette d'exactitude escomptée allant de -15 % à -5 % et de +5 % à +20 %. Cette catégorie d'estimation suppose cependant que la conception du projet soit déjà à un stade fort avancé. Or, étant donné les délais de modification du marché, la conception du projet n'en sera, dans le meilleur des cas, qu'à un stade très théorique. Par conséquent, cette estimation se rangera plutôt dans la catégorie 4 ou, au mieux, dans la catégorie 3, avec une fourchette d'exactitude qui pourraient être comprise entre -20 % à -15 % et +20 % à +50 %. Sachant qu'il s'agit d'un marché à coûts remboursables, ce degré d'exactitude est jugé acceptable. Le tableau 6 indique en quoi consistent les différentes catégories.

L'établissement et l'approbation de l'estimation correspondront à un niveau C dans l'approche graduée de la réalisation d'une estimation [21]. Ce classement en niveau C repose sur l'analyse que voici :

- Longévité de l'estimation : l'estimation IGE est une opération ponctuelle et la demande de crédits budgétaires ainsi que le rapport sur le cycle de vie interviennent une fois par an, avant qu'il soit procédé à la modification du marché.
- Degré d'importance pour la décision relative à la gestion du projet : l'estimation sera utilisée par la direction des services de l'énergie, qui donnera ou non le feu vert au projet.
- Poids de l'estimation dans le processus de gestion : l'estimation IGE joue un rôle mineur dans le rapport d'analyse des coûts de revient, mais peut servir à des fins de planification et entrer dans les décisions relatives aux différents postes du projet.
- Poids de l'estimation dans le processus budgétaire : l'estimation peut être intégrée dans le budget de l'exercice financier.

Étant donné son utilisation potentielle pour la détermination du budget de l'exercice financier, le niveau C de l'approche graduée s'impose.

TABLEAU 6. CLASSIFICATION GÉNÉRALE DES ESTIMATIONS DE COÛTS ET PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES [21]

Classification des estimations de coûts	Principales caractéristiques	
	Niveau de définition (pourcentage de la définition complète)	Description du mode d'estimation des coûts (techniques)
Catégorie 5 Sélection des concepts	0-2%	Estimation stochastique : forte composante paramétrique, capacité de jugement (paramètres, analogie spécifique, avis d'experts, analyse tendancielle)
Catégorie 4 Étude de faisabilité	1-15%	Estimation multifacteurs : (davantage de paramètres, analogie spécifique, avis d'experts, analyse tendancielle)
Catégorie 3 Stade préliminaire, autorisation budgétaire	10-40%	Estimation multifacteurs : combinaison de plusieurs aspects (examen détaillé, coûts unitaires ou par activité, paramètres, analogie spécifique, avis d'experts, analyse tendancielle)
Catégorie 2 Contrôle ou offre/soumission	30-70%	Estimation multifacteurs : caractère plus définitif (examen détaillé, coûts unitaires ou par activité, avis d'experts, courbe d'apprentissage ^a)
Catégorie 1 Contrôle de l'estimation ou offre/soumission	50-100%	Estimation déterministe : caractère très définitif (examen détaillé, coûts unitaires ou par activité, avis d'experts, courbe d'apprentissage)

^a La « théorie de la courbe d'apprentissage » est tirée d'un constat, à savoir qu'avec l'expérience, les tâches répétitives deviennent plus faciles à accomplir. Lorsqu'une tâche ou une série de travaux donnée se répète sans cesse, les opérations ultérieures exigent moins de temps et d'effort.

II.1.2. Étapes majeures de l'établissement d'une estimation

Les différentes étapes à franchir aux fins de l'estimation supposent le recueil d'un certain nombre de données et la prise de décisions quant à l'approche à suivre, qui devront intervenir avant ou pendant son établissement. Ces activités qui jalonnent la phase critique sont recensées dans le tableau 7, pour chaque stade de l'estimation.

II.1.3. Équipe chargée de l'établissement de l'estimation

Les membres de l'équipe et le matériel dont ils devront disposer se présentent comme suit.

- un estimateur principal des coûts, qui aura pour mission d'établir des estimations pour la conception, la réalisation, les tests de validation et les coûts d'opérations et de maintenance des vases d'expansion des systèmes de pompage et de traitement des eaux ;
- un estimateur assistant, si nécessaire ;
- un expert en la matière qui puisse prendre la direction technique du cahier des charges ;
- l'accord de la direction ;
- des modèles d'estimation et feuilles de calcul de coûts et les données d'étalonnage y afférentes ;

TABLEAU 7. PRINCIPALES ÉTAPES DE L'ÉTABLISSEMENT D'UNE ESTIMATION

Action à réaliser	Date repère
Élaborer et soumettre un plan d'établissement de l'estimation	9 mars
Revoir/approuver le plan d'établissement de l'estimation	12 mars
Obtenir un consensus concernant l'ampleur nécessaire du projet	Fait
Rencontrer les représentants des entreprises	13 mars
Réceptionner les informations demandées aux entreprises	14 mars
Rentrer les devis des fournisseurs et informations sur les tarifs en vigueur	19 mars
Utiliser, selon que de besoin, l'expérience acquise par le Corps du génie de l'armée de terre des États-Unis (<i>US Army Corps of Engineers - USACE</i>) en matière d'estimation des coûts (pour l'électricité, par ex.)	À déterminer
Réaliser des combinaisons au moyen d'un système d'estimation des coûts assisté par micro-ordinateur	23 mars
Obtenir un consensus initial sur les résultats	26 mars
Soumettre officiellement l'estimation à l'examen d'un estimateur chevronné à des fins d'assurance/contrôle de la qualité	27 mars
Revoir l'estimation selon que de besoin RH-3 - Monter, au moyen du système informatique précité, une combinaison concernant les opérations et la maintenance, et produire une estimation tenant compte de leur durée convenue	28 mars
Faire valider l'estimation finale par le directeur chargé des estimations de coûts	29 mars
Revoir le contrat si nécessaire (une fois déterminées les capacités des signataires et les durées de validité des mandats pour l'enregistrement de la décision)	À déterminer

- des connaissances plus pointues dans l'estimation des coûts relatifs aux aspects mécaniques, électriques et civils du projet (au besoin) ;
- un gestionnaire responsable des estimations qui puisse chiffrer, approuver et retracer les révisions apportées au plan d'établissement des coûts et qui se chargera du contrôle de qualité du produit final.

II.1.4. Cahier des charges du projet et récapitulatif du plan d'exécution

Cahier des charges à estimer :

- conception du système d'apport de phosphate ;
- publication des plans et spécifications des travaux à réaliser ;
- réalisation et contrôle des travaux ;
- 57 nouveaux puits d'injection sur une profondeur de 152 cm (zone de 952 cm × 952 cm, puits de 127 cm de diamètre), auxquels s'ajouteront six puits de surveillance plongeant à 190 cm ;

- distribution, collecteur et conduites de transfert ;
- coûts chimiques ;
- coûts d'analyse d'échantillons en laboratoire ;
- coûts d'opérations et de maintenance ;
- démolition et évacuation ;
- rapport de synthèse.

II.1.5. Plan d'acquisition

L'estimation reposera sur l'hypothèse d'une conception et d'une réalisation assurées par des sous-traitants et d'une phase d'opérations et de maintenance assurée par le maître d'œuvre.

II.1.6. Base de calendrier pour l'exécution du projet

La conception et la réalisation de ces travaux sont programmés sur un exercice financier donné – une enveloppe de 280 000 \$ É.-U. étant actuellement affectée dans le plan des travaux de référence à la conception et la réalisation de mesures correctives. L'infiltration débutera au troisième trimestre de l'exercice financier et les essais seront menés tout au long de ce même trimestre. Le calendrier exact sera fonction du financement du projet.

II.1.7. Méthodologie relative à l'établissement de l'estimation des coûts concernant les travaux directs

Les estimations seront, pour l'essentiel, établies par analogie (en présumant que les coûts antérieurs donnent une idée des coûts futurs) et/ou pondérées sur la base du rapport entre la capacité de traitement du débit actuel et du débit futur. Les marchés de travaux de pompage et de traitement récemment passés seront compilés et examinés afin de déterminer les prix unitaires applicables. Des sous-traitants connaissant bien les exigences opérationnelles du site seront consultés et des informations leur seront demandées quant aux coûts estimatifs courants.

Les prix relatifs à la conception des travaux s'élèveront à une somme forfaitaire de 200 000 \$ É.-U., établie sur la base de l'expérience de l'estimateur et des informations communiquées par l'entreprise adjudicataire. (Les schémas et dessins y relatifs ainsi que les spécifications sont en place à plus de 90 %. La technique qu'il est envisagé d'appliquer est quasiment identique à l'infiltration goutte à goutte qu'ils prévoyaient.)

Les coûts relatifs aux produits chimiques et au système d'apport seront établis sur la base des devis courants des fournisseurs, calculés selon les tarifs pratiqués au cours de l'exercice de référence indiqué et majorés à un taux de 2,8 % par exercice financier jusqu'à l'année du projet. Les frais de forage des puits seront estimés à l'aide du modèle d'estimation des coûts élaboré à cet effet. Les coûts d'opérations et de maintenance seront établis sur la base d'applications de phosphates au printemps et à l'automne (au moment où les eaux souterraines sont à leur plus haut et à leur plus bas niveaux, et où leur flux change de direction), de façon à avoir une « durée de contact » maximale pour la réaction du phosphate avec l'uranium. Le reste de l'année, les lignes et réservoirs seront drainés.

Une solution de phosphate dosé à 52 mg/ml (12,3 % de monosodium, 77,4 % de disodium et 10,3 % de tripolyphosphate à raison de 2,43, 15,30 et 2,0454 g/l respectivement) sera appliquée, au rythme de 1 136 litres (300 gallons) par minute en principe. Il devrait être possible de se procurer aisément l'eau de dilution à partir des sources d'eau potable de la ville proche.

Les coûts directs de main-d'œuvre afférents à la gestion du projet et à l'appui technique se situeront dans une fourchette de 11,5 à 14 % du coût total du projet, tel qu'il a été possible de les retracer au vu d'anciens projets comportant des travaux de pompage et de traitement (poste de dépenses de 271 millions de dollars É.-U.). Les coûts d'analyse en laboratoire seront fonction du calendrier d'essais fourni par l'entreprise adjudicataire, majoré du nombre d'années requis.

L'établissement d'un rapport de synthèse concernant l'analyse de la réduction de la production de lixiviats d'uranium devrait se chiffrer à une somme forfaitaire de 500 000 \$ É.-U. selon l'expérience de l'estimateur et les informations communiquées par l'entreprise adjudicataire.

II.1.8. Méthodologie relative à l'estimation des coûts indirects

Les services dispensés sur le site ne devront pas excéder l'estimation IGE, mais seront pris en compte indépendamment du logiciel d'estimation et considérés comme un taux de majoration aux fins du rapport sur le cycle de vie du projet et de la demande de crédits budgétaires présentés au cours de l'exercice sélectionné. Les services tarifés en fonction de leur utilisation, tels que les analyses de laboratoire, seront estimés de manière directe, sur la base de relevés antérieurs.

II.1.9. Année de tarification et majorations dues à des révisions de prix

Il est fort possible que l'année de tarification affiche des prix unitaires différents pour le matériel et les postes sous-traités. Les majorations pour révisions de prix seront appliquées individuellement par le logiciel d'estimation pour chaque matériel ou poste sous-traité de façon à ramener tous les prix afférents à ce même fichier à un niveau commun de tarification. Tous les prix contenus dans les fichiers utilisés par le logiciel d'estimation seront ceux valables pour l'exercice financier concerné.

II.1.10. Logiciel d'estimation

L'estimation sera établie à l'aide du logiciel de deuxième génération du système d'estimation de coûts assisté par micro-ordinateur (MCACES-MII).

II.1.11. Coûts de main-d'œuvre et d'équipement

Généralement, l'estimation officielle indépendante utilisée pour la révision d'un marché reprend les coûts exacts de main-d'œuvre indiqués par l'entreprise dans son offre (c.-à-d. ceux approuvés à ce moment). Dans le cas d'espèce, on ignore cependant à quelle date interviendra la demande de proposition de révision du marché. Par conséquent, l'estimation se fondera sur les coûts pratiqués au cours de l'exercice financier retenu comme année de référence pour le cycle de vie du projet.

II.1.12. Structure de répartition des tâches

Les estimations s'appuieront sur la structure de répartition des tâches des entreprises, qui reflètera les configurations d'unités exploitables les plus couramment retenues dans la région.

II.1.13. Hypothèses de profils de financement

Les documents établis pour l'année de référence du cycle de vie du projet et ceux établis pour l'année sélectionnée comportent des profils de financement conformes à la réglementation en la matière. En soi, les financements ne sont pas plafonnés. Toutes les activités, quelles qu'elles soient, qui sont mentionnées dans l'enregistrement de la décision en instance et qui sont nécessaires à la réalisation des différentes étapes du projet sont censées être financées.

II.1.14. Approche relative à la prise en compte de risques anticipés dans l'estimation des coûts

Une analyse distincte précisant les risques attendus et reposant sur la méthode dite de Monte-Carlo sera établie ; elle n'entre cependant pas dans le cadre du présent plan d'établissement de l'estimation des coûts.

II.1.15. Fichier d'estimation et emplacement des copies de sauvegarde

Dans la mesure où l'estimation pourrait être utilisée à des fins très diverses, les fichiers et les copies de sauvegarde du logiciel MCACES-MII seront archivés comme des fichiers locaux pouvant être utilisés immédiatement.

Appendice III

EXEMPLE D'ESTIMATION DE COÛTS RELATIVE À UNE SOLUTION POSSIBLE DE TRAITEMENT SUR SITE

Le présent appendice donne un exemple, puisé dans le document cité en réf. [10], de coûts afférents à une solution de traitement sur site faisant appel, pour décontaminer les sols et les eaux souterraines de la zone source, à la technique combinant injection d'air/bullage et extraction des contaminants volatils du sol. Cette technique prévoit également l'installation d'un mur de traitement passif le long du bord d'attaque du panache de façon à pouvoir traiter hors site la migration des contaminants dans les eaux souterraines. Les coûts d'investissement interviennent au cours de l'année zéro. Les coûts annuels d'opérations et de maintenance courent de la première et à la quinzième année. Les coûts périodiques reviennent les cinquième, dixième et quinzième années. Les informations qui suivent sont tirées de la partie 4 du document cité en réf. [19].

