



**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
DIRECTION DE L'EAU ET DE LA PRÉVENTION
DES POLLUTIONS ET DES RISQUES
SERVICE DE L'EAU**

**méthodologie d'évaluation
des risques de pollution
des eaux souterraines, et des risques
engendrés par cette pollution**

revue critique des méthodes existantes

A. Lallemant Barrès

**mars 1992
R 34 599**

RESUME

Les pollutions ponctuelles d'origine industrielle, les friches industrielles ou les décharges abandonnées, induisent des risques à plus ou moins long terme pour l'environnement en général, et pour les populations en particulier.

L'évaluation du risque de pollution du sol, puis des eaux sur ces sites, et des risques qui en découlent pour la santé des populations, est une démarche nécessaire.

Le présent rapport passe en revue un certain nombre de méthodes qui ont été utilisées pour évaluer ces risques. Les méthodes décrites sont pour la plupart des méthodes semi-quantitatives avec attribution de scores. Elles peuvent être très simples, rapides, nécessitant un minimum de données, ou très élaborées, aboutissant à une évaluation très complète des risques.

Le choix de la méthode sera essentiellement déterminé par l'objectif que l'on s'est fixé.

Ce rapport a été réalisé sur crédits du Ministère de l'Environnement.

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
INTRODUCTION	1
1 - GENERALITES	2
1.1. Définitions	2
1.2. Méthodes d'approche de "l'évaluation des risques"	2
1.3. Analyse des risques induits par les déchets toxiques sur les sites abandonnés	6
2 - METHODES D'EVALUATION DU RISQUE DE POLLUTION DES EAUX ET DU SOL	11
2.1. DRASTIC	11
2.2. Méthode cartographique	14
2.3. Méthode Legrand	16
2.3.1. Conditions d'utilisation	16
2.3.2. Conception	16
2.3.3. Utilisation	17
2.3.4. Résultats	19
2.4. Méthode d'évaluation du risque de pollution aux Pays-Bas	20
3 - METHODES D'EVALUATION DU RISQUE DE POLLUTION DES EAUX ET DES RISQUES POUR LA SANTE	23
3.1. Méthode de Phillips	23
3.1.1. Notation des déchets	23
3.1.2. Notation des sites	23
3.1.3. Discussion des différents facteurs	25
3.1.4. La matrice	31
3.2. Méthode de Kerndorff et al.	34
3.2.1. Structure de la méthode	34
3.2.2. Concept de l'évaluation du risque	34
3.3. La méthode HRS : Hazard Ranking System de l'EPA	42
3.3.1. Choix des paramètres	42
3.3.2. Attribution d'un score	47
3.3.3. Commentaires	48

	<u>Page</u>
4 - LES SYSTEMES EXPERTS	50
4.1. Geotox	50
4.1.1. Principe	50
4.1.2. Fonctionnement	50
4.1.3. Vérification	50
4.2. Agape	54
4.3. Autres systèmes	54
5 - MODELISATION	58
5.1. Modèle Aeris	58
5.2. Modèle de Marin et al.	59
5.3. Modèle de Colombari et al.	59
CONCLUSION	62
BIBLIOGRAPHIE	63

ANNEXE : La méthode HRS (EPA)

Liste des figures

- Figure 1 : Méthode Legrand : diagramme des facteurs
- Figure 2a : Méthode Legrand-Nomogramme pour sites sur matériaux poreux
- Figure 2b : Nomogramme pour sites sur deux milieux
- Figure 3 : Potentiel de pollution et précision de l'évaluation
- Figure 4 : Matrice utilisée pour l'évaluation d'un site (Phillips)
- Figure 5 : Exemple d'évaluation de site (Phillips)
- Figure 6 : Méthode de détection des sites présentant un risque pour les eaux souterraines (Kerndorff)
- Figure 7 : Schéma de concept pour l'évaluation du risque (Kerndorff)
- Figure 8 : Fréquences de distribution et courbes cumulées pour 4 polluants en aval de 92 décharges en RFA
- Figure 9 : Fréquences de distribution et courbes cumulées pour la solubilité et la pression de vapeur de 100 polluants principaux
- Figure 10 : Le modèle d'évaluation de la toxicité des polluants de l'eau souterraine
- Figure 11 : Evaluation de la substance
- Figure 12 : Agape : critères spécifiques à chaque catégorie évaluée
- Figure 13 : Agape : exemple de fiche d'évaluation pour l'eau souterraine W₁
- Figure 14 : Diagramme du modèle Aeris
- Figure 15 : Schéma du modèle de compatibilité environnementale de Colombari
- Figure 16 : Classes de compatibilité

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Modèle à suivre pour l'évaluation quantitative du risque dans la gestion des sites de déchets toxiques
- Tableau 2 : Résumé des méthodes utilisées pour obtenir des données (Covello, Merkhofer)
- Tableau 3 : Analyse des voies potentielles de transfert
- Tableau 4 : Données nécessaires pour évaluation du risque induit sur un (ancien) site de déchets
- Tableau 5 : Poids attribué aux facteurs de DRASTIC
- Tableau 6 : Notation des facteurs de DRASTIC
- Tableau 7 : Cartographie du risque de pollution des nappes : paramètres à prendre en compte
- Tableau 8 : Normes pour les polluants des eaux et des sols aux Pays-Bas
- Tableau 9 : Groupes de facteurs dans la méthode de Phillips
- Tableau 10 : Classification des sites en fonction des concentrations en trichloroéthène
- Tableau 11a : Migration vers l'eau souterraine (HRS)
- Tableau 11b : Migration vers les eaux de surface - Composante écoulement en surface (HRS)
- Tableau 11c : Migration vers les eaux de surface - Composante eau souterraine vers l'eau de surface (HRS)
- Tableau 11d : Migration dans l'air (HRS)
- Tableau 11e : Migration dans le sol (HRS)
- Tableau 12 : Exemple de fiche de calcul du Score (HRS)
- Tableau 13 : Geotox

INTRODUCTION

La diversité des produits chimiques impliqués dans les cas de pollutions ponctuelles d'origine industrielle, ou liée à l'existence de dépôts mal gérés, entraîne un risque réel à très court terme, pour les populations.

Il est donc nécessaire de vérifier que certains sites industriels en activité, ou de friches industrielles, présentent un niveau de risques pour les sols et les nappes sous-jacentes, acceptable pour les populations avoisinantes.

Différentes méthodes ont été utilisées par différents auteurs pour évaluer le potentiel de risques de pollution du sous-sol et les risques engendrés à leur tour par ces pollutions. Les principales catégories sont :

- les méthodes numériques, qui consistent en modélisation des transferts de polluants. Ces modèles sont de bons outils, mais ils nécessitent beaucoup de données pour être utilisables ;
- les techniques d'évaluation du risque, qui nécessitent la comparaison du degré d'exposition de personnes individuelles à une substance toxique, avec des niveaux d'exposition connus pour induire des effets toxiques. Ces évaluations sont difficiles à appliquer. De plus, elles nécessitent des mesures coûteuses de toxicité. Ces méthodes basées sur un arbre décisionnel ne sont pas souples et sont limitées quand on est en présence de données incomplètes et changeantes ;
- les modèles empiriques d'évaluation qualitative ou quantitative, qui sont développés dans ce rapport ;
- les systèmes experts, qui s'apparentent aux méthodes précédentes.

Ce rapport passe en revue les méthodes mises au point pour évaluer les risques de pollution du sol et des eaux souterraines, et les risques qui en découlent pour la santé des populations environnantes, les premiers risques induisant les seconds.

Il est important de noter qu'il s'agit de méthodes permettant d'évaluer la **vraisemblance**, c'est-à-dire la possibilité qu'un dommage se produise et les conséquences éventuelles pour la santé.

La terminologie "risque", "probabilité", est un peu ambiguë et les utilisateurs n'emploient pas tous les mots dans le même sens.

Dans ce qui suit il ne s'agit pas d'estimer l'espérance mathématique d'un dommage, la "probabilité" ici n'est pas prise au sens mathématique, mais dans le sens "vraisemblance", "chance qu'a un événement de se produire" (Larousse).

Ces méthodes ont pour objectif :

- de hiérarchiser et classer les différents points noirs, friches, de manière à établir un ordre de priorité dans la réhabilitation ;

- d'introduire une étape nécessaire entre le diagnostic d'une pollution et la résorption de cette pollution. Après un diagnostic la question se pose de savoir si la pollution diagnostiquée présente ou présentera un risque vis-à-vis de l'environnement et des populations.

Dans le cas positif, une autre question qui se pose est quel niveau de qualité faut-il retrouver sur le site pour que le risque soit acceptable.

Cette étude a été entreprise dans le cadre de la Convention 13-91, pour le Ministère de l'Environnement.

1 - GENERALITES

1.1. DEFINITIONS

Le risque est un danger éventuel plus ou moins prévisible (Dictionnaire Robert) ou probable (Larousse).

Le risque est aussi l'éventualité d'un événement ne dépendant pas de la volonté des parties et pouvant causer un dommage (Robert).

Le risque est un préjudice (Larousse).

Selon Berger [3], "l'évaluation du risque" (risk assessment) est "l'identification du risque et des causes qui le produisent, l'estimation de la probabilité qu'il a de causer un dommage, et l'évaluation des coûts de la réduction du risque en comparaison des bénéfices à en retirer".

Selon Asante [2], "l'évaluation du risque" est un outil pour estimer les facteurs qui motivent les défaillances et les scénarios d'exposition aux risques. Souvent les évaluations incluent le coût de réduction des risques comparé au bénéfice.

1.2. METHODE D'APPROCHE DE "L'EVALUATION DES RISQUES"

Le type et l'importance de l'évaluation des risques doivent être basés sur des critères d'évaluation et sur une compréhension du but ultime de l'investigation. Ceci signifie que le contenu du programme d'étude sera différent suivant que "l'évaluation du risque" sera utilisée pour identifier des sites prioritaires parmi de nombreux sites non contrôlés, pour initier une réhabilitation urgente, pour évaluer des sites à des fins d'assurance, ou pour recommander des mesures à long terme. Les façons d'appréhender l'évaluation du risque procèdent d'une même logique, mais selon l'objectif précédemment énuméré, l'étude sera plus ou moins exhaustive, et comprendra les quatre éléments suivants ou partie d'entre eux :

- identification du risque ;
- évaluation de la réponse à l'exposition (à un composé toxique) ;
- évaluation de l'exposition ;
- caractérisation du risque.

Le protocole complet de la démarche à suivre est représenté dans le tableau 1.

Pour chacun de ces 4 éléments de base, il existe des méthodes pour obtenir les données nécessaires. Ces méthodes sont résumées dans le tableau 2.

Les données résultant de l'application de ces méthodes aux modules 2 et 3, c'est-à-dire qui concernent les problèmes de toxicité, l'évaluation des réponses à l'exposition, sont synthétisées dans des banques ou des guides. C'est en tout cas vrai aux Etats-Unis, dans "Risk Assessment Guidelines of 1986" publié par EPA [9], et dans "Superfund Risk Assessment Information Directory" [8], qui présente les sources d'information : bases de données, manuels, modèles. Le contenu des sources d'information est résumé et relié aux étapes d'une évaluation du risque. Ces répertoires ont pour objet de faciliter la recherche des informations nécessaires à l'évaluation des risques liés à un type de polluant.

En France, on peut trouver des renseignements utiles dans les fiches toxicologiques de l'INRS [29].

IDENTIFICATION DU RISQUE	EVALUATION DE LA REPONSE A L'EXPOSITION	EVALUATION DE L'EXPOSITION	CARACTERISATION DU RISQUE
- identifier les événements à l'origine ou les mécanismes de libération (des éléments toxiques) - caractériser des scénarios - quantifier les risques potentiels - sélectionner des indicateurs chimiques pour les évaluations des impacts sur la santé et sur l'environnement	- définir les résultats de l'exposition sur les récepteurs potentiels - quantifier la toxicité avec des relations dose-réponse	- identifier les voies potentielles d'exposition - évaluer la potentialité des populations à être exposées au risque - analyser le transport et le devenir dans l'environnement - modéliser les estimations de l'exposition	- quantifier les risques - déterminer les conséquences des expositions potentielles - déterminer les effets toxicologiques et environnementaux - évaluer les pertes attendues

Tableau 1 : Modèle à suivre pour l'évaluation quantitative du risque dans la gestion des sites de déchets toxiques

	<u>IDENTIFICATION DE LA SOURCE DE RISQUE</u> (mesure de l'importance du danger lié à la source de risque)	<u>EVALUATION DE L'EXPOSITION</u> (estimation de l'intensité, fréquence, durée d'exposition des humains ou autres aux agents toxiques)	<u>EVALUATION DE LA REPONSE A LA DOSE</u> (relation dose reçue et santé et autres conséquences)	<u>ESTIMATION DU RISQUE</u> (synthèse des mesures du niveau risque)
Méthodes s'appuyant sur mesures expérimentales et statistiques	Contrôle-mesure : - équipement de contrôle - mesure environnementale Tests de performance Etude des accidents Méthodes statistiques : - échantillon statistique - analyse des faiblesses - théorie des valeurs extrêmes	Contrôle : - mesures biologiques (végétation, animaux) - mesures géologiques, photo-aériennes, etc. - contrôle dose sur site, air, eaux, sols - contrôle doses sur individus	Tests à court terme Analyse structure moléculaire Tests sur humains Essais sur animaux Epidémiologie Pharmacocinétique	Analyse Statistique
Méthodes s'appuyant sur modèles	Méthodes d'engineering Modèles : - faiblesse de l'engineering - modèles de simulation - arbres - modèles analytiques : effluents industriels - modèles biologiques - modèles des conteneurs	Calcul des doses : - basé sur temps d'exposition - substances qui décroissent - dépôt dans tissus Modélisation de l'exposition : - air Modèles analytiques, modèles de trajectoires : - eau de surface - eau souterraine - modèles d'absorption - modèles de transfert - modèles migration dans chaîne alimentaire	Modèles d'extrapolation de doses faibles Modèles effets écologiques	Probabilité : - Monte Carlo - arbre des événements - arbres de probabilité
Méthodes basées sur expert.		Modèles de risque pour population : groupes sensibles, estimation population		Probabilité

Tableau 2 : Résumé des méthodes utilisées pour obtenir les données (Covello, Merkhofer)

1.3. ANALYSE DES RISQUES INDUITS PAR LES DECHETS TOXIQUES OU LES SITES ABANDONNES

Il est important de noter que les mêmes méthodes d'évaluation des risques ne sont pas applicables à tous les problèmes. L'évaluation des risques liés aux accidents industriels ou l'évaluation des risques pour les risques naturels par exemple, ne font pas appel aux mêmes méthodes.

Les méthodes présentées ici sont celles qui s'appliquent aux risques induits par les friches industrielles, les dépôts, décharges, points noirs, renfermant des produits toxiques.

Les risques associés à la mise en dépôt de déchets toxiques comprennent les dangers pour la santé, liés à la dégradation de l'air, de l'eau et du sol, au feu et aux explosions dans certains cas, à l'exposition à des produits cancérigènes, mutagènes, ou tératogènes. Ils comprennent aussi les risques socio-économiques dus à la perte de valeur d'une propriété, et des procès en responsabilité.

Des critères généraux pouvant être appliqués à toutes investigations préliminaires ont été développés. Ils sont basés sur une recherche de l'information disponible, concernant quatre caractéristiques : les récepteurs, les voies de transfert, les caractéristiques des déchets, et la pratique de gestion de ces déchets. Les relations entre voies de transfert et récepteurs sont données dans le tableau 3.

Pour ces différentes caractéristiques, un certain nombre d'informations sont nécessaires, qui sont résumées dans le tableau 4.

En fait, une grande partie des informations recensées dans le tableau 4 ne sont pas disponibles lors d'une étude préliminaire.

Les données recueillies lors de l'étude préliminaire sont utilisées pour déterminer la localisation optimale et la fréquence de prélèvements des échantillons.

Là où l'on dispose d'informations sur les activités passées, les paramètres analytiques seront choisis en fonction de ces activités ou des produits chimiques ayant séjourné sur le site.

Un programme d'analyses, des calculs de bilan et une évaluation générale du risque peuvent être utilisés à des fins de réhabilitation. En l'absence de résultats d'analyses, une évaluation du risque aboutit à une classification qualitative des sites.

Il faut noter cependant qu'une évaluation détaillée représente un coût élevé et nécessite une telle masse d'informations, qu'elle est difficilement applicable pour définir des sites prioritaires de réhabilitation. Des systèmes plus simples sont donc nécessaires.

Trois méthodes d'approche ont de ce fait été identifiées : des systèmes de classification, des systèmes "experts" et des systèmes d'attribution d'un score.

La première n'est pas très utilisable, car la variété des substances toxiques et les combinaisons possibles, font qu'il est difficile de classer un site comme plus dangereux qu'un autre.

Les systèmes experts ont été très utilisés et constituent une bonne approche.

Enfin, les systèmes avec affectation d'un score, sont souvent faciles à mettre en oeuvre.

Les méthodes qui ont été employées vont de la méthode la plus simple, méthode Legrand, à différentes méthodes mises au point par l'EPA (Environmental Protection Agency), dont la dernière version de la méthode HRS (Hazard Ranking System), qui est très complète.

Ces différentes méthodes sont passées en revue ici. En amont de ces méthodes on peut citer les méthodes qui visent à identifier les nappes vulnérables à la pollution, donc qui peuvent présenter un risque de pollution. En d'autres termes, il faut distinguer les méthodes d'étude du risque de pollution de l'eau et du sol, et les méthodes d'étude du risque d'effets néfastes issus de cette pollution.

MECANISMES POTENTIELS DE LIBERATION DES ELEMENTS TOXIQUES	MILIEU DE TRANSFERT	MECANISMES DE TRANSFERT	LOCALISATION POTENTIELLE DU RECEPTEUR	MODES D'EXPOSITION	POPULATION POTENTIELLEMENT EXPOSEE AU RISQUE
. Infiltration . Volatilisation . Fuites . Ependage	Air	Volatilisation	Sur site	Inhalation	1. . ouvriers de l'établissement . visiteurs du site . travailleurs pour réparations . employés établissement
			Hors site	Inhalation	2. . travailleurs établissement . employés locaux . résidents proches . écoles proches
		Erosion - vent (particules-poussière)	Sur le site	Inhalation Contact peau	idem 1. idem 1.
			Hors site	Inhalation Contact peau	idem 2. idem 2.
	Sols/sédiments	Erosion sol	Sur site	Contact peau	idem 1.
			Hors site	Contact peau Ingestion	idem 2. enfants mangeant sol
	Eau souterraine	Lessivage vers nappe	Hors site	Contact peau	3. . employés locaux . résidents proches . écoles proches
				Ingestion Inhalation	idem 3. idem 3.
	Eau de surface	Déversement de nappe	Hors site	Contact peau Ingestion Inhalation	idem 3. idem 3. idem 3.
				Contact peau Contact peau Ingestion Inhalation	idem 1. idem 2. idem 3. idem 3.

Tableau 3 : Analyse des voies potentielles de transfert

Tableau 4 : Données nécessaires pour évaluation du risque induit par un (ancien) site de déchets

1. Identification de l'établissement

- 1.1. Propriétaire et opérateur
- 1.2. Type, fonction de l'établissement
- 1.3. Localisation

2. Récepteurs

2.1. Description de la région

- a. établissements voisins
- b. population voisine

2.2. Utilisation eau et sol

- a. caractéristiques régionales
- b. utilisation des terrains environnants
- c. données sur l'eau potable

2.3. Habitats critiques

- a. habitats menacés, en danger
- b. aires sensibles environnantes
- c. zones protégées

2.4. Evaluation de la dose en dehors du site

- a. dose d'exposition pour la population voisine
- b. données spécifiques démographiques et agricoles
- c. contrôle de la biosphère

3. Voies de transfert

3.1. Description générale

- a. localisation du site, géographie de l'environnement
- b. description du site
- c. déversements hors du site
- d. voies potentielles naturelles et voies faites par l'homme

3.2. Météorologie

- a. climatologie régionale
- b. climatologie locale
- c. mesures de contrôle de l'air

3.3. Géologie

- a. géologie régionale
- b. géologie du site
- c. échantillonnage sols et logs sondages

Tableau 4 : suite

3.4. Hydrogéologie

- a. hydrogéologie eaux de surface
- b. hydrogéologie eaux souterraines
- c. voies de drainage
- d. contrôle de la qualité des eaux

4. Caractéristiques des déchets

4.1. Caractéristiques du site

- a. quantité de déchets
- b. conditionnement des déchets
- c. caractéristiques de l'établissement
- d. capacité

4.2. Caractéristiques des déchets

- a. mobilité
- b. toxicité
- c. inflammabilité
- d. réactivité
- e. corrosivité
- f. pouvoir carcinogène
- g. volatilité
- h. radioactivité
- i. solubilité
- j. persistance

5. Pratiques de gestion des déchets

5.1. Description générale de l'établissement

- a. localisation - agencement
- b. description de l'établissement
- c. procédés de clôture

5.2. Structures

5.3. Méthodologie de contrôle des pollutions

5.4. Assurance qualité

5.5. Sécurité

5.6. Réglementation

2 - METHODES D'EVALUATION DU RISQUE DE POLLUTION DE L'EAU OU DU SOL

2.1. DRASTIC

Cette méthode établie aux Etats-Unis en 1985 [1], avait pour objet d'évaluer la vulnérabilité des nappes, c'est-à-dire leur potentiel de pollution, à l'échelle du pays.

Dans une première phase, il s'agit d'établir des unités hydrogéologiques cartographiables, et ensuite de leur appliquer un schéma de classification des paramètres hydrogéologiques, pour évaluer leur potentiel de pollution. Les plus importants facteurs liés au potentiel de pollution de la nappe, qui ont été retenus, sont la distance à la nappe, la recharge, le milieu constitutif de l'aquifère, le milieu formant le sol, la topographie (pente), l'impact de la zone non saturée, et la perméabilité de l'aquifère (DRASTIC).

Chaque facteur a été évalué en fonction des autres et s'est vu attribué un poids, les poids s'échelonnant de 1 à 5 et étant constants (tableau 5).

Tableau 5 : Poids attribués aux facteurs de DRASTIC

FACTEUR	POIDS
Distance à la nappe	5
Recharge	4
Milieu aquifère	3
Milieu sol	2
Topographie	1
Impact de la zone non saturée	5
Perméabilité aquifère	3

Chaque facteur comporte lui-même un certain nombre de subdivisions auxquelles des notes sont attribuées (tableau 6).

Tableau 6 : Notation des facteurs DRASTIC

DISTANCE A LA NAPPE	
Gamme	Note
0 - 1 m 50	10
1,5 - 3 m	9
4,5 - 9 m	7
9 - 15 m	5
15 - 22 m	3
22,5 - 30 m	2
> 30 m	1

Tableau 6 : suite

MILIEU AQUIFERE		
Gamme	Note	Note typique
Shale massif	1 - 3	2
Métamorphique	2 - 5	3
Métamorphique altéré, grès lités, calcaires	3 - 5	4
Shales en séquence	5 - 9	6
Grès massif	4 - 9	6
Calcaire massif	4 - 9	6
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10

RECHARGE	
Gamme (cm)	Notation
0 - 5	1
5 - 10	3
10 - 17,5	6
17,5 - 25,5	8
> 25,5	9

MILIEU SOL	
Gamme	Notation
Peu épais ou absent	10
Gravier	10
Sable	9
Argile, agrégats ou pentes	7
Limon sableux	6
Limon	5
Limon silteux	4
Limon argileux	3
Argile non agrégée et non fissurée	1

Tableau 6 : suite

TOPOGRAPHIE (% pente)	
Gamme	Notation
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

IMPACT DE LA ZONE NON SATURÉE		
Gamme	Notation	Notation typique
Silt/argile	1 - 2	1
Shale	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès	4 - 8	6
Calcaire lité, grès, shale	4 - 8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4 - 8	6
Métamorphique	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10

PERMEABILITE	
Gamme	Notation
$4,7.10^{-7}$ - $4,7.10^{-5}$ m/s	1
$4,7.10^{-5}$ - $14,7.10^{-5}$ m/s	2
$14,7.10^{-5}$ - $32,9.10^{-5}$ m/s	4
$32,9.10^{-5}$ - $4,7.10^{-4}$ m/s	6
$4,7.10^{-4}$ - $9,4.10^{-4}$ m/s	8
> $9,4.10^{-4}$ m/s	10

L'équation utilisée pour déterminer "l'Index DRASTIC" est :

$$\text{Potentiel de pollution} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_A I_W + C_R C_W$$

R : notation (rating) W = poids (weight)

D : distance

R : recharge

A : aquifère

S : sol

I : impact

T : topographie

C : perméabilité

Cet index DRASTIC permet d'identifier les zones les plus vulnérables à la pollution, et l'établissement de cartes de vulnérabilité.

Plus l'index est élevé, plus le potentiel de pollution est élevé.

Les seuls paramètres pris en compte sont des paramètres géologiques. On ne prend pas en compte le risque lié à la toxicité, au transfert des polluants, pour les populations exposées.

Les valeurs obtenues n'ont de valeur que comparées à d'autres valeurs obtenues par la même méthode.

Pour prendre en considération ces facteurs, il a été envisagé d'ajouter un terme IMPACT, où :

i : inclinaison de la nappe, pente
m : distance horizontale mesurée au point d'exposition
p : population exposée, humaine et non humaine
A : taux d'application (continu, intermittent)
C : concentration du polluant mg/l
T : toxicité.

2.2. METHODE CARTOGRAPHIQUE

Dans le même ordre d'idée, on peut citer l'approche semi-quantitative proposée par J.Ricour [25] pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines en s'appuyant sur le traitement multicritères de données. Le risque de pollution d'un aquifère R_p est par définition :

$$R_p = A(p) \times D(V,P)$$

où :

A, est l'aléa lié à l'activité humaine
p, la probabilité d'occurrence
D, dommages : dégradation de l'eau souterraine
V, vulnérabilité de l'aquifère
P, importance de la ressource mobilisable P
a, constante.

L'aléa peut se caractériser par divers facteurs évolutifs dans le temps et dans l'espace. Des tables de référence devraient guider les utilisateurs dans l'approche globale de l'aléa.

L'échelle des dommages est difficile à appréhender. Elle est cependant proportionnelle à certaines caractéristiques physiques qui sont à l'origine de la vulnérabilité de l'aquifère. L'auteur propose une cartographie du risque de pollution R_p obtenue en croisant deux cartes élémentaires :

- carte des Aléas,
- carte des Dommages, résultant de :

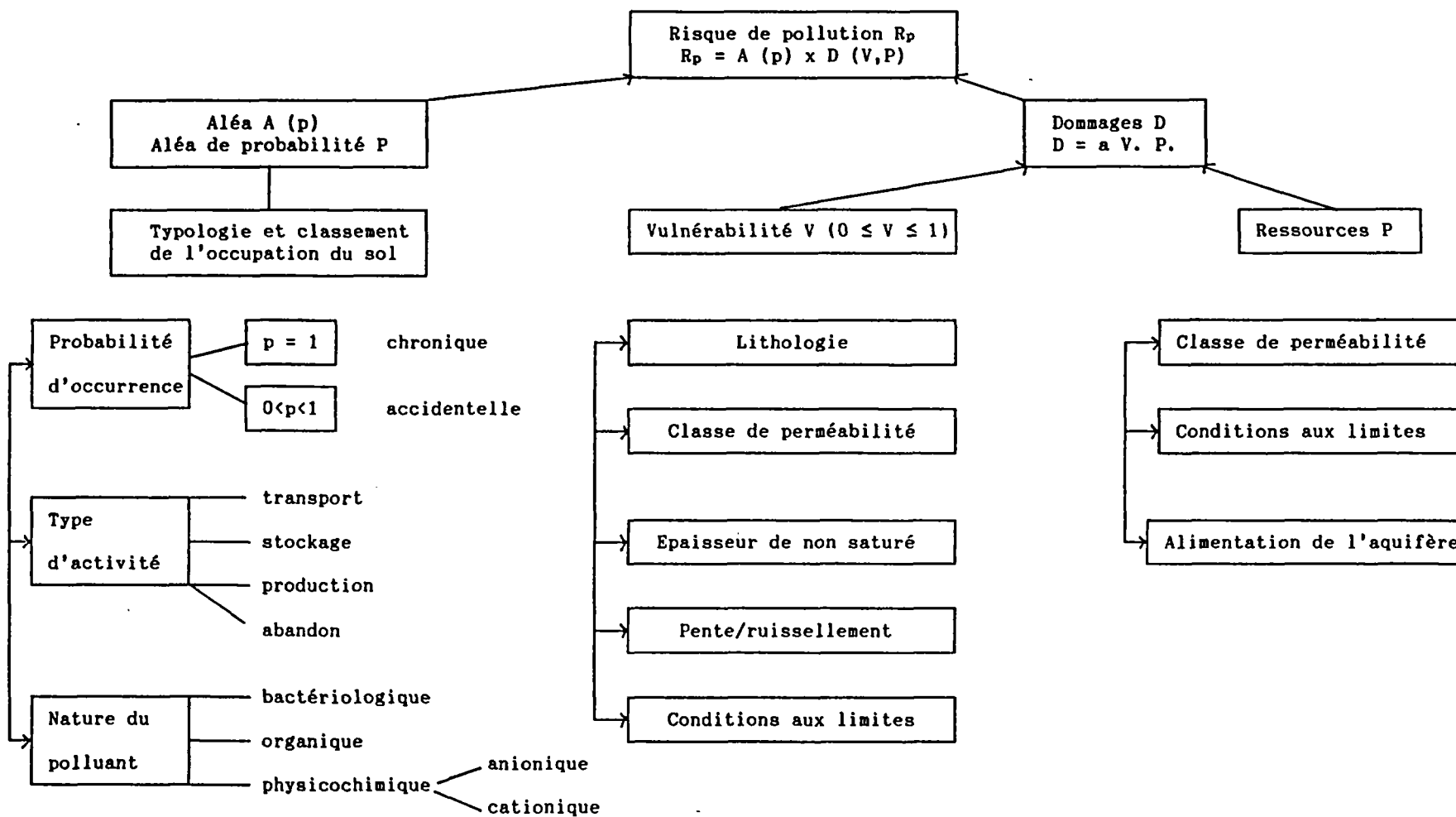


Tableau 7 : Cartographie du risque de pollution des nappes - Paramètres à prendre en compte (J.RICOUR)

- . la carte de vulnérabilité
- . la carte de productivité de l'aquifère.

Les paramètres à prendre en compte sont résumés dans le tableau 7.

2.3. LA METHODE LEGRAND

C'est la méthode la plus connue et souvent la plus utilisée, car elle est simple [17].

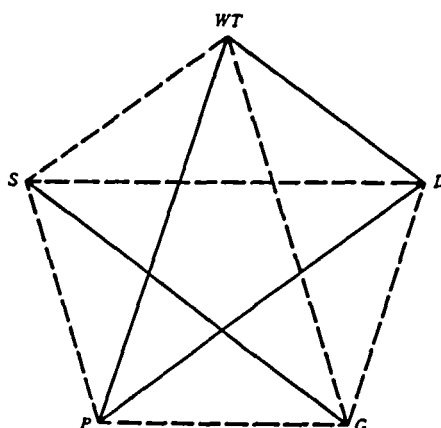
Elle consiste à attribuer un score qui reflète le risque potentiel du site étudié, et la probabilité que les substances toxiques atteignent la nappe. Elle ne considère ni les problèmes de pollution de l'air, ni la pollution des eaux de surface, ni celle du sol.

2.3.1. Conditions d'utilisation

La méthode est applicable, dans le cas d'une source de pollution située à la surface du sol, le sol étant perméable. Elle s'applique plus particulièrement sur des sites pour lesquels on dispose d'un minimum d'informations géologiques et hydrogéologiques. Elle nécessite quelques connaissances sur les déchets impliqués, sur les méthodes de mise en dépôt, sur le comportement général des polluants dans le sol et les facteurs géologiques qui contrôlent leur déplacement, mais elle ne les prend pas en considération.