L'injection d'air/bullage est une technique appliquée sur site consistant à injecter de l'air à travers un aquifère contaminé. L'air injecté traverse l'aquifère horizontalement et verticalement par des canaux qui passent par les colonnes d'injection positionnées dans le sol, et crée ainsi un phénomène de stripage des eaux souterraines qui permet d'éliminer les contaminants par volatilisation. L'air injecté contribue à chasser les contaminants vers le haut (bullage) et à les amener dans la zone non saturée où est généralement installé un système d'extraction de vapeurs qui fonctionne en combinaison avec l'injection d'air afin d'évacuer les contaminants en phase vapeur générée. Cette technique est destinée à être utilisée lorsque les eaux souterraines présentent un débit élevé, de manière à maintenir une plus grande surface de contact entre ces eaux et le sol et à pouvoir « aérer » par injection une masse d'eau plus importante. L'oxygène ainsi additionné aux eaux souterraines contaminées et aux sols de la zone vadose peut également favoriser la biodégradation des contaminants présents sous la nappe aquifère et au-dessus de celle-ci. Le traitement par injection d'air s'étend sur une durée moyenne à longue, pouvant aller jusqu'à quelques années. Les groupes de contaminants ciblés par cette technique sont les composés organiques volatils et les hydrocarbures. Les informations disponibles concernant ce processus sont peu nombreuses. L'air injecté peut être enrichi en méthane afin d'améliorer le co-métabolisme des substances organiques chlorées.

Plusieurs facteurs peuvent limiter l'applicabilité et l'efficacité du processus, notamment :

- la non-uniformité du flux d'air dans la zone saturée, qui peut entraîner des mouvements incontrôlés de vapeurs potentiellement dangereuses ;
- la profondeur à laquelle se situent les contaminants et la structure géologique propre au site ;
- le fait que les puits d'injection d'air ne soient pas adaptés aux conditions particulières du site ;
- l'hétérogénéité des sols, qui peut amener certaines zones à être relativement peu sensibles au traitement.

Les caractéristiques qu'il convient d'établir sont, entre autres, la perméabilité de la zone vadose aux gaz, la profondeur à laquelle se trouvent la nappe phréatique, le débit des eaux souterraines, l'influence radiale du puits d'injection, la perméabilité et l'hétérogénéité de l'aquifère, la présence de couches faiblement perméables, la présence de liquides denses en phase non aqueuse (DNAPL), la profondeur de la contamination, ainsi que la volatilité et la solubilité des contaminants. Il est en outre souvent utile de recueillir des données relatives à la saturation de l'air dans la zone saturée pendant l'injection, à l'aide d'une sonde neutronique.

La technique d'injection d'air/bullage a fait ses preuves sur de nombreux sites, mais n'a été bien documentée que pour quelques-uns d'entre eux. Il a été démontré qu'elle était sensible à d'infimes

différences de perméabilité, d'où un risque de stripage localisé entre les puits d'injection et les puits de surveillance.

Les facteurs majeurs de coûts et l'analyse de ces coûts qui figurent dans les tableaux 8 à 11 ont été établis en 2006 au moyen du logiciel RACER. Les facteurs de coûts sont a) la zone de surface (orientation des contaminants) – facteur principal qui influe directement sur la quantité de points d'injection d'air –, et b) la profondeur à laquelle se trouvent les contaminants – facteur secondaire qui fait gonfler les coûts à mesure que la profondeur s'accroît, puisque cela alourdit les frais de forage.

TABLEAU 8. COÛTS D'INVESTISSEMENT

Actions	Quantité	Unité	Coût unitaire (en \$ É.-U.)	Total (en \$ É.-U.)	Notes
Mobilisation/démobilisation					
Engins et installations nécessaires à la réalisation des travaux	1	Forfait	8 829	8 829	Excavatrices, tractopelles, etc.
Documents soumis / plans de mise en œuvre	1	1	33 761	33 761	Plan d'assurance de qualité propre au projet, petite hydroélectricité, etc.
Installations et équipements temporaires	1	1	49 664	49 664	Clôtures, voies carrossables, panneaux de signalisation, abris de chantier, etc.
Documents soumis après la réalisation des travaux	1	1	14 469	14 469	Rapports établis à l'issue de la réalisation des travaux
Sous-total - 1				106 723	
Surveillance, prélèvement d'échantillons, essais et analyse					
Puits de surveillance - extraction des contaminants volatils du sol (SVE)	7	Pièce	1 577	11 040	Doivent atteindre la profondeur où se situe la nappe aquifère.
Puits de surveillance - mur de traitement - faible profondeur	5	Pièce	2 965	14 826	Un puits peu profond par groupe de cinq puits de surveillance
Puits de surveillance - mur de traitement - grande profondeur	5	Pièce	6 212	31 061	Un puits profond par groupe de cinq puits de surveillance
Essais géotechniques	17	Pièce	230	3 910	Échantillons de sol prélevés à différents intervalles d'observation par le puits de surveillance
Sous-total - 2				60 838	
Travaux de chantier à réaliser sur le site					
Défrichage et essouchement	2	hectare	2 900	5 800	Zone de chantier
Ensemencement / paillage / Engrais	2	hectare	3 570	7 140	Revégétalisation de la zone de chantier
Sous-total - 3				12 940	

TABLEAU 8. COÛTS D'INVESTISSEMENT (suite)

Actions	Quantité	Unité	Coût unitaire (en \$ É.-U.)	Total (en \$ É.-U.)	Notes
Injection d'air / extraction de la vapeur du sol (SVE)					
Mobilisation d'un système SVE	1	Pièce	1 534	1 534	Unité mobile
Imperméabilisation de la surface	9 755	m ²	9	88 200	Revêtement en polyéthylène à basse densité
Puits d'extraction SVE	8	Pièce	3 725	29 803	Puits de 10 cm de diamètre creusés jusqu'à la profondeur de la nappe phréatique
Puits d'injection d'air (AS)	2	Pièce	4 645	9 290	Profondeur des puits = point médian de l'aquifère
Système SVE	1	Pièce	93 510	93 510	Unité mobile (400 Nm ³ /heure)
Souffleur AS	1	Pièce	5 712	5 712	
Conduites SVE	122	m	28,40	3 464	Tuyaux, valves, raccords, etc.
Conduites AS	30,5	m	16,5	503	Tuyaux, valves, raccords, etc.
Branchements électriques	0,3	m	9 898	9 898	
Démarrage et essais	1	Forfait	10 936	10 936	
Sous-total - 4				252 850	
Mur de traitement passif					
Aménagement de tranchées étanches	1 376	m ³	245,25	337 460	Utilisation d'excavatrices/bennes preneuses
Installation de milieux réactionnels	1 376	m ³	1 229	1 691 104	Préparation et injection d'une boue composée de fer et de gomme de guar
Sous-total - 5				2 028 564	
Traitement/stockage définitif hors site					
Transport hors site de particules de sols	25	Pièce	15	375	Transport de fûts vers des sites d'enfouissement de déchets solides

TABLEAU 8. COÛTS D'INVESTISSEMENT (suite)

Actions	Quantité	Unité	Coût unitaire (en \$ É.-U.)	Total (en \$ É.-U.)	Notes
Stockage définitif de particules de sols	25	Pièce	35	875	Frais de stockage définitif des fûts dans des sites d'enfouissement de déchets solides
Évacuation/tests des eaux résiduaires	1 135	1	0,26	300	Frais à payer à la municipalité pour l'eau nécessaire au nettoyage des puits
Sous-total - 6				1 550	
Somme des sous-totaux (1-6)				2 463 464	
Marge pour imprévus sur ce qui précède	25 %			615 866	10 % pour les opérations entrant dans le périmètre du projet + 15 % pour l'offre
Total - I				3 079 330	
Gestion du projet	5 %			153 967	
Plans de conception de la remédiation	8 %			246 346	
Gestion des travaux	6 %			184 760	
Surveillance institutionnelle					
Plan de surveillance institutionnelle	1	Pièce	5 000	5 000	Description des opérations de surveillance / mise en œuvre
Restriction d'utilisation des eaux souterraines	1	Forfait	3 200	3 200	Frais juridiques
Base de données contenant des informations sur le site	1	Forfait	4 800	4 800	Mise en place du système de gestion des données
Total - II				598 073	
Coûts totaux d'investissement = Total (I + II)				3 677 403	

Note : AS – injection d'air ; SVE – extraction de la vapeur du sol.

TABLEAU 9. COÛTS ANNUELS D'OPÉRATIONS ET DE MAINTENANCE (O&M)

Description	Quantité	Unité	Coût unitaire (en \$ É.-U.)	Total (en \$ É.-U.)	Notes
Suivi des performances					
Contrôles des vapeurs extraites du sol (SVE)	96	Pièce	308	29 532	1 échantillon / mois sur 8 puits d'extraction
Contrôles des émissions provenant de l'extraction de la vapeur du sol (SVE)	12	Pièce	308	3 692	1 échantillon / mois - échappement SVE
Mur de traitement - prélèvement d'échantillons des eaux souterraines	4	Trimestre	2 449	9 795	Échantillons prélevés sur 10 puits / trimestre
Mur de traitement - analyses en laboratoire des eaux souterraines	4	Trimestre	5 714	22 856	Analyses de ce qui précède
Sous-total - 1				65 875	
Surveillance du site					
Prélèvements d'échantillons des eaux souterraines	4	Trimestre	1 820	7 280	Échantillons et puits / trimestre Qualité de travail - composés organiques volatils, métaux
Analyses en laboratoire des eaux souterraines	4	Trimestre	5 460	21 839	Analyses de ce qui précède
Sous-total - 2				29 119	
Injection d'air / extraction de la vapeur du sol					
Main-d'œuvre nécessaire pour les opérations	12	Mois	6 120	73 440	136 heures-personne / mois
Main-d'œuvre nécessaire à la maintenance	12	Mois	720	8 640	16 heures-personne / mois
Réparation du matériel et des équipements	1	Forfait	500	500	
Services essentiels et équipements collectifs	12	Mois	1 928	23 134	Électricité et carburant

TABLEAU 9. COÛTS ANNUELS D'OPÉRATIONS ET DE MAINTENANCE (O&M) (suite)

Description	Quantité	Unité	Coût unitaire (en \$ É.-U.)	Total (en \$ É.-U.)	Notes
Sous-total - 3				105 714	
Traitement hors site / évacuation des eaux résiduaire / tests	6 150	Litres	0,26	1 600	Frais à payer à la municipalité pour l'eau de purge et l'eau de séparation
Somme des sous-totaux (1-3)				202 308	
Marge pour imprévis sur ce qui précède	30 %			60 692	10 % pour les opérations entrant dans le périmètre du projet + 20 % pour l'offre
Total - I				263 000	
Gestion du projet	5 %			13 150	
Appui technique	10 %			26 300	
Surveillance institutionnelle - base de données contenant des informations sur le site	1	Forfait	3 600	3 600	Mise à jour et maintenance de la base de données
Total - II				43 050	
Montant total des coûts annuels d'opérations et de maintenance = Total (I+II)				306 050	

Note : SVE – extraction de la vapeur du sol.

TABLEAU 10. COÛTS PÉRIODIQUES

Description	Année	Quantité	Unité	Coût unitaire (en \$ É.-U.)	Total (en \$ É.-U.)	Notes
Rapport d'examen quinquennal	5	1	Pièce	12 000	12 000	Rapport établi à la fin de la cinquième année
Actualisation du plan de surveillance institutionnelle	5	1	Pièce	2 800	2 800	Actualisation du plan
Sous-total - 1					14 800	
Rapport d'examen quinquennal	10	1	Pièce	12 000	12 000	Rapport établi à la fin de la dixième année
Actualisation du plan de surveillance institutionnelle	10	1	Pièce	2 800	2 800	Plan d'actualisation
Sous-total - 2					14 800	
Démobilisation du système d'injection d'air/extraction de la vapeur du sol	15	1	Forfait	21 375	21 375	Enlèvement du matériel et des canalisations
Désaffectation des puits	15	27	Pièce	350	9 450	
Marge pour imprévus sur ce qui précède		25 %			7 706	Pourcentage d'activités prévoyant la réalisation de travaux
Gestion du projet (pourcentage de la somme + imprévus)		5 %			1 927	Pourcentage des travaux + imprévus
Rapport sur les mesures correctives	15	1	Pièce	8 000	8 000	
Sous-total - 3					48 458	
Montant total des coûts périodiques = Somme des sous-totaux (1-3)					78 058	

TABLEAU 11. ANALYSE DE LA VALEUR ACTUELLE

Type de coûts	Année	Coûts totaux (en \$ É.-U.)	Coûts totaux par an (en \$ É.-U.)	Facteur d'actualisation (7%)	Valeur actuelle (en \$ É.-U.)
Coûts d'investissement	0	3 677 404	3 677 404	1,000	3 677 404
Coûts annuels d'opérations et de maintenance	1-15	4 590 765	306 051	9,108	2 787 511
Coûts périodiques	5	14 800	14 800	0,713	10 552
Coûts périodiques	10	14 800	14 800	0,508	7 518
Coûts périodiques	15	48 458	48 458	0,362	17 542
Coût total		8 346 000			
Valeur totale actualisée					6 501 000

Appendice IV

EXEMPLE DE STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES AUX FINS D'ESTIMATION DES COÛTS DE REMÉDIATION ENVIRONNEMENTALE

IV.1. INTRODUCTION

La structure de répartition des tâches (SRT) indique quelles sont les tâches qu'englobe le projet. Elle constitue un outil qui permet de faire savoir aisément quels sont les travaux à réaliser et les processus à prévoir pour leur exécution. Elle sert à établir le calendrier du projet, les moyens nécessaires et les coûts correspondants. Le présent appendice propose divers types de structures de répartition des tâches et en donne un exemple pouvant s'appliquer à la conception d'un projet de remédiation.

Dans un souci de gain de place, la répartition des tâches que contiennent les variantes présentées dans ce modèle ne va pas au-delà du troisième niveau. Dans la réalité, la SRT serait nettement plus détaillée et respecterait la règle des 8 / 80 (la structure étant décomposée en blocs de tâches représentant une somme d'heures de travail à effectuer comprise entre 8 et 80 heures).

IV.2. APERÇU SOUS FORME DE PLAN

L'aperçu sous forme de plan permet de visualiser et de comprendre facilement la SRT. Elle est également fort utile lorsqu'il faut développer la structure : il est aisé d'y apporter des modifications, d'autant que la fonction de numérotation qu'offrent les traitements de textes génère le code SRT automatiquement, à gauche.