2.3.2. Conception

La méthode proposée est basée sur l'attribution de 5 valeurs à des facteurs dont l'importance relative est évaluée à partir de mesures faites sur le site. Chaque facteur a une relation directe ou inverse avec les autres facteurs (figure 1).



WT : niveau de la nappe
D : distance
g : gradient
P : perméabilité
S : sorption

Les lignes continues relient les facteurs directement liés ; les lignes discontinues les facteurs inversement reliés.

Figure 1 : Méthode Legrand : diagramme des facteurs

2.3.3. Utilisation

Pour appliquer la méthode à un contexte donné, on se place pour chacun des facteurs, sur l'échelle inférieure du nomogramme approprié (figure 2).

* Niveau de la nappe

Le nombre de points attribué augmente avec la profondeur du niveau de la nappe mais les augmentations ne sont pas en simple progression arithmétique ; par exemple, on attribue 5 points à 12 m, et 10 points à 300 m, ceci parce que les polluants sont atténués en atteignant 12 m. La distance au niveau de la nappe doit être la position moyenne du niveau le plus élevé de la nappe.

* Sorption

On attribue 6 points si les polluants se déplacent entièrement dans l'argile depuis le sol jusqu'au point d'utilisation de l'eau.

En fait, le polluant traverse plusieurs milieux. Il faut établir des moyennes.

* Perméabilité

Seules des distinctions qualitatives sont faites ici entre la faible perméabilité de l'argile, la perméabilité modérée du sable fin et la bonne perméabilité du sable grossier et du gravier.

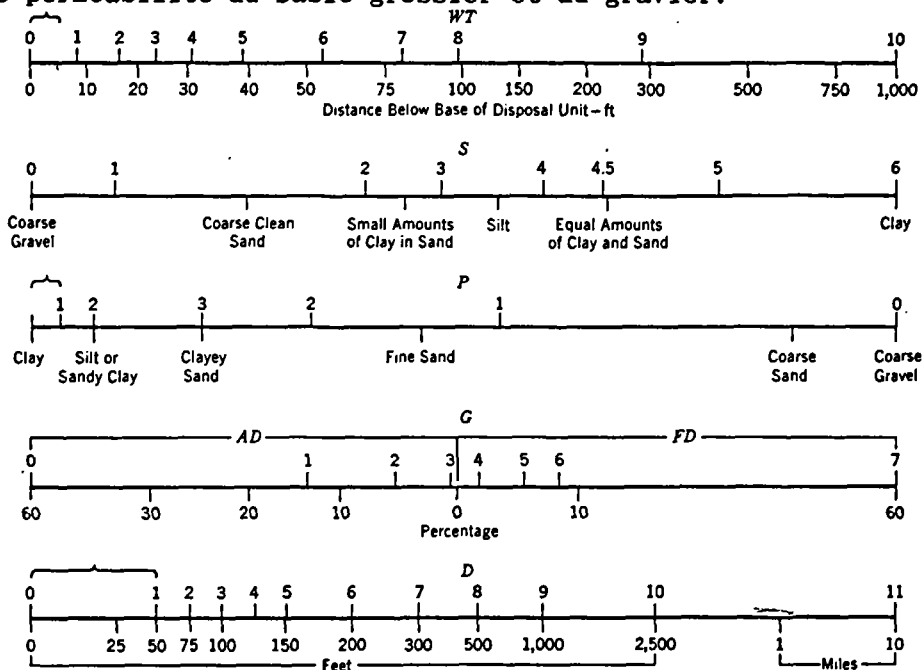


Figure 2a : Nomogramme pour les sites dans des matériaux poreux

Wt : surface de la nappe

G : gradient

S : sorption

D : distance

P : perméabilité

Les accolades indiquent les valeurs non acceptables, sauf pour le gradient, où AD = direction adverse (vers le point d'utilisation de l'eau), FD = direction favorable.

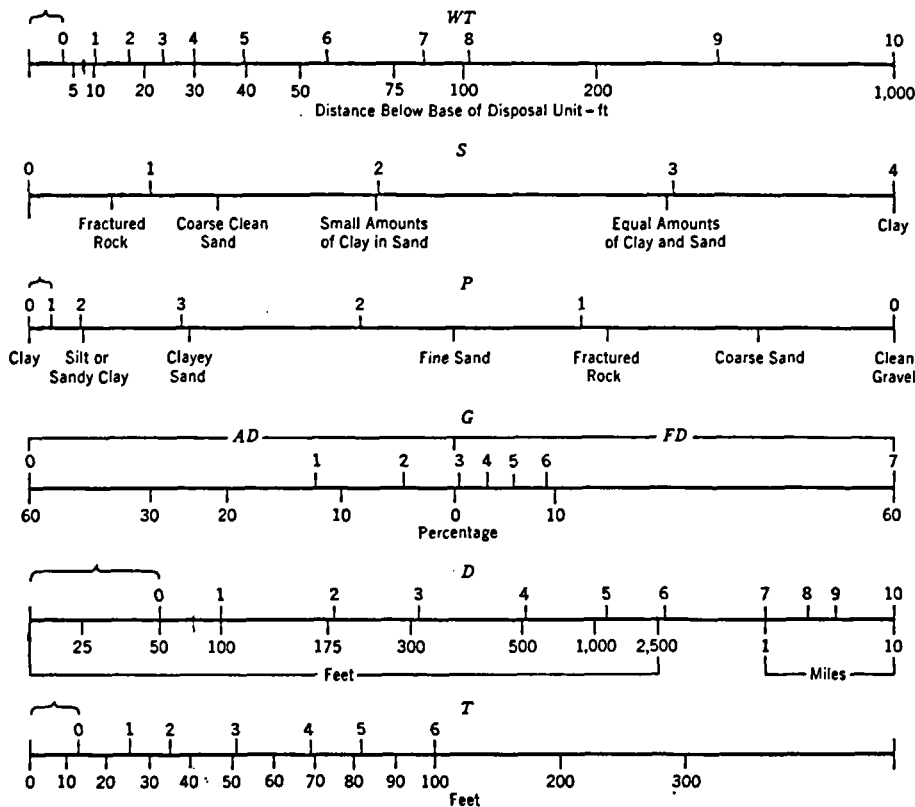


Figure 2b : Nomogramme pour sites sur 2 milieux
(T = épaisseur de matériau poreux sous le dépôt)

* Gradient de la nappe

La direction et la vitesse d'écoulement sont importantes pour évaluer les possibilités de contamination d'un site, donc doivent être établies. Il est important de savoir si un polluant se déplace vers ou à partir d'un point d'alimentation en eau. Moins de 3 points sont attribués si le polluant se dirige vers le point d'alimentation en eau. Dans le cas contraire, le nombre de points attribué est arbitraire.

La valeur du gradient est approximative ou moyenne. Les points attribués supposent que tous les polluants se dirigent vers un puits donné, mais une partie des polluants peut suivre une autre direction.

Les gammes des conditions en bout d'échelle sont assez faciles à établir ; elle le sont moins dans la gamme 1 à 4 points, surtout quand des pompages sporadiques peuvent faire varier le gradient et la direction d'écoulement de l'eau polluée. En général, on ne peut que déterminer des gradients moyens et sélectionner la valeur qui paraît correcte.

* Distance au point d'utilisation

Plus elle croît, plus le danger de pollution diminue.

* Sites à deux milieux

Le nomogramme est légèrement modifié pour les sites formés de deux milieux, c'est-à-dire si la nappe est dans une roche fissurée, et si le dépôt de déchets est sur un matériau poreux, au-dessus de la roche fissurée.

2.3.4. Résultats

Le nombre de points obtenus doit permettre des évaluations préliminaires de la probabilité de pollution de l'eau souterraine au voisinage des dépôts de produits toxiques.

La figure 3 indique 5 gammes de points totaux. Elles indiquent une probabilité de pollution, qui va de "contamination imminente" à "contamination impossible".

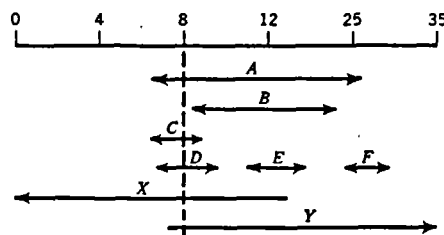


Figure 3 : Potentiel de pollution et précision de l'évaluation

L'interprétation de la figure 5 se fait de la manière suivante :

- 0 - 4 : pollution imminente
- 4 - 8 : pollution probable ou possible
- 8 - 12 : pollution possible mais pas vraisemblable
- 12 - 25 : pollution très improbable
- 25 - 35 : pollution impossible.

La précision est indiquée par des flèches :

- A : évaluation préliminaire ou inadéquate
- B : évaluation préliminaire ou non, analyses supplémentaires non nécessaires
- C : évaluation sur un site qui n'est pas bon
- D : évaluation sur un site moyen
- E : évaluation sur un site adéquat
- F : évaluation sur un site adéquat même pour produits radioactifs.

La flèche X indique la direction de coûts décroissants et de risques croissants pour la santé.

La flèche Y indique les coûts croissants et les risques décroissants pour la santé.

2.4. METHODE D'EVALUATION DU RISQUE DE POLLUTION AUX PAYS-BAS

Hortensius et Nanta [13] relatent la méthode utilisée en général aux Pays-Bas. La méthode prend en considération la pollution du sol, et ne s'occupe ni de la propagation des polluants dans l'environnement, ni de l'évaluation de l'exposition des populations. Comme les méthodes précédentes, c'est une évaluation du risque de pollution. Cette méthode consiste simplement à comparer des sols et des eaux à des standards.

Trois facteurs sont considérés : type et concentration des polluants (tableau 8).

Pour chaque composé, dans le sol et dans l'eau, les teneurs sont comparées à des valeurs standards A, B et C :

- A représente le bruit de fond, et pour les composés xénobiotiques, la limite de détection.
- C est la limite au-dessus de laquelle une réhabilitation est nécessaire.
- B, valeur intermédiaire, correspond à une solution intermédiaire et dépend de la :
 - . situation locale,
 - . et de l'utilisation spécifique du sol.

Ces deux critères sont qualitatifs.

APPENDIX Examination framework for several soil pollutants: indicative values for concentration levels*

Indicative values: A - Reference value**
 B - Indicative value for further investigation
 C - Indicative value for cleaning-up

Presence in:	Soil (mg/kg dry weight)			Groundwater (ug/l)		
Substance	A	B	C	A	B	C
I Metals						
Cr	100	250	800	20	50	200
Co	20	50	300	20	50	200
Ni	50	100	500	20	50	200
Cu	50	100	500	20	50	200
Zn	200	500	3000	50	200	800
As	20	30	50	10	30	100
Mo	10	40	200	5	20	100
Cd	1	5	20	1	2,5	10
Sn	20	50	300	10	30	150
Ba	200	400	2000	50	100	500
Hg	0,5	2	10	0,2	0,5	2
Pb	50	150	600	20	50	200
II Inorganic pollutants						
NH (as N)	-	-	-	200	1000	3000
F (total)	200	400	2000	300	1200	4000
CN (total free)	1	10	100	5	30	100
CN (total complex)	5	50	500	10	50	200
S (total)	2	20	200	10	100	300
Br (total)	20	50	300	100	500	2000
PO (as P)	-	-	-	50	200	700
III Aromatic compounds						
Benzene	0,01	0,5	5	0,2	1	5
Ethylbenzene	0,05	5	50	0,5	20	60
Toluene	0,05	3	30	0,5	15	50
Xylene	0,05	5	50	0,5	20	60
Phenols	0,02	1	10	0,5	15	50
Aromatics (total)	0,1	7	70	1	30	100
IV Polycyclic aromatic compounds (PCA's)						
Naphtalene	0,1	5	50	0,2	7	30
Anthracene	0,1	10	100	0,1	2	10
Phenanthrene	0,1	10	100	0,1	2	10
Fluoranthene	0,1	10	100	0,02	1	5
Pyrene	0,1	10	100	0,02	1	5
Benzo(a)pyrene	0,05	1	10	0,01	0,2	1
Total PCA's	1	20	200	0,2	10	40

Continued next page

Tableau 8 : Normes pour les polluants des eaux et des sols aux Pays-Bas

Tableau 8 : suite

Presence in:		Soil (mg/kg dry weight)			Groundwater (ug/l)		
Substance		A	B	C	A	B	C
V	Chlorinated organic compounds						
	Aliphatic chlor. comp.(indiv.)	0,1	5	50	1	10	50
	Aliphatic chlor. comp.(total)	0,1	7	70	1	15	70
	Chlorobenzenes (indiv.)	0,05	1	10	0,02	0,5	2
	Chlorobenzenes (total)	0,05	2	20	0,02	1	5
	Chlorophenols (indiv.)	0,01	0,5	5	0,01	0,3	1,5
	Chlorophenols (total)	0,01	1	10	0,01	0,5	2
	Chlorinated PCA (total)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
	PCB (total)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
	EOCl (total)	0,1	8	80	1	15	70
VI	Pesticides						
	Organic chlorinated - (indiv.)	0,1	0,5	5	0,05	0,2	1
	Org.chlorin. - (total)	0,1	1	10	0,1	0,5	2
	Pesticides (total)	0,1	2	20	0,1	1	5
VII	Other pollutants						
	Tetrahydrofuran	0,1	4	40	0,5	20	60
	Pyridine	0,1	2	20	0,5	10	30
	Tetrahydro-thiophene	0,1	5	50	0,5	20	60
	Cyclohexanone	0,1	6	60	0,5	15	50
	Styrene	0,1	5	50	0,5	20	60
	Fuel	20	100	800	10	40	150
	Mineral oil	100	1000	5000	20	200	600

Source: Soil Clean-up Guideline, 1983

Notes

- * to be used only in relation with the local situation and the use and function of the soil as explained in the accompanying paper
- ** in the context of cleaning-up conditions

La notion de "situation locale" intègre les possibilités de dispersion de la pollution dans l'environnement, en tenant compte de la structure du sol et des facteurs hydrogéologiques.

La notion d'utilisation spécifique du sol prend en compte le contact des hommes, de la faune et de la flore avec le sol pollué.

L'utilisation de valeurs standards n'est pas très rigoureuse car ces valeurs ont été établies sans tenir compte des problèmes spécifiques aux différents sites. La méthode permet une évaluation rapide préliminaire. Si cette phase aboutit à une nécessité de dépollution, il est possible d'envisager une évaluation de l'exposition en comparant les données avec des données toxicologiques.

3 - METHODES D'EVALUATION DU RISQUE DE POLLUTION DES EAUX ET DES RISQUES POUR LA SANTE

3.1. LA METHODE DE PHILLIPS [24]

L'objectif de la méthode est d'établir un score pour les déchets, un autre pour les sites, et de combiner les deux dans une matrice, de façon à quantifier les interactions et à les comparer aux niveaux admissibles.

3.1.1. Notation des déchets

Elle est basée sur les travaux de Pavoni et al. [23]. Les poids relatifs sont modifiés et des termes ont été ajoutés, en particulier, persistance chimique, viscosité, solubilité, acidité, basicité, et débit d'apport des déchets. La définition du terme sorption est modifiée. Les dix paramètres déchets sont inclus dans un groupe "effets", un groupe "comportement", un groupe "débit" (tableau 9).

3.1.2. Notation des sites

Elle est basée sur la méthode Legrand, mais elle est plus complète. En plus des facteurs de la méthode Legrand, elle comporte un paramètre "infiltration" et un paramètre "épaisseur de la couche poreuse". Ces facteurs forment un groupe "sol", un groupe "hydrogéologie" et un groupe "site".

Tableau 9 : Groupes de facteurs (méthode Phillips)

<u>Déchets</u>	<u>Gamme de notation</u>
1. <u>Groupe "effets"</u>	
1. Toxicité pour l'homme Ht	0 - 10
2. Toxicité pour la nappe gt	0 - 10
3. Potentiel de transmission d'une maladie NDp	0 - 10
2. <u>Groupe "comportement"</u>	
a) Sous groupe performance :	
4. Persistance chimique Cp	1 - 6
5. Persistance biologique Bp	1 - 4
6. Sorption, So	1 - 10
b) Sous groupe propriétés :	
7. Viscosité Vi	1 - 5
8. Solubilité Sy	1 - 5
9. Acidité/basicité Ab	0 - 5
3. <u>Groupe "capacité-débit"</u>	
10. Débit d'application des déchets Ar	1 - 10

Sites

1) <u>Sols</u>	
1. Perméabilité NP	2,5 - 10
2. Sorption NS	1 - 10
2) <u>Hydrogéologie</u>	
3. Surface de la nappe, NWT	1 - 10
4. Gradient NG	1 - 10
5. Infiltration NI	1 - 10
3) <u>Site</u>	
6. Distance ND	1 - 10
7. Epaisseur de couche poreuse NT	1 - 10

3.1.3. Discussion des différents facteurs

3.1.3.1. Facteurs "Déchets"

- Groupe "Effets"

* Toxicité sur l'homme

C'est l'un des facteurs les plus importants dans ce groupe. Le facteur mis au point, classe les déchets en 4 catégories, sans tenir compte de la concentration du déchet. Ce dernier terme est pris en compte par le terme "toxicité pour l'eau souterraine".

$$Ht = \alpha Sr$$

Ht : toxicité pour l'homme

Sr : valeur de toxicité selon Sax [26]

α : constante

Une relation linéaire est choisie parce que c'est la plus simple.

On choisit $\alpha = \frac{10}{3}$, d'où $Ht = \frac{10}{3} Sr$

Ht, varie de 0 (toxicité minimale) à 10, et Sr est égal à 0, 1, 2, ou 3 seulement.

* Toxicité pour l'eau souterraine

Elle est mesurée en termes de concentration du déchet ou d'un constituant des déchets.

$$gt = \frac{10}{7} (4 - \log_{10} Cc)$$

gt : toxicité pour l'eau souterraine

Cc : plus petite valeur critique de concentration (mg/l) pour les humains, la vie aquatique et les plantes, mais pour :

$Cc > 10^4$ mg/l gt = 0

$Cc < 10^{-3}$ mg/l gt = 10

La gamme de gt va de 0 (non toxique) à 10 (très toxique).

* Potentiel de transmission d'une maladie

Ce facteur se rapporte aux déchets industriels et aux déchets hospitaliers.

Dp va de 0 (pas d'effet) à 10 (effet maximal).

Il est évalué d'après trois propriétés de transmission des maladies, les sous groupes A, B et C. A représente le mode de contraction de

la maladie, B l'état de vie du pathogène, et C l'aptitude du pathogène à survivre.

- . A : valeur maximale 4 (contact direct)
- . B : valeur maximale 3.

Pour les microorganismes pathogènes ayant plus d'un état de vie (virus, fungi), on attribue la valeur 3.

Pour les pathogènes à un seul état de vie, on donne la valeur 2, et pour ceux qui ne peuvent survivre en dehors de leur hôte, on attribue la valeur 0.

C : la valeur maximale est 2,5 (survit dans l'air : 1, survit dans l'eau : 1, survit dans le sol : 0,5).

Dp est la somme de A, B et C.

- Groupe "Comportement"

* Persistance chimique

Pour les déchets industriels ce facteur est plus important que la persistance biologique.

Pour définir ce facteur, on suppose que la décroissance des composés toxiques d'un déchet peut être caractérisée par un seul paramètre :

$$C_p = 5 \exp(-kt) \quad t = \text{temps} \quad C_p = \text{persistance chimique}$$

mais si $C_p < 1$, on prend $C_p = 1$ avec k déterminée par l'équation :

$$C_6/C_1 = \exp(-kt), \text{ où}$$

C1 = concentration du composé toxique à 1 jour

C6 = concentration du composé toxique à 6 jours.

Chaque concentration étant mesurée, le nombre de jours voulus après contact du déchet avec le sol (pour un mélange à 50 % pondéral).

Cp varie de 1 (composé toxique très instable) à 5 (composé toxique très stable).

* Persistance biologique

La réactivité biologique est mesurée par la DBO (demande biologique en oxygène), établie en général sur 5 jours. Si le déchet est totalement biodégradable, la DBO sera égale approximativement à la DTO (demande théorique en oxygène). Le rapport DBO/DTO est alors une mesure du degré de biodégradabilité. Selon Pavoni [23] :

$$B_d = 4 \left(1 - \frac{DBO}{DTO} \right)$$

mais si $B_d < 1$, $B_d = 1$

où :

DBO = DBO standard de 5 jours en mg/l

DTO = demande théorique en O₂, mg/l, mesurée par un procédé standard d'oxydation.

Ce facteur varie de 0 (peu biodégradable) à 4 (non biodégradable).

* Sorption

La procédure recommandée est la même que pour la mesure de persistance chimique. Les deux paramètres peuvent être mesurés en même temps. On réalise un mélange de sol du site et de déchets, avec 50 % en poids de déchets. La concentration du composé toxique du déchet est mesurée avant et après mélange avec le sol.

$$S_0 = 11 - C_0/C_1$$

C₀ = concentration du composé toxique dans le déchet

C₁ = concentration du composé toxique dans le déchet 1 jour après mélange avec le sol, mélange à 50 % en poids mais si C₀/C₁ >10, on prend S₀ = 1.

Ce paramètre va de 1 (très forte absorption) à 10 (pas d'absorption). Ce paramètre est déterminant pour apprécier l'aptitude du sol.

On notera que le paramètre sorption du déchet inclut les propriétés du déchet et du sol, tandis que le paramètre sorption du sol du site n'inclut que les propriétés du sol.

* Viscosité

Elle est importante car elle influe sur le temps de transfert du déchet vers la nappe.

$$V_i = 5 - \log_{10}\mu$$

μ = viscosité en centipoises

pour $\mu > 10$, $V_i = 1$ et pour $\mu < 1$, $V_i = 5$.

La viscosité doit être mesurée à la température moyenne maximale du site lors de son utilisation.

V_i varie de 1 (très visqueux) à 5 (viscosité de l'eau).

* Solubilité

Le terme solubilité affecte la mobilité du polluant. Il est défini par :

$$S_Y = 3 + 0,5 \log_{10}S$$

S = solubilité du déchet dans l'eau pure à 25°C, et à pH 7, en mg/l, mais si $S < 10^{-4}$ mg/l, $S_Y = 1$, si $S > 10^4$ mg/l, $S_Y = 5$

La solubilité va de 1 (faible solubilité) à 5 (très soluble). Si le déchet est miscible à l'eau, SY = 5, valeur maximale.

*** Acidité - basicité**

Les déchets très acides ou très basiques sont indésirables. Les déchets acides auront tendance à solubiliser les métaux d'où leur mobilité accrue, tandis que les déchets basiques, auront tendance à précipiter les métaux et donc à les immobiliser.

On définit un facteur acidité/basicité Ab :

pH du déchet	≤ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	≥ 14
valeur Ab	5	5	5	4	3	2	1	0	0	1	1	2	2	3	3

Le facteur acidité/basicité va de 0 (pas d'effet) à 5 (effet maximal).

- Groupe "Capacité"

L'aptitude du sol à atténuer les éléments nocifs du déchet dépend du débit d'arrivée du déchet. Si le débit d'apport (quantité/unité de surface/unité de temps) dépasse la capacité d'épuration du site, le sol ne peut plus agir comme épurateur (ce facteur s'applique à un déchet en partie liquide ou à des boues).

Le facteur "débit d'apport du déchet" est défini par :

$$Ar = \frac{9}{2} \log_{10} [(Rf.Co)^{1/2}.NS] + 1$$

Ar = facteur débit d'application

NS = paramètre de sorption du site

Rf = débit volumétrique déduit du tableau suivant :

Débit d'apport (m ³ /m ² /s) → m/s	Rf
< 4,71.10 ⁻⁸	1
4,71.10 ⁻⁸ - 2,08.10 ⁻⁷	2
2,08.10 ⁻⁷ - 4,71.10 ⁻⁷	3
4,71.10 ⁻⁷ - 9,42.10 ⁻⁷	4
9,42.10 ⁻⁷ - 1,41.10 ⁻⁶	5
1,41.10 ⁻⁶ - 1,88.10 ⁻⁶	6
1,88.10 ⁻⁶ - 2,35.10 ⁻⁶	7
2,35.10 ⁻⁶ - 2,82.10 ⁻⁶	8
2,82.10 ⁻⁶ - 3,29.10 ⁻⁶	9
> 3,29.10 ⁻⁶	10

Co = fonction de la concentration en composé toxique dans le déchet

$$Co = 5 + 1,25 \log_{10} C$$

C = concentration du déchet mg/l

mais si $C < 10^{-4}$ mg/l, $C_0 = 0$
 $C > 10^{-4}$ mg/l, $C_0 = 10$

C_0 va de 1 (faible solubilité) à 10 (solubilité élevée). Ar va de 1 (faible débit apport d'un déchet de faible concentration sur un site ayant des propriétés de sorption élevées) à 10 (débit d'application élevé, d'un déchet très concentré sur un site peu absorbant).

Remarque :

Dans un mélange de déchets, chaque composant est à estimer séparément, et on aboutit à une gamme de facteurs pour chaque composant du mélange, et l'interaction déchet-sol est la somme des interactions des différents composants du déchet avec le sol.

3.1.3.2. Facteurs "Sites"

Le procédé de notation utilise les nomogrammes de Legrand.

* Perméabilité

Les valeurs de Legrand sont normalisées selon :

$$NP = \frac{10}{P_{\max} + 1} (P_{\max} + 1 - P)$$

NP : facteur de perméabilité normalisée

P : score de perméabilité selon Legrand

$P_{\max}$: valeur maximale de P selon Legrand ($P_{\max} = 3$).

La valeur de NP s'étend de 2,5 (faible perméabilité) à 10 (perméabilité maximale).

* Sorption

La valeur de sorption normalisée est donnée par :

$$NS = \frac{10}{S_{\max} + 1} (S_{\max} + 1 - S)$$

S : score de sorption selon Legrand

$S_{\max}$: valeur maximale de S selon Legrand = 6

* Niveau de la nappe

La valeur normalisée pour la profondeur de la nappe est donnée par :

$$NWT = \frac{10}{WT_{\max} + 1} (WT_{\max} + 1 - WT)$$

WT : score pour le niveau de la nappe selon Legrand
 WTmax : valeur maximale selon Legrand = 10 pour milieu poreux et pour deux milieux.

NWT varie de 1 (meilleur cas : niveau de nappe peu profond) à 10 (cas le plus mauvais, où le niveau de la nappe est près de la surface).

*** Gradient**

$$NG = \frac{10}{G_{\max} + 1} (G_{\max} + 1 - G)$$

NG : facteur normalisé
 G : score pour le gradient d'après Legrand
 Gmax : valeur maximale du gradient selon Legrand = 7.

Les valeurs normalisées vont de 1 (gradient en s'éloignant du site dans une direction favorable) à 10 (gradient vers le point d'utilisation d'eau).

*** Infiltration**

Le facteur d'infiltration normalisé utilisé pour la matrice est défini comme suit :

icm	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55
NI	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
icm	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	85-90	90-95	95-100	>100	
NI	6	7	7	8	8	9	9	10	10	10	

L'infiltration i est le débit maximal que peut absorber le sol, sous forme de pluie ou d'apports d'eau.

Les taux moyens d'infiltration de différents sol varient de 0,25 mm/h à 87,5 mm/h.

Le facteur infiltration varie de 1 (infiltration minimale) à 10 (infiltration maximale).

*** Distance**

$$ND = \frac{10}{D_{\max} + 1} (D_{\max} + 1 - D)$$

ND : facteur distance normalisé
 D : distance d'après Legrand
 Dmax : distance maximale d'après Legrand = 11

ND s'étend de 1 (grande distance du lieu de dépôt au site étudié) à 10 (dépôt proche du site considéré).

* Epaisseur de couche poreuse

Dans le cas d'un seul milieu meuble, la couche poreuse est définie comme étant supérieure à 30 m. Si la couche est inférieure à 30 m, le site est considéré à deux milieux, le milieu sous-jacent étant considéré comme relativement imperméable. Dans le dernier cas, on définit le facteur

$$NT = \frac{10}{T_{\max} + 1} (NT_{\max} + 1 - T)$$

NT : épaisseur de la couche poreuse (< 30 m) pour un site à deux milieux

T : score pour l'épaisseur selon Legrand

T_{max} : valeur maximale de T selon Legrand = 6

NT varie de 1 (environ 30 m de profondeur ou couche poreuse) à 10 (environ 3 m de profondeur).

3.1.4. La matrice

Les paramètres déchets et les paramètres sol sont combinés en rangées et en colonnes dans la matrice (figure 4).

Les scores sont inscrits sur une colonne (déchet) et une rangée (sol), exemple figure 5.

Pour évaluer le sol, les scores de la rangée sont additionnés, de même que pour évaluer le déchet, les scores sur la colonne sont additionnés. Pour évaluer la combinaison déchet-sol, les scores sont multipliés. Les scores vont de 45 (meilleur) à 4830 (le plus mauvais).

Une échelle de classification des sites en 10 classes a été réalisée.

Classe	Acceptable					Non acceptable				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Score pour	45-	100-	200-	300-	400-	500-	750-	1000-	1500-	>2500
Déchet-sol	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000	

Les classes 1 à 5 sont considérées comme acceptables et les classes de 6 à 10 comme inacceptables.

Dans l'exemple de la figure 7, on a :

Score total déchet = 33

Score total site = 20

Total score déchet-site sol = 957

Classe déchet-site sol = 7 (non acceptable)

Sol		Groupe Sol		Groupe Hydrogéologie			Groupe Site		
		Perméa- bilité NP (2,5-10)	Sorp- tion NS (1-10)	Surface nappe WT (1-10)	Gradient NG (1-10)	Infiltra- tion NI (1-10)	Distance ND (1-10)	Epaisseur couche poreuse NT(1-10)	Total
Déchet		P=	P=						
C O M P O S I T I O N S	C R O U P E	Toxicité pour l'homme Ht (0-10)							
		Toxicité pour eau souterr. Gt(0-10)							
		Potentiel transmission maladie DP(0-10)							
		Persistance chimique Cp(1-5)							
		Persistance biologique BP(1-4)							
		Sorption SO(1-10)							
M O D I F I C A T I O N S	P R O P I E T E	Viscosité Vi(1-5)							
		Solubilité Sy(1-5)							
T E M P O R A L I T É		Acidité/ Basicité Ab(0-5)							
T E M P O R A L I T É	C D A E P B A I C T I T É	Débit d'applica- tion déchets Ar(1-10)							
		TOTAL							

P= : le score en points **Figure 4** : Matrice utilisée pour évaluation d'un site

		Sol	Groupe Sol		Groupe Hydrogéologie			Groupe Site		
			Perméabilité NP (2,5-10)	Sorption NS (1-10)	Surface nappe WT (1-10)	Gradient NG (1-10)	Infiltration NI (1-10)	Distance ND (1-10)	Epaisseur couche poreuse NT(1-10)	Total
Déchet		P*	5	4	5	2	6	7	0	29
C O M P O S I T I O N S	G R O U P E F O R M A T I O N S	Toxicité pour l'homme Ht (0-10)	8	40	32	40	16	48	56	232
		Toxicité pour eau souterr. Gt(0-10)	5	25	20	25	10	30	35	145
		Potentiel transmission maladie DP(0-10)	0							
		Persistance chimique Cp(1-5)	3	15	12	15	6	18	21	87
		Persistance biologique BP(1-4)	4	20	16	20	8	24	28	116
		Sorption SO(1-10)	5	25	20	25	10	30	35	145
		Viscosité Vi(1-5)	2	10	8	10	4	12	14	58
		Solubilité Sy(1-5)	1	5	4	5	2	6	7	29
		Acidité/ Basicité Ab(0-5)	1	5	4	5	2	6	7	29
		Débit d'applica- tion déchets Ar(1-10)	4	20	16	20	8	24	28	116
TOTAL		33	165	132	165	66	198	231	957	

Figure 5 : Exemple d'évaluation de site (Phillips) :

3.2. METHODE DE KERNDORFF ET AL. [15]

Cette méthode, mise au point au Ministère de la santé en Allemagne, a été utilisée pour identifier les sites à risques en Allemagne ex-fédérale.

3.2.1. Structure de la méthode

La structure de la méthode est présentée dans la figure 6. Après une étude préliminaire, un passage au crible de tous les sites et des analyses de polluants toxiques, les sites posant problème ont été identifiés.

La méthode ne s'intéresse qu'aux risques de pollution des eaux souterraines et à leurs conséquences néfastes pour les utilisateurs.

Remarque :

Il est très possible d'imaginer l'utilisation d'une méthode type Legrand pour la première phase, qui est l'étude préliminaire.

3.2.2. Concept de l'évaluation du risque

Ce concept est divisé en deux parties : "évaluation des substances toxiques" et "évaluation de l'exposition à ces substances" (figure 7).

Dans la partie "évaluation des substances", trois paramètres sont évalués séparément : "toxicité", "comportement physico-chimique lors du transfert vers l'eau souterraine" et "concentration de la substance". Les résultats sont exprimés par des nombres entre 0 et 100.

Le nombre résultant de ces trois paramètres d'évaluation de la substance est ajouté au nombre d'évaluation de l'exposition.

3.2.2.1. Evaluation des substances

Les substances analysées sont "les polluants prioritaires", tels que recensés par Schleyer et al. [27], sur la base d'un très grand nombre d'études de cas en Allemagne et aux Etats-Unis.

* Concentrations

Les fréquences de distribution et les courbes cumulées des polluants, dans les sites étudiés, exprimées en pourcentage, permettent l'obtention du nombre "évaluation de la concentration", qui par définition est pris égal au pourcentage sur la courbe cumulée.

Figure 6 : Méthode de détection des sites présentant un risque pour les eaux souterraines (Kerndorff)

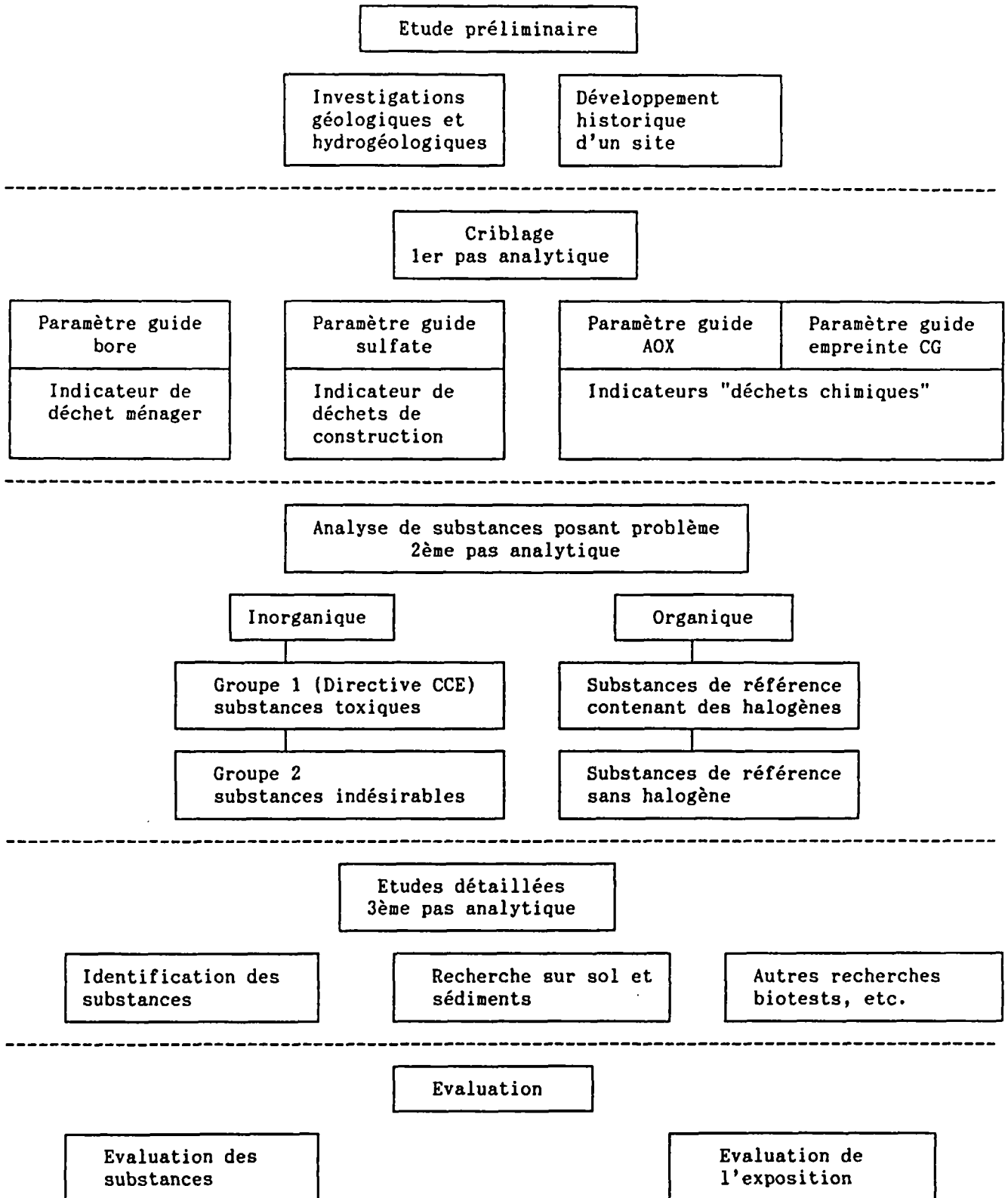
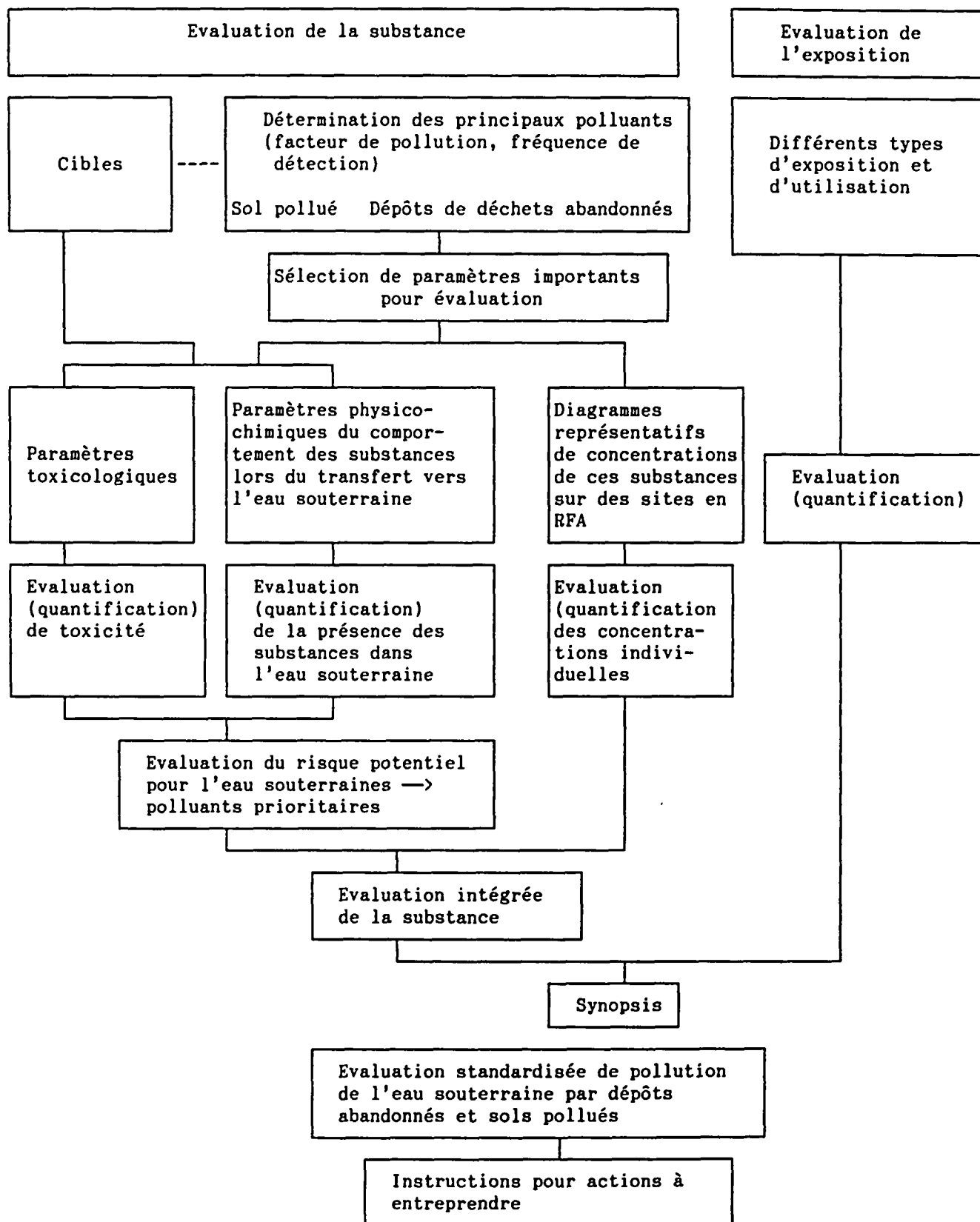


Figure 7 : Schéma du concept pour l'évaluation du risque



La figure 8 donne un exemple pour Cd, Pb, trichloroéthène.

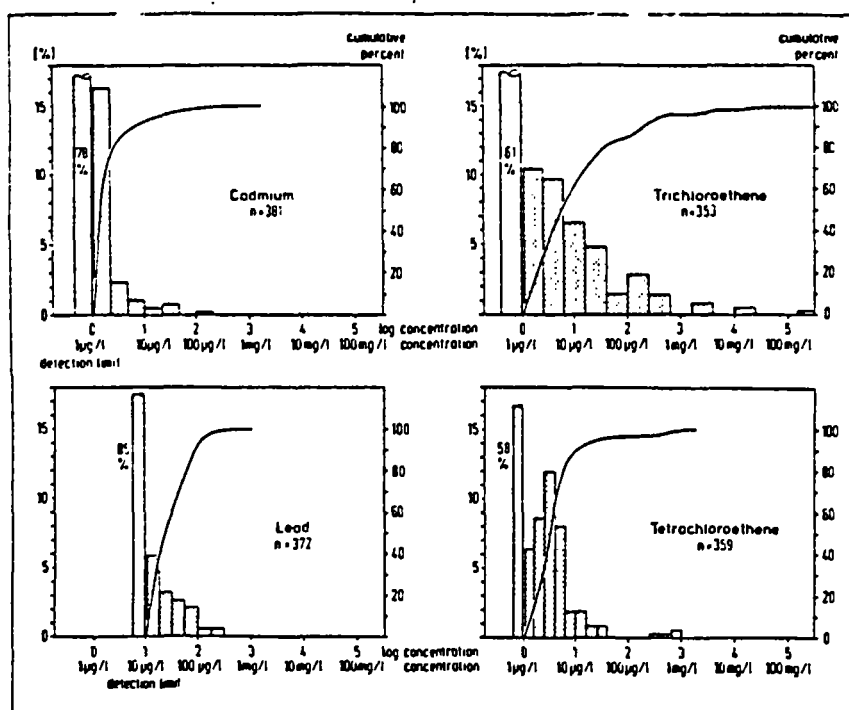


Figure 8 : Fréquences de distribution et courbes cumulées pour 4 polluants en aval de 92 décharges en RFA

Ceci permet de classer les sites, en fonction des valeurs attribuées pour un polluant et un site, et d'établir si ils sont très influencés par cette substance ou non.

Le tableau 10 donne un exemple pour le trichloroéthène.

Somme de pourcentages	Somme de concentrations (µg/l)	Classification
90 - 100	> 230	extrêmement influencé
75 - 90	25 - 220	très influencé
50 - 75	6 - 25	influencé de façon significative
25 - 50	2,5 - 6	influencé
0 - 25	1 - 2,5	peu influencé

Tableau 10 : Classification des sites en fonction des concentrations en trichloroéthène

Les nombres d'évaluation sont spécifiques de chaque substance et compris entre 0 et 100.

* Paramètres physico-chimiques du comportement

La présence des polluants dans l'eau souterraine est fonction principalement de la mobilité (solubilité, pression de vapeur) et du potentiel de bioaccumulation (coefficient de partition octanol-eau)(*) ou géoaccumulation (sorption).

Les fréquences de distributions et courbes cumulées des solubilités et pression de vapeur ont été tracées pour 100 polluants principaux (figure 9).

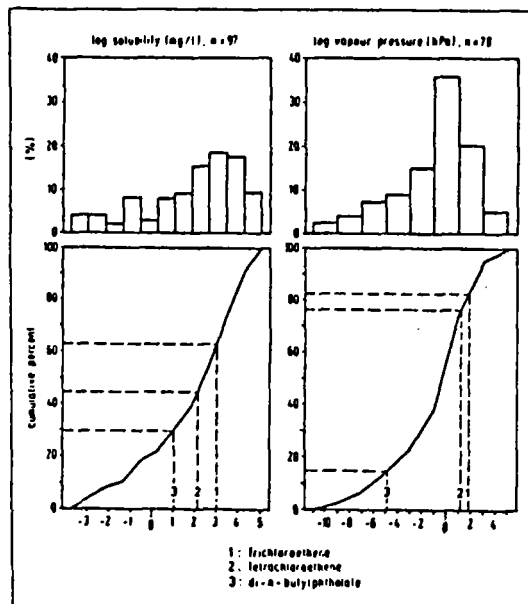


Figure 9 : Fréquences de distribution et courbes cumulées, pour la solubilité dans l'eau et la pression de vapeur de 100 polluants principaux

(*) P = coefficient de partage d'une substance entre l'eau et un solvant lipophile (octanol)
logP, est un paramètre représentatif de la bioaccumulation.

De la même manière que précédemment, en partant de la valeur du log solubilité d'un élément et en se reportant sur la courbe cumulée, on obtient un pourcentage que l'on identifie au "nombre d'évaluation" pour la solubilité. La moyenne arithmétique des deux nombres, solubilité et pression de vapeur est définie comme "nombre d'évaluation de la mobilité".

Les substances ayant un "nombre de mobilité" supérieur à 90 sont très mobiles dans l'eau souterraine, celles qui ont moins de 25 sont peu mobiles.

* Toxicité

Les réglementations existantes ne comportent souvent pas de normes pour tous les polluants provenant de déchets. Les auteurs ont établi un modèle d'évaluation de la toxicité, celle-ci étant la toxicité par voie orale. Ce modèle est divisé en 5 parties "Rel" (fiabilité de la base de données), "Tox" (tests de toxicité), "Ca" (pouvoir carcinogène), "Ott" (autres tests de toxicité) et "Htx" (toxicité pour l'homme) (figure 10).

Panel Rel (Reliability of the data basis) <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"></th> <th style="text-align: center;">weighting-points</th> <th style="text-align: center;">group rating</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(sub)acute toxicity</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">I 1 - 3 points</td> </tr> <tr> <td>(sub)chronic toxicity</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>reproductive toxicology</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>(sub)acute immunotoxicity</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">II 4 - 8 points</td> </tr> <tr> <td>(sub)chronic immunotoxicity</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>metabolism and distribution</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">III 9 - 12 points</td> </tr> <tr> <td>biochemical toxicology</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>mutagenicity</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">total of points:</td> <td>group:</td> </tr> </tbody> </table>		weighting-points	group rating	(sub)acute toxicity	1	I 1 - 3 points	(sub)chronic toxicity	3	reproductive toxicology	2	(sub)acute immunotoxicity	1	II 4 - 8 points	(sub)chronic immunotoxicity	2	metabolism and distribution	1	III 9 - 12 points	biochemical toxicology	1	mutagenicity	1	total of points:		group:	Panel Ca (Carcinogenicity) (non-oral studies: i = inhalative d = dermal) group A = human carcinogen group B₁ = probable animal cancer initiator and/or probable human carcinogen group B₂ = probable animal cancer promotor group C = non carcinogenic group D = not tested substance classification for carcinogenicity: (I, D)																
	weighting-points	group rating																																								
(sub)acute toxicity	1	I 1 - 3 points																																								
(sub)chronic toxicity	3																																									
reproductive toxicology	2																																									
(sub)acute immunotoxicity	1	II 4 - 8 points																																								
(sub)chronic immunotoxicity	2																																									
metabolism and distribution	1	III 9 - 12 points																																								
biochemical toxicology	1																																									
mutagenicity	1																																									
total of points:		group:																																								
Panel Tox (Toxicological examinations) <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"></th> <th style="text-align: center;">NOEL or LOEL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(sub)acute toxicity (< 90 days):</td> <td style="text-align: center;">mg/kg bw</td> </tr> <tr> <td>(sub)chronic toxicity (> 90 days):</td> <td style="text-align: center;">mg/kg bw</td> </tr> <tr> <td>reproductive toxicology:</td> <td style="text-align: center;">mg/kg bw</td> </tr> <tr> <td>(sub)acute immunotoxicity (< 90 days):</td> <td style="text-align: center;">mg/kg bw</td> </tr> <tr> <td>(sub)chronic immunotoxicity (> 90 days):</td> <td style="text-align: center;">mg/kg bw</td> </tr> </tbody> </table> values from non-oral studies are marked with i = inhalative or d = dermal derivation of lowest NOEL (SF = safety factor) a) lowest obs. NOEL: neg. log = or b) lowest obs. LOEL: neg. log = transformation of LOEL in NOEL (SF: 10) = + 1 c) SF for experimental NOEL from only one species = + 1 for 2 or more species = 0 1) lowest NOEL: measured (a) or estimated ((a or b)+c) = adjustment of the lowest NOEL (1) for incompleteness of toxicological data basis: providing the data must be marked with ? lowest NOEL originates from <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">(sub)acute toxicity</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">(sub)chronic toxicity</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">reproductive toxicology</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">both (sub)chronic areas are missing</td> <td style="text-align: center;">both (sub)acute areas are missing</td> <td style="text-align: center;">both (sub)chronic areas are missing</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+ 2</td> <td style="text-align: center;">+ 1</td> <td style="text-align: center;">+ 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">reproductive toxicology is missing</td> <td style="text-align: center;">reproductive toxicology is missing</td> <td style="text-align: center;">both (sub)acute areas are missing</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+ 1</td> <td style="text-align: center;">+ 1</td> <td style="text-align: center;">+ 1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">assessment panel Tox: a) adjusted lowest NOEL: +</td> <td style="text-align: center;">assessment panel Tox: a) adjusted lowest NOEL: +</td> <td style="text-align: center;">additional: only, when observed or probable cumulation (both (sub)chronic areas) have been tested</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">or b) lowest NOEL (1) (for complete data basis)</td> <td style="text-align: center;">or b) lowest NOEL (1) (for complete data basis)</td> <td style="text-align: center;">+ 1 (no +)</td> </tr> </table>		NOEL or LOEL	(sub)acute toxicity (< 90 days):	mg/kg bw	(sub)chronic toxicity (> 90 days):	mg/kg bw	reproductive toxicology:	mg/kg bw	(sub)acute immunotoxicity (< 90 days):	mg/kg bw	(sub)chronic immunotoxicity (> 90 days):	mg/kg bw	(sub)acute toxicity	(sub)chronic toxicity	reproductive toxicology	↓	↓	↓	both (sub)chronic areas are missing	both (sub)acute areas are missing	both (sub)chronic areas are missing	+ 2	+ 1	+ 2	↓	↓	↓	reproductive toxicology is missing	reproductive toxicology is missing	both (sub)acute areas are missing	+ 1	+ 1	+ 1	↓	↓	↓	assessment panel Tox: a) adjusted lowest NOEL: +	assessment panel Tox: a) adjusted lowest NOEL: +	additional: only, when observed or probable cumulation (both (sub)chronic areas) have been tested	or b) lowest NOEL (1) (for complete data basis)	or b) lowest NOEL (1) (for complete data basis)	+ 1 (no +)
	NOEL or LOEL																																									
(sub)acute toxicity (< 90 days):	mg/kg bw																																									
(sub)chronic toxicity (> 90 days):	mg/kg bw																																									
reproductive toxicology:	mg/kg bw																																									
(sub)acute immunotoxicity (< 90 days):	mg/kg bw																																									
(sub)chronic immunotoxicity (> 90 days):	mg/kg bw																																									
(sub)acute toxicity	(sub)chronic toxicity	reproductive toxicology																																								
↓	↓	↓																																								
both (sub)chronic areas are missing	both (sub)acute areas are missing	both (sub)chronic areas are missing																																								
+ 2	+ 1	+ 2																																								
↓	↓	↓																																								
reproductive toxicology is missing	reproductive toxicology is missing	both (sub)acute areas are missing																																								
+ 1	+ 1	+ 1																																								
↓	↓	↓																																								
assessment panel Tox: a) adjusted lowest NOEL: +	assessment panel Tox: a) adjusted lowest NOEL: +	additional: only, when observed or probable cumulation (both (sub)chronic areas) have been tested																																								
or b) lowest NOEL (1) (for complete data basis)	or b) lowest NOEL (1) (for complete data basis)	+ 1 (no +)																																								

Figure 10 : Le modèle d'évaluation de la toxicité des polluants de l'eau souterraine

Ce modèle fournit un "nombre d'évaluation de la toxicité" pour chaque substance.

*** Evaluation de la substance**

Pour évaluer le polluant, il faut combiner les trois valeurs obtenues, soit en les sommant, et en obtenant des valeurs comprises entre 0 et 300, soit en utilisant une représentation graphique tridimensionnelle (figure 11). Dans ce cas, le nombre d'évaluation de la substance est la valeur d'un vecteur allant de l'origine à un point dans le cube.

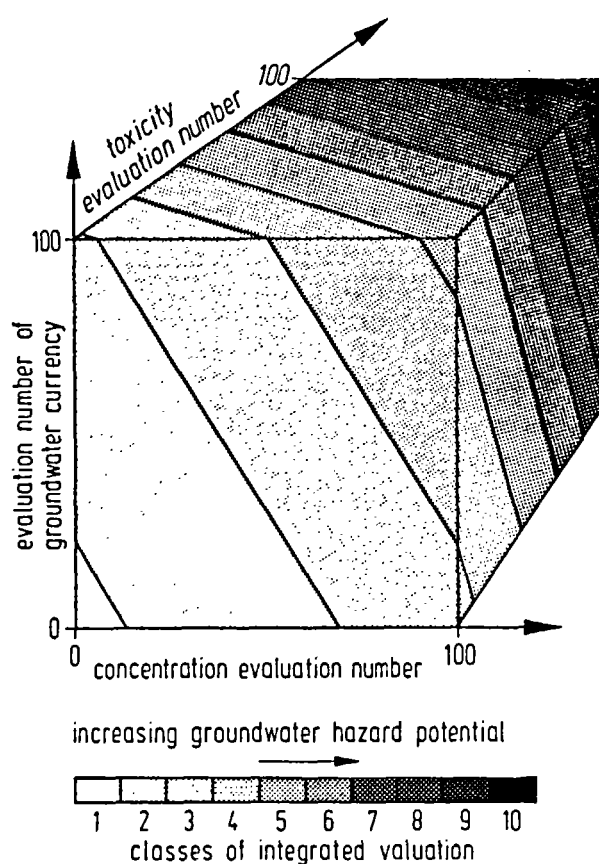


Figure 11 : Evaluation de la substance

3.2.2.2. Evaluation de l'exposition au risque

Le risque découlant de l'exposition est lié à l'usage qui est fait de l'eau : eau de boisson, eau pour usage industriel, utilisation par les plantes, etc.

Les auteurs ne donnent pas d'indication sur la façon dont ils quantifient ce risque.

3.3. LA METHODE HRS (Hazard Ranking System) DE L'EPA

En 1980, les Etats-Unis ont adopté une loi, le Cercla (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act), modifiée par SUPERFUND (Superfund Amendments and Reauthorization Act) de 1986, pour répondre aux dangers posés par la libération non contrôlée de substances toxiques et polluants divers.

L'EPA a été chargée d'établir des critères, basés sur les risques pour la santé et l'environnement, en vue de définir des priorités des sites à traiter.

C'est dans cette optique que l'EPA a adopté la méthode HRS, qui est basée sur l'attribution de scores.

En 1986, la première version du système a été révisée et améliorée, suite à de nombreuses consultations, discussions sur les éléments à prendre en compte pour bien évaluer les risques ; certains paramètres ont été supprimés, d'autres ajoutés, pour aboutir à la version révisée de novembre 1990, qui est présentée ici.

Cette méthode nous apparaît, au terme de cette étude, comme la plus complète et la plus rigoureuse. Elle a cependant l'inconvénient d'être plus lourde car elle nécessite un grand nombre de données, et elle considère les risques pour l'eau souterraine, pour le sol, pour les eaux de surface et pour l'air.

Pour chacune de ces voies, elle évalue non seulement les risques de pollution, mais les risques liés à l'exposition aux produits toxiques, pour toutes catégories de population exposée.

La méthode détaillée, avec son mode d'emploi, est présentée en annexe pour les voies "eau souterraine", "eaux de surface" et "sol".

Dans ce qui suit, elle est présentée de façon synthétique.

3.3.1. Choix des paramètres

Dans chacune des voies de transfert évoquées, les paramètres retenus sont groupés dans des rubriques dénommées ici "caractéristiques des déchets", "probabilité de relargage des substances toxiques", "cibles" et "score final d'évaluation du risque".

On notera que le terme "release", qui signifie la mise en liberté des éléments toxiques, a été traduit dans les tableaux et texte suivants par "relargage" ou "largage" ou "mobilisation".

* Migration vers l'eau souterraine

Les paramètres retenus sont contenus dans le tableau 11a.

La direction d'écoulement est indirectement prise en compte dans la rubrique "cibles".

Le temps de transfert est déterminé en tenant compte de la perméabilité et de l'épaisseur de la couche de plus faible perméabilité d'au moins 1 m d'épaisseur.

Le terme "profondeur de l'aquifère" prend en compte la capacité d'absorption.

Migration vers l'eau souterraine

Probabilité de relargage d'éléments toxiques	X	Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Relargage observé ou Potentiel à relarguer		Toxicité/Mobilité Quantités de déchets toxiques		Puits le plus proche Population Ressources Périmètres de protection des captages
Conteneurs Pluie efficace Profondeur de la nappe Temps de transfert				

Tableau 11a : Migration vers l'eau souterraine

*** Migration vers les eaux de surface**

La migration des éléments toxiques vers les eaux de surface est le fait de deux composantes : écoulement à la surface du sol et déversement d'eau souterraine dans l'eau de surface, dans une rivière par exemple. Les deux composantes sont évaluées (tableaux 11b et 11c).

Migration vers les eaux de surface

Composante écoulement en surface

Probabilité de relargage X Menace pour l'eau de boisson

Relargage observé
ou
Potentiel à relarguer
par :
écoulement en surface :
• conteneur
• ruissellement
• distance à l'eau de
surface

par :
inondation :
• conteneur
• fréquence des crues

Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Toxicité/Persistance		Prélèvement
Quantité de déchets		le + proche
toxiques		Population
		Ressources

+

Menace pour la chaîne alimentaire
de l'homme

Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Toxicité/Persistance		Chaîne
/Bioaccumulation		alimentaire
Quantité de déchets		individuelle
toxiques		Population

+

Menace pour l'environnement

Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Toxicité pour l'éco-		Environ-
système/Persistance		nements
/Bioaccumulation		sensibles
Quantité de déchets		
toxiques		

Tableau 11b : Migration vers les eaux de surface
Composante écoulement en surface

Migration vers les eaux de surface
Composante eau souterraine vers l'eau de surface

Probabilité de relargage X Menace pour l'eau de boisson

Relargage observé ou Potentiel à relarguer
Conteneur
Pluie efficace
Profondeur jusqu'à la nappe
Temps de transfert

Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Toxicité/Mobilité /Persistance		Prélèvement le + proche
Quantités de déchets toxiques		Population Ressources

+

Menace pour la chaîne alimentaire

Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Toxicité/Mobilité /Persistance/Bio-accumulation		Chaîne alimentaire individuelle
Quantité de déchets toxiques		Population

+

Menace pour l'environnement

Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Toxicité pour écosystème/Mobilité /Persistance/Bio-accumulation		Environnements sensibles
Quantité de déchets toxiques		

Tableau 11c : Migration vers les eaux de surface
Composante eau souterraine vers l'eau de surface

*** Migration dans l'air**

Les éléments considérés sont contenus dans le tableau 11d.

Migration dans l'air

Probabilité de relargage	X	Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Relargage observé ou Potentiel à relarguer		Toxicité/Mobilité Quantités de déchets toxiques		Individus les + proches Population Ressources Environnements sensibles
Gaz : . conteneur de gaz . type de source gazeuse . potentiel de migration du gaz				

Tableau 11d : Migration dans l'air

*** Migration dans le sol**

On considère le risque pour la population résidente et pour la population voisine. La population résidente est située à l'intérieur des limites de la propriété renfermant le site pollué. La distance a été limitée à 60 m quand la propriété est très étendue et l'exposition aux produits contaminés, rare ou peu probable.

Le facteur "Attrait/Accessibilité" inclut l'utilisation des aires concernées à des fins récréatives.

Les travailleurs, en tant que cibles, se voient attribués 5 points pour les sites jusqu'à 100 travailleurs, 10 points pour 100 à 1000 travailleurs, 15 points s'il y a plus de 1000 travailleurs.

Les éléments considérés figurent dans le tableau 11e.

Migration dans le sol

Menace pour la population résidente

Probabilité d'exposition	X	Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Pollution observée		Toxicité Quantités de déchets toxiques		Individus résidents Population résidente Ouvriers Ressources Environnements terrestres sensibles

+

Menace pour la population voisine

Probabilité d'exposition	X	Caractéristiques des déchets	X	Cibles
Attrait/Accessibilité Aire contaminée		Toxicité Quantité de déchets toxiques		Population dans un rayon de 1,6 km Individu voisin

Tableau 11e : Migration dans le sol

3.3.2. Attribution d'un score

L'évaluation S d'un site par la méthode de HRS est le résultat de l'évaluation des 4 voies de propagation de la pollution :

- migration dans l'eau souterraine S_{gw}
- migration dans l'eau de surface S_{sw}
- exposition du sol S_s
- migration dans l'air S_a.

* Calcul du score total du site

Après évaluation de chacune des 4 voies, le score final est donné par :

$$S = \sqrt{\frac{S_{gw}^2 + S_{sw}^2 + S_s^2 + S_a^2}{4}}$$

Ce score est compris entre 0 et 100.

*** Calcul du score pour chacune des voies**

Chaque score est le produit des trois rubriques : "probabilité de relargage, caractéristiques des déchets, cibles". Ce produit est divisé par 82.500. Les scores pour chaque voie sont limités à 100 points.

Le tableau 12 présente un exemple de fiche de notation.

En annexe, on donne les fiches de notation des voies eau souterraine, eau de surface et sol, et la manière d'attribuer une note.

3.3.3. Commentaires

Cette méthode, à première vue, paraît lourde, mais si l'on dispose des données et des tableaux qui sont fournis dans le manuel, ici en annexe, la notation peut se faire rapidement.

Il convient cependant d'insister sur le fait que cette méthode évalue le risque pour les populations, dans sa globalité, à partir d'un site pollué. C'est le type de méthode qui pourrait être appliquée sur un ancien site de déchets donnant lieu à polémique sur l'origine de certaines maladies des populations voisines.

La méthode de Legrand, ou même celle de Phillips précédemment décrites, ne sont pas comparables, elles évaluent le risque de pollution d'une nappe située sous un dépôt ou un site pollué.

Tableau 12 : Exemple de fiche de calcul du score

<u>Catégorie</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Probabilité de relargage</u>		
1. Relargage observé	550	
2. Potentiel à relarguer	500	
3. Probabilité du relargage	550	
<u>Caractéristiques des déchets</u>		
4. Toxicité/Mobilité	a	
5. Quantité déchets toxiques	a	
6. Caractéristiques déchets	100	
<u>Cibles</u>		
7. Individus les plus proches :		
7a. Niveau I	50	
7b. Niveau II	45	
7c. Pollution potentielle	20	
7d. Individus les plus proches (le plus élevé parmi 7a, 7b ou 7c)	50	
8. Population :		
8a. Niveau I	b	
8b. Niveau II	b	
8c. Contamination potentielle	b	
8d. Population totale (8a + 8b + 8c)		
9. Ressources	5	
10. Environnements sensibles	b	
10a. Contamination actuelle	b	
10b. Contamination potentielle	b	
10c. Environnements sensibles (10a + 10b)	b	
11. Cibles (7d + 8d + 9 + 10c)	b	
12. Score pour la "voie" = produit des 3 facteurs, divisé par 82.500		

a : le produit des lignes 4 et 5 est utilisé dans le tableau 2.7 (annexe) pour en déduire la valeur de la catégorie "caractéristiques des déchets"

b : pas de limite pour les valeurs de ces catégories, mais le score basé seulement sur les environnements sensibles est limité à 60 points.