1. Système de gestion d'applications

1.1. Lancement

- 1.1.1. Évaluation et formulation de recommandations
- 1.1.2. Établissement du descriptif du projet
- 1.1.3. Soumission du descriptif du projet
- 1.1.4. Examen du descriptif du projet (par son promoteur)
- 1.1.5. Signature/approbation du projet

1.2. Planification

- 1.2.1. Établissement du cahier des charges préliminaire
- 1.2.2. Composition de l'équipe de projet
- 1.2.3. Réunion de lancement à l'intention de l'équipe de projet
- 1.2.4. Élaboration du plan du projet
- 1.2.5. Soumission du plan du projet
- 1.2.6. Réception de l'approbation du plan du projet

1.3. Exécution

- 1.3.1. Réunion de lancement du projet
- 1.3.2. Vérification et validation des exigences posées par les utilisateurs
- 1.3.3. Conception du système
- 1.3.4. Acquisition du matériel/logiciel
- 1.3.5. Installation du système de développement

- 1.3.6. Test
- 1.3.7. Installation du système opérationnel
- 1.3.8. Formation des utilisateurs
- 1.3.9. Mise en service

- 1.4. Contrôle
 - 1.4.1. Tâches de gestion du projet
 - 1.4.2. Réunions relatives à l'avancement du projet
 - 1.4.3. Tâches de gestion des risques
 - 1.4.4. Actualisation du plan de gestion du projet

- 1.5. Clôture du projet
 - 1.5.1. Audit relatif aux marchés passés
 - 1.5.2. Bilan des leçons à retenir
 - 1.5.3. Mise à jour des fichiers/dossiers
 - 1.5.4. Obtention de l'acceptation officielle
 - 1.5.5. Archivage des fichiers/documents

IV.3. STRUCTURE HIÉRARCHIQUE

La structure hiérarchique présentée dans le tableau 12 comporte une colonne qui indique à quel niveau se situent les tâches dans la SRT. L'autonumérotation des tâches par les traitements de textes est plus fastidieuse dans ce format.

IV.4. VUE TABULAIRE

La vue tabulaire présentée dans le tableau 13 donne un aperçu sous forme de tableau bien organisé qui distingue visuellement les différents niveaux de la SRT. Pour ceux qui préfèrent les formats de ce type, ce peut être une bonne solution. La numérotation (attribution des codes) peut être établie automatiquement par le traitement de textes.

IV.5. VUE ARBORESCENTE

La structure arborescente présentée dans la figure 10 est celle qui est la plus prisée pour les SRT. Si elle permet de les visualiser aisément, elle est en revanche plus compliquée à créer si l'on ne dispose pas d'une application spécifique capable de réaliser cette forme d'organigramme. La structure arborescente que montre la figure 10 a été réalisée uniquement à l'aide de Microsoft Word et de l'option graphique SmartArt proposée dans la fonction Insertion du ruban.

TABLEAU 12. EXEMPLE DE STRUCTURE
HIÉRARCHIQUE

Niveau	Code SRT	Intitulé des éléments
1	1.	Système de gestion d'applications
2	1.1.	Lancement
3	1.1.1.	Évaluation et formulation de recommandations
3	1.1.2.	Établissement du descriptif du projet
3	1.1.3.	Soumission du descriptif du projet
3	1.1.4.	Examen du descriptif du projet (par son promoteur)
3	1.1.5.	Signature/approbation du projet
2	1.2.	Planification
3	1.2.1.	Rédaction du cahier des charges préliminaire du projet
3	1.2.2.	Composition de l'équipe de projet
3	1.2.3.	Réunion de lancement à l'intention de l'équipe de projet
3	1.2.4.	Élaboration du plan du projet
3	1.2.5.	Soumission du plan du projet
3	1.2.6.	Réception de l'approbation du plan du projet
2	1.3.	Exécution
3	1.3.1.	Réunion de lancement du projet
3	1.3.2.	Vérification et validation des exigences posées par les utilisateurs
3	1.3.3.	Conception du système
3	1.3.4.	Acquisition du matériel/logiciel
3	1.3.5.	Installation du système de développement
3	1.3.6.	Test
3	1.3.7.	Installation du système opérationnel

TABLEAU 12. EXEMPLE DE STRUCTURE
HIÉRARCHIQUE (suite)

Niveau	Code SRT	Intitulé des éléments
3	1.3.8.	Formation des utilisateurs
3	1.3.9.	Mise en service
2	1.4.	Maîtrise
3	1.4.1.	Tâches de gestion du projet
3	1.4.2.	Réunions relatives à l'avancement du projet
3	1.4.3.	Tâches de gestion des risques
3	1.4.4.	Actualisation du plan de gestion du projet
2	1.5.	Clôture du projet
3	1.5.1.	Audit relatif aux marchés passés
3	1.5.2.	Bilan des leçons à retenir
3	1.5.3.	Mise à jour des fichiers/dossiers
3	1.5.4.	Obtention de l'acceptation officielle
3	1.5.5.	Archivage des fichiers/documents

TABLEAU 13. EXEMPLE DE VUE TABULAIRE

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1. Système de gestion d'applications	1.1. Lancement	1.1.1. Évaluation et formulation de recommandations
		1.1.2. Établissement du descriptif du projet
		1.1.3. Soumission du descriptif du projet
		1.1.4. Examen du descriptif du projet (par son promoteur)
		1.1.5. Signature / approbation du projet
	1.2. Planification	1.2.1. Rédaction du cahier des charges préliminaire du projet
		1.2.2. Composition de l'équipe de projet
		1.2.3. Réunion de lancement à l'intention de l'équipe de projet
		1.2.4. Élaboration du plan du projet
		1.2.5. Soumission du plan du projet
		1.2.6. Réception de l'approbation du plan du projet
	1.3. Exécution	1.3.1. Réunion de lancement du projet
		1.3.2. Vérification et validation des exigences posées par les utilisateurs
		1.3.3. Conception du système
		1.3.4. Acquisition du matériel / logiciel
1.3.5. Installation du système de développement		
1.3.6. Test		
1.3.7. Installation du système opérationnel		
1.3.8. Formation des utilisateurs		
1.3.9. Mise en service		
1.4. Contrôle	1.4.1. Tâches de gestion du projet	
	1.4.2. Réunions relatives à l'avancement du projet	
	1.4.3. Tâches de gestion des risques	
	1.4.4. Actualisation du plan de gestion du projet	
1.5. Clôture du projet	1.5.1. Audit relatif aux marchés passés	
	1.5.2. Bilan des leçons à retenir	
	1.5.3. Mise à jour des fichiers / dossiers	
	1.5.4. Obtention de l'acceptation officielle	
	1.5.5. Archivage des fichiers / documents	

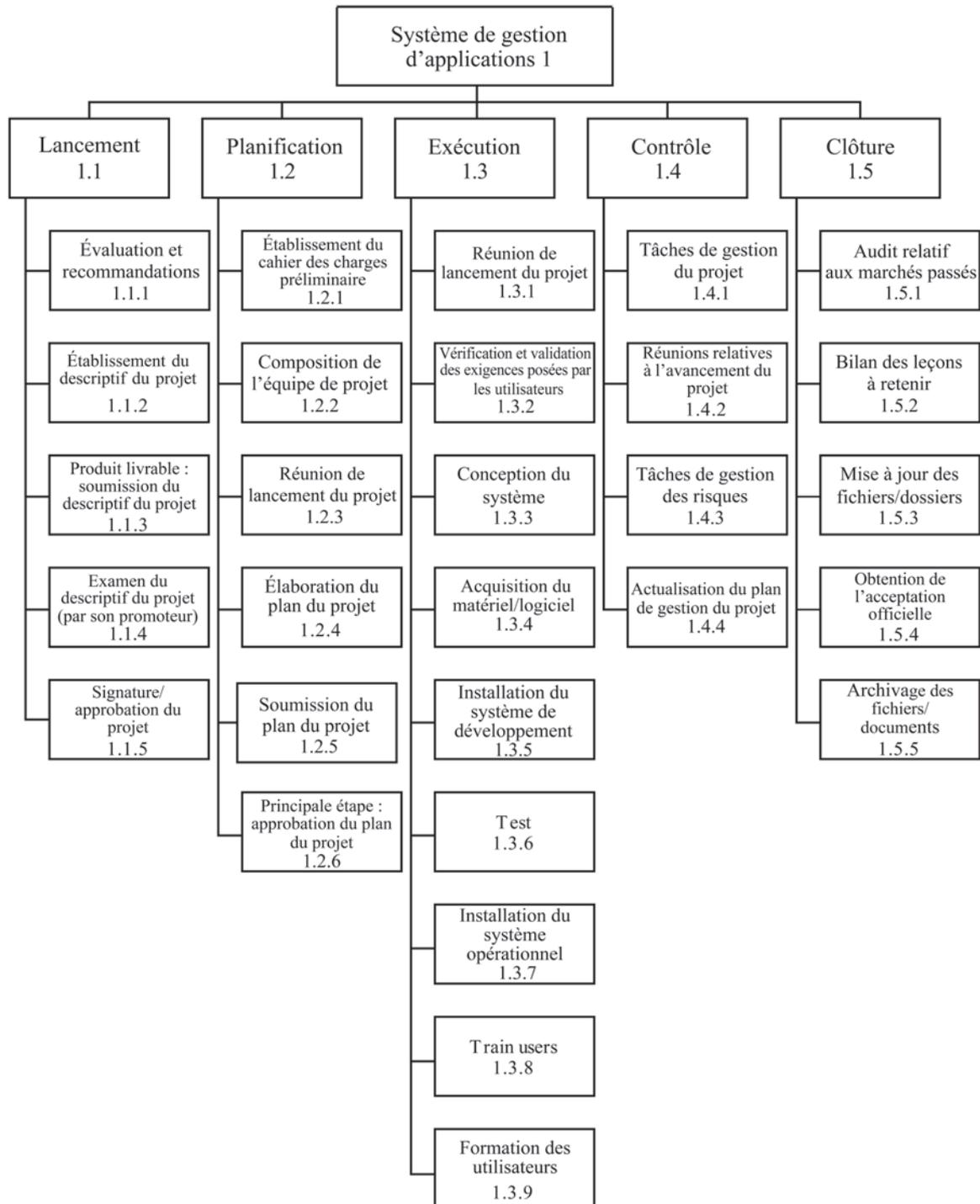


FIG. 10. Vue arborescente.

Appendice V

COÛTS DE LA TECHNIQUE DE REMÉDIATION

Le présent appendice donne un aperçu des coûts propres à certaines techniques de remédiation et des facteurs qui influent sur ces coûts. Les informations ci-après proviennent principalement des tableaux 2 à 7 du document cité en réf. [19] et du document cité en réf. [22]. Il est vivement recommandé au lecteur de prendre le temps d'examiner en détail ces documents de référence, qui permettent d'en savoir plus sur les techniques envisagées, leurs résultats, leurs coûts, et autres. La détermination des coûts propres à telle ou telle technique entre généralement dans le cadre plus large des efforts à mener pour justifier le coût total du projet. Certains coûts techniques spécifiques sont en soi des postes qui forment des sous-ensembles du coût global du projet, obtenus après ventilation des données chiffrées de l'ensemble du projet.

Les postes des coûts d'investissement qui concernent la technique retenue intègrent un grand nombre des frais fixes engagés lors de la mise en place et du démarrage des mesures correctives ; la mobilisation et la démobilisation du matériel et du personnel techniques qu'il faut acheminer, la préparation du site et l'achat du matériel en sont quelques exemples. Les coûts d'opérations et de maintenance comprennent une grande partie des frais courants ou récurrents d'un projet de remédiation, notamment les frais de main-d'œuvre, les matériaux et les services essentiels et équipements collectifs.

Le tableau 14 reprend, à titre d'exemple, les facteurs qui contribuent à la formation des coûts propres à une technique de remédiation donnée. Son format a été établi sur la base du dossier relatif aux coûts d'investissement et aux coûts d'opérations et de maintenance à prévoir pour la mise en œuvre de la technique en question. Ces grandes catégories de coûts ayant été définies, nous passerons au crible, dans le tableau 15, les types de facteurs qui doivent en règle générale être pris en compte, tels que le matériel, équipements et accessoires entrant dans les coûts d'investissement, ou encore la main-d'œuvre, les matériaux et les services essentiels et équipements collectifs relevant des coûts d'opérations et de maintenance.

Les coûts unitaires qui ressortent des calculs servent à comparer les techniques de remédiation et à montrer ce qui les distingue. Ils doivent être exprimés, en règle générale, comme une fraction du coût total que représente l'application d'une technique donnée, divisé par une unité de mesure appropriée. Les coûts unitaires sont hautement tributaires des conditions propres au site et la prudence est de rigueur si l'on souhaite les extrapoler à d'autres sites. Pour que le calcul des coût unitaires soit cohérent, il faut que la base sur laquelle est établi le coût total et celle utilisée pour établir l'unité de mesure soient elles aussi cohérentes. Si l'on veut simplifier le calcul des coûts unitaires d'une technique donnée, il convient de prendre uniquement en compte les coûts d'investissement et les coûts d'opérations et de maintenance. Le coût total d'une application ne doit pas inclure d'autres phases/activités du projet telles que l'évaluation préliminaire ou l'étude du site, l'ER/EF, la conception du projet de remédiation ou encore la surveillance et la gestion à long terme du projet une fois celui-ci terminé. Ainsi qu'il a déjà été indiqué, la base appropriée pour le calcul de l'unité de mesure de chaque application variera en fonction du site, de la technique de remédiation utilisée, des milieux environnementaux traités et des données de performance disponibles.

Les coûts unitaires à prévoir pour la remédiation d'eaux souterraines sont le plus souvent exprimés en coût par milliers de mètres cubes d'eau traitée et en coût par kilo de contaminants éliminés. Lorsqu'ils portent sur des sols, ils sont exprimés en coût par mètre cube de sol traité et en coût par kilo de contaminants éliminés.

Les coûts unitaires doivent être calculés et communiqués pour la technique qu'il est envisagé d'appliquer, et être assortis d'informations suffisantes (c.-à-d. avec une explication précise de leur base de calcul) pour qu'ils puissent faire l'objet d'une comparaison horizontale avec les coûts unitaires d'autres techniques de remédiation auxquelles il serait possible de recourir.

TABLEAU 14. FACTEURS DE COÛT D'UNE TECHNIQUE DE REMÉDIATION [23]

Catégorie de coûts / facteurs de coût	Exemples de postes
Coûts d'investissement propres à la technique retenue	
Mobilisation, mise en place et démobilitation	Sont ici visés le transport (franco à bord) ou la livraison du matériel et des équipements, des installations et du personnel vers et depuis le site, ainsi que le déploiement des installations et des services essentiels et équipements collectifs temporaires nécessaires à la mise en place et au démarrage de la technique de remédiation.
Planification et préparation	Sont ici visés les permis, licences et autorisations, notamment les permis relatifs aux émissions d'air et rejets d'eaux, les redevances associées à l'utilisation d'une technique, les échanges d'ordre administratif, ainsi que divers plans et schémas - plans des travaux, plans d'échantillonnage et d'analyse, plans en matière de santé et de sécurité, plans relatifs aux relations avec la population locale, plans de gestion du site, par exemple.
Travaux de chantier à réaliser sur le site	Sont ici visés tous les travaux nécessaires à l'implantation de l'infrastructure matérielle sur laquelle devront s'appuyer la technique et les opérations qu'il est envisagé d'effectuer pour remettre un site dans l'état qui était le sien préalablement à sa contamination ou pour répondre aux spécifications d'un plan de restauration du site. Sont aussi visés les activités liées à la préparation d'un site donné, telles que le défrichage et l'essouchement, les travaux de terrassement ainsi que l'aménagement de services essentiels et équipements collectifs, de caniveaux, de plateformes de traitement, de fondations et de structures de contrôle des déversements.
Matériel, équipements et accessoires ; structures ; matériel et équipements destinés aux opérations, et accessoires / mise en place ; autres	Sont ici visés les structures et les accessoires ; la mise en place ou l'installation de composants, matériels et équipements propres à la technique de remédiation retenue, notamment les pièces détachées et les fournitures nécessaires au bon fonctionnement de la technique en question et de ses accessoires ; l'achat (amortissement), la location ou la location-acquisition du matériel et des équipements ; les mises à niveau, modifications ou remplacements d'installations. Pour le confinement, il conviendra d'inclure plus largement des structures telles que les parois ou couvercles étanches ; pour les opérations de pompage et de traitement, il faudra prévoir la réalisation et l'installation de puits d'extraction.
Démarrage et essais	Sont ici visées les activités liées à la mise en route de la technique de traitement, telles que la création des conditions requises pour son exploitation, ainsi que l'initiation et la formation du personnel chargé des opérations et de la maintenance.
Autres (en ce compris le matériel et les équipements non liés au processus de remédiation)	Sont ici visés tous les autres coûts d'investissements associés à la technique spécifique qui n'ont pas été répertoriés ci-dessus. En général, cela recouvre les coûts relatifs au matériel et aux équipements sans rapport avec le processus de remédiation, parmi lesquels figurent notamment le matériel et les équipements bureautiques et administratifs tels que le matériel informatique, les équipements de sécurité et les véhicules.

TABLEAU 14. FACTEURS DE COÛT D'UNE TECHNIQUE DE REMÉDIATION [23] (suite)

Catégorie de coûts / facteurs de coût	Exemples de postes
Coûts d'opérations et de maintenance propres à la technique retenue	
Main-d'œuvre	Sont ici visés le personnel nécessaire au fonctionnement et à la maintenance du processus technique ainsi que du matériel et des équipements y afférents, le personnel chargé de son encadrement et leurs rémunérations. Les coûts couvrent le fonctionnement courant ainsi que les activités de maintenance préventive et corrective.
Matériaux	Sont ici visés les consommables, les matériaux nécessaires au processus de remédiation, les produits chimiques en vrac et les matières premières. Les coûts couvrent le fonctionnement courant ainsi que les activités de maintenance préventive et corrective.
Services essentiels et équipements collectifs et carburant	Sont ici visés les approvisionnements énergétiques tels que le carburant, l'électricité, le gaz naturel et l'eau. Les coûts couvrent le fonctionnement courant ainsi que les activités de maintenance préventive et corrective.
Achat, location ou location-acquisition du matériel et des équipements	Sont ici visés l'achat (amortissement), la location ou la location-acquisition du matériel et des équipements nécessaires aux opérations et à la maintenance des composants requis pour la technique de remédiation.
Essais et analyses de performance	Sont ici visés les contrôles, le prélèvement d'échantillons, les essais et les analyses liés à l'évaluation de la performance d'une technique. Ne sont pas prises en compte les activités destinées à démontrer sa conformité au regard des textes réglementaires en vigueur, ni les permis propres à la technique qu'il est envisagé d'appliquer.
Autres (en ce compris le matériel et les équipements non liés au processus de remédiation)	Sont ici visés tous les autres coûts d'opérations et de maintenance associés à la technique spécifique qui n'ont pas été répertoriés ci-dessus. Ces coûts couvrent généralement les frais généraux qui concernent le matériel et les équipements n'entrant pas dans le processus de remédiation, ainsi que les dépenses de santé et de sécurité liées au matériel et aux équipements ainsi qu'aux opérations et à la maintenance propres à la technique en question. Dans les frais généraux concernant le matériel et les équipements n'entrant pas dans le processus de remédiation figurent notamment l'entretien et la réparation du matériel et des équipements bureautiques et administratifs tels que le matériel informatique, les équipements de sécurité et les véhicules. Les dépenses de santé et de sécurité couvrent les frais engagés à ce titre pour les équipements de protection individuelle et le suivi du personnel sur le plan médical et en matière de sécurité.
Autres coûts spécifiques à la technique retenue	
Essais et analyses de conformité	Sont ici visés les contrôles, le prélèvement d'échantillons, les essais et les analyses liés à l'établissement de la conformité au regard des textes réglementaires en vigueur, ainsi qu'aux permis propres à la technique qu'il est envisagé d'appliquer. Ne sont pas prises en compte les activités similaires portant sur le suivi de la performance d'une technique donnée.

TABLEAU 14. FACTEURS DE COÛT D'UNE TECHNIQUE DE REMÉDIATION [23] (suite)

Catégorie de coûts / facteurs de coût	Exemples de postes
Sols, boues et débris, excavation, recueil et contrôle	Sont ici visées les activités associées à l'excavation, à la collecte et au contrôle de sols, boues et débris contaminés avant leur traitement hors site, notamment le transbordement de milieux environnementaux contaminés. Ce facteur de coût recouvre la collecte des fûts contenant ces derniers.
Stockage définitif des résidus	Sont ici visées les activités liées au stockage définitif des résidus de déchets primaires et secondaires provenant de la mise en œuvre de la technique retenue, tels que les sols traités évacués hors du site. Elles recouvrent le stockage définitif des résidus de déchets tant sur site que hors site.
Autres coûts afférents au projet	Sont ici visées toutes les activités associées à la remédiation d'un site contaminé qui ne sont pas directement imputables à une technique particulière, comme la mobilisation et la démobilisation, les travaux de chantier et les activités de remise en état du site. Ces frais peuvent permettre de comparer les coûts de projets de remédiation dans leur ensemble et de comparer les coûts d'une technique particulière par rapport à l'ensemble du projet.

Lors d'une étude réalisée par l'Agence américaine de protection de l'environnement dans le but d'analyser les coûts des diverses techniques de remédiation, les éléments qui ont été pris en considération étaient les suivants [24] :

- identification des projets pour lesquels il existait des données de coûts concernant chaque technique ;
- identification des projets pour lesquels il existait des coûts parfaitement définis concernant chaque technique ;
- réajustement des projets exprimés en coûts totaux des fins de normalisation, au moyen de données de coûts parfaitement définies en termes de dates et de lieux ;
- détermination des coûts unitaires des projets au moyen de données de coût parfaitement définies ;
- réalisation d'une analyse de coûts pour chaque technique.

L'étude a permis de formuler des conclusions générales, exposées ci-après.

Les corrélations entre les coûts unitaires et les quantités traitées ou les masses retirées étaient évidentes pour quatre des techniques examinées. Des économies d'échelle ont été observées pour les quatre techniques dont les coûts unitaires décroissaient à mesure que les quantités traitées augmentaient. Les coûts unitaires plus élevés pour des quantités inférieures ont été justifiés par le poids des coûts fixes (coûts de référence pour les travaux de mise en place et l'installation de la technique envisagée). Les coûts afférents aux différentes techniques envisageables sont propres aux sites et dépendent d'un grand nombre de facteurs. Cette variabilité relativement importante indique que plusieurs facteurs peuvent affecter le coût de la technique qu'il est envisagé d'appliquer, que ces facteurs diffèrent selon la technique retenue et que leur impact est propre au site. D'autres facteurs peuvent également intervenir, à savoir par exemple les propriétés du contaminant présent et les caractéristiques de la matrice traitée, les concentrations de contaminants et la répartition de la contamination sous la surface, le type et les propriétés du sol, ou encore l'hydrogéologie du site, en ce comprises les caractéristiques de l'aquifère. Les techniques de remédiation subissent l'influence de plusieurs facteurs supplémentaires. Au nombre de ceux qui affectent les coûts de toutes les techniques de remédiation figurent les forces du marché telles que l'offre et la demande, le stade de développement de la technique retenue, et les prescriptions réglementaires. Leur

incidence spécifique sur les coûts des projets est difficile à déterminer car elle varie en fonction du lieu et évolue dans le temps.

S'agissant des différentes techniques envisageables pour une bioremédiation, et exception faite du bioventing, aucune corrélation quantitative entre les coûts unitaires et la quantité de sols ou d'eaux souterraines traitées n'a été observée. Les données de coûts relatives aux divers types de projets de bioremédiation (remédiation des sols sur site, remédiation des sols hors site et remédiation des eaux souterraines sur site) ont été limitées. Bien qu'aucune corrélation quantitative n'ait pu être mise en évidence, d'autres facteurs sont susceptibles d'affecter les coûts unitaires associés à la bioremédiation, notamment le type de sols et la composition chimique de l'aquifère, l'hydrogéologie du site, le type et la quantité d'amendements utilisés, ainsi que le type de contamination et son ampleur.

Pour les systèmes de pompage et de traitement d'eaux souterraines, une corrélation entre les coûts unitaires et la quantité d'eaux traitées a été observée, tant en ce qui concerne les coûts d'investissement que les coûts moyens annuels de fonctionnement. Les coûts unitaires d'investissement, qui allaient de 60 à 700 \$ É.-U. pour 3 785 litres par an pour les projets prévoyant de traiter jusqu'à 114 millions de litres d'eaux souterraines par an, ont été ramenés à moins de 20 \$ É.-U. pour 3 785 litres par an pour les projets prévoyant de traiter des volumes d'eau plus importants. Les coûts unitaires moyens de fonctionnement, qui se situaient entre 10 et 120 \$ É.-U. pour 3 785 litres par an pour les projets limités à 76 millions de litres d'eaux souterraines par an, sont tombés sous la barre de 5 \$ É.-U. pour 3 785 litres par an pour les projets prévoyant de traiter des volumes d'eau plus importants.

En ce qui concerne la technique faisant appel à des barrières réactives perméables, il n'a pas été possible de procéder à une analyse quantitative des coûts unitaires par rapport au volume d'eaux traitées, faute de données en la matière. Les coûts d'investissement ont pu être obtenus pour 16 projets reposant sur l'utilisation de barrières réactives perméables et les coûts annuels de fonctionnement pour deux de ces projets. Les études de cas consacrées aux projets de ce type ne précisent cependant ni leur longévité prévisible ni la quantité d'eaux souterraines traitées, ni la masse de contaminants éliminés, et ne contiennent ni les données chiffrées ni les informations nécessaires pour calculer les coûts unitaires. Si aucune corrélation n'a pu être établie pour les projets de ce type, d'autres facteurs sont néanmoins susceptibles d'affecter leurs coûts unitaires, notamment les propriétés des contaminants et l'ampleur de la contamination, le nécessaire contrôle des sources, le contexte hydrogéologique et la géochimie de l'aquifère.

Le tableau 15 présente une vue d'ensemble des techniques utilisées pour la remédiation de milieux environnementaux contaminés par des radionucléides. Les caractéristiques propres au site et aux contaminants peuvent limiter l'applicabilité et l'efficacité de chacune des techniques et de chacun des traitements énumérés dans le tableau. Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que la grille doit toujours être lue en parallèle avec les points du document cités en référence, qui contiennent des informations complémentaires potentiellement utiles pour déterminer quelles sont les techniques qui pourraient être appliquées.

Traitement physique / chimique sur site - Solidification / stabilisation

Les coûts afférents aux procédés faisant appel au forage de puits par mototarières et à un système de têtes d'injecteurs / réactifs varient sensiblement selon le matériel, les équipements ou les réactifs utilisés, leur disponibilité, la taille du projet et la nature chimique des contaminants (types et niveaux de concentration en cas d'applications peu profondes, par exemple). La technique de malaxage des sols / forage par mototarières sur site représente un coût moyen compris entre 50 et 80 \$ É.-U. par mètre cube (40 à 60 \$ É.-U. par verge cube) pour des applications peu profondes et entre 190 et 330 \$ É.-U. par mètre cube (150 à 250 \$ É.-U. par verge cube) pour des applications plus profondes.

La technique de malaxage des sols à faible profondeur permet de traiter 36 à 72 tonnes métriques (40 à 80 tonnes) par heure en moyenne ; le malaxage des sols à de plus grandes profondeurs permet quant à lui de traiter 18 à 45 tonnes métriques (20 à 50 tonnes) par heure.

Le coût d'injection du coulis dépend des conditions propres au site. Les coûts de forage peuvent aller de 50 à 150 \$ É.-U. / 30 cm et ceux relatifs à l'injection de coulis de 50 à 75 \$ É.-U. / 30 cm, hors frais de mobilisation, d'élimination des eaux de nettoyage ou autres dépenses dues au mauvais état du site. Pour la vitrification sur site, les coûts moyens des essais de traitabilité (tous types confondus) sont de l'ordre de 25 000 \$ É.-U., auxquels il faut ajouter les frais d'analyse. Les frais de mobilisation et de démobilisation du matériel et des équipements vont de 200 000 à 300 000 \$ É.-U. tout compris. Les coûts de vitrification proprement dits varient selon les frais d'électricité, le volume d'eau et la profondeur des travaux. Le tarif proposé est de l'ordre de 415 - 472 \$ É.-U. par tonne de sol traité ; d'autres estimations avancent un montant qui avoisine les 350 \$ É.-U. par mètre cube.

Traitement physique / chimique hors site - Solidification / stabilisation

Les informations clés concernant les facteurs de coûts et l'analyse de ces derniers sont fonction du type de déchets et de la taille du système mobile :

— Type de déchets :

- L'humidité présente dans les boues fait grimper les coûts par rapport aux déchets solides.

TABLEAU 15. GRILLE DE SÉLECTION DES TECHNIQUES DE TRAITEMENT - TRAITEMENT DE RADIONUCLEIDES [19]

Technique	Stade de développement	Classification d'utilisation	Applicabilité	Fiabilité	Durée des travaux	Fonction de la technique envisagée
Sols, sédiments et boues						
Traitement physique / chimique sur site						
Solidification / stabilisation	Totalement au point	Limitée	Meilleure	Moyenne	Moyenne	Immobilisation
Traitement physique / chimique hors site						
Solidification / stabilisation	Totalement au point	Limitée	Meilleure	Meilleure	Meilleure	Extraction / immobilisation
Eaux souterraines, eaux de surface et lixiviats						
Traitement physique / chimique hors site (sous réserve de pompage)						
Échange d'ions	Totalement au point	Large	Moyenne	Meilleure	Moyenne	Extraction
Précipitation / coagulation / floculation	Totalement au point	Large	Moyenne	Meilleure	Moyenne	Extraction
Séparation	Totalement au point	Limitée		Moyenne	Meilleure	Extraction
Injection en puits profond	Totalement au point	Limitée	Moyenne	Moyenne	s.o.	Immobilisation

TABLEAU 16. COÛTS DE TRAITEMENT [19]

Paramètres	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
	Site de petite taille		Site de grande taille	
Coût par mètre cube (en \$ É.-U.)	216	248	124	190

- La concentration et le type de contaminants déterminent la quantité de réactifs qu'il faut ajouter aux déchets pour satisfaire aux normes de traitement exigées.
- Taille du système mobile de solidification / stabilisation :
 - La taille du système mobile de solidification / stabilisation doit être appropriée pour pouvoir traiter correctement le volume de déchets débité.

Le tableau 16 indique les coûts de traitement hors site pour quatre scénarios différents.