4 - LES SYSTEMES EXPERTS

Les méthodes précédemment décrites permettent une évaluation qualitative ou semi-quantitative, qui peut s'avérer suffisante. Elles ont cependant l'inconvénient de nécessiter des quantités non négligeables de données, ou des contrôles onéreux.

Les systèmes experts sont des programmes implantés sur ordinateurs, qui présentent en fait une check-list hiérarchisée avec un procédé de déduction.

4.1. GEOTOX

Mikroudis et Fang [21] ont mis au point ce programme de consultation pour évaluer les sites de déchets.

4.1.1. Principe

Geotox combine trois méthodes de représentation des connaissances : un "réseau associatif", des "règles de production" et des "structures".

Le "réseau associatif" définit les associations entre données et paramètres du site défini par l'expert. Chaque caractéristique du site est représentée par un noeud du réseau et le noeud est associé aux autres par des liens représentant différents types de relation entre les caractéristiques du site. Au sommet de l'arbre, les noeuds représentent les concepts généraux, tandis qu'à la base, les caractéristiques du site représentent directement les observations de terrain.

Les "règles de production" sont utilisées pour tester les conditions. Elles représentent les jugements et l'intervention de l'expert et expriment le niveau de risque estimé, par une valeur sur une échelle de 0 à 10, et un facteur de confiance sur une échelle de 0 à 1.

Les "structures" sont utilisées pour représenter les conclusions de l'expert ou pour décrire différents scénarios sur le site.

4.1.2. Fonctionnement

La façon la plus simple et la plus claire d'expliquer le fonctionnement de Geotox est de présenter un exemple (tableau 13). Comme l'indique cet exemple, le système permet à l'utilisateur d'examiner le contenu de la base de renseignements et de poser des questions. L'utilisateur peut introduire des informations, ou changer des réponses à des questions, et inclure ses propres paramètres.

4.1.3. Vérification

Sur un certain nombre de sites sélectionnés, le système Geotox a été testé et comparé avec certaines méthodes qualitatives, dont la méthode Legrand et la méthode HRS. Les facteurs considérés étaient les voies de

Tableau 13 : Geotox

GEOTOX...Version 1.2
17-DEC-85
12:16:23

Instructions? |> yes.

GEOTOX is a computer program designed to assist you in evaluating the potential for contamination from waste sites. In the following, you will be asked to answer questions and provide information about the site. If you do not feel confident for your answer you may modify it with a confidence factor (a number from 0 to 1). GEOTOX assumes a confidence factor of 1 for unmodified answers.

[Example:] Type of chemical |> benzene.
[or:] Type of chemical |> benzene,0.9.

If you do not know the answer you may just reply unknown. Your answers for various kinds of site factors will determine the hazard potential at the site. If you can specify, according to your judgment, a potential level of overall site hazard related to the site factor asked, you may answer directly: no/low/medium/high (hazard).

[Example:] Type of containment |> liner.
[or:] Type of containment |> medium.
(i.e. medium hazard expected from the containment).

In addition to the above you may issue commands to the system, or request explanations as follows:

COMMANDS

volunteer: You can volunteer information
change : You can change previous answers
revise : Add rules, modify the knowledge base
findOut : Infer values for missing data
conclude : The final conclusions
bye : Terminate program execution

EXPLANATIONS

what : Rephrases the question
why : What is affected by your answer
how : How a result was obtained
comment : Type comments to appear in your transcript
summarise: A synopsis of the current conclusions
question : List keywords to query the data base
help : Print this message

The Consultation Begins...
Please answer the following questions

Facility Name: |> 'Reichhold/Cokers Landfill'.
Location: |> 'Kent County, Delaware'.
Name of Reviewer: |> 'George Mikroudis'.

Starting the Site Evaluation now...

Do you want to reconsult previous data? |> NO.

(GEOTOX asks if the user wants to utilize existing data and thus continue a previous consultation)

Do you want to volunteer Information? |> yes.

You may volunteer information using any of the following keywords:

KEYWORDS

wasteType	physicalState	toxicity	persistence
wasteQuantity	soilType	permeability	waterTableDepth
nearestWell	aquiferUse	populationServed	
nearestSurfaceWater	terrainSlope	precipitation	
surfaceWaterUse	criticalHabitats	containment	

Do you want to see more keywords? |> NO.

Please enter the data according to the format:
keyword value,confidence.

Tableau 13 : suite

When you are finished volunteering please type 'done'.

```
> physicalState sludge.
> wasteQuantity '148000 tons'.
> soilType ml-cl,0.8.
> permeability 10e-4,0.7.
> waterTableDepth '2 feet'.
> nearest Well '650 feet'.
> aquiferUse medium,0.7.
> populationServed 4000,0.8.
> nearestSurfaceWater '200 feet'.
> precipitation '46 inches'.
> containment none.
> done.
```

(The user was familiar with GEOTOX's parameters and all his responses were recognized by the system. A user not familiar with the system could use the question command to get a list of acceptable answers. Also, in case of unrecognized input GEOTOX will give the user a list of acceptable responses)

Thank you for volunteering.
Please answer the following questions

What is the type of aquifer soils?

a.Poorly Fractured Rocks	b.Thick Clays and Sandy Clays
b.Crystalline Rocks	c.Thin Fine to Medium Sands
d.Flood Plain	e.Alluvial Valleys
f.Highly Fractured Rock	g.Fractured/Cavernous Limestone
h.Thick, Medium to Coarse Sands	

Please select a.,b.,c., ... ,g. > unknown.

What is the distance to water supplies? > what.

(The user requests a clarification of the question)

Determine the distance on ground

between contamination source and water supply > why.

(The user wants to know why the system asks the question)

A great distance between a contamination source and water supply
is generally considered a favorable factor, especially where the
movement is through loose, granular materials with sorptive capacity.

Back to my question now...

What is the distance to water supplies? > 3 miles.

*(From this point on GEOTOX continues asking questions, and responding to user's requests.
One such request is the revise command)*

What is the toxicity of the contaminant? > revise.

REVISE

=====

Main Menu

1. Define Relations
2. Define Rules
3. Delete Relations
4. Delete Rules
5. List Relations
6. List Rules
7. Exit

Enter choice (1-7) > 7.

What is the toxicity of the contaminant? > high.

...

(The consultation continues, and at some point the user wants to examine the final conclusions)

...

What is the accessibility of the facility? > conclude.

Tableau 13 : suite

SITE EVALUATION

Facility Name: Reichold/Cokers Landfill
Location: Kent County, Delaware
Reviewer: George Mikroudis

Interpretation:
The evidence at the site STRONGLY suggests that SEVERE contamination in area or quantity and of MODERATE consequences is VERY PROBABLE.
The seriousness of the situation is MODERATELY HIGH.

In summary, the most unfavorable features of the site were:

- water table HIGH
- contaminant toxicity HIGH
- contaminant persistence HIGH
- waste containment NONE

whereas the most favorable conditions were:

- distance to water supplies GREAT
- ground water use MODERATE
- soil sorptive capacity MODERATE

According to my interpretation, because of a HIGH water table the ground water will CERTAINLY be contaminated. The GREAT quantity of some VERY toxic and VERY persistent contaminants (e.g. ZINC) indicates that the contamination will be QUITE extensive.
The MODERATE sorptive capacity and MODERATE permeability of the soil of the unsaturated zone will cause SOME delay of the contaminants.
Yet, it is VERY probable that the toxic and persistent contaminants will reach the CREEK and discharge in MODERATELY LARGE quantities. (For a better prediction, a quantitative time model SHOULD be applied).

Overall the site in its natural state receives a HIGH priority ranking with respect to other sites, and might NOT be acceptable to state or federal agencies.

The site CAN be improved by engineering design such as a CLAY LINER and a LEACHATE COLLECTION SYSTEM installed according to proper specifications.

Remarks:
Consideration should be given for the KOWINSKY well NOT to use it for drinking water. The well could be used for MONITORING the quality of the ground water. Because of the MODERATE permeability of the SANDY CLAY soils at the land surface, effluent from the landfill is LIKELY to occur during the rainy seasons.

The estimates of the values used in the assessment appear to be REASONABLY accurate. For an improved evaluation, however, more detailed information will be needed about:

- aquiferPermeability
- directionOfPlumeMovement

Do you want a summary of the data and results? |> DO.

(In the summary, GEOTOX, instead of verbal descriptions, would simply list all the keywords and their associated hazard values and confidence factors)

Press <LINE FEED> to continue the consultation .>

Back to my question now...

What is the thickness of the saturated zone? |> bye.

(The user has no more data and is satisfied with the conclusions, so he ends the consultation)

Do you want to save the data for future use? |> NO.

End of the Consultation

transfert, les caractéristiques des déchets, les cibles, les conclusions. Les résultats ont montré que Geotox était en bon accord avec les différentes méthodes d'évaluation.

4.2. AGAPE

Ce système a été mis au point en Allemagne pour évaluer les sites contaminés [16]. Il est basé sur la méthode HRS.

Dans Agape, cinq voies de migration sont prises en considération : eau souterraine, eau de surface, sol, air et contact direct. Pour chacune de ces voies, trois catégories de facteurs sont testées, avec différents critères : les composés, la voie de migration et les cibles.

La catégorie "composés", évalue les caractéristiques et la quantité de substances. La rubrique "voie de migration" différencie un relargage réel et observé de substances toxiques et un relargage potentiel.

Dans la catégorie "cibles", les distances aux différentes cibles sont estimées en gradins et la sensibilité des points d'exposition possible, est examinée.

Les différentes rubriques sont évaluées et notées avec 32 critères (figure 12). Les critères sont choisis pour décrire le comportement des substances toxiques, et de façon à ce que l'information soit disponible rapidement sans qu'il soit nécessaire de prélever des échantillons. Des valeurs entre 0 et 3 sont attribuées aux critères. Le score est consigné dans une feuille de notation comme dans la méthode HRS (figure 13). Cette feuille de notation n'est pas très explicite et en cas de besoin, il est conseillé de demander des précisions à l'auteur.

Les trois catégories contribuent à égalité au score, avec 50 points maximum chacune, le score maximum pour la voie considérée étant de 100.

Le risque potentiel total est une moyenne du score pour les 5 voies. Ce système était encore à l'étude au moment de la publication et devrait être opérationnel actuellement.

4.3. AUTRES SYSTEMES

D'autres auteurs ont élaboré des systèmes experts pour identifier les risques liés à la contamination du sol. C'est le cas aux Pays-Bas, où la Société IWACO [18] a mis au point un système expert destiné à déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine. Les auteurs utilisent des informations telles que type de sol, niveau de la nappe, type de drainage, utilisation du sol, végétation, pente, etc. Le système donne des informations sur la migration verticale et sur la migration horizontale de l'eau polluée.

Citons aussi le système mis au point par Goldsborough [11] aux Pays-Bas. Ce système expert intitulé RISC (Risk Identification of Soil Contamination) a pour but de détecter les risques pour la santé publique et l'environnement, liés aux sols pollués. Selon l'auteur, ce système est capable de déterminer si les sols sont contaminés et de quantifier les risques qui en découlent. Ce système était en cours de développement en 1988 et non opérationnel.

Figure 12 : Agape : critères spécifiques à chaque catégorie évaluée

Voie évaluée	Eau souterraine	Eau de surface	Air	Contact direct	Sol
Catégorie	W1	W2	A1	A2	A3

Composés (S) S = S1 ou S2	S1	Quantité totale type (4) état physique	Quantité totale type(5) état physique	Quantité totale	Quantité totale	Quantité totale
	S2	Quantité de substance toxique Solubilité Toxicité (3) Risque pour l'eau (3)	Quantité de substance toxique Solubilité Persistance Toxicité (3) Irritation peau Risque pour eau (3)	Quantité toxique Volatilité Persistance Toxicité (3) Irritation peau Incompatibilité (3)	Quantité subst. toxique Solubilité Volatilité irritation peau Toxicité	Quantité subst. toxique Persistance (3) Toxicité (3)

Migration (F) F = F1 ou (F2 x F3)	F1	Fondements (36) Confirmation (36)	Fondements (36) Confirmation (36)	Fondements (36) Confirmation (36)	Fondements (36)	Fondements (36) Confirmation (36)
	F2	Perméabilité sol Distance à la nappe	Pente Distance à la surface de l'eau Crue	Végétation	Accessibilité (3) Végétation	Mouvement dans sol Perméabilité sol Crue
	F3	Contrôle Conteneur Traitement de l'eau	Contrôle Conteneur Traitement de l'eau	Contrôle Conteneur	Contrôle Conteneur	Contrôle Conteneur Traitement de l'eau

Cibles (u)	Utilisation eau souterraine (3) Zone sensible	Qualité eau (3) Utilisation de l'eau de surface Zone sensible	Densité de population (2) Distance à la population	Densité de population Utilisation du sol Zone sensible	Utilisation du sol Zone sensible
-------------------	--	---	---	--	-------------------------------------

Figure 13 : Agape : Fiche d'évaluation pour l'eau souterraine W₁

Eau souterraine W ₁	Valeur	Multiplicateur	Score	Score max.
Composés				
S ₁ S ₁₀ quantité totale	x 1 2 3	13		3
S ₁₁ type	0 1 2 3			39
S ₁₃ état physique	0 1 2 3			3
S ₁ = S ₁₀ x (S ₁₁ + S ₁₃)				126
S ₂ Indicateur chimique				
S ₂₀ quantité substance toxique	x 1 2 3			3
S ₂ W ₁ = S ₂₁ + 3S ₂₄ + 3S ₂₆				21
S ₂ = S ₂₀ + S ₂ W ₁		2		126
S' = S ₁ ou S ₂				126
S = N (W ₁ ; S) x S'		0,40		50
F Migration				
F ₁ F ₁₁ fondés	0 x x 3	18		54
F ₁₂ confirmation	0 x x 3	18		54
F ₁ = F ₁₁ ou F ₁₂				54
F ₂ F ₂₂ perméabilité du sol	0 1 2 3			3
F ₂₅ distance à la nappe	0 1 2 3			3
F ₂				6
F ₃ F ₃₁ conteneur	0 1 2 3			3
F ₃₂ contrôle	0 x x 3			3
F ₃₃ traitement eau	0 1 2 3			3
F ₃				9
F ₂ x F ₃				54
F' = F ₁ ou (F ₂ x F ₃)				54
F = N(W ₁ ; F) x F'		0,93		50
U Cibles				
U ₄ utilisation eau souterraine	0 1 2 3	3		9
U ₆ zone sensible	0 1 2 3			3
U'				12
U = N(W ₁ ; U) x U'		4,16		50
p(W ₁) = S x F x U x N				1,25 x 10 ⁵
g(W ₁) = S x F x U x N		8 x 10 ⁻⁴		100

5 - MODELISATION

Outre les modèles classiques constituant l'hydrodynamique et l'hydrochimie, et permettant de prévoir le transfert d'un polluant dans la nappe ou dans la zone non saturée, et qui ne sont pas examinés ici, des modèles permettant de déterminer des critères pour la dépollution de sites, ont été développés.

A titre d'exemple, on citera trois modèles.

5.1. MODELE AERIS (Aid for Evaluating the Redevelopment of Industrial Sites)

Ce modèle relie l'évaluation de l'exposition (par les différentes voies de transfert) à l'évaluation de la toxicité, pour évaluer le risque global.

Ce modèle [4] est basé sur des guides de réhabilitation mis au point au Canada. Le travail original a été élargi par incorporation d'informations pour différents contextes, avec des substances organiques et inorganiques, et des algorithmes pour une estimation détaillée du transfert dans le sol. La figure 14 présente un diagramme du modèle Aeris.

Aeris calcul les concentrations d'un polluant dans le sol, l'eau, l'air et les plantes, et l'exposition d'un récepteur humain à cette pollution, compte tenu de l'utilisation du sol.

Le calcul est terminé quand les concentrations acceptables, sans dépassement des normes, ont été déterminées. La version du modèle telle que celle décrite est disponible. Le modèle est mis à jour avec des algorithmes provenant d'autres modèles.

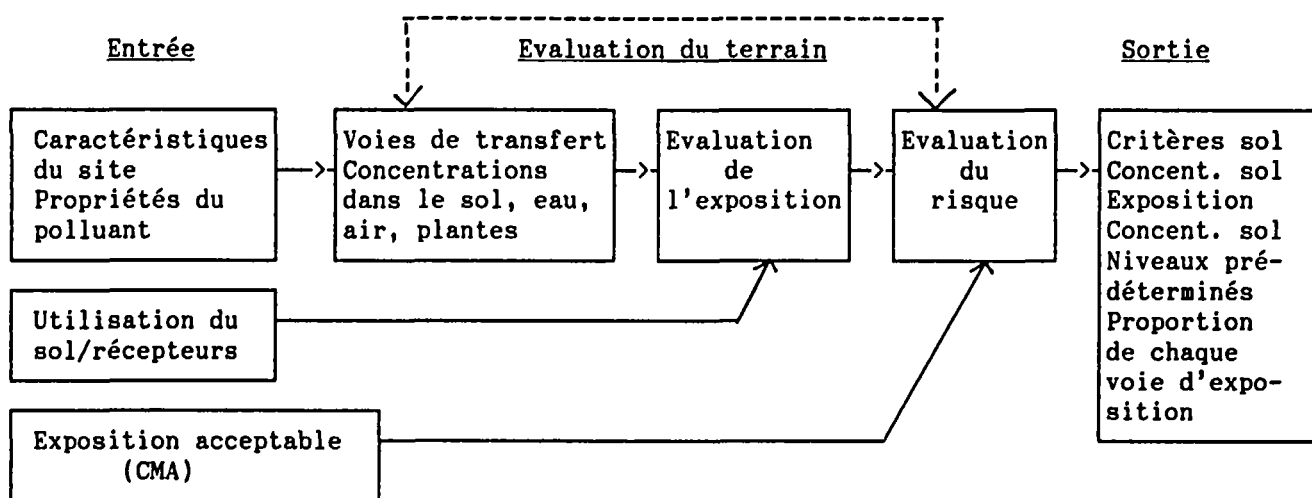


Figure 14 : Diagramme du modèle Aeris

5.2. MODELE DE MARIN, MEDINA, BRETCHER

L'évaluation du risque se fait en associant l'application d'un modèle de transfert de polluant à une analyse du risque associé aux prévisions du modèle [19].

Les auteurs utilisent une analyse type Monte Carlo pour évaluer le risque lié au transfert de polluant. Le modèle évalue les risques pour l'eau souterraine sous des sites de déchets.

5.3. MODELE DE COLOMBARI ET AL.

Colombari et al. [6] ont développé un modèle de "compatibilité environnementale", capable de prédire et d'évaluer la détérioration de la qualité de l'air, du sol et de l'eau, dans une zone industrielle.

Les conditions de qualité de l'air et de l'eau sont définies sur la base des niveaux de concentrations de certains paramètres significatifs. Ces concentrations peuvent être comparées aux normes de qualité existantes. Pour les sols, pour lesquels il n'existe pas de normes légales, l'index qualité tient compte de la perméabilité, de la qualité de l'eau souterraine, de la teneur en humus et de l'utilisation du sol.

Le modèle comporte des fichiers de données et des modules de calcul comprenant des modèles de simulation de la dispersion des polluants et des programmes de calcul des indices et des classes de qualité et de vulnérabilité (figure 15).

La détermination des classes de compatibilité pour chaque milieu peut être obtenue par construction d'une matrice dans laquelle chaque case correspond au produit de deux nombres représentant la classe de qualité et la classe de vulnérabilité, respectivement (figure 16).

Pour l'air :

L'index de qualité est fonction des concentrations en SO₂, NO₂ et poussière, mesurées ou calculées, comparées à des standards.

Les meilleurs niveaux de qualité sont de classe 1, les moins bons de classe 4.

La vulnérabilité est déterminée comme une fonction du pourcentage annuel d'occurrence de vent ou de stabilité de l'atmosphère. Elle croît de 1 à 4.

Pour l'eau :

La qualité est basée sur les standards des eaux de boisson. La vulnérabilité est fonction de la capacité de renouvellement. Elle est élevée pour les bassins fermés et les lacs (4) et moindre pour les eaux qui s'écoulent à débits élevés ou mélangés (1).

Pour les sols :

L'index de qualité a été défini précédemment. Quant à l'index de vulnérabilité, il est déterminé à l'aide de la méthode DRASTIC et des cartes de vulnérabilité qui en découlent.

La méthode a été appliquée en Italie avec succès.

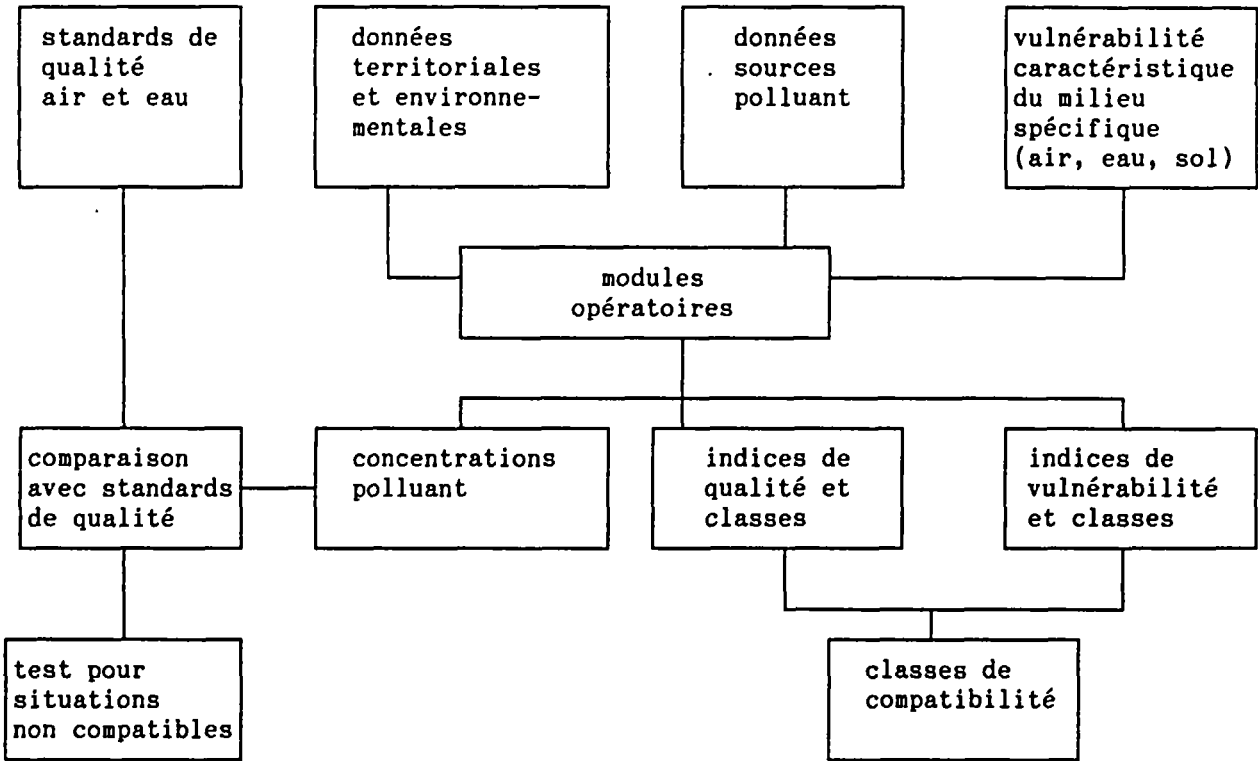


Figure 15 : Schéma du modèle de compatibilité environnementale (Colombari)

Q U A L I T E					
V U L N E R A B I L I T E		1	2	3	4
	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

Figure 16 : Classes de compatibilité (Colombari et al.)

CONCLUSION

La revue des méthodes présentées ici n'est pas exhaustive, mais elle présente les méthodes les plus connues, opérationnelles ou en développement, citées dans la littérature. Elle donne un aperçu des types de méthodes utilisées ou recommandées pour l'évaluation des risques liés aux friches industrielles, aux décharges abandonnées ou en activité, aux dépôts de produits toxiques.

Ces méthodes sont pour la plupart des méthodes semi-quantitatives, avec attribution de scores. Elles sont parfois très simples et permettent d'évaluer rapidement le risque de pollution de la nappe sous-jacente sur un site porteur d'une pollution potentielle ou réelle. C'est le cas par exemple de la méthode Legrand. Elles peuvent, à l'opposé, être très sophistiquées et évaluer le risque de pollution des eaux, du sol, de l'air et les risques induits par ces pollutions pour la santé des populations résidentes et voisines et pour l'environnement faune et flore. C'est le cas notamment de la méthode utilisée aux Etats-Unis par l'EPA, la méthode HRS (Hazard Ranking System).

Le choix de l'une de ces deux méthodes, ou d'une autre méthode, devra se faire sur la base de différents critères, le plus important étant l'objectif recherché, les autres étant notamment les données dont on dispose, l'urgence de l'évaluation, le coût de l'étude par rapport aux moyens dont on dispose. La méthode Legrand sera par exemple utilisée lorsque l'on aura à faire un inventaire national de sites présentant des risques de pollution, puis dans cet inventaire à identifier les sites dont la réhabilitation est la plus urgente. Si l'on dispose de renseignements sur les produits toxiques enfouis ou stockés, la méthode Phillips sera un bon choix : c'est une méthode Legrand améliorée.

Les systèmes experts type Geotox sont très attrayants aussi pour une démarche de ce type, car ils permettent de traiter rapidement un grand nombre de cas, à condition de disposer des données demandées par le système, c'est-à-dire un minimum d'informations géologiques et hydro-géologiques.

Dans le cas par contre où il s'agit d'étudier en détail un ancien site de décharge donnant lieu à polémique et nécessitant une évaluation rigoureuse, la plus objective possible, basée sur des arguments scientifiques, la méthode qui nous paraît la plus appropriée et la plus complète est la méthode HRS.

En conclusion, la méthode choisie devra être adaptée au problème que l'on a à résoudre, aux moyens techniques et économiques et au temps dont on dispose.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R.J.- DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. EPA/600/2-85/018, mai 1985.
- [2] ASANTE-DUAH D.K.- Quantitative risk assessment as a decision tool for hazardous waste management. Confer. West Lafayette 1989, 44th Industrial Waste Confer., Purdue Univ. USA.
- [3] BERGER I.S.- Determination of risk for uncontrolled hazardous waste sites. Nat. Conf. on Management of uncontrolled and hazardous waste sites, EPA 1983.
- [4] BULMAN T.L., HOSLER K.R., IBBOTSON B., HOCKLEY D., RIDDLE M.J.- Development of a model to set clean-up criteria for contaminated soil at decommissioned industrial sites. Contaminated Soil 88, Kluwer Academic Publishers.
- [5] CALDWELL S., BARETT K.W., CHANG S.S.- Ranking system for releases of hazardous substances. Nat. Conf. on Management of uncontrolled and hazardous waste sites, EPA 1983.
- [6] COLOMBARI V., MASTRAPASQUA R., VERNA A.- Assessment of the environmental compatibility of large industrial sites, on the basis of environmental territorial and plant data. Proceedings - Workshop on indicators and indices for environmental impact assessment and risk analysis. JCR ISPRA, 15-16 mai 1990, ENV 13060 EN.CEE 1990, Ed. Colombo et Premazzi.
- [7] COVELLO V.T., MERKHOFFER M.- The inexact science of chemical hazard risk assessment: a description and critical evaluation of available methods. IIASA/University of Pennsylvania, Wharton School, Confer. on transportation, storage and disposal of hazardous materials, july 1-5, 1985, Vienne.
- [8] E.P.A.- Superfund Risk Assessment Information, Directory. EPA/540/1-86/061, novembre 1986.
- [9] E.P.A.- The Risk Assessment Guidelines of 1986. EPA/600/8-87/045, août 1987.
- [10] E.P.A.- Revised Hazard Ranking System (HRS). Final rule, novembre 1990, PB91-100800.
- [11] GOLDSBOROUGH D.G.- RISC: an expert system for risk identification of soil contamination. Contaminated Soil 88, Kluwer Academic Publishers.

- [12] HARRIS R.H., HIGHLAND J.H., HUMPHREYS K., RODRICKS J.V.- Comparative risk assessment: tools for remedial action planning. Haz. Waste, vol. 1, No 1, 1984.
- [13] HORTENSIUS D., NANTA C.- Two risk assessment frameworks in soil pollution. Contaminated Soil 1985, Ed. Assink-Den Brink.
- [14] HWANG S.T.- Health risk comparison between groundwater transport models and field data. Environmental progress; ISSN 0278-4491; USA; DA 1986, vol. 5, No 1, pp. 66-70.
- [15] KERNDORFF H., MILDE G., SCHLEYER R., ARNETH J.D., DIETER H., KAISER U.- Groundwater contamination by abandoned waste disposal sites: detection and possibilities of standardized assessment. Contaminated Soil 88, Kluwer Academic Publishers.
- [16] KRISCHOK A.- Agape: a model for estimating the relative risk of potential contaminated sites. Contaminated Soil 88, Kluwer Academic Publishers.
- [17] LEGRAND H.E.- System for evaluation of contamination potential of some waste disposal sites. J.A.W.W.A., août 1964, No 56.
- [18] MAK W., BOT A.P.- An expert system for groundwater vulnerability assessment. Contaminated Soil 88, Kluwer Academic Publishers.
- [19] MARIN C.M., MEDINA Jr. M.A., BUTCHER J.B.- Monte Carlo analysis and bayerian decision theory for assessing the effects of waste sites on groundwater. I. Theory. Journal of Contaminant Hydrology, (5), 1989.
- [20] MEDINA Jr. M.A., BUTCHER J.B., MARIN C.M.- Monte Carlo analysis and bayerian decision theory for assessing the effects of waste sites on groundwater. II. Applications. Journal of Contaminant Hydrology, (5), 1989.
- [21] MIKROUDIS G.K., FANG H.Y.- Evaluation of waste disposal sites using Geotox. Geotechnical practise for waste disposal'87. Geotechnical Special Publication No 13, Ed. Richard D. Woods.
- [22] MIKROUDIS G.K., FANG H.Y.- Application of the Geotox expert system to waste disposal site evaluations. Haz. Pro'86 Confer. Proc. Baltimore, 1986.
- [23] PAVONI J.L., HAGERTY D.J., LEE R.E.- Environmental Impact Evaluation of hazardous waste disposal in land. Water Res. Bull., 8, 1972.
- [24] PHILLIPS C.R., NATHWANI J.S.- Development of a soil-waste interaction matrix for assessing land disposal of industrial wastes. Water Research, vol. 11, 1977.

- [25] RICOUR J.- Risque de pollution des eaux souterraines. Essai de définition de nouveaux concepts cartographiques. BRGM 4S/NPC, Note 90 NPC 30.
- [26] SAX N.I.- Dangerous properties of industrial materials. 3rd edition, pp. 1-2, Van Nostrand Reinhold Co, New-York.
- [27] SCHLEYER R., ARNETH J.D., KERNDORFF H., MILDE G.- Main contaminants and priority pollutants from waste sites: criteria for selection with the aim of assessment on the groundwater path. Contaminated Soil 88, vol. 1, Kluwer Academic Publishers.
- [28] SELKE W.- Methods for an action oriented program concerning risk assessment and danger abatement of contaminated sites on a regional scale. Contaminated Soil 88, pp. 397-399, Kluwer Academic Publishers.
- [29] Fiches toxicologiques - INRS.