Échange d'ions

Le coût d'un système classique d'échanges d'ions se situe entre 0,08 et 0,21 \$ É.-U. par 1 000 litres traités [19, point 4.48].

Précipitation / coagulation / floculation

Le tableau 17 donne une estimation des coûts (par unité de mesure commune) à prévoir pour l'application d'une technique de précipitation / coagulation / floculation sur des sites de taille et de complexité variables.

Séparation

Les coûts de filtration oscillent généralement entre 0,36 et 1,20 \$ É.-U. / 1 000 litres traités. Le coût de cryocristallisation ne devrait pas dépasser 8 \$ É.-U. / 1 000 litres pour une installation capable de traiter 150 litres par minute.

Injection en puits profond

Aucune estimation de coûts n'est disponible pour cette technique.

TABLEAU 17. COÛTS ESTIMATIFS AFFÉRENTS À L'UTILISATION D'UNE TECHNIQUE DE PRÉCIPITATION / COAGULATION / FLOCCULATION [19]

Technique appliquée à des eaux souterraines	Précipitation / coagulation / floculation	
	Scénarios A et B Site de petite taille	Scénarios C et D Site de grande taille
Unité		
Volume (1 000 L/a)	40 000	130 000
Coût par 1 000 L/a (en \$ É.-U.)	11	4

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Uranium 2009 : Ressources, production et demande, OCDE/AEN et AIEA, Vienne (2010)
- [2] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, COMMISSION EUROPÉENNE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements : Normes fondamentales internationales de sûreté, n° GSR Part 3 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA, AIEA, Vienne (2016)
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-3.1, IAEA, Vienna (2007)
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Non-Technical Factors Impacting on the Decision Making Processes in Environmental Remediation, IAEA-TECDOC-1279, IAEA, Vienna (2002)
- [5] EUROPEAN COMMISSION, Radiation Protection 115, CARE Final Report, European Commission, Belgium (1999).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation of Sites with Mixed Contamination of Radioactive and Other Hazardous Substances, Technical Reports Series No. 442, IAEA, Vienna (2006)
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1, IAEA, Vienna (2006)
- [8] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies under CERCLA, October, EPA 540/G-89/004, OSWER 9355.3-01, EPA, Washington, DC (1988)
- [9] EGLIN, E.B., STRAUS, S.D., Classifying RI/FS costs under a policy of general liability insurance: Indemnity or defense?, *Fordham Environmental Law Review* 5 2 (2011)
- [10] UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS, A Guide to Developing and Documenting Cost Estimates During the Feasibility Study, EPA 540-R-00-002, OSWER 9355.0-75, EPA, Washington, D.C. (2000)
- [11] INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS, Planning for Integrated Mine Closure: Toolkit, ICMM, London (2008)
- [12] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Title 40: Protection of Environment, Code of Federal Regulations (2018), <https://ecfr.io/>
- [13] BIELE, H., HURST, S., « Long-term aspects of uranium mining remediation », *Uranium in the Environment: Mining Impact and Consequences* (MERKEL, B., HASCH-BERGER, A. (Eds), Springer Verlag, Berlin (2006) 1–9
- [14] MINISTRY OF WATER AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, National Commission for the Control of Nuclear Activities: Safety Norms Regarding the Management of Radioactive Wastes from Mining and Processing Activities of Uranium and Thorium, Norm NMR-02, Official Gazette of Romania, Part I, No. 867 (2002)
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring and Surveillance of Residues from the Mining and Milling of Uranium and Thorium, Safety Reports Series No. 27, IAEA, Vienna (2002)
- [16] AECOM, Overview of the Remedial Action Cost Engineering Requirements (RACER®) Software, AECOM, Denver, CO (2014)
- [17] PRICE-WATERHOUSE COOPERS, LLP, Racer Accreditation Recommendation, prepared for the Department of the Air Force, Civil Engineering Support Agency, Tyndal Air Force Base, 2001
- [18] UNITED STATES AIR FORCE CIVIL ENGINEER CENTER, Final Accreditation Report Version 3.0 for Remedial Action Cost Engineering and Requirements (RACER™), Air Force Civil Engineering Center (AFCEC/CZRX), Lackland AFB, TX (2014)
- [19] VAN DEUREN, J., LLOYD, T., CHHETRY, S., LIOU, R., PECK, J., Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4th ed., US Army Environmental Center, Aberdeen, MD (2002), http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html
- [20] UNITED STATES OFFICE OF MANAGEMENT AND BUDGET, Memorandum for the Heads of Departments and Agencies, 2015 Discount Rates for OMB Circular No. A-94 (January, 2015)
- [21] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, Cost Estimating Guide, DOE G 430.1-1 (1997)

- [22] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Remedial Design/Remedial Action Statement of Work (2017), <https://www.justice.gov/enrd/consent-decree/file/1028736/download>
- [23] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Guide to Documenting and Managing Cost and Performance Information for Remediation Projects, EPA 542-B-98-007 (1998)
- [24] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Remediation Technology Cost Compendium — Year 2000, EPA 542-R-01-009, EPA, Washington, DC (2000)

Annexe I

STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES - LEXIQUE

Le lexique consacré à la structure de répartition des tâches qui figure dans le tableau I-1 explique toutes les particularités d'une SRT qu'il convient de connaître pour mener à bien un projet. Il contient surtout une définition de chaque lot de tâches, qui constitue ainsi ce que l'on pourrait appeler un cahier des charges miniature. Il permettra aux différents intervenants en charge du projet de déterminer le cahier des charges du lot de tâches qui leur a été affecté. Aussi les définitions qu'il comporte devront-elles être clairement rédigées. Les lexiques SRT renferment pour la plupart plus d'informations que l'exemple ci-après ne le montre. Ils indiquent généralement, pour n'en citer que quelques-unes, le degré d'effort nécessaire, les numéros de contrôle des coûts, les affectations de ressources et l'attribution des responsabilités.

TABLEAU I-1. EXEMPLE DE TERMINOLOGIE D'UNE STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES

Niveau	Code SRT	Intitulé des éléments	Définition
1	1	Système de [gestion d'applications]	Le code 1 est l'intitulé du projet. Dans cet exemple, il désigne toutes les tâches à accomplir pour mettre en place un nouveau système de [gestion d'applications].
2	1.1	Lancement	Tâches à exécuter pour démarrer le projet.
3	1.1.1	Évaluation et formulation de recommandations	Un groupe de travail évalue les différentes solutions envisageables et formule des recommandations.
3	1.1.2	Établissement du descriptif du projet	Un responsable de projet définit les paramètres, principes et buts du projet.
3	1.1.3	Soumission du descriptif du projet	Le descriptif du projet est remis à son promoteur.
3	1.1.4	Examen du descriptif du projet (par le promoteur)	Le promoteur examine le descriptif du projet.
3	1.1.5	Signature/approbation du projet	Le promoteur autorise le responsable du projet à passer à la phase de planification.
2	1.2	Planification	Tâches de planification du projet.
3	1.2.1	Établissement du cahier des charges préliminaire	Le responsable du projet décrit les paramètres du projet en des termes qui pourront être revus à mesure que de nouvelles informations seront recueillies.
3	1.2.2	Composition de l'équipe de projet	Le responsable du projet fixe la composition de l'équipe de projet et sollicite la participation de ses membres.

TABLEAU I-1. EXEMPLE DE TERMINOLOGIE D'UNE STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES (suite)

Niveau	Code SRT	Intitulé des éléments	Définition
3	1.2.3	Réunion de lancement à l'intention de l'équipe de projet	L'engagement du processus de planification est officialisé lors d'une réunion de lancement du projet à laquelle sont conviés le responsable du projet, l'équipe de projet et le promoteur du projet (facultatif).
3	1.2.4	Élaboration du plan du projet	L'équipe élabore le plan du projet sous la direction du responsable du projet.
3	1.2.5	Soumission du plan du projet	Le responsable du projet soumet le plan du projet pour approbation.
3	1.2.6	Réception de l'approbation du plan du projet	Le responsable du projet reçoit l'autorisation de mettre le projet en route selon le plan approuvé.
2	1.3	Exécution	Tâches requises pour l'exécution du projet.
3	1.3.1	Réunion de lancement du projet	Le responsable du projet organise une réunion formelle de lancement à laquelle sont conviés l'équipe de projet, les parties prenantes au projet et le promoteur du projet.
3	1.3.2	Vérification et validation des exigences posées par l'utilisateur	Les exigences initialement posées par les utilisateurs sont passées au crible par le responsable et l'équipe de projet, puis validées avec les utilisateurs / parties prenantes. Des éclaircissements peuvent être nécessaires à ce stade.
3	1.3.3	Conception du système	Les experts techniques conçoivent le système.
3	1.3.4	Acquisition du matériel/logiciel	Il est procédé à l'acquisition de tout ce qui est nécessaire à l'exécution du projet en termes de matériel, de logiciel et d'installations.
3	1.3.5	Installation d'une version du système en phase de développement	L'équipe installe une version du système en phase de développement afin de pouvoir tester et personnaliser les interfaces utilisateurs.
3	1.3.6	Test	La version en phase de développement est testée auprès d'un certain nombre d'utilisateurs.
3	1.3.7	Installation du système opérationnel	La version finale du système est installée et configurée.
3	1.3.8	Formation des utilisateurs	Un cours de formation est organisé à l'intention de tous les utilisateurs. Un cours supplémentaire est dispensé au personnel d'encadrement afin de couvrir les fonctions avancées de génération de rapports.
3	1.3.9	Mise en service	Le système est déployé auprès de tous les utilisateurs.
2	1.4	Contrôle	Tâches associées à la vérification du respect des spécifications du projet.
3	1.4.1	Tâches de gestion du projet	Gestion globale requise pour le projet.

TABLEAU I-1. EXEMPLE DE TERMINOLOGIE D'UNE STRUCTURE DE RÉPARTITION DES TÂCHES (suite)

Niveau	Code SRT	Intitulé des éléments	Définition
3	1.4.2	Réunions relatives à l'avancement du projet	Réunions hebdomadaires de l'équipe de projet au cours desquelles chacun est informé de l'avancement du projet, des difficultés rencontrées et des étapes suivantes.
3	1.4.3	Tâches de gestion des risques	Efforts requis pour gérer les risques, comme défini dans le plan de gestion du projet.
3	1.4.4	Actualisation du plan de gestion du projet	Le responsable du projet actualise le plan de gestion du projet pour tenir compte de l'émergence de nouveaux problèmes et de la révision des estimations à mesure que le projet avance.
2	1.5	Clôture du projet	Tâches à exécuter pour finaliser le projet.
3	1.5.1	Audit relatif aux marchés passés	Il est procédé à l'inventaire de la totalité du matériel et des logiciels obtenus pour le projet, afin de s'assurer que tout est pris en compte et figure dans le système de gestion de l'actif.
3	1.5.2	Bilan des leçons à retenir	Le responsable du projet organise, avec l'équipe de projet, une réunion destinée à mettre en avant les enseignements tirés dudit projet et à développer les connaissances et la perception que celui-ci a permis d'acquérir et dont il faudrait tenir compte à l'avenir.
3	1.5.3	Mise à jour des fichiers/dossiers	Tous les fichiers et dossiers sont mis à jour de manière à refléter la réalité et l'état du projet.
3	1.5.4	Obtention de l'acceptation officielle	Le promoteur du projet reconnaît officiellement que le projet est terminé en apposant sa signature sur le document d'acceptation qui figure dans le plan du projet.
3	1.5.5	Archivage des fichiers/ documents	Tous les fichiers et documents relatifs au projet sont officiellement archivés.

Annexe II

LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS D'UN PROJET DE REMÉDIATION

Une « liste de contrôle des coûts estimatifs » a pour but d'aider celles et ceux qui ont pour mission de définir les coûts, de gérer le projet et de le mener à bien, ou qui sont professionnellement concernés par ce projet, d'établir des estimations chiffrées préliminaires et détaillées en prenant en considération toutes les activités de remédiation connexes. Elle vise principalement à vérifier qu'aucun élément du cahier des charges n'a été oublié dans l'estimation finale. La liste de contrôle qui figure dans le tableau II-1 est un outil pratique qui convient pour tous les projets de remédiation. Elle couvre tous les éléments de base nécessaires à l'établissement d'une estimation et veille à la cohérence du produit / des résultats de l'estimation finale.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Services professionnels / techniques nécessaires à la réalisation des travaux		
Gestion du projet	Services d'appui à la réalisation ou à l'installation de mesures correctives non spécifiques à la conception du projet de remédiation ou à la gestion des travaux	<ul style="list-style-type: none">— Planification ;— Relations avec la population locale ;— Gestion de l'offre / du marché ;— Rapports relatifs aux coûts et performances ;— Autorisations ;— Questions juridiques ;— Rapport d'achèvement des travaux.
Conception du projet de remédiation	Services axés sur la conception des mesures correctives, y compris les activités préalables destinées à recueillir les données nécessaires	<ul style="list-style-type: none">— Collecte et analyse des données de terrain.— Enquête préparatoire à la conception.— Étude de traitabilité :<ul style="list-style-type: none">• à l'échelle d'une tranchée ;• à l'échelle pilote ;• en grandeur réelle.— Conception préliminaire / intermédiaire / finale :<ul style="list-style-type: none">• analyse fonctionnelle ;• plans et spécifications ;• estimation du coût des travaux ;• calendrier des travaux.
Gestion des travaux	Services axés sur la gestion de la réalisation ou de l'installation des mesures correctives, à l'exclusion des services similaires fournis dans le cadre des travaux	<ul style="list-style-type: none">— Examen des documents soumis ;— Examen des ordres de modification ;— Modifications apportées à la conception ;— Observation des travaux ;— Étude technique des travaux ;— Suivi du calendrier des travaux ;— Documents aux fins de contrôle / assurance de la qualité ;— Manuel d'opérations et de maintenance ;— Dossiers de récolement.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Surveillance institutionnelle	Mesures non techniques (c.-à-d. d'ordre administratif ou juridique) visant à limiter ou à réduire au maximum les risques potentiels d'exposition humaine aux contaminants ou aux dangers que recèle le site (en d'autres termes, limitation ou restriction de l'accès au site)	<ul style="list-style-type: none"> — Planification ; — Relations avec la population locale ; — Gestion de l'offre / du marché ; — Rapports relatifs aux coûts et performances ; — Autorisations ; — Questions juridiques ; — Rapport d'achèvement des travaux ; — Collecte et analyse des données de terrain ; — Enquête préparatoire à la conception ; — Étude de traitabilité ; — Conception préliminaire / intermédiaire / finale ; — Examen des documents soumis ; — Examen des ordres de modification ; — Modifications apportées à la conception ; — Observation des travaux ; — Étude technique des travaux ; — Suivi du calendrier des travaux ; — Documents aux fins de contrôle / assurance de la qualité ; — Manuel d'opérations et de maintenance ; — Dossiers de récolement.