A N N E X E

METHODE HRS - (EPA)

Mode d'emploi pour attribution d'un score aux voies
"Eau souterraine", "Eau de surface", "Sol"

AVERTISSEMENT

1. La numérotation qui suit commence volontairement en II, et les tableaux en 2.2, ceci pour conserver les numéros originaux du texte américain et éviter les erreurs lorsque référence est faite dans le mode d'emploi, aux différents tableaux.
2. Le terme "release" a été traduit indifféremment par largage, relargage ou mobilisation : il s'agit de libération ou (re)mise en circulation de composés, substances ou métaux toxiques.
3. Le terme "probabilité" dans ce qui suit (likelihood) signifie vraisemblance, qui a des chances de se produire (Larousse) et non pas probabilité au sens mathématique.

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
II - EVALUATIONS COMMUNES AUX DIFFERENTES VOIES DE MIGRATION	70
1. Calcul du score total du site	70
2. Calcul du score pour chaque voie considérée ...	70
2.1. Caractérisation des sources	71
2.2. Evaluation de la probabilité de relargage	71
2.3. Evaluation des "caractéristiques des déchets"	72
2.4. Cibles	77
III - EVALUATION DU RISQUE POUR "L'EAU SOUTERRAINE"	79
1. Guide d'évaluation du risque pour les eaux souterraines	81
IV - EVALUATION DU RISQUE POUR LES EAUX DE SURFACE	93
1. Composante écoulement en surface	93
1.1. Guide d'évaluation du risque - Composante écoulement en surface	99
2. Composante migration des eaux souterraines vers les eaux de surface	122
2.2. Guide d'évaluation du risque	127
V - EVALUATION DU RISQUE POUR LE "SOL"	138
1. Guide d'évaluation du risque	142

II - EVALUATIONS COMMUNES AUX DIFFERENTES VOIES DE MIGRATION

II - EVALUATIONS COMMUNES AUX DIFFERENTES VOIES DE MIGRATION

L'évaluation S d'un site par la méthode HRS est le résultat de l'évaluation des 4 milieux :

- migration dans l'eau souterraine S_{gw}
- migration dans l'eau de surface S_{sw}
- exposition du sol S_s
- migration dans l'air S_a

1. CALCUL DU SCORE TOTAL DU SITE

Après évaluation de chacune des 4 voies énoncées, le score final est donné par :

$$S = \sqrt{\frac{S^2_{gw} + S^2_{sw} + S^2_s + S^2_a}{4}}$$

Ce score est compris entre 0 et 100.

2. CALCUL DU SCORE POUR CHAQUE VOIE CONSIDEREE

Chaque score est le produit des trois catégories : "probabilité de largage (ou d'exposition)", "caractéristiques des déchets", "cibles". Ce produit est divisé par 82.500. Les scores pour chaque voie sont limités à 100 points.

Les évaluations communes à chacun des 4 milieux considérés incluent :

- a) La **caractérisation des sources** (identification des sources, substances toxiques).
- b) L'attribution d'un score à la **probabilité de largage des substances toxiques** ou à l'exposition à ces substances.
- c) L'attribution d'un score aux **"caractéristiques des déchets"** (évaluation de la toxicité, combinaison de la toxicité à la mobilité, la persistance ou la bioaccumulation suivant le domaine considéré. Evaluation de la quantité de déchets toxiques et combinaison avec les autres facteurs).
- d) L'attribution d'un score à la catégorie **"cibles"** (détermination du niveau de pollution pour les cibles).

Ces évaluations sont sensiblement identiques pour les voies eau souterraine, eau de surface et air. Elles sont légèrement différentes pour le sol.

Sans entrer dans tous les détails, on retiendra quelques démarches à suivre pour ces 4 points.

2.1. Caractérisation des sources

Le tableau 2.2 présente un exemple de fiche utilisée.

Tableau 2.2 : Caractérisation de la source toxique

Source :

A. Dimensions de la source et quantité de déchets toxiques

Quantité de constituant toxique :
 Quantité d'effluent toxique :
 Volume :
 Superficie :
 Superficie de pollution observée :

B. Substances toxiques associées à la source.

Disponible pour la voie

Substance
toxique

		Eau souterraine Gw	Eau surface Ss	Sol	
Air					
Gaz	Particules		Ecoulement surface	Gw vers Gs	Résident Voisin

2.2. Evaluation de la probabilité de relargage

Cette évaluation du potentiel de relargage varie suivant le domaine considéré. L'évaluation du relargage observé se fait à partir d'analyses chimiques d'échantillons et la présence de substances toxiques dans le milieu, en quantités dépassant le bruit de fond. Pour déterminer des analyses significatives on utilise le tableau 2.3.

Tableau 2.3 : Critères de relargage observé

- Mesure de l'échantillon < limite de détection ou seuil toléré : pas de relargage.
- Mesure de l'échantillon ≥ seuil toléré ou limite de détection.
 On admet un relargage de substance toxique :
 - . si la concentration bruit de fond n'est pas détectée, ou inférieure à la limite de détection, un relargage est établi si la concentration de l'échantillon est égale ou supérieure au seuil toléré ;

- . si la concentration bruit de fond est égale ou supérieure à la limite de détection, un relargage est établi quand la valeur mesurée pour l'échantillon est 3 fois ou plus, supérieure à la concentration bruit de fond.

2.3. Evaluation des "caractéristiques des déchets"

On sélectionne la substance toxique posant le plus grand risque potentiel pour la voie considérée. Pour cela on se réfère aux valeurs de toxicité. Pour les voies eaux et air, on combine avec mobilité, persistance ou accumulation.

* L'évaluation du facteur toxicité s'appuie sur le tableau 2.4 qui est utilisé aux Etats-Unis. Il est peut être à adapter aux recommandations CEE sur les substances toxiques pour une application française.

Ce tableau fait appel aux notions suivantes :

- DL₅₀ (dose létale 50 %) : dose d'une substance qui tue 50 % d'un groupe d'organismes exposés.
- CL₅₀ (concentration létale 50 %) : concentration d'une substance dans l'air ou l'eau qui tue 50 % d'un groupe d'organismes exposés.
- DRf : dose de référence : estimation d'un niveau d'exposition journalière d'une population à une substance sous lequel des effets cancérogènes ne sont pas prévus.
- "Poids d'évidence" : classification EPA pour caractériser le caractère cancérigène d'une substance :

groupe A : carcinogène - évidence de pouvoir carcinogène chez l'homme

groupe B₁ : probablement cancérigène pour l'homme - évidence limitée de pouvoir carcinogène chez l'homme

groupe B₂ : probablement cancérigène pour l'homme - évidence suffisante de carcinogénéité pour animaux

groupe C : pouvoir carcinogène possible chez l'homme - évidence limitée de carcinogénéité chez les animaux

groupe D : non classifiable comme carcinogène pour l'homme

groupe E ; évidence de non cancérigène pour les humains.

- FP (facteur de pente) : ou facteur de potentialité de cancer. C'est la probabilité de réponse (par exemple le cancer) par unité de substance acquise pendant une vie.

Tableau 2.4 : Evaluation du Facteur toxicité
Toxicité chronique (homme)

Dose de référence (mg/kg-jour)	Valeur attribuée
DRf < 0,0005	10.000
0,0005 ≤ DRf < 0,005	1.000
0,005 ≤ DRf < 0,05	100
0,05 ≤ DRf < 0,5	10
0,5 ≤ DRf	1
DRF non disponible	0

Pouvoir cancérigène (homme)

"Poids d'évidence/"facteur de pente" (mg/kg-jour) (FP)			Valeur attribuée
A	B	C	
FP ≤ 0,5	5 ≤ FP	50 ≤ FP	10.000
0,05 ≤ FP < 0,5	0,5 ≤ FP < 5	5 ≤ FP < 50	1.000
FP < 0,05	0,05 ≤ FP < 0,5	0,5 ≤ FP < 5	100
-	FP < 0,05	FP < 0,5	10
FP non disponible	non disponible	non disponible	0

Toxicité aiguë (homme)

DL50 orale (mg/kg)	DL50 cutanée (mg/kg)	Poussière CL50 inhalation (mg/kg)	Gaz-vapeur CL50 (ppm)	Valeur attribuée
DL50 < 5	DL50 < 2	CL50 < 0,2	CL50 < 20	1.000
5 ≤ DL50 < 50	2 ≤ DL50 < 20	0,2 ≤ CL50 < 2	20 ≤ CL50 < 200	100
50 ≤ DL50 < 500	20 ≤ DL50 < 200	2 ≤ CL50 < 20	200 ≤ CL50 < 2.000	10
500 ≤ DL50	200 ≤ DL50	20 ≤ CL50	2.000 ≤ CL50	1
DL50 non disponible	DL50 pas disponible	CL50 non disponible	CL50 non disponible	0

Les tableaux précédents permettent d'attribuer une valeur au facteur toxicité, si l'on connaît le facteur de pente ou la dose de référence. Si rien n'est connu, il vaut mieux choisir une autre substance toxique. Dans le cas où l'on ne dispose d'aucune donnée, on prend une valeur par défaut de 100. Pour l'asbèth et le plomb et ses composés, on prend une valeur de 10.000.

La valeur de toxicité est combinée à la mobilité, persistance, ou bioaccumulation, suivant la voie.

* La quantité de déchets toxiques : pour chaque voie, la quantité est évaluée en considérant les quatre données suivantes : quantité de constituant toxique, quantité d'effluent toxique, volume, surface. Les évaluations sont faites à l'aide des tableaux 2.5 et 2.6.

Après sommations des valeurs attribuées aux quantités de déchets à partir du tableau 2.5, on sélectionne un facteur "quantité de déchets toxiques" dans le tableau 2.6.

Enfin, pour obtenir la valeur assignée à la rubrique "caractéristiques des déchets", il faut faire le produit de la valeur attribuée pour "toxicité" et de celle attribuée pour "quantité de déchets toxiques" (avec maximum 1.10^8) et à partir de ce produit on obtient la valeur attribuée "caractéristiques des déchets" dans le tableau 2.7.

Tableau 2.5 : Equations d'évaluation des quantités de déchets toxiques

	Mesure	Unités	Equation pour évaluer
A	Quantité de constituant toxique (C)	livre	C
B ^b	Quantité d'effluent toxique (W)	livre	W/5.000
C ^b	Volume (V) . décharge . dépôt surface . dépôt surface (enfoui/recouvert) . fûts ^c . conteneurs, réservoirs . autres récipients de sols contaminés . tas . autre	Yd ³ Yd ³ Yd ³ gallon Yd ³ Yd ³ Yd ³ Yd ³	V/2.500 V/2,5 V/2,5 V/500 V/2,5 V/2.500 V/2,5 V/2,5
D ^b	Superficie (A) . décharge . dépôt surface . dépôt surface (enfoui/recouvert) . traitement surface . tas ^d . sol contaminé	ft ² ft ² ft ² ft ² ft ² ft ²	A/3.400 A/13 A/13 A/270 A/13 A/34.000

a : ne pas arrondir

b : convertir les volumes en masse si nécessaire : 1 ton = 2000 livres
= 1 yard cubique = 4 drums = 200 gallons
1 livre = 453,6 g, 1 gallon US = 3,785 litres, 1 Yd³ = 0,764 m³
1 ft² = 0,093 m²

c : si on ne connaît pas le volume des fûts, prendre 1 fût = 50 gallons

d : prendre surface sous le tas, non la surface du tas.

Tableau 2.6 : Evaluation du facteur "Quantité déchets toxiques"

Quantité de déchets toxiques	Valeur attribuée
0	0
1 à 100	1
100 à 10.000	100
10.000 à 1.000.000	10.000
plus de 1.000.000	1.000.000

Tableau 2.7 : Evaluation du facteur "Caractéristiques des déchets"

Produit des composantes de "Caractéristiques déchets"	Valeur attribuée
0	0
entre 0 et 10	1
de 10 à 100	2
100 à 1.000	3
1.000 à 10.000	6
10^4 à 10^5	10
10^5 à 10^6	18
10^6 à 10^7	32
10^7 à 10^8	56
10^8 à 10^9	100
10^9 à 10^{10}	180
10^{10} à 10^{11}	320
10^{11} à 10^{12}	560
10^{12}	1000

2.4. Cibles

Les cibles évaluées comprennent :

- individus (variables suivant la voie) ;
- population humaine ;
- ressources (variables suivant la voie) ;
- environnements sensibles (sauf pour eau souterraine).

La valeur attribuée à ce facteur dépend du fait que la pollution est réelle ou potentielle et du niveau de contamination I ou II.

* Pollution réelle

Niveau I :

- les concentrations rencontrées sont supérieures aux valeurs limites admissibles ;
- pour le risque sur la chaîne alimentaire dans la voie eau de surface, les concentrations dans les tissus (poissons) dépassent les limites admissibles.

Niveau II : les concentrations observées correspondent au critère d'un relargage, mais sont inférieures aux limites. Si pour une substance il n'existe pas de limite applicable, on lui attribuera le niveau II.

* Pollution potentielle

- Pour un risque individuel : on attribue 50 points si un individu est exposé au niveau I, et 45 points s'il est exposé au niveau II, et 20 points maximum pour un individu sujet à une pollution potentielle.
- Pour la population et les environnements sensibles :
 - . sommer les cibles niveau I et multiplier par 10,
 - . sommer les cibles niveau II,
 - . multiplier les cibles potentielles par un coefficient (distance, dilution) et diviser par 10,
 - . sommer les valeurs des 3 niveaux.

III - EVALUATION DU RISQUE POUR L'EAU SOUTERRAINE

III - EVALUATION DU RISQUE POUR L'EAU SOUTERRAINE

Le score Sgw pour cette voie est :

$$S_{gw} = \frac{(LR) (WC) (T)}{SF}$$

LR : probabilité de relargage d'éléments toxiques

WC : caractéristiques des déchets

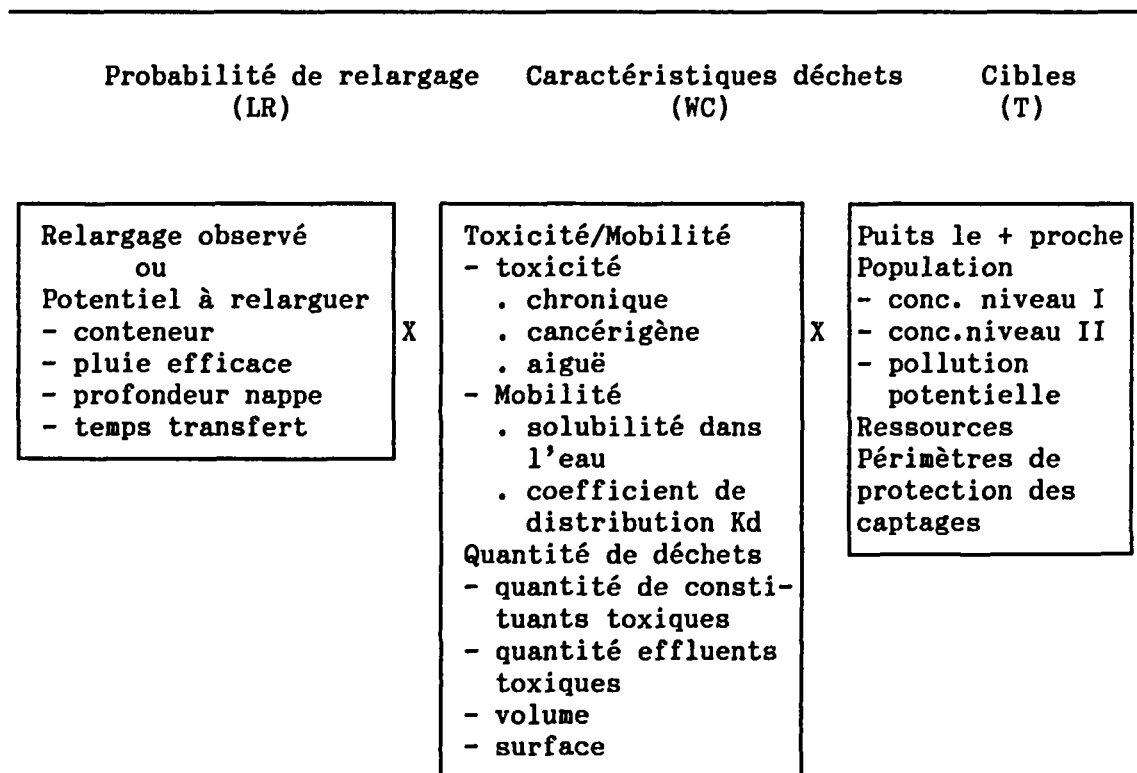
T : cibles

SF : facteur d'échelle

Pour les cibles, on considère une distance limite de 6 km 500.

La figure 3.1 résume le procédé de calcul pour ce cas particulier.

Figure 3.1 : Vue générale de la voie eau souterraine



TABEAU 3.1 : FICHE DE NOTATION DU RISQUE POUR LA VOIE EAU SOUTERRAINE

Probabilité de mobilisation en direction de l'aquifère	Valeur maximale	Valeur attribuée
1. Mobilisation observée	550	
2. Potentiel à larguer :		
2a. conteneur	10	
2b. pluie efficace	10	
2c. profondeur aquifère	5	
2d. temps de transfert	35	
2e. potentiel à larguer [2a x (2b + 2c + 2d)]	500	
3. Probabilité de relargage (la plus élevée des lignes 1 et 2e)	550	

Caractéristiques des déchets

4. Toxicité/Mobilité	a
5. Quantité de déchets toxiques	a
6. Caractéristiques des déchets	100

Cibles

7. Puits le plus proche	50
8. Population :	
8a. concentrations niveau I	b
8b. concentrations niveau II	b
8c. contamination potentielle	b
8d. population (8a + 8b + 8c)	b
9. Ressources	5
10. Périmètres de protection des captages	20
11. Cibles (7 + 8d + 9 + 10)	b

Score pour migration vers un seul aquifère

12. score (3 x 6 x 11)/82.500 ^c	100
--	-----

Score pour aquifères

13. Sgw (plus forte valeur de ligne 12 pour tous aquifères évalués)	100
--	-----

a : la valeur maximale s'applique à la catégorie "caractéristiques des déchets"

b : valeur maximale non applicable

c : ne pas arrondir.

III.1. GUIDE D'EVALUATION DU RISQUE POUR LES EAUX SOUTERRAINES

On reprend point par point le tableau 3.1.

* Probabilités de relargage vers la nappe

1. **Relargage observé** : si les analyses chimiques mettent en évidence une pollution de la nappe : attribuer une valeur 550. Dans le cas contraire, mettre 0 et passer à relargage potentiel.

2. **Relargage potentiel**

2a. conteneur : attribuer une valeur à partir du tableau 3.2, pour chaque source, prendre la plus grande ;

2b. pluie efficace : déterminer la valeur de l'infiltration sur le site puis attribuer une valeur à l'aide du tableau 3.3 et de la pluie efficace annuelle ;

2c. profondeur aquifère : évaluer la distance entre le point le plus bas dans le sol où l'on repère l'élément toxique et la surface du sol. On mesure la distance surface du sol - toit de la nappe.

La distance à la nappe sera prise en soustrayant la première mesure à la seconde.

On se reporte ensuite au tableau 3.4 pour attribuer un facteur.

Cette détermination se fait dans un rayon de 3 km ;

2d. temps de transfert : évaluer le temps de transfert en se basant sur la nature du terrain compris entre le point le plus bas où est observé le polluant et le toit de la nappe.

	Valeur attribuée
. si la distance à la nappe : ≤ 3 m	35
. si le terrain est karstique	35
. sélectionner les couches de plus faible perméabilité d'au moins 90 cm d'épaisseur. Ne pas tenir compte des 3 premiers mètres	
. déterminer les perméabilités à l'aide du tableau 3.5 ou par des tests quand c'est possible	
. assigner un facteur à l'aide du tableau 3.6	

2e. potentiel à relarguer : sommer les facteurs obtenus pour 2b, 2c, 2d et multiplier cette somme par le facteur obtenu pour le "conteneur". Cette valeur sera attribuée au "potentiel à relarguer" dans le tableau 3.1.

3. **Possibilité de relargage** : si un relargage est observé, attribuer la valeur 550 dans le tableau 3.1, sinon prendre la valeur attribuée en 2e.

* Caractéristiques des déchets

4. Toxicité/Mobilité

- toxicité : attribuer une valeur à chaque substance (tableau 2.4) ;
- mobilité :
 - . pour toute substance observée dans la nappe sous une source, attribuer la valeur 1,
 - . pour toute substance non observée par analyse chimique dans la nappe, attribuer une valeur du tableau 3.7,
 - . si on n'a pas d'informations sur la solubilité ou Kd d'une substance : en choisir une autre,
 - . si aucune information n'est disponible, prendre une valeur de 0,002 par défaut,
 - . pour les Kd, si la valeur n'est pas disponible, prendre une valeur par défaut < 10, sauf pour asbèth prendre > 1000.

Pour calculer la valeur du facteur toxicité/mobilité, utiliser le tableau 3.8. Utiliser le facteur toxicité/mobilité correspondant au plus élevé obtenu pour différentes substances toxiques et le reporter dans le tableau 3.1.

5. **Quantité de déchets toxiques** : attribuer une valeur de facteur, comme déterminé avec le tableau 2.6.
6. **Caractéristiques des déchets** : multiplier le facteur "toxicité-mobilité" et le facteur "quantité de déchets" (produit maxi = 10^8). Rechercher ensuite avec ce produit, dans le tableau 2.7, la valeur du facteur "caractéristiques des déchets". Mettre cette valeur dans le tableau 3.1.

* Cibles

L'évaluation se fait sur une distance maxima de 6,4 km. Si plusieurs nappes sont interconnectées, on ne considère qu'une seule unité hydro-géologique.

7. **Puits le plus proche** : on comprend les puits d'alimentation en eau potable de l'aquifère évalué et ceux d'aquifères sus-jacents :
- . pollution observée dans un puits d'alimentation en eau potable : attribuer les concentrations niveau II. On peut utiliser les indications (chapitre II) pour évaluer le niveau des concentrations.

Pour attribuer un facteur "puits le plus proche" :

	<u>valeur attribuée</u>
. si un ou plusieurs puits d'alimentation sont sujets aux concentrations niveau I, attribuer une valeur de :	50
. sinon, mais si un ou plusieurs puits présentent des concentrations niveau II, attribuer une valeur de :	45
. si aucun des puits ne présentent de concentrations niveaux I ou II, mais :	
- si l'une des cibles est un aquifère karstique, attribuer :	20
- sinon déterminer la plus courte distance à un puits d'eau potable et choisir une valeur dans le tableau 3.9	

Entrer la valeur attribuée à "puits le plus proche" dans le tableau 3.1.

8. Population : inclure les personnes desservies par les puits d'alimentation en eau potable, à l'intérieur des limites fixées précédemment. Compter les personnes alimentées par cette nappe et les nappes sus-jacentes. Inclure les résidents, étudiants, travailleurs, qui utilisent l'eau régulièrement. Exclure la population qui transite. Evaluer la population d'après la localisation des puits.

Si l'eau distribuée est un mélange d'eau souterraine et d'eau de surface ou d'une autre nappe, attribuer la même proportion à chaque part sauf si l'une des contributions est supérieure à 40 %.

- **8a. concentrations niveau I** : sommer le nombre de personnes desservies par une eau aux concentrations de niveau I. Multiplier cette somme par 10. La valeur obtenue est le facteur à entrer dans le tableau 3.1.
- **8b. concentrations niveau II** : sommer le nombre de personnes desservies par l'eau aux concentrations de niveau II. Cette somme est la valeur du facteur à entrer dans le tableau 3.1.
- **8c. contamination potentielle** : sommer le nombre de personnes soumis à une pollution potentielle (à l'exclusion des populations 8a et 8b).

Le facteur "contamination potentielle", PC, est calculé par :

$$PC = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n (W_i + K_i)$$

W_i = coefficient attribué à la population dans une catégorie de distance, en milieu non karstique pour la catégorie i
 K_i = coefficient population en milieu karstique pour la catégorie i
 n = nombre de catégories de distances.

Les valeurs de W_i , K_i et n , sont tirées du tableau 3.10.

Si $PC < 1$, ne pas arrondir. Si $PC > 1$, arrondir au nombre entier le plus proche. Entrer cette valeur dans le tableau 3.1

8d. facteur "population" : sommer les facteurs obtenus en 8a, 8b et 8c. Attribuer cette somme au facteur "population" dans le tableau 3.1.

9. Ressources :

	<u>Valeur attribuée</u>
- si l'eau issue d'un puits menacé est utilisée pour l'irrigation, la préparation d'aliments, l'aquaculture, le bétail, une aire récréative, sauf boisson	5
- pas de puits d'alimentation en eau potable dans les limites, mais l'eau de la nappe est utilisée pour l'alimentation	5
- aucune de ces conditions	0

10. Périmètres de protection :

- une source de pollution avec un facteur "conteneur" > 0 existe dans les périmètres de protection	20
- une pollution due à la source est observée dans les périmètres de protection	20
- aucun de ces critères, mais il existe des périmètres de protection dans les limites pour les cibles	5
- aucune de ces conditions	0

11. **Calcul du facteur "cibles"** : sommer les facteurs obtenus en 7, 8d, 9 et 10. Entrer cette valeur dans le tableau 3.1.

12. **Score pour la migration vers l'eau souterraine pour un aquifère** : comme indiqué dans le tableau 3.1, le score pour l'aquifère évalué est obtenu par le produit des facteurs "probabilité de relargage", "caractéristiques déchets", "cibles", arrondi au plus proche nombre entier. Ensuite, on divise ce produit par 82.500. La valeur résultante la plus forte (dans le cas où on évalue plusieurs nappes), soumise à un maximum de 100 points, est le score pour la voie "eau souterraine".

TABEAU 3.2 : DETERMINATION DES VALEURS ATTRIBUEES AU FACTEUR "CONTENEUR"

<u>Toutes sources</u> (excepté dépôts de surface, épandages, conteneurs et réservoirs)	<u>Valeur attribuée</u>
- Evidence d'une migration à partir de la source	10
- Pas d'étanchéité	10
- Pas de mise en évidence de migration et présence d'une protection étanche au fond, mais :	
a) pas de couverture	
b) pas de contrôle du ruissellement	
c) pas collecte d'effluent	10
. un des facteurs a, b, c, présent	9
. deux des facteurs a, b, c, présents	7
. trois facteurs a, b, c, présents + un contrôle de la nappe	5
. idem et pas de liquides déposés	3
- Pas d'évidence de migration, double étanchéité, collecte effluent, contrôle nappe, et :	
a) une de ces énumérations présente :	3
. liquides ou matériaux avec liquides	
. pas de ruissellement contrôlé	
. pas de couverture	
b) aucune des déficiences de a)	0
- La zone de la source est protégée de la pluie sous abri, donc pas ruissellement, ni effluent et pas de liquides déposés	0
<u>Dépôts en surface</u>	
- Evidence d'une migration de substances toxiques	10
- Pas d'étanchéité au fond	10
- Présence de liquides libres, sans fossé ou digue ou sans contrôle régulier	10
- Pas d'évidence de migration de substances toxiques à partir du dépôt, présence de liquides libres, digue ou fossé régulièrement contrôlé(e), et entretenu(e), et :	
a) fond étanche	9
b) étanchéité avec recueil effluent et contrôle nappe	5
c) double étanchéité, collecte effluent, recueil entre fonds étanches, contrôle eau	3
- Pas de migration depuis le dépôt et tous liquides éliminés à la fermeture (enlèvement ou solidification)	3

TABLEAU 3.2 : SUITE

	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Épandages en surface</u>	
- Evidence de migration de substances toxiques à partir de la zone de traitement en surface	10
- Pas de système en fonctionnement ou contrôlé, pour le contrôle d'infiltration ou de ruissellement	10
- Pas d'évidence de migration et :	
a) système de contrôle de l'infiltration et du ruissellement	7
b) contrôle infiltration, ruissellement et présence couverture végétale sur la zone	5
c) zone de traitement, entretenue, contrôlée selon réglementation	0
<u>Conteneurs</u>	
Tous conteneurs enterrés	<u>évaluer suivant critères "toutes sources"</u>
- Evidence d'une migration à partir de la zone des conteneurs	10
- Pas d'étanchéité à la base de la surface des conteneurs	10
- Pas de fossé ou digue autour des conteneurs	10
- Fossé non entretenu, ni contrôlé	10
- Pas d'évidence de migration, présence d'un fossé entretenu et inspecté, et :	
a) feuille étanche sous les conteneurs	9
b) couche étanche sous les conteneurs, collecte des liquides et élimination	7
c) base imperméable, collecte des liquides, capacité à tenir 10% du volume de tous conteneurs, contrôle d'infiltration, contrôle de la nappe et des épandages liquides toxiques, élimination de la pluie accumulée, inspection hebdomadaire des conteneurs et interventions en cas de fuite ou détérioration	5
d) présence de liquides libres, système de collecte, peut contenir tout le volume, étanchéité à la base, collecte d'effluent sous la couche étanche, contrôle de nappe	5
e) idem d), avec double étanchéité, collecte entre les couches étanches	3
- Conteneurs dans ou sous une structure contrôlée qui protège de la pluie, d'où pas de ruissellement, pas d'effluent	0
- Pas d'évidence de migration ni fuite, tous liquides libres éliminés à l'entrée	0

TABLEAU 3.2 : SUITE

<u>Réservoirs</u>	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Réservoirs enterrés</u>	<u>évaluer suivant critères</u> <u>"toutes sources"</u>
- Evidence de migration à partir de l'aire des réservoirs (réservoirs, pipes)	10
- Pas de contenant secondaire (c'est-à-dire feuillet étanche sous réservoir, double paroi)	10
- Pas de fossé (ou structure similaire) autour du réservoir et contenant secondaire	10
- Fossé autour du réservoir non inspecté ou entretenu régulièrement	10
- Pas d'évidence de migration, fossé entretenu, et :	
a) contenant secondaire	9
b) contenant secondaire, plus détection de fuite et système collecteur	7
c) idem b, et capacité à contenir 110% volume du plus grand réservoir, inspection hebdomadaire, contrôle de la nappe	5
d) système collecteur peut retenir tout le volume des réservoirs, un feuillet étanche sous les réservoirs, collecte et élimination d'effluent sous cette couche, contrôle de nappe	5
e) comme d), mais : double étanchéité avec collecte d'effluent entre les feuillets	3
- Réservoir à la surface du sol, dans ou sous une structure protectrice —> pas d'effluent, pas de ruissellement, pas de liquides déposés dans réservoirs, contrôle des infiltrations	0

TABLEAU 3.3 : VALEURS DU FACTEUR "PLUIE EFFICACE"

Pluie efficace (mm)	valeur attribuée
0	0
de 0 à 125	1
de 125 à 375	3
de 375 à 750	6
plus de 750	10

TABLEAU 3.4 : FACTEUR "DISTANCE JUSQU'A L'AQUIFERE"

Distance à l'aquifère (mètres)	valeur attribuée
≤ 6,9 m	5
de 6,9 à 75 m	3
> 75 m	1
Pour un aquifère karstique, la distance à l'aquifère est 0.	