Activités consacrées à la réalisation des travaux

Mobilisation / démobilisation	Opérations relatives à l'acheminement du matériel, des équipements et du personnel vers le site (mobilisation) et depuis le site (démobilisation) aux fins de la réalisation ou de la mise en place des mesures correctives. Elles comprennent l'installation ou les travaux de réalisation d'unités et de services essentiels et équipements collectifs temporaires et/ou leur démontage. Elles ne comprennent pas la mobilisation et la démobilisation propres à la mise en place ou à l'installation d'une unité de traitement sur site.	<ul style="list-style-type: none"> — Engins de travaux. — Documents soumis / plans de mise en œuvre : <ul style="list-style-type: none"> • plan de surveillance de la qualité de l'air ; • plan de contrôle de la qualité des travaux ; • calendrier des travaux ; • plan de protection environnementale ; • matériaux ; • plan de manutention / transport / évacuation ; • autorisations ; • plan de prélèvement et d'analyse d'échantillons ; • plan de sûreté et de santé du site ; • plan de sécurité du site ; • plan des travaux sur le site ; • plan de prévention de la pollution des eaux pluviales ; • attestations de formation et certificats médicaux.
----------------------------------	---	---

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Surveillance et contrôles, prélèvements d'échantillons, tests et analyses	Prélèvements d'échantillons, tests et analyses sur site ou hors site, gestion des données et assurance / contrôle de la qualité. Ce facteur comprend les contrôles destinés à évaluer les résultats obtenus au moyen de la solution de remédiation et/ou le respect des textes réglementaires.	<ul style="list-style-type: none"> — Installations temporaires : <ul style="list-style-type: none"> • bureaux mobiles ; • installations d'entreposage ; • clôtures de sécurité et panneaux de signalisation ; • voies carrossables et aires de stationnement ; • installations de décontamination. — Services essentiels et équipements collectifs temporaires. — Déplacement temporaire de routes / structures / services essentiels et équipements collectifs. — Documents soumis après la réalisation des travaux : <ul style="list-style-type: none"> • dossiers de récolement ; • manuels d'opérations et de maintenance ; • documents aux fins de contrôle / assurance de la qualité. — Personnel de sécurité sur site. — Surveillance météorologique ; — Surveillance de la qualité de l'air et prélèvements d'échantillons ; — Contrôle radiologique ; — Surveillance en matière de santé et de sûreté ; — Équipements de protection individuelle ; — Puits de surveillance ; — Instrumentation géotechnique ; — Prélèvements d'échantillons de sols ; — Prélèvements d'échantillons de sédiments ; — Prélèvements d'échantillons d'eaux de surface ; — Prélèvements d'échantillons d'eaux souterraines ; — Prélèvements d'échantillons de déchets radioactifs ; — Prélèvements d'échantillons d'amiante ; — Analyses chimiques en laboratoire ; — Analyses chimiques sur site ; — Analyses des déchets radioactifs ; — Essais géotechniques ; — Gestion des données chimiques.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Travaux à réaliser sur le site	Activités relatives à l'implantation de l'infrastructure nécessaire au projet (préparation du site). Sont également visées ici les améliorations apportées au site à titre permanent et la remise en état de zones ou caractéristiques du site qui ont été affectées lors de la remédiation du site. Les travaux à réaliser sur site sont généralement censés être « propres », c.-à-d. exécutés sans qu'il y ait de contact avec les milieux ou matières contaminés. Ce facteur ne couvre aucun des travaux plus spécialement liés à la mise en place ou à l'installation d'une unité de traitement sur site.	<ul style="list-style-type: none"> — Démolition. — Défrichage et essouchement. — Travaux de terrassement : <ul style="list-style-type: none"> • décapage ; • entreposage ; • excavation ; • mise à nu d'une carrière ; • nivellement ; • remblayage ; • couche de terre végétale. — Voies carrossables / aires de stationnement / trottoirs, sentiers. — Végétalisation et plantations : <ul style="list-style-type: none"> • couche de terre végétale ; • ensemencement / paillage / engrais ; • engazonnement ; • filet anti-érosion ; • buissons, arbres, couverture végétale ; — Clôtures, panneaux de signalisation, portails. — Services essentiels et équipements collectifs : <ul style="list-style-type: none"> • électricité ; • téléphone / communications ; • eau / égouts / gaz. — Drainage des eaux de pluie en surface et souterrain. — Barrières géotextiles.
Collecte ou confinement des eaux de surface	Collecte ou confinement d'eaux de surface contaminées. Ne sont pas compris ici le traitement, le transport hors site ou le traitement / stockage hors site des eaux de surface contaminées.	<ul style="list-style-type: none"> — Pompage ; — Drainage ; — Chenal / voie navigable ; — Berme / digue ; — Lagon / bassin / réservoir.
Extraction ou confinement d'eaux souterraines	Extraction ou confinement d'eaux souterraines contaminées. Sont ici inclus le traitement, le transport hors site ou le traitement / stockage hors site des eaux souterraines contaminées.	<ul style="list-style-type: none"> — Puits d'extraction / d'injection : <ul style="list-style-type: none"> • vertical ; • horizontal. — Tranchée d'extraction. — Pompes. — Tuyauterie. — Lagon / bassin / réservoir. — Canalisations souterraines. — Barrière souterraine : <ul style="list-style-type: none"> • paroi étanche ; • écran d'étanchéité ; • rideau de palplanches.
Excavation des sols	Excavation et gestion des sols contaminés. Ce facteur ne comprend pas le traitement, le transport hors site ou le traitement / stockage hors site des sols contaminés.	<ul style="list-style-type: none"> — Excavation ; — Transport par camion ; — Entreposage.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Évacuation ou confinement des sédiments/boues	Évacuation ou confinement des sédiments / boues contaminés. Ce facteur ne comprend pas le traitement, le transport hors site ou le traitement / stockage hors site des sédiments ou boues contaminés.	<ul style="list-style-type: none"> — Excavation ; — Dragage ; — Aspiration ; — Lagon / bassin / réservoir.
Démolition et évacuation	Démolition / évacuation de matériaux ou structures contaminés ou dangereux. Ce facteur ne comprend pas le traitement, le transport hors site ou le stockage hors site des matériaux ou structures contaminés ou dangereux.	<ul style="list-style-type: none"> — Enlèvement des fûts ; — Enlèvement des réservoirs ; — Enlèvement des tuyauteries ; — Enlèvement des structures ; — Désamiantage ; — Décapage des peintures contaminées ; — Enlèvement et destruction des munitions et obus.
Couverture ou chape	Réalisation d'une couverture ou chape multicouches par-dessus les matières ou milieux contaminés (sols, sédiments ou boues, par ex.) en vue d'empêcher ou de limiter l'exposition et de réduire au maximum les infiltrations d'eaux de surface et la production de lixiviats.	<ul style="list-style-type: none"> — Préparation de l'infrastructure de base ; — Couche de captage du gaz ; — Couche d'argile à faible perméabilité ; — Bentonite ; — Couche d'argile géosynthétique ; — Géotextile ; — Géomembrane ; — Couche de drainage granulaire ; — Treillis ; — Mise en place des déchets (découpage / enfouissement) ; — Couche de sol de protection ; — Asphalte / revêtement béton ; — couche de terre végétale ; — Filet anti-érosion ; — Ensemencement / paillage / engrais.
Traitement sur site	Réalisation ou installation sur site d'une unité de traitement complète et utilisable pour les milieux contaminés (sols, solides, sédiments, boues, eaux de surface ou eaux souterraines, par ex.), en ce comprises les techniques sur site et hors site. Ce facteur englobe l'ensemble des opérations de mobilisation et les travaux requis sur site pour les besoins de l'unité de traitement.	<ul style="list-style-type: none"> — Mobilisation / démobilisation ; — Travaux à réaliser sur le site ; — Structures ; — Matériels, équipements et accessoires spécifiques au processus de remédiation ; — Matériel et équipements n'entrant pas dans le processus de remédiation ; — Démarrage et essais ; — Mise à niveau ou remplacement du matériel ou des équipements.
Traitement/stockage hors site	Placement définitif des milieux, matériaux ou résidus de traitement contaminés dans des infrastructures telles que des décharges et incinérateurs acceptant, moyennant paiement, des déchets solides ou dangereux.	<ul style="list-style-type: none"> — Gestion / chargement des matières contaminées ; — Transport vers une infrastructure hors site ; — Frais de traitement / stockage définitif.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Imprévus	Coûts supplémentaires à prévoir pour couvrir les inconnues, les circonstances inattendues ou les situations non anticipées liées à la réalisation ou à l'installation des mesures correctives.	<ul style="list-style-type: none"> — Imprévus liés au périmètre du projet ; — Imprévus liés à l'offre.
<hr/>		
Activités annuelles d'opérations et de maintenance		
Surveillance et contrôles, prélèvement d'échantillons, essais et analyses	Prélèvements d'échantillons, tests et analyses sur site ou hors site, gestion des données et assurance / contrôle de la qualité durant la phase d'opérations et de maintenance. Ce facteur peut inclure les contrôles visant à évaluer les résultats obtenus au moyen de la solution de remédiation, le respect des textes réglementaires ou les opérations de surveillance destinées à suivre la migration du panache de contaminants.	<ul style="list-style-type: none"> — Surveillance météorologique ; — Surveillance de la qualité de l'air et prélèvements d'échantillons ; — Contrôle radiologique ; — Surveillance en matière de santé et de sûreté ; — Équipements de protection individuels ; — Puits de surveillance ; — Prélèvements d'échantillons de sols ; — Prélèvements d'échantillons de sédiments ; — Prélèvements d'échantillons d'eaux de surface ; — Prélèvements d'échantillons d'eaux souterraines ; — Prélèvements d'échantillons d'eaux de process ; — Prélèvements d'échantillons d'air de process ; — Analyses chimiques en laboratoire ; — Analyses chimiques sur site ; — Gestion des données chimiques.
Systèmes d'extraction, de confinement ou de traitement	Opérations et maintenance des systèmes utilisés sur site pour extraire, confiner ou traiter des milieux contaminés (sols, solides, sédiments, boues, eaux de surface ou eaux souterraines, par ex.)	<ul style="list-style-type: none"> — Main-d'œuvre nécessaire pour les opérations ; — Main-d'œuvre nécessaire pour la maintenance ; — Mise à niveau / remplacement / réparation du matériel ou des équipements ; — Pièces de rechange ; — Achat / location / location-acquisition de matériel et équipements ; — Consommables ; — Produits chimiques en vrac ; — Matières premières / matériaux nécessaires pour le processus de remédiation ; — Services essentiels et équipements collectifs.
Traitement/stockage hors site	Traitement et/ou stockage des déchets générés durant la phase d'opérations et de maintenance (résidus du traitement sur site, déchets issus des contrôles effectués) dans des infrastructures hors site tels que des décharges et incinérateurs acceptant, moyennant paiement, des déchets solides ou dangereux	<ul style="list-style-type: none"> — Gestion / chargement des matières contaminées ; — Transport vers une infrastructure hors site ; — Frais de traitement / stockage définitif.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Imprévus	Réserve financière destinée à couvrir les inconnues, les circonstances inattendues ou les situations non anticipées liées aux opérations et à la maintenance annuelles des mesures correctives, exprimée généralement en pourcentage du sous-total du projet	<ul style="list-style-type: none"> — Imprévus liés au périmètre du projet ; — Imprévus liés à l'offre.
<hr/>		
Services professionnels / techniques nécessaires aux opérations et à la maintenance		
Gestion du projet	Services destinés à gérer les activités d'opérations et de maintenance non spécifiques à l'appui technique répertorié ci-après	<ul style="list-style-type: none"> — Planification ; — Relations avec la population locale ; — Rapports relatifs aux coûts et performances ; — Autorisations ; — Questions juridiques.
Appui technique	Services destinés à suivre et évaluer l'avancement des opérations de remédiation, et à en rendre compte	<ul style="list-style-type: none"> — Mises à jour des manuels d'opérations et de maintenance ; — Supervision des opérations et de la maintenance ; — Rapports d'étape.
Surveillance institutionnelle	Mise à jour ou maintien annuel des mesures non techniques visant à limiter ou réduire au maximum les risques d'exposition aux contaminants ou aux dangers présents sur le site	<ul style="list-style-type: none"> — Plan de surveillance institutionnelle ; — Clauses restrictives ; — Zonage ; — Servitudes foncières ; — Notification d'actes ; — Avis ; — Restrictions d'utilisation des eaux souterraines ; — Base de données contenant des informations sur le site.
<hr/>		
Activités périodiques entrant dans le cadre des opérations et de la maintenance		
Échec ou remplacement de la solution de remédiation	Travaux destinés à remplacer une solution déjà en place ou des éléments essentiels de ladite solution	<ul style="list-style-type: none"> — Mobilisation / démobilisation ; — Travaux à réaliser sur le site ; — Structures ; — Matériels, équipements et accessoires spécifiques au processus de remédiation ; — Matériel et équipements n'entrant pas dans le processus de remédiation ; — Démarrage et essais.
Démobilisation des systèmes d'extraction, de confinement ou de traitement sur site	Travaux de démantèlement ou de démontage d'installations, de matériel ou d'équipements d'extraction, de confinement ou de traitement, après achèvement des opérations de remédiation	<ul style="list-style-type: none"> — Démolition et évacuation ; — Désaffectation des puits.

TABLEAU II-1. LISTE DE CONTRÔLE DES COÛTS ESTIMATIFS (suite)

Facteurs de coût	Description	Exemples de sous-facteurs
Imprévus	Réserve financière destinée à couvrir les inconnues, les circonstances inattendues ou les situations non anticipées liées aux opérations et à la maintenance de la solution de remédiation, exprimée généralement en pourcentage du sous-total du projet	<ul style="list-style-type: none"> — Imprévus liés au périmètre du projet ; — Imprévus liés à l'offre.
Services professionnels / techniques nécessaires aux activités périodiques d'opérations et de maintenance		
Examens quinquennaux	Services relatifs à l'établissement des rapports d'examen quinquennaux (dans l'hypothèse où des substances dangereuses, des polluants ou des contaminants sont toujours présents sur le site, à des niveaux supérieurs à ceux exigés pour prétendre à une utilisation inconditionnelle et une exposition illimitée)	<ul style="list-style-type: none"> — Visite du site ; — Collecte de données de terrain ; — Examen et analyse des données ; — Établissement des rapports.
Étude de performance et d'optimisation de la remédiation des eaux souterraines	Services destinés à analyser et optimiser les systèmes de pompage et de traitement des eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> — Visite du site ; — Collecte de données de terrain ; — Examen et analyse des données ; — Établissement du rapport.
Rapport sur les mesures correctives mises en œuvre	Services relatifs à l'établissement du rapport sur le résultat des mesures correctives mises en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> — Visite du site ; — Collecte de données de terrain ; — Examen et analyse des données ; — Établissement du rapport.
Surveillance institutionnelle	Mise à jour ou maintien périodique des mesures non techniques visant à limiter ou réduire au maximum les risques d'exposition aux contaminants ou aux dangers présents sur le site	<ul style="list-style-type: none"> — Plan de surveillance institutionnelle ; — Clauses restrictives ; — Demandes de zonage ; — Servitudes de propriété ; — Notification d'actes ; — Avis ; — Restrictions d'utilisation des eaux souterraines ; — Maintenance de la base de données contenant des informations sur le site.