TABLEAU 3.5 : PERMEABILITE DES MATERIAUX

Type de roche	Perméabilité (m/s)
- Argile-shale-roche métamorphique non fracturée	10 ⁻¹⁰
- silt, loess, argiles silteuses, moraines, dolomites, certains grès	10 ⁻⁸
- sables, silts sableux, tourbes, moraines, certains calcaires, grès, roches métamorphiques	10 ⁻⁶
- graviers, sables propres, roches très fracturées, basaltes perméables, calcaires et dolomites karstifiées	10 ⁻⁴

TABLEAU 3.6 : VALEURS DU FACTEUR "TEMPS DE TRANSFERT"

Perméabilité (m/s)	Epaisseur de la(les) couche(s) de plus faible perméabilité (m/s)			
	de 0,9 à 1,5	de 1,5 à 30	de 30 à 150	supérieure à 150
$\geq 10^{-5}$	35	35	35	35
de 10^{-5} à 10^{-7}	35	25	15	15
de 10^{-7} à 10^{-9}	15	15	5	5
$< 10^{-9}$	5	5	1	1

TABLEAU 3.7 : VALEURS DU FACTEUR "MOBILITE DANS L'EAU SOUTERRAINE"

Solubilité dans l'eau (mg/l)	Coefficient de distribution (Kd) (ml/g)			
	karst	≤ 10	DP 10 à 1000	> 1000
Présent sous forme liquide	1	1	0,01	0,0001
> 100	1	1	0,01	0,0001
de 1 à 100	0,2	0,2	0,002	$2 \cdot 10^{-5}$
de 0,01 à 1	0,002	0,002	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-7}$
$\leq 0,01$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-9}$

TABLEAU 3.8 : VALEURS DU FACTEUR "TOXICITE/MOBILITE"

Facteur Mobilité	Facteur Toxicité					
	10.000	1.000	100	10	1	0
1	10.000	1.000	100	10	1	0
0,2	2.000	200	20	2	0,2	0
0,01	100	10	1	0,1	0,01	0
0,002	20	2	0,2	0,002	0,002	0
0,0001	1	0,1	0,01	0,001	$1 \cdot 10^{-4}$	0
$2 \cdot 10^{-5}$	0,2	0,02	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	0
$2 \cdot 10^{-7}$	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0
$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-9}$	0

TABLEAU 3.9 : VALEURS DU FACTEUR "PUITS LE PLUS PROCHE"

Distance depuis la source (km)	Valeur attribuée
Concentrations niveau Ia	50
Concentrations niveau IIa	45
0 à 0,4 km	20
de 0,4 à 0,8	18
de 0,8 à 1,6	9
de 1,6 à 3,2	5
de 3,2 à 4,8	3
de 4,8 à 6,4	2
> 6,4	0
a: la distance ne s'applique pas	

Tableau 3.10 : Valeurs des termes Wi et Ki (population/distance) pour déterminer le facteur "pollution potentielle"

Catégorie de distances (km)	Nombre de personnes dans la catégorie de distance												
	0	1 ▲ 10	11 ▲ 30	31 ▲ 100	101 ▲ 300	301 ▲ 1.000	1.001 ▲ 3.000	3.001 ▲ 10.000	10.001 ▲ 30.000	30.001 ▲ 100.000	100.001 ▲ 300.000	300.001 ▲ 1.000.000	1.000.001 ▲ 3.000.000
Autres que karst													
0 ▲ 0,4	0	4	17	53	164	522	1.633	5.214	16.325	52.137	163.246	521.360	1.632.455
0,4 ▲ 0,8	0	2	11	33	102	324	1.013	3.233	10.122	32.325	101.213	323.243	1.012.122
0,8 ▲ 1,6	0	1	5	17	52	167	523	1.669	5.224	16.684	52.239	166.835	522.385
1,6 ▲ 3,2	0	0,7	3	10	30	94	294	939	2.939	9.385	29.384	93.845	293.842
3,2 ▲ 4,8	0	0,5	2	7	21	68	212	678	2.122	6.778	21.222	67.777	212.219
4,8 ▲ 6,4	0	0,3	1	4	13	42	131	417	1.306	4.171	13.060	41.709	130.596
Karst													
0 ▲ 0,4	0	4	17	53	164	522	1.633	5.214	16.325	52.137	163.246	521.360	1.632.455
0,4 ▲ 0,8	0	2	11	33	102	324	1.013	3.233	10.122	32.325	101.213	323.243	1.012.122
0,8 ▲ 1,6	0	2	9	26	82	261	817	2.607	8.163	26.068	81.623	260.680	816.227
1,6 ▲ 3,2	0	2	9	26	82	261	817	2.607	8.163	26.068	81.623	260.680	816.227
3,2 ▲ 4,8	0	2	9	26	82	261	817	2.607	8.163	26.068	81.623	260.680	816.227
4,8 ▲ 6,4	0	2	9	26	82	261	817	2.607	8.163	26.068	81.623	260.680	816.227

IV - EVALUATION DU RISQUE POUR LES EAUX DE SURFACE

IV - EVALUATION DU RISQUE LIE A LA MIGRATION DE LA POLLUTION VERS LES EAUX DE SURFACE

- L'évaluation se fait pour deux composantes de la migration :

- . migration par écoulement sur le sol ou inondation, vers les eaux de surface,
- . migration par déversement des eaux souterraines dans les eaux de surface.

Chacune des composantes est évaluée dans trois domaines : risque pour l'eau de boisson, risque pour la chaîne alimentaire humaine et risque pour l'environnement.

Si les deux composantes sont évaluées, prendre le score le plus élevé comme score de cette voie. Si une seule composante est évaluée, prendre ce score.

- Les eaux de surface sont classées en 4 catégories : rivières, lacs, océans et eaux côtières dues à la marée.

IV.1. COMPOSANTE ECOULEMENT EN SURFACE

La figure 1 donne une vue de tous les domaines à prendre en compte pour évaluer le risque lié à cette composante. Le score Sof est exprimé par :

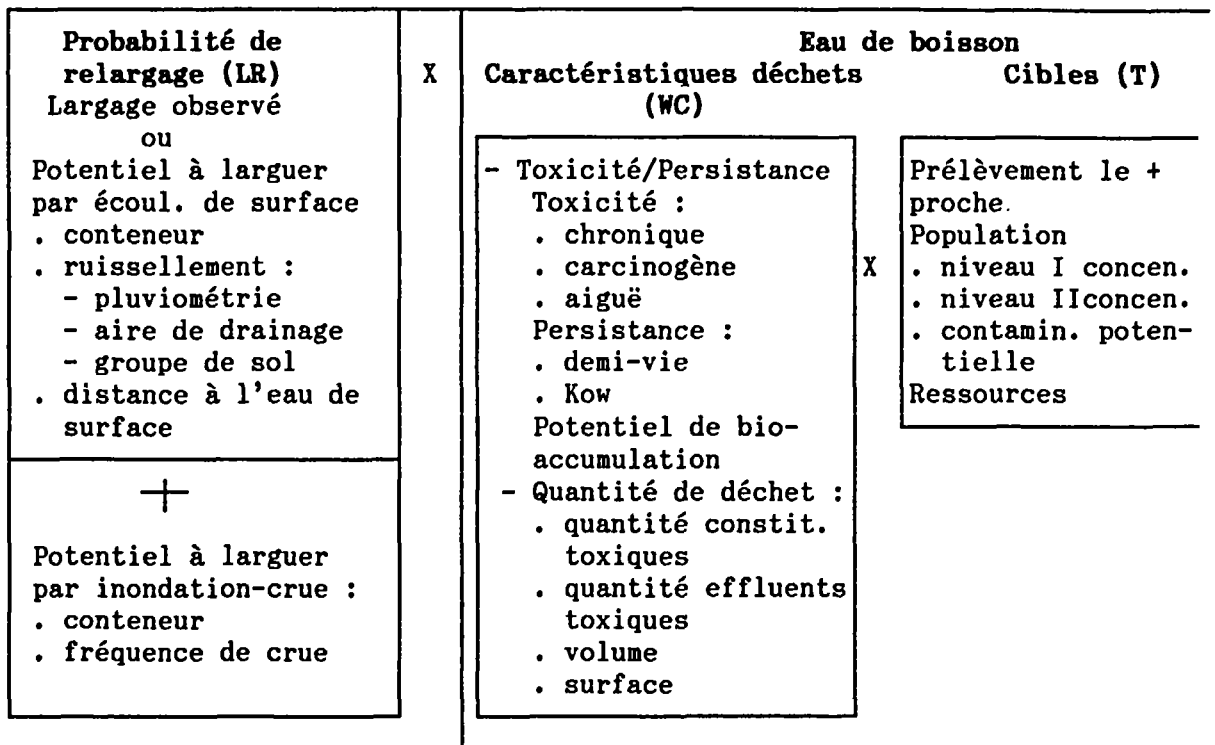
$$\text{Sof} = \frac{\sum_{i=1}^3 (\text{LRi})(\text{Wci})(\text{Ti})}{\text{SF}}$$

où :

LRi = valeur du facteur "probabilité de relargage" pour le domaine considéré (eau de boisson, chaîne alimentaire ou environnement)
Wci = valeur du facteur "caractéristiques des déchets" pour ce domaine
Ti = valeur du facteur "cibles" pour ce domaine
SF = facteur d'échelle.

Le tableau 4.1 présente la fiche d'évaluation de cette voie "eau de surface" pour la composante écoulement en surface.

**FIGURE 4.1 : VUE GENERALE DE LA VOIE "EAUX DE SURFACE"
COMPOSANTE ECOULEMENT EN SURFACE**



+

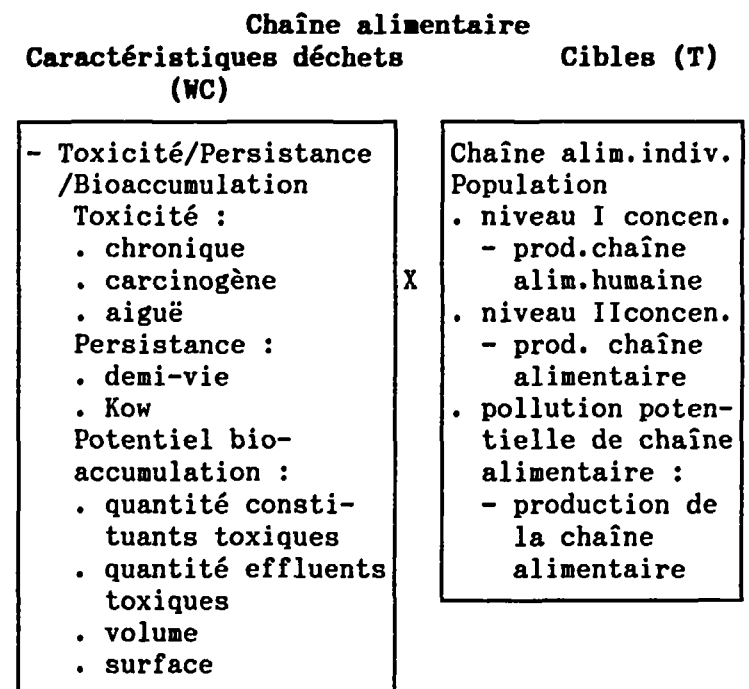
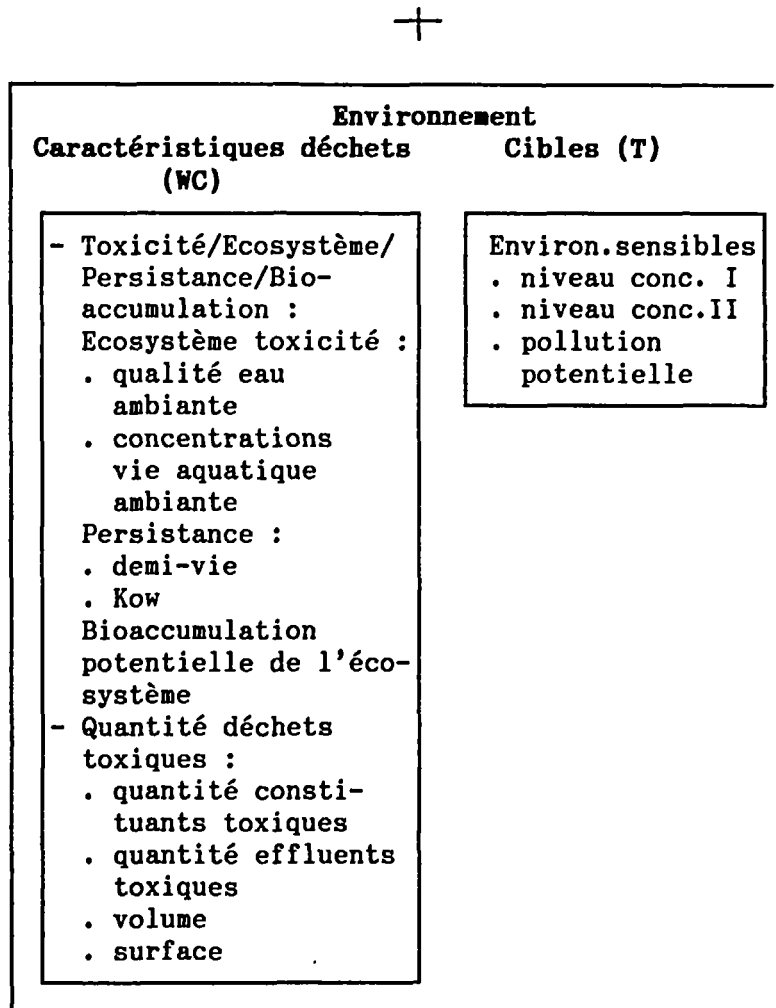


FIGURE 4.1 : SUITE



**TABLEAU 4.1 : FICHE D'EVALUATION - EAU DE SURFACE
(CONTAMINATION PAR ECOULEMENT EN SURFACE)**

<u>Catégories de facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Eau de boisson</u>		
* <u>Probabilité de largage</u>		
1. Largage observé	550	
2. Potentiel à relarguer par écoulement en surface :		
2a. conteneur	10	
2b. ruissellement	25	
2c. distance à eau de surface	25	
2d. potentiel à larguer par écoulement [2a x (2b + 2c)]	500	
3. Potentiel à larguer par crue :		
3a. conteneur	10	
3b. fréquence de crues	50	
3c. potentiel à larguer par crue (3a x 3b)	500	
4. Potentiel à larguer (2d + 3c, soumis à max. de 500)	500	
5. Probabilité de largage (1a + forte des lignes 1 et 4)	550	
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
6. Toxicité/Persistance	a	
7. Quantité de déchets toxiques	a	
8. Caractéristiques des déchets	100	
* <u>Cibles</u>		
9. Prélèvement le plus proche	50	
10. Population :		
10a. concentrations niveau I	b	
10b. concentrations niveau II	b	
10c. contamination potentielle	b	
10d. population (10a + 10b + 10c)	b	
11. Ressources	5	
12. Cibles (9 + 10d + 11)	b	
13. <u>Score pour Eau de boisson :</u>		
[(5 x 8 x 12)]/82.500	100	
<u>Chaîne alimentaire</u>		
* <u>Probabilité de largage</u>		
14. Probabilité de largage (même valeur qu'en 5)	550	

TABLERAU 4.1 : SUITE

<u>Catégories de facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
15. Toxicité/Persistance/Bio- accumulation	a	
16. Quantité déchets toxiques	a	
17. Caractéristiques déchets	1.000	
* <u>Cibles</u>		
18. Chaîne alimentaire - facteur individuel	50	
19. Population :		
19a. concentrations niveau I	b	
19b. concentrations niveau II	b	
19c. contamination potentielle de la chaîne alimentaire	b	
19d. population (19a + 19b + 19c)	b	
20. Cibles (18 + 19d)	b	
<u>Score pour Chaîne alimentaire :</u>		
[(14 x 17 x 20)]/82.500	100	
<u>Environnement</u>		
* <u>Probabilité de largage</u>		
22. Probabilité de largage (même valeur qu'en 5)	550	
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
23. Ecosystème : Toxicité/Persistance /Bioaccumulation	a	
24. Quantité déchets toxiques	a	
25. Caractéristiques des déchets	1.000	
* <u>Cibles</u>		
26. Environnements sensibles :		
26a. concentrations niveau I	b	
26b. concentrations niveau II	b	
26c. pollution potentielle	b	
26d. environnements sensibles (26a + 26b + 26c)	b	
27. Cibles (valeur de 26d)	b	

TABLEAU 4.1 : SUITE

<u>Catégories de facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
27. Cibles (valeur de 26d)	b	
28. <u>Score pour Environnement :</u> $[(22 \times 25 \times 27)]/82.500$	60	
29. <u>Score pour le Bassin versant :</u> $(13 + 21 + 28)$	100	
30. <u>Score pour la composante</u> <u>"Ecoulement à la surface"</u> (la plus élevée des valeurs ligne 29 pour tous les bassins versants évalués)	100	

IV.1.1. Guide pour l'évaluation du risque

Le risque est lié à l'écoulement en surface en direction des eaux de surface.

On reprend point par point les catégories de facteurs du tableau 4.1.

**** Risque pour "Eau de boisson"**

*** Probabilité de largage**

1. **Largage observé** : comme dans le cas de la voie eau souterraine, si on ne peut établir qu'il y a eu contamination de l'eau de surface, attribuer 0 et reporter en 4.1.

2. **Potentiel à relarguer** : à évaluer seulement s'il n'y a pas de largage observé :

2a. Si une ou plusieurs sources de pollution sont dans les eaux de surface, attribuer 10 dans le tableau 4.1. Si aucune source n'est située dans l'eau de surface, prendre une valeur dans le tableau 4.2. ; mettre la valeur la plus élevée en 4.1 ;

2b. Ruissellement : à évaluer avec 3 composantes : pluie, aire de drainage et groupe de sol. Attribuer une valeur pour le drainage avec le tableau 4.3.

Pour la pluie : pluie journalière sur 2 ans. Classer les sols suivant tableau 4.4.

Calcul du facteur "ruissellement" à l'aide du tableau 4.5 puis 4.6. Entrer cette valeur en 4.1.

2c. Distance à l'eau de surface : à partir du tableau 4.7. Entrer cette valeur en 4.1.

2d. Potentiel à larguer par écoulement en surface : sommer les valeurs obtenues pour 2b et 2c tableau 4.1, et multiplier par la valeur de 2a. Entrer cette valeur dans le tableau 4.1.

3. **Potentiel à larguer par crue** : pour chaque source de pollution potentielle dans le bassin versant :

3a. Conteneur : attribuer une valeur avec le tableau 4.8, reporter en 4.1.

3b. Fréquence de crue : attribuer une valeur avec le tableau 4.9, reporter en 4.1.

3c. Potentiel à larguer par crues : multiplier les valeurs obtenues en 3a et 3b, faire ce produit pour chaque source, choisir la valeur la plus élevée pour reporter dans le tableau 4.1.

4. **Potentiel à larguer** : sommer les valeurs obtenues en 2d et en 3c, reporter dans le tableau 4.1.

5. **Probabilité de largage dans l'eau de boisson** : si on a mis en évidence une circulation d'élément toxique, attribuer 550. Dans le cas contraire, attribuer la valeur obtenue en 4, et la reporter dans le tableau 4.1.

*** Caractéristiques des déchets**

6. **Toxicité/Persistance** : pour chaque substance toxique, attribuer un facteur toxicité, un facteur persistance et un facteur combiné.

- . toxicité : attribuer un facteur comme indiqué chapitre II ;
- . persistance : elle est évaluée d'une part d'après la demi-vie de la substance dans l'eau de surface ; temps qu'il faut pour réduire de moitié la concentration initiale, par biodégradation, hydrolyse, photolyse, volatilisation, et d'autre part d'après la sorption de la substance sur les sédiments. La sorption est évaluée à partir du log Kow (coefficient de partition n-octanol-eau :

$$\text{La demi-vie est estimée par } t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{1}{b} + \frac{1}{p} + \frac{1}{u}}$$

h : demi-vie hydrolyse
 b : demi-vie biodégradation
 p : demi-vie photolyse
 u : demi-vie volatilisation.

Si on peut estimer la demi-vie, attribuer un facteur de persistance à l'aide du tableau 4.10.

Si la demi-vie ne peut être estimée, pour les métaux ou métalloïdes, prendre une valeur par défaut, de 0,4 pour rivières, océans, et 0,07 pour les lacs.

Pour une substance donnée, on prend la valeur la plus forte des tableaux 4.10 ou 4.11.

Déterminer avec le tableau 4.12 les facteurs toxicité/persistance des substances toxiques. Prendre la valeur attribuée la plus élevée pour entrer dans le tableau 4.1.

7. **Quantité de déchets toxiques** : attribuer une valeur comme indiqué en II et entrer la valeur dans le tableau 4.1.

8. **Caractéristiques des déchets** : multiplier les facteurs "toxicité/persistance" et "quantité". A partir de ce produit, attribuer une valeur du tableau 2.7. Entrer cette valeur dans le tableau 4.1.

*** Cibles**

9. **Prélèvement le plus proche** : opérer comme pour l'eau souterraine et avec les indications de II, pour évaluer le "prélèvement le plus proche" et "population" :

- . si les prélèvements d'eau de boisson sont soumis à des concentrations de niveau I, attribuer une valeur de 50 dans le tableau 4.1. ;
 - . sinon, et si un ou plusieurs prélèvements d'eau de boisson sont à concentrations niveau II, attribuer un facteur de 45 ;
 - . si aucun prélèvement n'est à niveau I ou II, déterminer le plus proche et attribuer un poids de dilution selon le tableau 4.13. Multiplier ce poids de dilution par 20, arrondir et attribuer comme valeur.
10. **Population** : ne considérer que les personnes servies par l'eau potable prélevée le long du trajet de migration du polluant et dans la limite définie par la cible :
- 10a. Concentrations niveau I : compter le nombre de personnes buvant l'eau de concentrations I. Multiplier cette somme par 10. Cette valeur est la valeur à entrer dans le tableau 4.1.
- 10b. Concentrations niveau II : compter le nombre de personnes desservies par l'eau à concentrations de niveau II. Ne pas inclure les personnes desservies par l'eau à concentrations niveau I. Cette somme est la valeur attribuée à entrer en 4.1.
- 10c. Contamination potentielle : pour chaque type de forme d'eau de surface, dans le tableau 4.14, déterminer le nombre de personnes desservies par l'eau sujette à pollution potentielle. Ne pas recompter les gens comptés en 10a et 10b.
- Pour chaque type d'eau de surface, assigner une valeur dilution/ nombre de gens, du tableau 4.14.
- le facteur contamination potentielle se calcule par :
- $$PC = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n W_i$$
- W_i = valeur dilution/nombre de personnes dans le tableau 4.14
 n = nombre de types d'eaux de surface dans le bassin versant
- Si $PC < 1$, ne pas arrondir, si $PC \geq 1$, arrondir. Entrer cette valeur dans la tableau 4.1.
- 10d. Facteur "population" : sommer les valeurs obtenues en 10a, 10b et 10c ; cette somme est la valeur attribuée à la population à entrer en 4.1.
11. **Ressources** :
- . l'eau est utilisée pour l'irrigation, l'abreuvement du bétail, la préparation d'aliments, une aire récréative, pas l'eau de boisson : attribuer une valeur 5 ;

- . l'eau n'est pas utilisée pour la boisson mais une partie peut être utilisée comme eau de boisson : attribuer une valeur 5.
 - . aucune de ces conditions : attribuer une valeur 0.
12. **Cibles** : sommer les valeurs obtenues en 9, 10d et 11. Entrer la valeur obtenue dans le tableau 4.1.
13. **Score total pour le domaine "eau de boisson"** : multiplier les valeurs attribuées à 5, 8 et 12 et diviser par 82.500. Entrer la valeur obtenue en 4.1.

**** Menace pour la chaîne alimentaire**

*** Probabilité de largage**

14. **Probabilité de largage** : attribuer la même valeur qu'en 5, et entrer dans la tableau 4.1.

*** Caractéristiques des déchets**

15. Toxicité/Persistance/Bioaccumulation :

- . toxicité : attribuer un facteur comme indiqué au chapitre II ;
- . persistance : attribuer un facteur comme indiqué pour l'eau de boisson, mais considérer l'eau entre le point d'entrée de la substance et le plus proche lieu de pêche pour trouver une valeur dans le tableau 4.10 ;
- . bioaccumulation : utiliser le tableau 4.15.

Si aucune donnée n'est disponible, attribuer une valeur 0,5.

Pour calculer le facteur toxicité/persistance/bioaccumulation, attribuer à chaque substance une valeur toxicité/persistance à l'aide du tableau 4.12. Puis attribuer une valeur toxicité/persistance/bioaccumulation avec le tableau 4.16. La valeur la plus élevée (pour les différentes substances) est entrée dans le tableau 4.1.

16. **Quantité de déchets toxiques** : attribuer la même valeur que dans la rubrique "eau de boisson", c'est-à-dire en 7. Entrer cette valeur dans le tableau 4.1.
17. **Caractéristiques des déchets** : multiplier les facteurs obtenus en 15 et 16. Attribuer une valeur à partir du tableau 2.7 et la reporter dans le tableau 4.1.

* Cibles

18. Chaîne alimentaire individuelle : évaluer ce facteur en se basant sur les entreprises de pêche, dans les limites de distance :

- . si un établissement de pêche est sujet aux concentrations niveau I, attribuer une valeur de 50 ;
- . sinon, si un lieu de pêche est soumis aux concentrations niveau II, attribuer une valeur 45 ;
- . sinon, si on observe le largage d'une substance dont la bioaccumulation est 500, et s'il y a un établissement de pêche, attribuer une valeur 20 ;
- . si l'on n'observe aucun largage de substance toxique ayant un potentiel de bioaccumulation de 500, mais qu'il y a un établissement de pêche, attribuer une valeur avec le tableau 4.13 : prendre le poids de dilution le plus élevé et le multiplier par 20. Attribuer cette valeur en 4.1.
- . s'il n'y a pas de pêche, mettre 0.

19. Population :

19a. Concentrations niveau I : attribuer une valeur avec le tableau 4.18.

Sommer les valeurs attribuées pour chaque pêcherie. Multiplier par 10. Entrer cette valeur dans le tableau 4.1.

19b. Concentrations niveau II : attribuer une valeur à chaque pêcherie avec le tableau 4.18.

Faire le somme des valeurs obtenues pour chaque pêcherie. Entrer cette valeur en 4.1.

19c. Contamination potentielle : calculer le facteur PF comme suit :

$$PF = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n P_i D_i$$

P_i = valeur de population pour chaîne alimentaire

D_i = facteur de dilution du tableau 4.13

n = nombre de pêcheries sujettes à contamination.

Entrer la valeur dans le tableau 4.1.

19d. Facteur "Population" : sommer les valeurs de 19a, 19b et 19c. Entrer la valeur en 4.1.

20. Cibles : sommer les valeurs obtenues en 18 et 19d. Entrer en 4.1.

21. **Score total pour "chaîne alimentaire"** : multiplier les valeurs attribuées en "probabilité de relargage", "caractéristiques déchets" et "cibles" (soit $14 \times 17 \times 20$). Arrondir à un nombre entier. Diviser par 82.500.
La valeur résultant sujette à un maximum de 100, correspond à la valeur attribuée pour noter le risque pour la chaîne alimentaire.

**** Menace pour l'environnement**

*** Probabilité de largage**

22. **Probabilité de largage** : même valeur que celle attribuée pour l'eau de boisson en 5. Entrer la valeur en 4.1.

*** Caractéristiques des déchets**

23. **Toxicité/Persistance/Bioaccumulation** : comme pour l'eau de boisson en 6. :

- . pour la toxicité : attribuer un facteur à partir du tableau 4.19 à chaque substance toxique ;
- . persistance : opérer comme pour l'eau de boisson ;
- . bioaccumulation : opérer comme pour l'eau de boisson.

Pour calculer le facteur toxicité/persistance/bioaccumulation, attribuer à chaque substance une valeur à partir du tableau 4.20, puis 4.21. Prendre la valeur la plus élevée pour entrer en 4.1.

24. **Quantité de déchets toxiques** : entrer la même valeur que pour la rubrique "eau de boisson", soit la valeur attribuée en 7.
25. **Caractéristiques des déchets** : multiplier le facteur toxicité/persistance et le facteur "quantité de déchets toxiques", puis multiplier par le facteur "bioaccumulation".
A partir de ce second produit, attribuer une valeur du tableau 2.7. Entrer cette valeur dans le tableau 4.1.

*** Cibles**

26. **Environnement sensibles** : déterminer quel facteur est applicable. Utiliser les limites basées sur l'écologie plutôt que sur la santé (tableau 4.22).

26a. Concentrations de niveau I : attribuer une valeur du tableau 4.23 à chaque environnement soumis aux concentrations niveau I. Pour les terrains humides, prendre une valeur supplémentaire en 4.24 (partie de terres humides le long de la voie de migration).

Calculer le facteur "concentrations niveau I" comme suit :

$$SH = 10 \left(WH + \sum_{i=1}^n S_i \right)$$

WH = valeur du tableau 4.24 pour les terres humides le long de l'aire de concentrations I

S_i = valeur du tableau 4.23 attribuée aux environnements sensibles

n = nombre d'environnements sensibles du tableau 4.23 sujets aux concentrations I.

Entrer la valeur attribuée en 4.1.

26b. Concentrations niveau II : attribuer une valeur à partir des tableaux 4.23 et 4.24. Calculer le facteur correspondant :

$$SL = WL + \sum_{i=1}^n S_i$$

WL = valeur du tableau 4.24 pour les terres humides avec concentrations niveau II.

Entrer la valeur attribuée en 4.1.

26c. Pollution potentielle : utiliser de la même façon les tableaux 4.23 et 4.24 :

$$SP = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^m [(W_j + S_j) D_j]$$

$$S_j = \sum_{i=1}^n S_{ij}$$

S_{ij} = valeur du tableau 4.23 pour l'environnement i, dans le type d'eau de surface j

n = nombre d'environnements sensibles sujets à pollution potentielle

W_j = valeur du tableau 4.24 pour terres humides le long des surfaces de pollution potentielle

D_j = facteur de dilution du tableau 4.13

m = nombre de types d'eaux de surface dans le bassin versant.

26d. Environnements sensibles : sommer les valeurs obtenues en 26a, 26b, 26c. Entrer cette valeur en 4.1.

27. Cibles : valeur de 26d.

28. Score pour la rubrique "Environnement" : multiplier les facteurs "probabilité de largage", "caractéristiques des déchets" et "cibles" (soit $22 \times 25 \times 27$) et diviser par 82.500.
Entrer cette valeur en 4.1.

29. Score pour un bassin versant : sommer les scores obtenus pour les trois menaces : eaux de boisson, chaîne alimentaire et environnement (soit $13 + 21 + 28$). Entrer ce score en 4.1.

S'il y a plusieurs bassins versants, on prend la valeur la plus élevée des scores obtenus.

**Tableau 4.2 : Valeurs du facteur "conteneur" pour la voie
"Eau de surface"**

	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Toutes sources</u> (excepté dépôts surface, épandage, conteneurs et réservoirs)	
- Evidence d'une migration de substance toxique à partir de la zone de la source	10
- Pas d'évidence de migration et :	
a) aucune des conditions suivantes :	
1. couverture entretenue, ou	
2. système entretenu de contrôle du ruissellement et des précipitations	10
b) une des deux conditions présentes	9
c) une des trois suivantes présentes :	
couverture, contrôle précipitation et ruissellement, feuillet étanche, collecte effluent sous barrière étanche	7
d) toutes les conditions de c) présentes	5
e) toutes les conditions de c) présentes et pas matériaux liquides ou avec liquides	3
- Pas d'évidence de migration à partir de la zone source double barrière étanche, collecte effluent entre barrières, et :	
f) une seule de ces conditions présente :	3
1. matériau avec liquide, ou liquide libre	
2. pas contrôle d'écoulement ou précipitations	
3. pas couverture	
g) aucune condition de f présente	0
- Zone de source dans ou sous une structure qui protège, d'où pas écoulement ni effluent, pas de liquide déposé et contrôle des entrées d'eau	0
<u>Dépôt en surface</u>	
- Evidence d'une migration de substance toxique à partir du dépôt	10
- Liquides libres, sans fossé ou digue, ou non entretenu(e)	10
- Pas d'évidence de migration, liquides présents, digue ou fossé entretenu(e), et :	
a) pas étanchéité au fond	9
b) étanchéité	7
c) étanchéité avec collecte effluent	5
d) double étanchéité avec collecte effluent	3
- Pas d'évidence de migration et pas liquides acceptés à l'entrée	3

Tableau 4.2 : suite

<u>Traitement par épandage</u>	<u>Valeur attribuée</u>
- Evidence d'une migration de substance toxique	10
- Pas de contrôle d'écoulement et ruissellement	10
- Pas évidence de migration, et :	
a) contrôle écoulement, ruissellement	7
b) contrôle écoulement, ruissellement et couverture végétale	5
c) surface de traitement entretenue suivant réglementation	0
 <u>Conteneurs</u>	
- Tous les conteneurs enterrés	comme dans "toutes sources"
- Evidence d'une migration	10
- Pas de digue ou de fossé autour de la zone	10
- Fossé ou digue non entretenu(e)	10
- Pas évidence de migration et zone de conteneur entourée de fossé ou digue entretenu(e), et :	9
a) étanchéité sous les conteneurs et collecte des effluents	7
b) base imperméable, collecte liquides, capacité à contenir 10% volume des conteneurs, contrôle arrivées d'eau, élimination rapide des fuites et pluie accumulée, inspection hebdomadaire des conteneurs et transfert en cas de détérioration	5
c) présence de liquides libres, capacité à contenir le volume de tous les conteneurs, simple étanchéité avec collecte effluent et élimination	5
d) comme c) mais double étanchéité	3
- Conteneurs dans ou sous abri, pas d'effluent, pas d'admissions de liquides ou matériaux avec liquides, contrôle des arrivées d'eau	0
- Pas d'évidence de migration et pas d'admissions de liquides	0
 <u>Réservoirs</u>	
- Réservoir souterrain	comme "toutes les sources"
- Evidence d'une migration de substance toxique	10
- Pas de fossé ou digue et équipement secondaire	10
- Fossé ou digue autour réservoir : pas de maintenance	10

Tableau 4.2 : suite

	<u>Valeur attribuée</u>
- Pas d'évidence de migration et digue ou fossé entretenu(e)	9
- Pas d'évidence de migration, réservoir et équipement annexe entourés d'un fossé ou digue entretenu(e), et :	
a) réservoir et équipement annexe avec conteneur secondaire (e.g. étanchéité sous le réservoir, double paroi) avec détection de fuite et collecte	7
b) réservoir et équipement annexe avec réservoir secondaire qui détecte et collecte substances répandues ou fuites et précipitations et capacité suffisante pour contenir 110% du volume du plus grand réservoir, élimination rapide des fuites, inspection hebdomadaire	5
c) système conteneur à capacité de contenir tout le volume de tous les réservoirs ; simple étanchéité sous le réservoir, collecte de l'effluent et élimination	5
d) comme c) mais double étanchéité	3
- Réservoir au-dessus du sol, sous ou dans abri, pas d'effluent produit, pas dépôts de liquides, contrôle des arrivées d'eau	0

Tableau 4.3 : Valeurs des aires de drainage

<u>Aire de drainage</u>	<u>Valeur attribuée</u>
Moins de 0,20 km ²	1
0,20 à 1,01 km ²	2
de 1,01 à 4,04 km ²	3
supérieure à 4,04 km ²	4

Tableau 4.4 : Désignations des groupes de sol

<u>Description de la surface du sol</u>	<u>Désignation du groupe de sol</u>
- Sols à texture grossière avec vitesses d'infiltration élevées (ex : sables, sables limoneux)	A
- Sols à texture moyenne avec taux d'infiltration modérés (limons, limons sableux)	B
- Sols à texture modérément fine, avec vitesses d'infiltration faibles (limons silteux, silts, limons sablo-argileux)	C
- Sols à texture fine, peu d'infiltrations (argiles, argiles sableuses, limons silto-argileux, limons argileux, argiles silteuses) ou surfaces imperméables	D

Tableau 4.5 : Pluviométrie/Ruissellement

Pluviométrie journalière/2ans (mm)	Groupe de sol			
	A	B	C	D
< 25	0	0	2	3
25 à < 37,5	0	1	2	3
37,5 à < 50	0	2	3	4
50 à < 62,5	1	2	3	4
62,5 à < 75	2	3	4	4
75 à < 87,5	2	3	4	5
87,5 ou plus	3	4	5	6

Tableau 4.6 : Valeurs du Facteur de "Ruissellement"

Valeur de l'aire de drainage	Pluviométrie/Ruissellement						
	0	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	1	1	1	1
2	0	0	1	1	2	3	4
3	0	0	1	3	7	11	15
4	0	1	2	7	17	25	25

Tableau 4.7 : Facteur "Distance aux eaux de surface"

<u>Distance</u>	<u>Valeur attribuée</u>
Moins de 30 m	25
30 à 150 m	20
150 à 300 m	16
300 à 750 m	9
750 à 2,4 km	6
2,4 km à 3,2 km	3

Tableau 4.8 : Facteur "Conteneur" en cas de crue

<u>Critère conteneur</u>	<u>Valeur attribuée</u>
- Documents prouvant que le conteneur de source est conçu, construit, utilisé et géré de façon à éviter un lessivage des substances toxiques en cas de crue	0
- Autres	10

Tableau 4.9 : Facteur "Fréquence de crue"

<u>Catégorie de plaine alluviale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
Crue annuelle	50
Crue décennale	50
Crue tous les 100 ans	25
Crue tous les 500 ans	7
Aucune de ces conditions	0

Tableau 4.10 : Facteur "Persistance" - Demi-vie

Catégorie eau de surface	Demi-vie de la substance (jours)	Valeur attribuée
Rivières, océans, Eaux côtières Grands lacs	≤ 0,2 de 0,2 à 0,5 de 0,5 à 1,5 > 0,5	0,0007 0,07 0,4 1
Lacs	≤ 0,02 de 0,02 à 2 de 2 à 20 > 20	0,0007 0,07 0,4 1

Tableau 4.11 : Facteur "Persistance" - log Kow

<u>log Kow</u>	<u>Valeur attribuée (a)</u>
< 3,5	0,0007
de 3,5 à 4	0,07
de 4 à 4,5	0,4
> 4,5	1

(a) utiliser pour rivières, océans, eaux côtières et grands lacs ; ne pas arrondir.
log Kow = log du coefficient de partition n-octanol-eau

Tableau 4.12 : Facteur "Toxicité/Persistance"

Facteur Persistance	Facteur Toxicité					
	10.000	1.000	100	10	1	0
1	10.000	1.000	100	10	1	0
0,4	4.000	400	40	4	0,4	0
0,07	700	70	7	0,7	0,07	0
0,0007	7	0,7	0,07	0,007	0,0007	0

Tableau 4.13 : Poids de la dilution pour l'eau de surface

Type de forme d'eau de surface		
Description	Caractéristiques d'écoulement	Poids de dilution attribué
- Cours d'eau minimal	moins de 0,28 m ³ /s	1
- Cours d'eau petit à modéré	0,28 à 2,82 m ³ /s	0,1
- Cours d'eau modéré à important	de 2,82 à 28,3 m ³ /s	0,01
- Grand cours d'eau à rivière	de 28,3 à 283 m ³ /s	0,001
- Grande rivière	de 283 à 2.830 m ³ /s	0,0001
- Très grosse rivière	plus de 2.830 m ³ /s	0,00001
- Eaux côtières	débit non applicable	0,0001
- Océan faible profond. ou grand lac	débit non applicable profondeur < 6 m	0,0001
- Zone de profondeur modérée dans l'océan ou grand lac	débit non applicable profondeur de 6 à 60 m	0,00001
- Zone profonde de l'océan ou grand lac	débit non applicable profondeur > 60 m	0,000005
- 4,8 km de zone de mélange dans une rivière calme	283 l/sec ou plus	0,5

Tableau 4.14 : Valeurs (Wi) dilution/nombre de personnes pour le facteur de pollution potentielle des eaux de surface

Type d'eau de surface	Nombre de personnes													
	0	1	11	31	101	301	1.001	3.001	10.001	30.001	100.001	300.001	1.000.001	3.000.001
		à 10	à 30	à 100	à 300	à 1.000	à 3.000	à 10.000	à 30.000	à 100.000	à 300.000	à 1.000.000	à 3.000.000	à 10.000.000
- Ruisseau très petit ($< 283 \text{ l}$)	0	4	17	53	164	522	1.633	5.214	16.325	52.137	163.246	521.360	1.632.455	5.213.590
- Ruisseau petit à modéré (283 l à $2,83 \text{ m}^3$)	0	0,4	2	5	16	52	163	521	1.633	5.214	16.325	52.136	163.245	521.359
- Ruisseau modéré à grand ($2,8 \text{ m}^3$ à $28,3 \text{ m}^3$)	0	0,04	0,2	0,5	2	5	16	52	163	521	1.633	5.214	16.325	52.136
- Grand ruisseau à rivière ($28,3$ à 283 m^3)	0	0,004	0,02	0,05	0,2	0,5	2	5	16	52	163	521	1.632	5.214
- Grosse rivière (283 à 2.830 m^3)	0	0	0,002	0,005	0,02	0,05	0,2	0,5	2	5	16	52	163	521
- Très grosse rivière ($> 2.830 \text{ m}^3$)	0	0	0	0,001	0,002	0,005	0,02	0,05	0,2	0,5	2	5	16	52
- Zone océan peu profonde ou grand lac (prof. $< 6\text{m}$)	0	0	0,002	0,005	0,02	0,05	0,2	0,5	2	5	16	52	163	521
- Zone océan ou lac (profondeur 6 à 60 m)	0	0	0	0,001	0,002	0,005	0,02	0,05	0,2	0,5	2	5	16	52
- Zone profonde d'océan ou grand lac (prof. $> 60 \text{ m}$)	0	0	0	0	0,001	0,003	0,008	0,03	0,08	0,3	1	3	8	26
- Zone de mélange sur $3,8 \text{ km}$ rivière ($\geq 283 \text{ l}$)	0	2	9	26	82	261	817	2.607	8.163	26.068	81.623	260.680	816.227	2.606.795

Tableau 4.15 : Facteur potentiel de Bioaccumulation

Si le facteur bioconcentration (BCF) est disponible pour chaque organisme aquatique de la chaîne alimentaire pour l'homme, attribuer les valeurs suivantes :

<u>BCF</u>	<u>Valeur attribuée</u>
≥ 10.000	50.000
1.000 à < 10.000	5.000
100 à < 1.000	500
10 à < 100	50
1 à < 10	5
< 1	0,5

Si ces données ne sont pas disponibles, et si les valeurs de log Kow sont disponibles et n'excèdent pas 6, attribuer les valeurs suivantes :

<u>log Kow</u>	<u>Valeur attribuée</u>
5,5 à 6	50.000
4,5 à $< 5,5$	5.000
3,2 à $< 4,5$	500
2 à $< 3,2$	50
0,8 à < 2	5
$< 0,8$	0,5

Si aucune de ces possibilités, attribuer la valeur suivante :

<u>Solubilité dans l'eau</u> (mg/l)	<u>Valeur attribuée</u>
< 25	50.000
25 à 500	5.000
500 à 1.500	500
> 1.500	0,5

Si aucune donnée disponible, attribuer une valeur 0,5.

Tableau 4.16 : Facteur Toxicité/Persistance/Bioaccumulation

Facteur Toxicité/ Persistance	Facteur de bioaccumulation					
	50.000	5.000	500	50	5	0,5
10.000	5.10^8	5.10^7	5.10^6	5.10^5	5.10^4	5.000
4.000	2.10^8	2.10^7	2.10^6	2.10^5	2.10^4	2.000
1.000	5.10^7	5.10^6	5.10^5	5.10^4	5.000	500
700	$3,5.10^7$	$3,5.10^6$	$3,5.10^5$	$3,5.10^4$	3.500	350
400	2.10^7	2.10^6	2.10^5	2.10^4	2.000	200
100	5.10^6	5.10^5	5.10^4	5.000	500	50
70	$3,5.10^6$	$3,5.10^5$	$3,5.10^4$	3.500	350	35
40	2.10^6	2.10^5	2.10^4	2.000	200	20
10	5.10^5	5.10^4	5.000	500	50	5
7	$3,5.10^5$	$3,5.10^4$	3.500	350	35	3,5
4	2.10^5	2.10^4	2.000	200	20	2
1	5.10^4	5.000	500	50	5	0,5
0,7	$3,5.10^4$	3.500	350	35	3,5	0,35
0,4	2.10^4	2.000	200	20	2	0,2
0,07	3.500	350	35	3,5	0,35	0,035
0,007	350	35	3,5	0,35	0,035	0,0035
0,0007	35	3,5	0,35	0,035	0,0035	0,00035
0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.17 : Limites admissibles pour les substances toxiques dans la chaîne alimentaire

- Concentration correspondant à la réglementation en vigueur pour les poissons et coquillages.
- Concentration correspondant au risque 10^{-6} pour le cancer par ingestions.
- Concentration pour les réponses de produits non cancérogènes correspondant à la dose de référence pour expositions par ingestion.

Tableau 4.18 : Valeurs de "Population" pour la rubrique "chaîne alimentaire"

Production de chaîne alimentaire pour l'homme (livres/an)	Valeur attribuée à population
0	0
de 0 à 100	0,03
de 100 à 1.000	0,3
de 1.000 à 10.000	3
de 10.000 à 100.000	31
de 100.000 à 1.000.000	310
de 10^6 à 10^7	3.100
de 10^7 à 10^8	31.000
de 10^8 à 10^9	310.000
> 10^9	3.100.000
1 livre = 453,6 grammes	

Tableau 4.19 : Facteur de toxicité pour l'écosystème

Si une valeur AWQC (Ambient Water Quality Criteria) ou AALAC(*) (Ambient Aquatic Life Advisory Concentrations) chroniques sont disponibles, attribuer la valeur comme suit :

<u>EPA.AWQC ou AALAC chroniques</u>	<u>Valeur attribuée</u>
Moins de 1 µg/l	10.000
1 à 10 µg/l	1.000
de 10 à 100 µg/l	100
de 100 à 1.000 µg/l	10
> 1.000 µg/l	1

Si ces valeurs ne sont pas disponibles, utiliser les valeurs pour toxicité aiguë.

<u>EPA-AWQC ou AALA aiguës</u>	<u>Valeur attribuée</u>
< 100 µg/l	10.000
100 à 1.000 µg/l	1.000
de 1.000 à 10.000 µg/l	100
de 10.000 à 100.000 µg/l	10
> 100.000 µg/l	1

Si aucune de ces données n'est disponible, utiliser le LC50 :

<u>LC50</u>	<u>Valeur attribuée</u>
< 100 µg/l	10.000
100 à 1.000 µg/l	1.000
de 1.000 à 10.000 µg/l	100
de 10.000 à 100.000 µg/l	10
> 100.000 µg/l	1

Si aucune donnée disponible, attribuer une valeur 0.

(*) AWQC : concentrations maxi de toxicité chronique ou aiguë pour la protection de la vie aquatique

AALAC : concentration limite conseillée par EPA pour la toxicité aiguë ou chronique, pour les organismes aquatiques

LC50 : concentration létale (concentration dans l'eau qui tue 50 % d'un groupe exposé).

Tableau 4.20 : Facteur Toxicité/Persistance pour l'écosystème

Facteur Persistance	Facteur toxicité pour l'écosystème					
	10.000	1.000	100	10	1	0
1	10.000	1.000	100	10	1	0
0,4	4.000	400	40	4	0,4	0
0,07	700	70	7	0,7	0,07	0
0,0007	7	0,7	0,07	0,007	0,0007	0

Tableau 4.21 : Facteurs Toxicité/Persistance/Bioaccumulation pour l'écosystème

Toxicité Persistance	Potentiel de bioaccumulation					
	50.000	5.000	500	50	5	0,5
10.000	5.10 ⁸	5.10 ⁷	5.10 ⁶	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000
4.000	2.10 ⁸	2.10 ⁷	2.10 ⁶	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000
1.000	5.10 ⁷	5.10 ⁶	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000	500
700	3,5.10 ⁷	3,5.10 ⁶	3,5.10 ⁵	3,5.10 ⁴	3.500	350
400	2.10 ⁷	2.10 ⁶	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000	200
100	5.10 ⁶	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000	500	50
70	3,5.10 ⁶	3,5.10 ⁵	3,5.10 ⁴	3.500	350	35
40	2.10 ⁶	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000	200	20
10	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000	500	50	5
7	3,5.10 ⁵	3,5.10 ⁴	3.500	350	35	3,5
4	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000	200	20	2
1	5.10 ⁴	5.000	500	50	5	0,5
0,7	3,5.10 ⁴	3.500	350	35	3,5	0,35
0,4	2.10 ⁴	2.000	200	20	2	0,2
0,07	3.500	350	35	3,5	0,35	0,035
0,007	350	35	3,5	0,35	0,035	0,003
0,0007	35	3,5	0,35	0,035	0,0035	0,0003
0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.22 : Limites basées sur l'écologie pour les substances toxiques dans les eaux de surface (s'appliquent aux Etats-Unis)

- Concentrations correspondant à AWQC (voir tableau 4.19)
- Concentrations correspondant à AALAC (voir tableau 4.19)
Si les valeurs "chroniques" sont disponibles les utiliser, sinon prendre les valeurs "aiguës".

Tableau 4.23 : Valeurs pour les environnements sensibles (s'appliquent aux USA)

Environnements sensibles	Valeur attribuée
Habitat critique ou espèces menacées	100
Parc national	
Sanctuaire marin	
Zone sauvage protégée	
Zones côtières	
Monuments nationaux	
Aires récréatives en bord de mer ou lac nationaux	

Réserves nationales	75
Refuge pour espèces sauvages	
Barrière côtière	
Aires protégées pour écosystèmes	
Voies de migration - Lacs - Rivières	
Aires terrestres à concentration d'animaux	

Habitat pour espèces menacées	50
Rivière sauvage	
Barrière côtière (développée)	

Aires naturelles prévues pour vie sauvage	25
Aires de petite surface - Réserves biotiques	

Aires prévues pour protection de vie aquatique	5

Tableau 4.24 : Evaluation des terres humides ("Wetlands", s'applique aux USA) pour migration vers les eaux de surface

Longueur totale de wetlands (km)	Valeur attribuée
< 0,16 km	0
0,16 à 1,6	25
de 1,6 à 3,2	50
de 3,2 à 4,8	75
de 4,8 à 6,4	100
de 6,4 à 12,8	150
de 12,8 à 19,2	250
de 19,2 à 25,6	350
de 25,6 à 32	450
> 32	500

IV.2. COMPOSANTE MIGRATION DES EAUX SOUTERRAINES VERS LES EAUX DE SURFACE

Ne calculer ce score que pour les eaux de surface répondant aux conditions suivantes :

- une partie de l'eau de surface est à 1,6 km de une ou plusieurs sources sur le site ayant un facteur "conteneur" > 0 ;
- il n'y a pas discontinuité de l'aquifère entre la source et cette partie de l'eau de surface ;
- le toit de l'aquifère est au niveau ou au-dessus du niveau de l'eau de surface.

Le trajet de migration de la substance toxique inclut à la fois le segment dans l'eau souterraine et le segment dans l'eau de surface, que suivra la substance toxique jusqu'à la distance limite comprise dans les cibles.

La figure 4.2 indique les facteurs pris en considération dans chaque catégorie menacée.

Le score pour cette composante est déterminé par :

$$S_{gs} = \sum_{i=1}^3 \frac{(L R_i) (W C_i) (T_i)}{S F}$$

L R_i = facteur "Probabilité de relargage" pour la menace i

W C_i = facteur "caractéristiques déchets" pour la menace i

T_i = facteur "cibles"

S F = facteur d'échelle.

Le tableau 4.25 présente la fiche de notation du score.

Figure 4.2 : Vue générale de la composante migration eau souterraine vers eau de surface

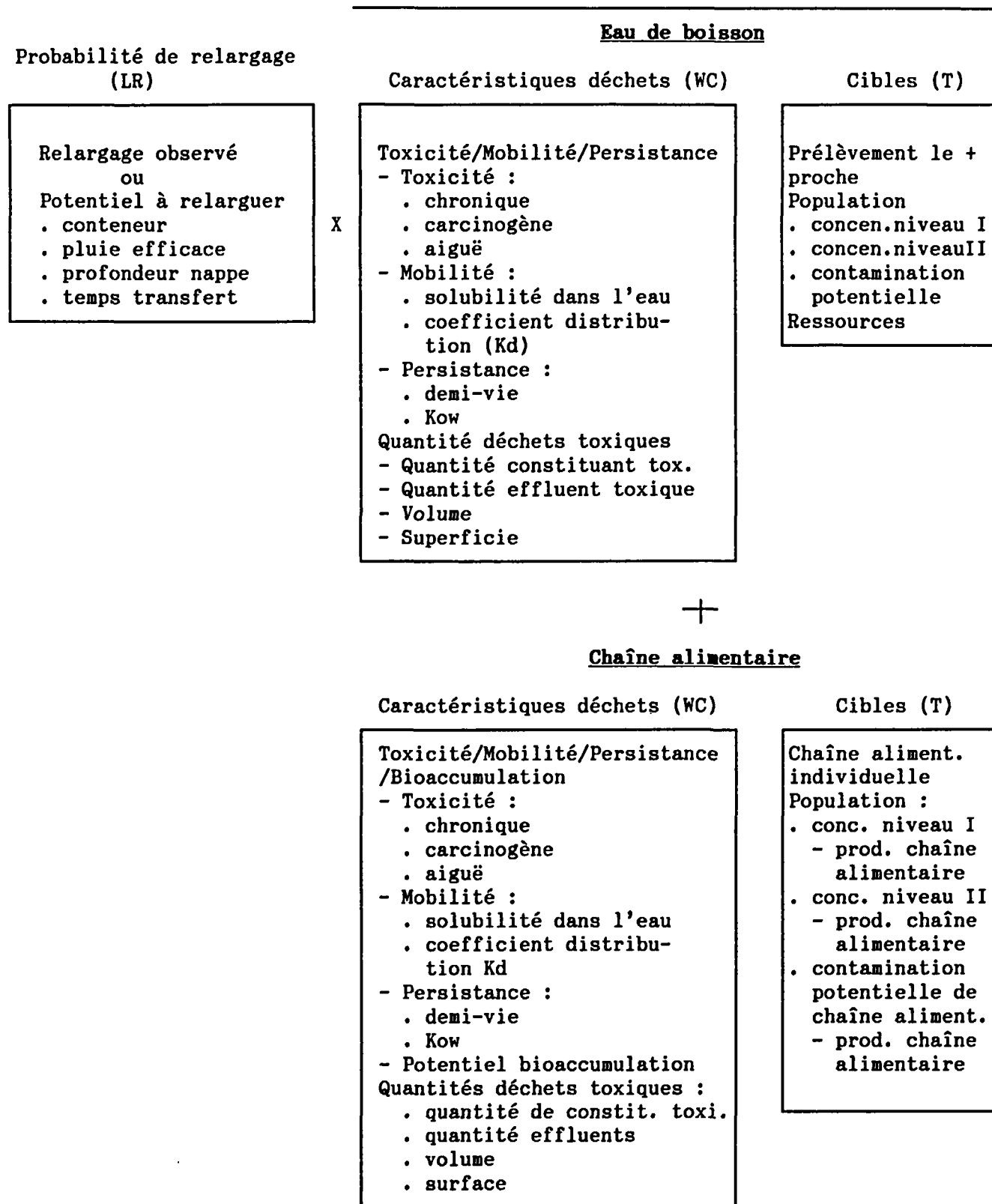


Figure 4.2 : suite

+

Environnement

Caractéristiques déchets (WC)

Cibles (T)

Toxicité/Mobilité/Persistance
/Bioaccumulation écosystème :

- Toxicité écosystème :
 - . critère qualité eau
 ambiante
 - . conc., vie aquatique
 ambiante
- Mobilité :
 - . solubilité dans l'eau
 - . coefficient distribution
 Kd
- Persistance :
 - . demi-vie
 - . Kow
- Bioaccumulation potentielle

Quantité déchets :

- quantité effluents
- quantité constituants
- volume
- surface

Environnements
sensibles :

- . concen.niveau I
- . concen.niveauII
- . contamination
 potentielle

Tableau 4.25 : Fiche d'évaluation "Eaux de surface" - Composante eaux souterraines vers eaux de surface

<u>Catégories de facteurs et facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Eau de boisson</u>		
* <u>Probabilité de largage vers la nappe</u>		
1. Relargage observé	550	
2. Potentiel à relarguer :		
2a. conteneur	10	
2b. pluie efficace	10	
2c. profondeur de nappe	5	
2d. temps de transfert	35	
2e. potentiel à relarguer (2a x [2b + 2c + 2d])	500	
3. Probabilité de relargage (la plus élevée des lignes 1 et 2)	550	
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
4. Toxicité/Mobilité/Persistance	a	
5. Quantité déchets toxiques	a	
6. Caractéristiques des déchets	100	
* <u>Cibles</u>		
7. Prélèvement le plus proche	50	
8. Population :		
8a. concentrations niveau I	b	
8b. concentrations niveau II	b	
8c. contamination potentielle	b	
8d. population (8a + 8b + 8c)		
9. Ressources	5	
10. Cibles (7 + 8d + 9)	b	
* <u>Score pour l'eau de boisson</u>		
11. Score du risque pour l'eau de boisson : $[(3 \times 6 \times 10)]/82.500$	100	
<u>Chaîne alimentaire</u>		
* <u>Probabilité de relargage</u>		
12. Probabilité de libération (comme en 3)	550	

<u>Catégories de facteurs et facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
13. Toxicité/Mobilité/Persistance/ Bioaccumulation	a	
14. Quantité de déchets toxiques	a	
15. Caractéristiques des déchets	1.000	
* <u>Cibles</u>		
16. Chaîne alimentaire individuelle	50	
17. Population :		
17a. concentrations niveau I	b	
17b. concentrations niveau II	b	
17c. Contamination potentielle de la chaîne alimentaire	b	
17d. population (17a + 17b + 17c)	b	
18. Cibles (16 + 17d)	b	
19. Score pour la chaîne alimentaire $[(12 \times 15 \times 18)]/82.500$	100	
<u>Risque pour environnement</u>		
* <u>Probabilité de largage</u>		
20. Probabilité de relargage (même valeur qu'en 3)	550	
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
21. Toxicité/Mobilité/Persistance /Bioaccumulation écosystème	a	
22. Quantité de déchets toxiques	a	
23. Caractéristiques des déchets	1.000	
* <u>Cibles</u>		
24. Environnements sensibles :		
24a. concentrations niveau I	b	
24b. concentrations niveau II	b	
24c. contamination potentielle	b	
24d. environnements sensibles (24a + 24b + 24c)	b	
25. Cibles : valeur 24d	b	
26. Score pour environnement $[(20 \times 23 \times 25)]/82.500$	60	
* <u>Score de la composante pour un bassin versant</u>		
27. Score (11 + 19 + 26)	100	

Si il y a plusieurs bassins versants, prendre le score le plus élevé à la ligne 27.

IV.2.2. Guide d'évaluation du risque lié au déversement des eaux souterraines dans les eaux de surface

On reprend point par point le tableau 4.25.

**** Risque pour "Eau de boisson"**

*** Probabilité de relargage**

1. **Relargage observé** : si une libération de substances toxiques a été observée, attribuer une valeur 550 dans le tableau 4.25, sinon mettre 0.
2. **Potentiel à relarguer** : pratiquer comme pour la voie "Eau souterraine".
3. **Probabilité de relargage** : (1 ou 2).

*** Caractéristiques des déchets**

4. **Toxicité/Mobilité/Persistance** : attribuer un facteur de toxicité comme dans le tableau 2.4.
Attribuer un facteur de mobilité comme en chapitre III "Eau souterraine".
Attribuer un facteur persistance comme en chapitre IV.1.

Pour chaque substance, attribuer ensuite un facteur toxicité/mobilité à partir du tableau 3.8, puis un facteur toxicité/mobilité/persistance dans le tableau 4.26.
Entrer la valeur la plus élevée en 4.25.

5. **Quantité de déchets toxiques** : comme pour "l'Eau souterraine", c'est-à-dire selon le chapitre II.
Entrer la valeur attribuée en 4.25.

6. **Caractéristiques des déchets** : multiplier les valeurs obtenues en 4 et 5. Puis attribuer avec le produit une valeur à partir du tableau 2.7.
Entrer la valeur en 4.25.

*** Cibles**

7. **Prélèvement le plus proche** : pour le prélèvement évalué, multiplier le poids de dilution du tableau 4.13 par une valeur choisie dans 4.27. Utiliser le produit résultant comme facteur de dilution. Choisir la valeur de 4.27 d'après l'angle θ (angle que font les intersections de la rivière avec le cercle ayant pour centre la source et un rayon de 1,6 km).

8. Population :

- 8a. Concentrations niveau I : comme pour la composante "écoulement en surface".
8b. Concentrations niveau II : comme pour la composante "écoulement en surface".
8c. Contamination potentielle : pour chaque type d'eau de surface défini dans le tableau 4.14, déterminer la valeur dilution/ nombre de personnes :

$$PC = \frac{A}{10} \sum_{i=1}^n W_i$$

A = valeur d'ajustement de la dilution, dans le tableau 4.27
W_i = valeur du terme dilution/population, dans le tableau 4.14
n = nombre de types différents d'eaux de surface.

Entrer la valeur de 8c en 4.25.

- 8d. Facteur "Population" : sommer 8a, 8b et 8c. Entrer la valeur en 4.25.

9. **Ressources** : attribuer une valeur comme pour la composante précédente.

10. **Cibles** : sommer les valeurs obtenues en 7, 8d et 9. Entrer la valeur en 4.25.

11. **Score pour le risque sur l'eau de boisson** : multiplier les valeurs 3 x 6 x 10 et diviser par 82.500.

**** Risque pour la chaîne alimentaire**

*** Probabilité de relargage**

12. **Probabilité de relargage** : pareil que pour "eau de boisson".

*** Caractéristiques des déchets**

13. **Toxicité/Mobilité/Persistance/Bioaccumulation :**

Toxicité : selon chapitre II
Mobilité : comme pour "eau de boisson"
Persistance : comme pour "eau de boisson", prendre la forme d'eau de surface prédominante, pour se reporter au tableau 4.10
Bioaccumulation : comme indiqué en chapitre IV.1.

Pour obtenir la "valeur attribuée" prendre un facteur toxicité/mobilité dans le tableau 3.8, puis une valeur toxicité/mobilité/persistance dans le tableau 4.26, puis un facteur toxicité/mobilité/persistance/bioaccumulation avec le tableau 4.28. Entrer cette valeur en 4.25.

14. **Quantité de déchets toxiques :** comme pour le risque "eau de boisson".
15. **Caractéristiques des déchets :** multiplier le facteur toxicité/mobilité/persistance et le facteur "quantité de déchets", puis multiplier le produit par le facteur bioaccumulation potentielle. A partir de ce deuxième produit, attribuer une valeur du tableau 2.7. Entrer cette valeur en 4.25.

*** Cibles**

16. **Chaîne alimentaire individuelle :** comme pour la composante précédente des eaux de surface, avec la modification suivante : quand on utilise un coefficient de dilution, multiplier le facteur de dilution du tableau 4.13 par la valeur d'ajustement du tableau 4.27. Utiliser le produit résultant comme facteur de dilution pour attribuer un facteur "chaîne alimentaire". Entrer en 4.25.

17. Population :

- 17a. concentrations niveau I : attribuer un facteur comme pour la composante précédente en IV.1. Entrer cette valeur en 4.25.
- 17b. concentrations niveau II : comme en IV.1. Entrer la valeur en 4.25.
- 17c. contamination potentielle de la chaîne alimentaire : comme en IV.1., essais en modifiant les facteurs dilution du tableau 4.13 par ajustement avec le tableau 4.27.
- 17d. population : sommer les valeurs obtenues en 17a, 17b et 17c. Entrer le résultat en 4.25.

18. **Cibles :** sommer les valeurs 16 et 17b. Entrer la valeur en 4.25.

19. **Score du risque pour la chaîne alimentaire :** multiplier les valeurs obtenues en 12, 15 et 18. Diviser le résultat par 82.500. Entrer le score en 4.25.

**** Environnement**

*** Probabilité de relargage**

20. **Probabilité de relargage :** même valeur qu'en IV.1., pour "Eau de boisson".

* Caractéristiques des déchets

21. **Toxicité/Mobilité/Persistance/Bioaccumulation** : opérer comme en IV.1. pour "Eau de boisson". Attribuer un facteur toxicité/mobilité avec le tableau 3.8, puis un facteur toxicité/mobilité/persistance avec le tableau 4.29, puis un facteur toxicité/mobilité/persistance/bioaccumulation pour l'écosystème, avec le tableau 4.30.
Entrer la valeur la plus élevée (pour différentes substances) en 4.25.
22. **Quantité de déchets toxiques** : comme en IV.1. pour "l'Eau de boisson".
23. **Caractéristiques des déchets** : multiplier le facteur toxicité/mobilité/persistance et le facteur quantité de déchets. Multiplier le produit par le facteur bioaccumulation potentielle. Attribuer ensuite une valeur avec le tableau 2.7.
Entrer cette valeur en 4.25.