GLOSSAIRE

Les termes et expressions ci-après reviennent souvent lors de l'examen des estimations de coûts. Certains de ces vocables sont interchangeable et peuvent être utilisés indifféremment¹.

Acceptation des risques - Toute décision consistant à accepter, de façon éclairée et délibérée, les conséquences et la probabilité d'un risque donné.

Analyse des incertitudes - Analyse qui prend en compte toutes les activités associées à une estimation de coûts et les risques y afférents. Elle peut aussi faire partie d'une analyse ou d'une évaluation des risques.

Analyse des risques - Processus consistant à examiner les risques plus en détail afin de déterminer quelle en est l'ampleur, quels sont leurs liens mutuels et quels sont les risques les plus élevés.

Atténuation des risques - Processus visant à limiter les conséquences et/ou la probabilité d'un risque.

Autres coûts administratifs directs - Coûts administratifs nécessaires à l'exécution du projet, tels que les services, le matériel et les équipements fournis par les administrations, les services publics (dès lors qu'ils font l'objet d'un relevé direct) et les redevances dues pour l'évacuation des déchets.

Autres coûts directs - Coûts n'ayant pas été précédemment répertoriés comme étant des frais de matériel directement imputables, des coûts directs de main-d'œuvre ou des coûts indirects. Tout ce qui est destiné à favoriser directement l'exécution du contrat – véhicules, ordinateurs, fournitures de bureau, voyages, location d'équipements, indemnités de séjour, etc. – doit être inclus dans les autres coûts directs. Lesdits coûts sont en général estimés à 2-4 % des coûts totaux de main-d'œuvre.

Avantage ou prime - Montant (en dollars) versé, abstraction faite de tous les coûts admissibles, à l'entreprise adjudicataire en rétribution de ses prestations. L'un comme l'autre ont pour but de dédommager l'entreprise adjudicataire pour les risques pris lors de l'exécution du marché et d'inciter à ce qu'il soit efficacement réalisé. En l'absence d'autres données, on considère qu'il est raisonnable d'octroyer un avantage ou une prime de l'ordre de 5 à 10 % du montant d'un marché à prix fixes pour les grandes entreprises et de 10 à 15 % pour les petites entreprises.

Budgétisation - Processus d'affectation comptable du montant estimatif des ressources nécessaires (budgétisation), qui permettra par la suite de mesurer et d'évaluer la performance des coûts. La budgétisation prend souvent en considération le cadencement des coûts au vu du calendrier envisagé ou des exigences et contraintes financières qu'ils représentent au fil du temps.

Catégorie de risques - Méthode de classement des différents risques que présente le projet, dans le but de pouvoir les regrouper sous diverses techniques d'analyse telles que la structure de répartition des risques ou les diagrammes de formalisation en réseau.

Code SRT - Identifiant unique assigné à chacun des éléments d'une SRT, permettant de les localiser dans la hiérarchie de la structure.

¹ La terminologie anglaise est tirée des publications suivantes : INNIS, P.S., Overview of Cost Estimating for Abandoned Mine Lands and Hazardous Materials Cleanup Projects, Technical Note 441, Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, CO (2011), and UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, Cost Estimating Guide, DOE G 413.3-21, \$ É.-U.OE, Washington, DC (2011).

Composante SRT - Élément d'une SRT, qui peut être situé à tout niveau de la structure. Il peut s'agir d'un lot de tâches ou d'un simple élément de la structure, la nature des composantes SRT n'étant assortie d'aucune restriction.

Conception préliminaire - S'inscrit dans le prolongement de l'ébauche initiale du projet en ce qu'elle pose les critères conceptuels de ce dernier qui serviront de base à son développement. La conception préliminaire consiste à compiler des renseignements topographiques et des données de subsurface, et à déterminer les conditions et critères qui dicteront la conception définitive. Elle couvre également les préparatifs de la planification et des études techniques préliminaires, les esquisses préparatoires et les spécifications générales, les analyses du coût du cycle de vie, les estimations de coûts préliminaires et le calendrier des travaux jusqu'à l'achèvement du projet. Elle recense les éléments du marché pour lesquels de longs délais sont à prévoir et pointe les analyses de risques qui devront être réalisées pour poursuivre le développement du projet.

Conditions générales - Tâches dont doit s'acquitter l'entreprise adjudicataire durant l'exécution des travaux. Sont ici visés, sans que cette liste soit nécessairement limitative, et à moins qu'ils ne fassent l'objet de postes spécifiques dans l'estimation des coûts : l'administration et la gestion du site, les garanties, les autorisations et permis, les voyages, les allocations / indemnités de séjour, les véhicules, les bureaux mobiles / le mobilier / le matériel de bureau, les installations sanitaires et infirmeries, les travaux réalisés à titre temporaire, les mesures de sûreté et de sécurité, l'électricité, le téléphone, l'eau, l'évacuation des déchets, le contrôle de qualité / les essais / les inspections et la réalisation d'études. Le coût des conditions générales représente habituellement entre 4 et 20 % de la somme totale des coûts directs (selon la taille, le lieu, la complexité et autres variables du projet).

Coût de démarrage - Coûts ponctuels engagés lors du passage de la phase d'achèvement des travaux à la mise en service d'une installation.

Coût du cycle de vie - a) Coût global estimé d'une solution envisageable pour un programme donné sur toute la durée de vie de celui-ci, y compris les coûts initiaux directs et indirects, avec en sus les éventuels coûts d'opérations et de maintenance périodiques ou permanents ; b) somme totale des coûts directs, indirects, récurrents, non récurrents et autres liés ou censés être liés à la conception, la mise au point, la production, le fonctionnement, la maintenance, l'assistance et l'élimination finale d'un système d'une importance majeure sur toute de la durée de vie utile à laquelle il est promis. Lorsqu'il est envisagé, lors de la planification du système ou du projet, d'utiliser des sites ou installations existantes, les coûts de remise en état et de rénovation devront être inclus.

Coût indirect - Coûts afférents à des objectifs communs ou conjoints qui ne peuvent être associés à une activité ou un projet particuliers.

Coût réel - Coûts réellement encourus et comptabilisés lors de l'exécution des travaux.

Coûts d'investissement - Montant total des dépenses nécessaires à la mise en œuvre de mesures d'assainissement.

Coûts de mobilisation - Coûts directs associés à l'acheminement des équipements, du matériel ou du personnel, auxquels il faut ajouter le montage/démontage du matériel, des équipements et des installations auxiliaires utilisés pour les travaux que prévoit le contrat pour la mise en place du projet. La mobilisation fait généralement l'objet d'un poste distinct dans l'estimation des coûts et dépend de l'accès/emplacement du site et des frais de transport y afférents. Pour les besoins d'une estimation préliminaire (sauf informations plus précises concernant le site), le pourcentage que représente la mobilisation peut être fixé à 10 % de la somme totale des coûts directs.

Coûts directs de main-d'œuvre - Établis sur la base du nombre total d'heures-personne disponibles par an (2 080 heures), ces coûts englobent les vacances, les congés fériés et les congés de maladie. Ils sont généralement déterminés par les barèmes salariaux publiés par l'État concerné, qui fixent un taux horaire minimum et octroient des avantages extra-salariaux en fonction de la zone géographique où doit s'effectuer le travail proposé.

Coûts directs des travaux - Coûts directement associés au projet, comprenant la main-d'œuvre, le matériel, les équipements et les frais de sous-traitance, ainsi que les frais imprévus de conception.

Coûts estimatifs - a) Relevé dûment étayé des coûts à prévoir pour mener à bien un projet ou une certaine partie d'un projet ; b) informations appelées à être utilisées dans le cadre de la planification du budget, du contrat ou de la gestion du projet en vue d'établir les données de base et leurs modifications au regard desquelles sera mesurée la performance des coûts.

Coûts non salariaux de la main-d'œuvre - Coûts liés à l'emploi de personnel venant s'ajouter aux rémunérations. Ils comprennent notamment les charges patronales, les prélèvements au titre de divers régimes d'assurance, dont l'assurance chômage, les indemnités dues aux travailleurs et les avantages du personnel. Les facteurs de coûts non salariaux de la main-d'œuvre correspondent sensiblement aux politiques d'acquisitions et aux règlements relatifs aux contrats de services ; ils peuvent donc être regroupés sous un seul poste exprimé sous la forme d'un pourcentage du coût total. Ils peuvent se situer dans une fourchette d'estimation générale comprise entre 50 et 60 % des coûts directs de main-d'œuvre.

Cycle de vie - Étapes de la vie d'un objet ou d'une tâche. Le cycle de vie présuppose une série de débuts et de fins, chaque fin impliquant un nouveau début. Les analyses des coûts ou des investissements au regard du cycle de vie retiennent, pour ce dernier, la durée sur laquelle est examiné le coût ou l'investissement.

Déclaration de travaux - Descriptif des produits ou services sur lesquels porte le marché.

Degré d'effort - Cahier des charges servant de base de référence, de nature générale ou complémentaire, dont l'exécution ne peut être mesurée ou qu'il est impossible de mesurer selon des méthodes propres aux différentes activités. Les ressources à prévoir sont représentées par un budget échelonné, cadencé en fonction de la durée pendant laquelle un appui sera vraisemblablement nécessaire. Le montant de ce cahier des charges est calculé au fil du temps et équivaut au budget programmé pour chaque phase.

Élément SRT - Simple composante SRT (avec les propriétés y afférentes), qui peut être située en tout point de la SRT. Un élément SRT peut comporter des tâches, ou contenir d'autres éléments SRT ou des lots de tâches.

Entreprise adjudicataire - Personne physique, organisme, département, division ou entreprise ayant passé un contrat, un accord ou un protocole d'entente avec une autre partie.

Estimation de prix - Montant prévu (en dollars) pour le coût des fournitures, du matériel, des équipements et de services simples qu'il est aisé de se procurer sur le marché libre à des prix compétitifs. Une estimation de prix n'est pas ventilée selon les différents facteurs de coûts et s'appuie en règle générale sur des prix catalogue ou des informations commerciales.

Estimation des coûts - Processus utilisé pour quantifier les ressources requises par le cahier des charges associé à une option, une activité ou un projet d'investissement, à en déterminer le coût et à en fixer

le prix. Étant donné qu'il s'agit d'un processus prédictif, l'estimation doit prendre en compte les risques et incertitudes. Le résultat du processus d'estimation est principalement utilisé à des fins de budgétisation, d'analyse de coût ou de valeur, d'aide à la décision pour la planification des activités, des immobilisations et des projets, ou encore pour la maîtrise des coûts et échéances des projets.

Évaluation des risques - Identification et analyse des risques du projet et du programme, de façon à bien cerner chaque risque en termes de probabilité et de conséquences.

Événement pouvant entraîner un risque - Toute situation (menace ou possibilité, identifiée ou non) susceptible de se produire ou non au cours d'un projet.

Facteurs de majoration - L'estimation officielle indépendante des coûts devant prendre en compte l'inflation, il est recommandé de majorer toute estimation des coûts dans laquelle figurent des travaux à réaliser ultérieurement. Afin de calculer les coûts à prévoir au cours de la ou des dernières années du projet (c.-à-d. celle(s) postérieure(s) à l'exercice en cours), des facteurs de majoration appropriés sont appliqués aux éléments de coûts, de manière à leur conférer un montant réaliste. Un facteur moyen de majoration compris entre 2 et 4 % par an sera généralement jugé « raisonnable ».

FAR (*Federal Acquisition Regulation*) - Principal corps de règles régissant les marchés publics aux États-Unis d'Amérique (Règlement relatif aux marchés fédéraux).

Frais généraux / frais généraux et administratifs - Coûts, comprenant notamment les frais de gestion, financiers ou autres, liés au fonctionnement d'une entreprise tels que les services essentiels et équipements collectifs, les systèmes de rémunération, la formation du personnel, les impôts, l'assurance en responsabilité civile et autre, les frais juridiques, ainsi que les équipements, fournitures et baux spécifiques non contractuels. Ces coûts se retrouvent de manière égale dans tous les marchés, du secteur public comme du secteur privé. Ils varient selon le type de marché, la propriété des installations, la localisation du chantier, etc., mais sont généralement de l'ordre de 15 %, sauf si des informations plus précises sont disponibles.

Garantie d'exécution - Garantie légale établissant que l'entreprise adjudicataire exécutera le contrat jusqu'à son terme, selon les conditions qui y sont énoncées, notamment au niveau des prix et délais.

Garantie de paiement - Garantie légale établissant que le règlement des sous-traitants et des fournisseurs est provisionné.

Garanties - Garanties juridiques par lesquelles une tierce partie assure que le maître d'œuvre s'acquittera d'une obligation donnée ou s'engage, à défaut, à indemniser le promoteur du projet. Les garanties peuvent couvrir la rémunération des travailleurs ainsi que l'achèvement des travaux.

Gestion des risques - Gestion des risques par des méthodes et techniques données.

Gestion du risque - Stratégies mises au point en vue d'éliminer, ou tout au moins de limiter, les niveaux de risque plus élevés recensés lors de l'analyse des risques. Ces stratégies peuvent consister en une réduction ou atténuation des risques, un transfert / partage des risques, l'évitement des risques et l'acceptation des risques.

Identification des risques - Processus consistant à rechercher, énumérer et caractériser les facteurs de risque.

IGE (Independent Government Estimate) - Estimation officielle indépendante.

Informations chiffrées antérieures - Base de données établie à partir de projets achevés, classés selon un certain critère (localisation géographique, moyenne nationale, etc.) et financièrement réactualisés au moyen des indices des prix de l'époque (valeur de l'année en cours).

Informations relatives aux risques - Consignation, tenue et communication des évaluations de risques, gestion de l'analyse et des plans en la matière, observation des résultats.

Lot de tâches - Tout produit livrable ou composante d'une tâche située au plus bas niveau de la SRT.

Majorations - Provision inscrite au titre des coûts réels ou estimés permettant de faire face à une augmentation des coûts d'équipements, de matériel, de main-d'œuvre, etc., due à des ajustements constants des prix au fil du temps. Bien que l'inflation puisse faire partie des éléments constitutifs des majorations, celles-ci reflètent souvent les effets de politiques non monétaires, telles que l'offre et la demande.

Marge pour imprévus - Montant venant majorer une estimation afin de réduire les frais imprévus. En règle générale, la marge pour imprévus est censée diminuer à mesure que les documents relatifs à la conception du projet s'affinent et que l'étude du site progresse. La marge pour imprévus consiste le plus souvent en un pourcentage du montant total des coûts directs et indirects ; elle peut aller de 0 à 10 % (conception du projet totalement finalisée et étude du site terminée) jusqu'à plus de 50% au stade de la conception et de l'étude préliminaires.