* Cibles

24. **Environnements sensibles** :

- 24a. concentrations niveau I : attribuer une valeur comme en IV.1. pour la composante "écoulement en surface". Entrer la valeur en 4.25.
- 24b. concentrations niveau II : attribuer une valeur comme en IV.1. pour la composante "écoulement en surface". Entrer la valeur en 4.25.
- 24c. contamination potentielle : comme en IV.1., mais ajuster la valeur de dilution du tableau 4.13, à l'aide du tableau 4.27.
- 24d. environnements sensibles : faire la somme des valeurs 24a, 24b et 24c. Entrer le résultat en 4.25.
25. **Cibles** : c'est la valeur obtenue en 24d.
26. **Score "environnement"** : multiplier les valeurs obtenues en 20, 23 et 25 et diviser par 82.500.
27. **Score total pour la composante risque dû au déversement eaux souterraines dans les eaux de surface** : sommer les scores obtenus : 11 + 19 + 26.

Tableau 4.26 : Facteur Toxicité/Mobilité/Persistance

Facteur Toxicité/ Mobilité	Facteur Persistance			
	1	0,4	0,07	0,0007
10.000	10.000	4.000	700	7
2.000	2.000	800	140	1,4
1.000	1.000	400	70	0,7
200	200	80	14	0,14
100	100	40	7	0,07
20	20	8	1,4	0,014
10	10	4	0,7	0,007
2	2	0,8	0,14	0,0014
1	1	0,4	0,07	7.10 ⁻⁴
0,2	0,2	0,08	0,014	1,4.10 ⁻⁴
0,1	0,1	0,04	0,007	7.10 ⁻⁵
0,02	0,02	0,008	0,0014	1,4.10 ⁻⁵
0,01	0,01	0,004	7.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁶
0,002	0,002	8.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻⁶
0,001	0,001	4.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁷
2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁵	1,4.10 ⁻⁵	1,4.10 ⁻⁷
1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁶	7.10 ⁻⁸
2.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁶	1,4.10 ⁻⁶	1,4.10 ⁻⁸
2.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁶	8.10 ⁻⁷	1,4.10 ⁻⁷	1,4.10 ⁻⁹
2.10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁷	8.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻¹⁰
2.10 ⁻⁸	2.10 ⁻⁸	8.10 ⁻⁹	1,4.10 ⁻⁹	1,4.10 ⁻¹¹
2.10 ⁻⁹	2.10 ⁻⁹	8.10 ⁻¹⁰	1,4.10 ⁻¹⁰	1,4.10 ⁻¹²
0	0	0	0	0

Tableau 4.27 : Ajustements du paramètre dilution

Angle (θ) degrés	Valeur attribuée
0	0
0 à 18	0,05
18 à 54	0,1
54 à 90	0,2
90 à 126	0,3
126 à 162	0,4
162 à 198	0,5
198 à 234	0,6
234 à 270	0,7
270 à 306	0,8
306 à 342	0,9
342 à 360	1

Tableau 4.28 : Facteur Toxicité/Mobilité/Persistance/Bioaccumulation

Toxicité/ Mobilité/ Persistance	Facteur Bioaccumulation potentielle					
	50.000	5.000	500	50	5	0,5
10.000	5.10 ⁸	5.10 ⁷	5.10 ⁶	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000
4.000	2.10 ⁸	2.10 ⁷	2.10 ⁶	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000
2.000	1.10 ⁸	1.10 ⁷	1.10 ⁶	1.10 ⁵	1.10 ⁴	1.000
1.000	5.10 ⁷	5.10 ⁶	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.10 ³	500
800	4.10 ⁷	4.10 ⁶	4.10 ⁵	4.10 ⁴	4.000	400
700	3,5.10 ⁷	3,5.10 ⁶	3,5.10 ⁵	3,5.10 ⁴	3.000	350
400	2.10 ⁷	2.10 ⁶	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000	200
200	1.10 ⁷	1.10 ⁶	1.10 ⁵	1.10 ⁴	1.000	100
140	7.10 ⁶	7.10 ⁵	7.10 ⁴	7.000	700	70
100	5.10 ⁶	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000	500	50
80	4.10 ⁶	4.10 ⁵	4.10 ⁴	4.000	400	40
70	3,5.10 ⁶	3,5.10 ⁵	3,5.10 ⁴	3.000	300	35
40	2.10 ⁶	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000	200	20
20	1.10 ⁶	1.10 ⁵	1.10 ⁴	1.000	100	10
14	7.10 ⁵	7.10 ⁴	7.10 ³	700	70	7
10	5.10 ⁵	5.10 ⁴	5.000	500	50	5
8	4.10 ⁵	4.10 ⁴	4.000	400	40	4
7	3,5.10 ⁵	3,5.10 ⁴	3.500	350	35	3,5
4	2.10 ⁵	2.10 ⁴	2.000	200	20	2
2	1.10 ⁵	1.10 ⁴	1.000	100	10	1
1,4	7.10 ⁴	7.000	700	70	7	0,7
1	5.10 ⁴	5.000	500	50	5	0,5
0,8	4.10 ⁴	4.000	400	40	4	0,4
0,7	3,5.10 ⁴	3.500	350	35	3,5	0,35
0,4	2.10 ⁴	2.000	200	20	2	0,2
0,2	1.10 ⁴	1.000	100	10	1	0,1
0,14	7.000	700	70	7	0,7	0,07
0,1	5.000	500	50	5	0,5	0,05
0,08	4.000	400	40	4	0,4	0,04
0,07	3.500	350	35	3,5	0,35	0,035
0,04	2.000	200	20	2	0,2	0,02
0,02	1.000	100	10	1	0,1	0,01
0,014	700	70	7	0,7	0,07	0,007
0,01	500	50	5	0,5	0,05	0,005
0,008	400	40	4	0,4	0,04	0,004
0,007	350	35	3,5	0,35	0,035	0,0035
0,004	200	20	2	0,2	0,02	0,002
0,002	100	10	1	0,1	0,01	0,001
0,0014	70	7	0,7	0,07	0,007	7.10 ⁻⁴
0,001	50	5	0,5	0,05	0,005	5.10 ⁻⁴
8.10 ⁻⁴	40	4	0,4	0,04	0,004	4.10 ⁻⁴
7.10 ⁻⁴	35	3,5	0,35	0,035	0,0035	3,5.10 ⁻⁴
4.10 ⁻⁴	20	2	0,2	0,02	0,002	2.10 ⁻⁴

Tableau 4.28 : suite

Toxicité/ Mobilité/ Persistance	Facteur Bioaccumulation potentielle					
	50.000	5.000	500	50	5	0,5
2 x 10 ⁻⁴	10	1	0,1	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴
1,4 x 10 ⁻⁴	7	0,7	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵
1 x 10 ⁻⁴	5	0,5	0,05	0,005	5 x 10 ⁻⁴	5 x 10 ⁻⁵
8 x 10 ⁻⁵	4	0,4	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵
7 x 10 ⁻⁵	3,5	0,35	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵
4 x 10 ⁻⁵	2	0,2	0,02	0,002	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁵
2 x 10 ⁻⁵	1	0,1	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵
1,4 x 10 ⁻⁵	0,7	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶
8 x 10 ⁻⁶	0,4	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶
7 x 10 ⁻⁶	0,35	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵	3,5 x 10 ⁻⁶
2 x 10 ⁻⁶	0,1	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶
1,4 x 10 ⁻⁶	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷
8 x 10 ⁻⁷	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷
7 x 10 ⁻⁷	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵	3,5 x 10 ⁻⁶	3,5 x 10 ⁻⁷
2 x 10 ⁻⁷	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷
1,4 x 10 ⁻⁷	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸
8 x 10 ⁻⁸	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁸
7 x 10 ⁻⁸	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵	3,5 x 10 ⁻⁶	3,5 x 10 ⁻⁷	3,5 x 10 ⁻⁸
2 x 10 ⁻⁸	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁸
1,4 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹
8 x 10 ⁻⁹	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁸	4 x 10 ⁻⁹
2 x 10 ⁻⁹	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁸	1 x 10 ⁻⁹
1,4 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰
8 x 10 ⁻¹⁰	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁸	4 x 10 ⁻⁹	4 x 10 ⁻¹⁰
1,4 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰	4 x 10 ⁻¹¹
1,4 x 10 ⁻¹¹	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻¹¹	7 x 10 ⁻¹²
1,4 x 10 ⁻¹²	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻¹¹	7 x 10 ⁻¹²	7 x 10 ⁻¹³
0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.29 : Valeurs du facteur Toxicité/Mobilité/Persistance pour l'écosystème

Facteur Toxicité/ Mobilité	Facteur Persistance			
	1,0	0,4	0,07	0,0007
10.000	10.000	4.000	700	7
2.000	2.000	800	140	1,4
1.000	1.000	400	70	0,7
200	200	80	14	0,14
100	100	40	7	0,07
20	20	8	1,4	0,014
10	10	4	0,7	0,007
2	2	0,8	0,14	0,0014
1	1	0,4	0,07	7 x 10 ⁻⁴
0,2	0,2	0,08	0,014	1,4 x 10 ⁻⁴
0,1	0,1	0,04	0,007	7 x 10 ⁻⁵
0,02	0,02	0,008	0,0014	1,4 x 10 ⁻⁵
0,01	0,01	0,004	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁶
0,002	0,002	8 x 10 ⁻⁴	1,4 x 10 ⁻⁴	1,4 x 10 ⁻⁶
0,001	0,001	4 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁷
2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	8 x 10 ⁻⁵	1,4 x 10 ⁻⁵	1,4 x 10 ⁻⁷
1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁸
2 x 10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁵	8 x 10 ⁻⁶	1,4 x 10 ⁻⁶	1,4 x 10 ⁻⁸
2 x 10 ⁻⁶	2 x 10 ⁻⁶	8 x 10 ⁻⁷	1,4 x 10 ⁻⁷	1,4 x 10 ⁻⁹
2 x 10 ⁻⁷	2 x 10 ⁻⁷	8 x 10 ⁻⁸	1,4 x 10 ⁻⁸	1,4 x 10 ⁻¹⁰
2 x 10 ⁻⁸	2 x 10 ⁻⁸	8 x 10 ⁻⁹	1,4 x 10 ⁻⁹	1,4 x 10 ⁻¹¹
2 x 10 ⁻⁹	2 x 10 ⁻⁹	8 x 10 ⁻¹⁰	1,4 x 10 ⁻¹⁰	1,4 x 10 ⁻¹²
0	0	0	0	0

Tableau 4.30 : Valeurs du facteur Toxicité/Mobilité/Persistance/Bioaccumulation dans l'écosystème

Toxicité/ Mobilité/ Persistance pour l'écosystème	Facteur Bioaccumulation potentielle de l'écosystème					
	50.000	5.000	500	50	5	0,5
10.000	5 x 10 ⁸	5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁶	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁴	5.000
4.000	2 x 10 ⁸	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁴	2.000
2.000	1 x 10 ⁸	1 x 10 ⁷	1 x 10 ⁶	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁴	1.000
1.000	5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁶	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁴	5.000	500
800	4 x 10 ⁷	4 x 10 ⁶	4 x 10 ⁵	4 x 10 ⁴	4.000	400
700	3,5 x 10 ⁷	3,5 x 10 ⁶	3,5 x 10 ⁵	3,5 x 10 ⁴	3.500	350
400	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁴	2.000	200
200	1 x 10 ⁷	1 x 10 ⁶	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁴	1.000	100
140	7 x 10 ⁶	7 x 10 ⁵	7 x 10 ⁴	7.000	700	70
100	5 x 10 ⁶	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁴	5.000	500	50
80	4 x 10 ⁶	4 x 10 ⁵	4 x 10 ⁴	4.000	400	40
70	3,5 x 10 ⁶	3,5 x 10 ⁵	3,5 x 10 ⁴	3.500	350	35
40	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁴	2.000	200	20
20	1 x 10 ⁶	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁴	1.000	100	10
14	7 x 10 ⁵	7 x 10 ⁴	7.000	700	70	7
10	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁴	5.000	500	50	5
8	4 x 10 ⁵	4 x 10 ⁴	4.000	400	40	4
7	3,5 x 10 ⁵	3,5 x 10 ⁴	3.500	350	35	3,5
4	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁴	2.000	200	20	2
2	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁴	1.000	100	10	1
1,4	7 x 10 ⁴	7.000	700	70	7	0,7
1,0	5 x 10 ⁴	5.000	500	50	5	0,5
0,8	4 x 10 ⁴	4.000	400	40	4	0,4
0,7	3,5 x 10 ⁴	3.500	350	35	3,5	0,35
0,4	2 x 10 ⁴	2.000	200	20	2	0,2
0,2	1 x 10 ⁴	1.000	100	10	1	0,1
0,14	7.000	700	70	7	0,7	0,07
0,1	5.000	500	50	5	0,5	0,05
0,08	4.000	400	40	4	0,4	0,04
0,07	3.500	350	35	3,5	0,35	0,035
0,04	2.000	200	20	2	0,2	0,02
0,02	1.000	100	10	1	0,1	0,01
0,014	700	70	7	0,7	0,07	0,007
0,01	500	50	5	0,5	0,05	0,005
0,008	400	40	4	0,4	0,04	0,004
0,007	350	35	3,5	0,35	0,035	0,0035
0,004	200	20	2	0,2	0,02	0,002
0,002	100	10	1	0,1	0,01	0,001
0,0014	70	7	0,7	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴
0,001	50	5	0,5	0,05	0,005	5 x 10 ⁻⁴
8 x 10 ⁻⁴	40	4	0,4	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴
7 x 10 ⁻⁴	35	3,5	0,35	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴
4 x 10 ⁻⁴	20	2	0,2	0,02	0,002	2 x 10 ⁻⁴
2 x 10 ⁻⁴	10	1	0,1	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴

Tableau 4.30 : Suite

Toxicité/ Mobilité/ Persistance pour l'écosystème	Facteur Bioaccumulation potentielle de l'écosystème					
	50.000	5.000	500	50	5	0,5
1,4 x 10 ⁻⁴	7	0,7	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵
1 x 10 ⁻⁴	5	0,5	0,05	0,005	5 x 10 ⁻⁴	5 x 10 ⁻⁵
8 x 10 ⁻⁵	4	0,4	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵
7 x 10 ⁻⁵	3,5	0,35	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵
4 x 10 ⁻⁵	2	0,2	0,02	0,002	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁵
2 x 10 ⁻⁵	1	0,1	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵
1,4 x 10 ⁻⁵	0,7	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶
8 x 10 ⁻⁶	0,4	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶
7 x 10 ⁻⁶	0,35	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵	3,5 x 10 ⁻⁶
2 x 10 ⁻⁶	0,1	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶
1,4 x 10 ⁻⁶	0,07	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷
8 x 10 ⁻⁷	0,04	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷
7 x 10 ⁻⁷	0,035	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵	3,5 x 10 ⁻⁶	3,5 x 10 ⁻⁷
2 x 10 ⁻⁷	0,01	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷
1,4 x 10 ⁻⁷	0,007	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸
8 x 10 ⁻⁸	0,004	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁸
7 x 10 ⁻⁸	0,0035	3,5 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁵	3,5 x 10 ⁻⁶	3,5 x 10 ⁻⁷	3,5 x 10 ⁻⁸
2 x 10 ⁻⁸	0,001	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁸
1,4 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹
8 x 10 ⁻⁹	4 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁸	4 x 10 ⁻⁹
2 x 10 ⁻⁹	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷	1 x 10 ⁻⁸	1 x 10 ⁻⁹
1,4 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰
8 x 10 ⁻¹⁰	4 x 10 ⁻⁵	4 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁷	4 x 10 ⁻⁸	4 x 10 ⁻⁹	4 x 10 ⁻¹⁰
1,4 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻⁶	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻¹¹
1,4 x 10 ⁻¹¹	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻¹¹	7 x 10 ⁻¹²
1,4 x 10 ⁻¹²	7 x 10 ⁻⁸	7 x 10 ⁻⁹	7 x 10 ⁻¹⁰	7 x 10 ⁻¹¹	7 x 10 ⁻¹²	7 x 10 ⁻¹³
0	0	0	0	0	0	0

V - EVALUATION DU RISQUE POUR LE SOL

V - RISQUE LIE A LA MIGRATION DANS LE SOL

On évalue le risque dû à l'exposition au sol pollué, pour deux composantes : la population résidente et la population voisine. Pour chacune des deux composantes on considère les trois catégories de facteurs "Probabilité d'exposition" (LE), "Caractéristiques des déchets" (WC) et "Cibles" (T), ainsi que le montre la figure 5.1.

Le score pour la voie "Sol" est donné par :

$$S_s = \frac{\sum_{i=1}^2 (LE_i) (WC_i) (T_i)}{SF}$$

LE_i = valeur attribuée à la "probabilité d'exposition" pour la composante i

WC_i = valeur attribuée "caractéristiques déchets" pour la composante i

T_i = valeur attribuée "cibles" pour la composante i

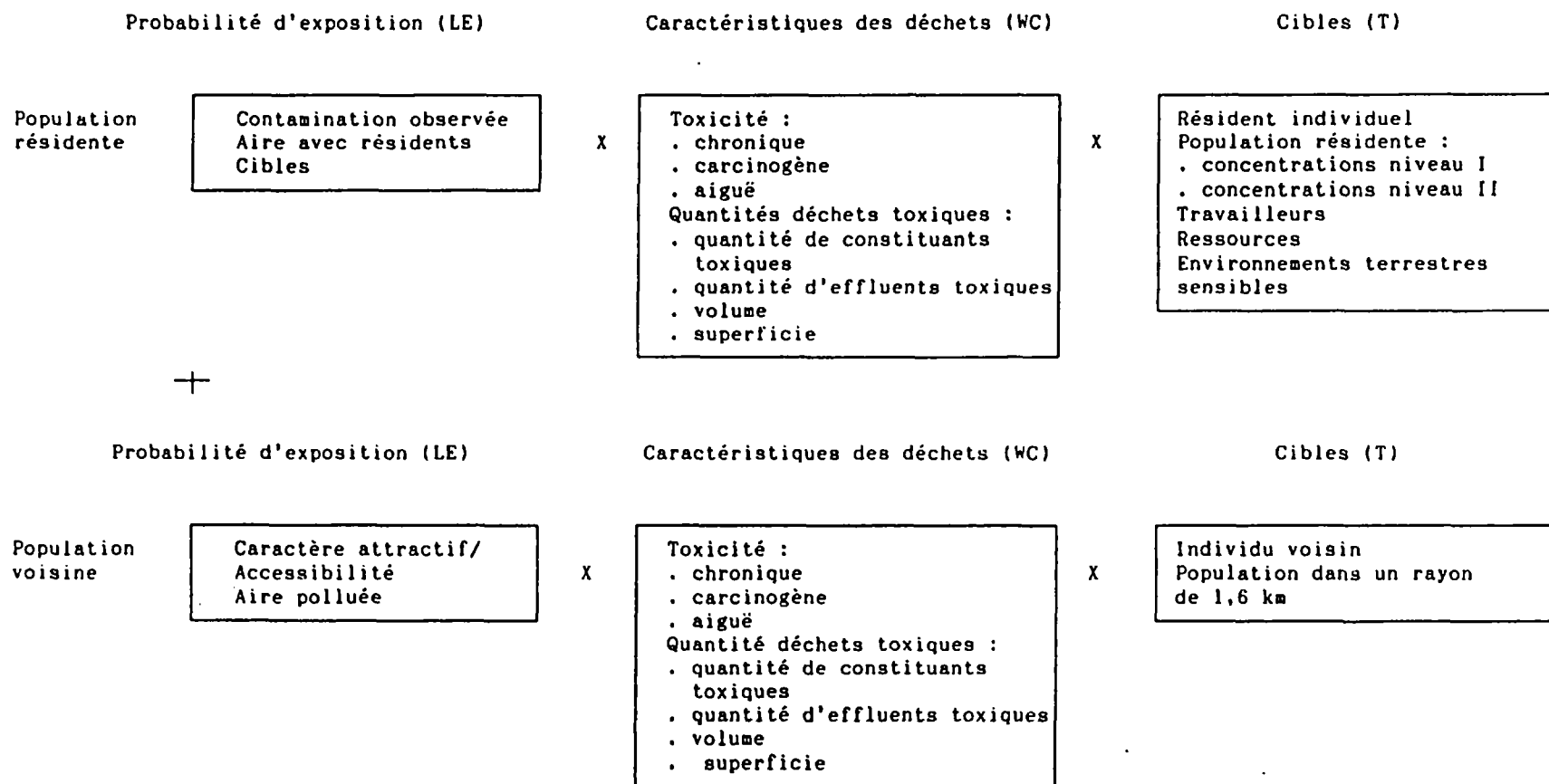
SF = facteur d'échelle.

Le tableau 5.1 présente la fiche de calcul du score. La voie "Sol" est évaluée sur les zones où l'on observe une contamination : c'est-à-dire là où l'échantillonnage de sol indique la présence d'une substance toxique à une concentration supérieure au bruit de fond et que la substance toxique si elle n'est pas en surface, est recouverte par 60 cm ou moins de sol.

Si il y a plusieurs zones polluées, il faut considérer aussi l'espace entre ces zones comme zone de pollution observée.

Si l'on observe une pollution du sol, évaluer les risques pour les composantes "population résidente" et "population voisine", suivant le schéma décrit dans ce qui suit, sinon attribuer une valeur de score = 0 à la voie "Sol".

Figure 5.1 : Vue générale de la voie "SOL"



TABEAU 5.1 : FICHE D'EVALUATION DU RISQUE LIE A LA VOIE "SOL"

<u>Catégories de facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
<u>Risque pour la population résidente</u>		
* <u>Probabilité d'exposition</u>		
1. Probabilité d'exposition	550	
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
2. Toxicité	a	
3. Quantité de déchets toxiques	a	
4. Caractéristiques des déchets	100	
* <u>Cibles</u>		
5. Individu résident	50	
6. Population résidente :		
6a. concentrations niveau I	b	
6b. concentrations niveau II	b	
6c. population résidente (6a + 6b)	b	
7. Travailleurs	15	
8. Ressources	5	
9. Environnements terrestres sensibles	c	
10. Cibles (5 + 6c + 7 + 8 + 9)	b	
* <u>Score pour population résidente</u>		
11. Risque pour population résidente (1 x 4 x 10)	b	
<u>Risque pour population voisine</u>		
* <u>Probabilité d'exposition</u>		
12. Caractère attractif/accessibilité	100	
13. Aire de contamination	100	
14. Probabilité d'exposition	50	
* <u>Caractéristiques des déchets</u>		
15. Toxicité	a	
16. Quantité de déchets toxiques	a	
17. Caractéristiques des déchets	100	

TABLEAU 5.1 : SUITE

<u>Catégories de facteurs</u>	<u>Valeur maximale</u>	<u>Valeur attribuée</u>
* <u>Cibles</u>		
18. Individu proche	1	
19. Population dans 1,6 km de rayon	b	
20. Cibles (18 + 19)	b	
*' <u>Score pour "population voisine"</u>		
21. Risque pour la population voisine (14 x 17 x 20)	b	
* <u>Score pour le risque lié au sol</u>		
(11 + 21)/82.500	100	

V.1. GUIDE D'EVALUATION DE LA VOIE "SOL"

**** Risque pour la population résidente**

A évaluer si on observe une pollution à l'intérieur des limites d'une propriété, école ou centre de soin, et jusqu'à 60 m de ces centres.

Sinon, mettre 0 dans le tableau 5.1 et passer à la "population voisine".

*** Probabilité d'exposition :**

1. **Probabilité d'exposition** : si il y a une pollution, attribuer une valeur 550 , à entrer dans le tableau 5.1.

*** Caractéristiques des déchets :**

2. **Toxicité** : assigner une valeur de toxicité comme indiqué en II. Entrer cette valeur en 5.1.
3. **Quantité de déchets toxiques** : attribuer un facteur selon II (tableau 2.6). Pour estimer la quantité de déchets, utiliser le tableau 5.2.
4. **Caractéristiques des déchets** : multiplier les valeurs attribuées en 2 et 3. A partir du produit, attribuer une valeur du tableau 2.7. Entrer cette valeur en 5.1.

*** Cibles**

5. **Résidents individuels** : habitant ou étudiant dans la propriété contaminée. Déterminer le niveau de contamination comme indiqué en chapitre II, avec les recommandations du tableau 5.3.
Attribuer une valeur 50 s'il y a au moins un individu sujet à des concentrations de niveau I.
Attribuer 45 s'il n'y en a pas mais qu'il y en a au moins un, sujet à concentrations de niveau II.
Attribuer 0 s'il n'y a pas de résidents individuels.

6. Population résidente :

- 6a. **Concentrations niveau I** : sommer le nombre de résidents soumis à ces concentrations et multiplier par 10. Entrer le résultat en 5.1.
- 6b. **Concentrations niveau II** : sommer le nombre de résidents sujets aux concentrations de niveau II. Entrer la valeur obtenue en 5.1.
- 6c. **Population résidente** : sommer 6a et 6b. Entrer la valeur en 5.1.

7. **Travailleurs** : attribuer une valeur avec le tableau 5.4. Entrer cette valeur en 5.1.
8. **Ressources** : attribuer 5 si : agriculture commercialisée, sylviculture, élevage ; attribuer 0 si aucune de ces conditions. Entrer la valeur en 5.1.
9. **Environnements terrestres sensibles** : attribuer une valeur du tableau 5.5 aux endroits sensibles situés dans la zone contaminée. Calculer une valeur ES comme suit :
$$ES = \sum_{i=1}^n S_i$$

S_i = valeur du tableau 5.5 pour l'environnement i
 n = nombre "d'environnements sensibles"
10. **Cibles** : sommer 5 + 6c + 7 + 8 + 9. Cette somme est le facteur cible, à entrer en 5.1.
11. **Score pour la population résidente** : faire le produit de 1, 4 et 10. Le résultats constitue le score à entrer en 5.1.

**** Risque pour la population voisine**

Ce risque comprend la population et individus vivant ou étudiant dans un rayon de 1,6 km de la zone de pollution observée.

*** Probabilité d'exposition :**

12. **Caractère attractif/accessibilité** : attribuer une valeur avec le tableau 5.6 aux aires de pollution observée. Entrer la valeur en 5.1.
13. **Aire de contamination** : compter les aires où l'on observe la pollution et qui ont une valeur attractive > 0. Attribuer un facteur avec le tableau 5.7. Entrer la valeur en 5.1.
14. **Probabilité d'exposition** : attribuer une valeur du tableau 5.8. Entrer cette valeur en 5.1.

*** Caractéristiques des déchets**

15. **Toxicité** : assigner une valeur comme indiqué en chapitre II. Entrer cette valeur en 5.1.
16. **Quantité de déchets toxiques** : procéder comme pour la "population résidente".

17. **Caractéristiques des déchets** : multiplier les valeurs obtenus en 15 et 16. A partir du produit, prendre une valeur dans le tableau 2.7. Entrer cette valeur en 5.1.

* **Cibles** :

18. **Individu proche** : si personne ne remplit le critère de résident individuel, déterminer la plus courte distance du site à une résidence. Avec la plus petite distance, attribuer une valeur du tableau 5.9. Entrer cette valeur en 5.1.
19. **Population dans un rayon de 1,6 km** : déterminer la population dans chaque catégorie avec le tableau 5.10.

La valeur pour la population se calcule par :

$$PN = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^3 W_i$$

W_i = population/distance, valeur du tableau 5.10. Entrer cette valeur en tableau 5.1.

20. **Cibles** : sommer les valeurs attribuées en 18 et 19. Entrer la valeur obtenue dans le tableau 5.1.
21. **Score pour la "population voisine"** : multiplier les valeurs attribuées en 14, 17 et 20, et entrer le résultat dans le tableau 5.1.

Score total du risque lié au "Sol" :

On somme les scores obtenus pour les deux types de population et on divise par 82.500, soit :

$$(11 + 21)/82.500$$

Tableau 5.2 : Equations d'évaluation de la quantité de déchets toxiques pour la voie "Sol"

	Mesure	Unités	Equation pour attribuer une valeur
A	Quantité de déchets toxiques (C)	livres	C
B	Quantité d'effluents toxiques (W)	livres	W/5.000
C	<u>Volume (V) :</u> stockage en surface fûts réservoirs et conteneurs	Yd ³ gallon Yd ³	V/2,5 V/500 V/2,5
D	<u>Superficie (A) :</u> décharge stockage en surface stockage en découvert épandage en surface tas sol pollué	ft ² ft ² ft ² ft ² ft ² ft ²	A/34.000 A/13 A/13 A/270 A/34 A/34.000
	1 ft ² = 0,093 m ² 1 pound = 453,6 g		1 Yd ³ = 764,6 litres 1 gallon US = 3,78 litres

Tableau 5.3 : Limites basées sur la santé pour les substances toxiques dans les sols

- Concentrations pour substances cancérigènes correspondant à une concentration représentant un risque 10⁻⁶ pour expositions orales.
- Pour substances non cancérigènes, correspond à la dose de référence pour expositions orales.

Tableau 5.4 : Facteurs "Travailleurs"

Nombre de travailleurs	Valeur attribuée
0	0
1 à 100	5
101 à 1.000	10
> 1.000	15

Tableau 5.5 : Valeurs pour les "Environnements terrestres sensibles"

Environnements terrestres sensibles	Valeur attribuée
Habitat critique pour espèces menacées Parcs nationaux Aire de vie sauvage Monument national	100
Habitat terrestre d'espèces menacées ou prévu pour ces espèces Réserves nationales Zones de protection des écosystèmes Zones d'élevage intensif	75
Habitat devant être utilisé pour les espèces menacées	50
Zones réservées Aires naturelles Aires de faible superficie pour biotopes	25

Tableau 5.6 : Valeurs caractère attractif/accessibilité

Aire de contamination	Valeur attribuée
- Aire récréative conçue comme telle	100
- Régulièrement utilisée pour loisir (pêche, jeux de balles)	75
- Aire récréative accessible et unique	75
- Modérément accessible, avec certaines activités de loisir	50
- Peu accessible avec utilisation éventuelle pour des loisirs	25
- Accessible, sans usage récréatif	10
- Entourée de haies ou barrières naturelles	5
- Physiquement inaccessible et pas d'utilisation à des fins récréatives	0

Tableau 5.7 : Facteur Aire de contamination

Surface totale des aires de pollution (m ²)	Valeur attribuée
≤ 465	5
465 à 11.625	20
11.625 à 23.250	40
23.250 à 34.875	60
34.875 à 46.500	80
> 46.500	100

Tableau 5.8 : Probabilité d'exposition pour la population voisine

Facteur aire de contamination	Facteur caractère attractif/accessibilité						
	100	75	50	25	10	5	0
100	500	500	375	250	125	50	0
80	500	375	250	125	50	25	0
60	375	250	125	50	25	5	0
40	250	125	50	25	5	5	0
20	125	50	25	5	5	5	0
5	50	25	5	5	5	5	0

Tableau 5.9 : Facteur "Population voisine"

Distance parcourue par individu voisin	Valeur attribuée
de 0 à 0,4 km	1
de 0,4 à 1,6 km	0

Tableau 5.10 : Population/Distance pour la population voisine

Catégorie de distance (km)	Nombre de personnes dans la catégorie de distance											
	0	1 à 10	11 à 30	31 à 100	101 à 300	301 à 1.000	1.001 à 3.000	3.001 à 10.000	10.001 à 30.000	30.001 à 100.000	100.001 à 300.000	300.001 à 1.000.000
de 0 à 0,4	0	0,1	0,4	1	4	13	41	130	408	1.303	4.081	13.034
de 0,4 à 0,8	0	0,05	0,2	0,7	2	7	20	65	204	652	2.041	6.517
de 0,8 à 1,6	0	0,02	0,1	0,3	1	3	10	33	102	326	1.020	3.258

RÉALISATION BRGM

**impression et façonnage :
SERVICE REPROGRAPHIE**