Méthode d'analyse des risques - Technique utilisée pour analyser les risques associés à un projet. Les méthodes d'analyse des risques se rangent en trois catégories : a) méthode qualitative – fondée sur les caractéristiques du projet et sur des données antérieures (listes de contrôle, scénarios, etc.) ; b) modèles de risques – combinaison des risques attribués à certaines parties de l'estimation ou du projet afin de définir le risque que présente le projet dans son ensemble ; c) modèles probabilistes – combinaison de risques provenant de sources et d'événements divers et variés (méthode de Monte Carlo, hypercube latin, arbre de décision, diagramme d'influences).

Modélisation des risques - Création d'une représentation physique ou description mathématique d'un risque. L'estimation des coûts et l'établissement du calendrier des phases critiques doivent être considérés comme le fruit d'un exercice de modélisation, et non comme des représentations exactes des coûts, progrès et résultats futurs.

Optimisation - Technique consistant à analyser un système pour déterminer quel est le meilleur résultat que l'on peut en retirer. La recherche du résultat optimal nécessite habituellement une évaluation des éléments de conception, des stratégies d'exécution, des méthodes et autres intrants du système, afin de voir en quoi ils influent sur les coûts, le calendrier, la sécurité ou sur toute une série d'objectifs réalisés ou à atteindre ; cette évaluation fait appel à des simulations informatiques et à des modélisations mathématiques.

Périmètre/cahier des charges - Tout ce qui doit être ou a été investi dans une activité ou un projet, ou qui doit être ou a été produit par ladite activité ou ledit projet. Lors de la planification du projet, le cahier des charges est généralement accompagné d'un document explicatif, mais il peut être communiqué ou invoqué oralement ou autrement. Il se limite le plus souvent à ce dont les parties prenantes sont convenues pour l'activité ou le projet en question (en l'absence d'accord, il sera argué que cela n'entre pas dans le périmètre du projet). En matière de passation de marchés et de conclusion de contrats, le cahier des charges comprend tout ce qu'une entreprise s'est engagée contractuellement à exécuter ou à livrer.

Plan de gestion des risques - Document expliquant comment seront gérés les risques durant le projet.

Planification des risques - Processus consistant à définir et justifier une stratégie structurée, globale et interactive ainsi que des méthodes permettant d'identifier et de retracer les risques, de réaliser en permanence des évaluations de risques afin de déterminer leur évolution, d'élaborer des plans de gestion des risques, de surveiller l'efficacité des mesures prises pour gérer les risques, et d'allouer des ressources suffisantes à cet effet.

Présomption de risque - Attentes, quelles qu'elles soient, relatives au risque proprement dit.

Programme - Ensemble structuré d'activités poursuivant un objectif ou but commun, entrepris ou proposé en vue de contribuer à la réalisation d'une mission assignée, et caractérisé par une stratégie visant à obtenir des résultats bien définis ; il précise les moyens d'y parvenir, en particulier en termes quantitatifs, pour ce qui est de la main-d'œuvre, du matériel, des équipements et des installations nécessaires. Les programmes comportent d'ordinaire une connotation d'activité continue et sont pour la plupart axés sur des techniques, projets et services de soutien.

Projet - Effort unique déployé à l'appui d'une mission d'un programme, dont il a défini les points de départ et d'arrivée, effort visant à créer un produit, une installation ou un système et comprenant des activités interdépendantes censées poursuivre un objectif ou un but communs. Composant de base d'un programme, le projet est planifié, approuvé et géré de manière individuelle et n'est limité par aucun élément spécifique de la structure budgétaire (comme des dépenses de fonctionnement, des installations ou des biens d'équipement, par ex.). Les travaux qui pourraient se révéler nécessaires font partie du projet dans son ensemble. Les projets autorisés et, en partie du moins, financés se répartissent en deux catégories : ceux axés sur les grands systèmes majeurs et les autres. Les projets incluent la planification et l'exécution des travaux de mise en place, ainsi que la remédiation proprement dite.

Rapprochement - Comparaison d'une estimation actuelle et d'une estimation antérieure, afin de s'assurer que les écarts qu'elles présentent sont corrects et pouvaient être raisonnablement attendus. En cas de rapprochement en bonne et due forme, il peut être prévu de consigner ces écarts.

Registre des risques - Base de données dédiée aux risques associés à un projet (également appelée base de données des risques).

Remédiation - Toutes mesures mises en œuvre pour réduire l'exposition aux rayonnements due à une contamination existante en agissant sur la contamination elle-même (la source) ou sur les voies d'exposition des êtres humains. La remédiation implique de gérer la contamination, et ce en procédant à l'élimination des contaminants, à leur fixation, à leur traitement ou à leur mise sous surveillance. Le processus de remédiation s'applique aussi bien aux contaminants radiologiques que non radiologiques, dès lors qu'ils sont susceptibles d'affecter la santé humaine et l'environnement. La remédiation ne suppose pas nécessairement l'élimination totale de la contamination, ni la restitution d'un site dans l'état qui était le sien avant son utilisation à des fins industrielles.

Responsable de la gestion des risques - Entité en charge de la gestion d'un risque donné ; elle a pour mission de s'assurer que des plans sont élaborés et mis en œuvre pour les traiter efficacement.

Risque - Tout facteur, tout élément, toute contrainte ou toute façon de procéder qui rend le résultat incertain, que ce soit dans un sens positif ou négatif. Cette définition du risque est strictement limitée aux applications de gestion de projets utilisées dans le cadre de l'élaboration d'un plan de gestion globale des risques et des documents et rapports y afférents.

Stratégie de gestion des risques - Processus permettant d'identifier, d'évaluer, de sélectionner et de mettre en œuvre différentes options afin de ramener les risques à des niveaux acceptables compte tenu des contraintes et des objectifs du projet. Il joue notamment sur certaines interventions spécifiques, sur les délais, sur l'appropriation et sur le coût du projet.

Structure de répartition des tâches (SRT) - Regroupement « orienté produits » d'éléments d'un projet, dont le but est d'organiser et de définir l'ensemble du cahier des charges du projet ; cadre multi-niveaux permettant de structurer et de présenter sous forme graphique des éléments qui représentent les liens logiques reliant les tâches à accomplir. Chaque niveau de cette structure descendante précise davantage la définition d'un élément du projet (produits ou services). La structure attribue ainsi à chaque élément un code qui s'intègre et relie tous les travaux que prévoit le projet (technique retenue, délais et coûts), et qui sera utilisé tout au long du cycle de vie du projet pour identifier et suivre l'exécution du cahier des charges des différentes tâches. Note : La SRT ne doit pas être bâtie ou centrée sur les fonctions financières ou organisationnelles. Elle doit être ventilée en blocs de tâches organisés selon le cahier des charges, en précisant les activités qui y sont liées. L'identification financière et/ou organisationnelle de chaque élément de la SRT doit faire l'objet de codes distincts reportés dans une liste annexée au document.

Surveillance et suivi des risques - Processus consistant à observer systématiquement l'évolution des risques d'un projet et à évaluer l'efficacité des stratégies de gestion des risques au regard de paramètres spécifiques.

Taux d'actualisation - Taux d'intérêt utilisé pour calculer la valeur actualisée des coûts et profits annuels escomptés.

Taux d'intérêt nominal - Taux non ajusté pour gommer les effets de l'inflation réelle ou escomptée. Les taux d'intérêts du marché sont le plus souvent des taux nominaux.

Transfert des risques - Transfert de la responsabilité de la gestion d'un risque à une autre entité organisationnelle. Cette opération ne peut aboutir qu'à la condition que le risque soit accepté par l'entité à laquelle il est transféré.

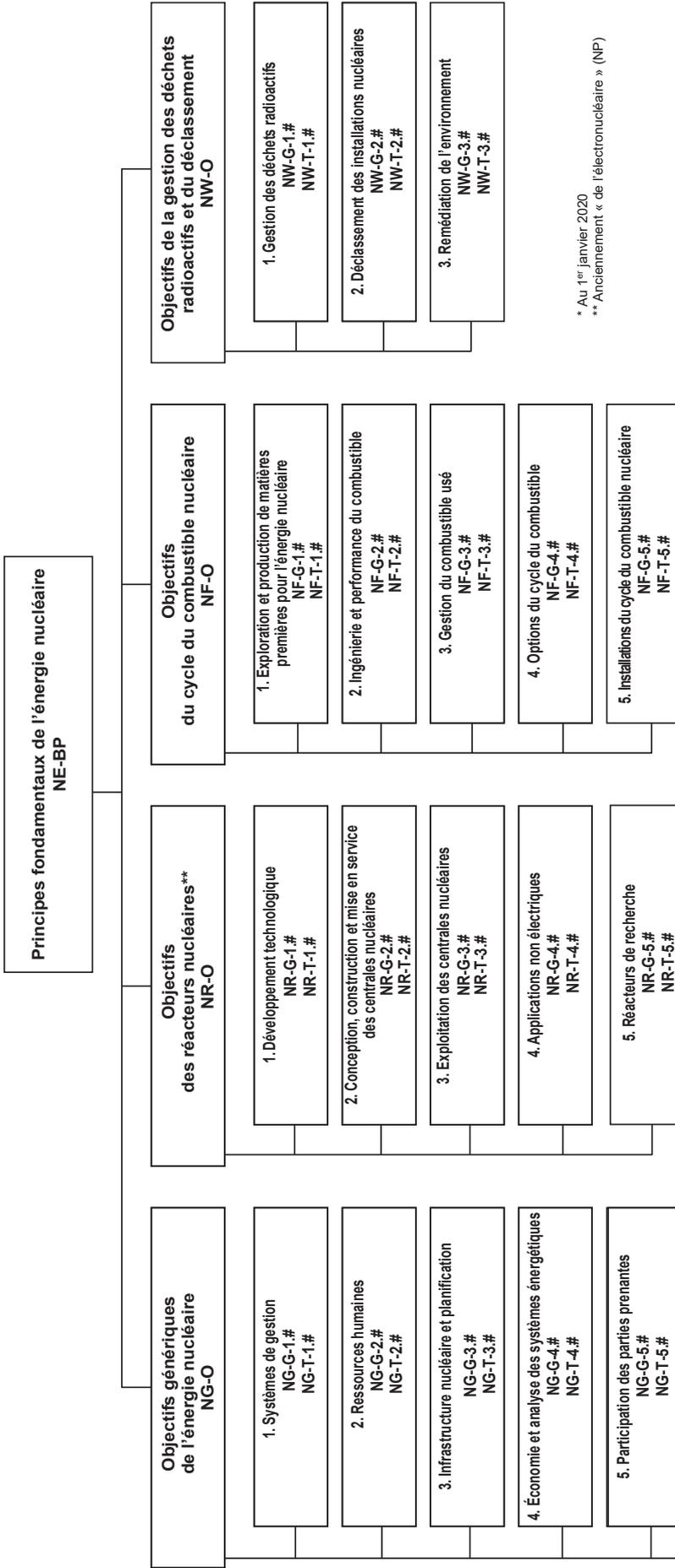
PERSONNES AYANT COLLABORÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN DU TEXTE

Adams, V.	Ministère de l'énergie (États-Unis d'Amérique)
Al-Masri, M.S.	Commission de l'énergie atomique (République arabe égyptienne)
Bayer, P.	Université de Zurich (Suisse)
Charles, A.	Agence internationale de l'énergie atomique
Day, J.	CH2M HILL (Allemagne)
Dutra, M.	UX Consulting (États-Unis d'Amérique)
Dzhumabaev, A.	Programme d'atténuation des risques de catastrophes (Kirghizistan)
Harrington, M.	Corps du génie de l'armée de terre des États-Unis, (États-Unis d'Amérique)
Howard, B.	Université de Lancaster (Royaume-Uni)
Johansson, M.V.	Université de Stockholm (Suède)
Kunze, C.	AMEC (Royaume-Uni)
Martino, L.	Consultant (États-Unis d'Amérique)
Monken-Fernandes, H.	Agence internationale de l'énergie atomique
Morse, J.	Ministère de l'énergie (États-Unis d'Amérique)

Réunions de consultants

Vienne (Autriche) : 2-6 août 2010, 21-25 mai 2012

Structure de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA*



* Au 1^{er} janvier 2020
** Anciennement « de l'électronucléaire » (NP)

Légende

- BP :** Principes fondamentaux
O : Objectifs
G : Guides et méthodologies
T : Rapports techniques
Numéros 1 à 6 : Désignation des sujets
: Numéro du guide ou du rapport

Exemples

- NG-G-3.1 :** Énergie nucléaire générale (NG), Guides et méthodologies (G), Infrastructure nucléaire et planification (sujet 3), numéro 1
NR-T-5.4 : Réacteurs nucléaires (NR), rapport technique (T), réacteurs de recherche (sujet 5), numéro 4
NF-T-3.6 : Combustible nucléaire (NF), rapport technique (T), gestion du combustible usé (sujet 3), numéro 6
NW-G-1.1 : Gestion des déchets radioactifs et déclassement (NW), Guides et méthodologies (G), gestion des déchets radioactifs (sujet 1), numéro 1



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

N° 26

OÙ COMMANDER ?

Vous pouvez vous procurer les publications de l'AIEA disponibles à la vente chez nos dépositaires ci-dessous ou dans les grandes librairies.

Les publications non destinées à la vente doivent être commandées directement à l'AIEA. Les coordonnées figurent à la fin de la liste ci-dessous.

AMÉRIQUE DU NORD

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214 (États-Unis d'Amérique)

Téléphone : +1 800 462 6420 • Télécopie : +1 800 338 4550

Courriel : orders@rowman.com • Site web : www.rowman.com/bernan

Renouf Publishing Co. Ltd

22-1010 Polytek Street, Ottawa, ON K1J 9J1 (Canada)

Téléphone : +1 613 745 2665 • Télécopie : +1 613 745 7660

Courriel : order@renoufbooks.com • Site web : www.renoufbooks.com

RESTE DU MONDE

Veuillez-vous adresser à votre libraire préféré ou à notre principal distributeur :

Eurospan Group

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

(Royaume-Uni)

Commandes commerciales et renseignements :

Téléphone : +44 (0) 176 760 4972 • Télécopie : +44 (0) 176 760 1640

Courriel : eurospan@turpin-distribution.com

Commandes individuelles :

www.eurospanbookstore.com/iaea

Pour plus d'informations :

Téléphone : +44 (0) 207 240 0856 • Télécopie : +44 (0) 207 379 0609

Courriel : info@eurospangroup.com • Site web : www.eurospangroup.com

Les commandes de publications destinées ou non à la vente peuvent être adressées directement à :

Unité de la promotion et de la vente

Agence internationale de l'énergie atomique

Centre international de Vienne, B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : +43 1 2600 22529 ou 22530 • Télécopie : +43 1 26007 22529

Courriel : sales.publications@iaea.org • Site web : <https://www.iaea.org/fr/publications>

**AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE**