

**Guide d'échantillonnage
à des fins d'analyses
environnementales**

**CAHIER 8
ÉCHANTILLONNAGE
DES MATIÈRES DANGEREUSES**

ÉDITION : Septembre 2008

Note au lecteur : Les renseignements relatifs aux marques déposées ou aux produits commerciaux ne sont donnés qu'à titre indicatif; des produits équivalents peuvent leur être substitués.

Pour information complémentaire sur les activités du
Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
ou pour vous procurer nos documents, veuillez consulter notre site Internet
à l'adresse suivante : www.ceaeq.gouv.qc.ca

ou communiquer avec nous :

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
2700, rue Einstein, bureau E.2.220
Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-1301
Télécopieur : 418 528-1091
Courriel : ceaeq@mddep.gouv.qc.ca

Référence bibliographique :
MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC,
septembre 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 8 – Échantillonnage
des matières dangereuses*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 87 p., 1 annexe,
http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/guides_ech.htm

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2009

ISBN 978-2-550-55291-8 Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale
ISBN 978-2-550-55292-5 Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale (version anglaise)

ISBN 978-2-550-55510-0 (PDF) (Édition : Septembre 2008)

ISBN 978-2-550-55309-0 (publié précédemment par Les éditions le Griffon d'argile, ISBN 2-89443-004-3,
1^{ère} édition, 1998)

© Gouvernement du Québec, 2008

AVANT-PROPOS

Le *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* regroupe une série de cahiers traitant de façon spécifique de l'échantillonnage de divers milieux. Il décrit un ensemble de bons procédés qui régissent la planification et la réalisation des travaux d'échantillonnage et vise ainsi à assurer la qualité des prélèvements d'échantillons ainsi que la validité des renseignements scientifiques qui en découlent.

L'ouvrage, dans son ensemble, a été mis en œuvre par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, plus particulièrement par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, après qu'il ait été constaté que les préleveurs n'avaient pas à leur disposition les instruments nécessaires pour acquérir rapidement une connaissance générale des pratiques d'échantillonnage au Québec.

Conçu à des fins d'information, ce document s'adresse aux préleveurs travaillant dans le contexte d'une campagne de caractérisation environnementale et a comme objectif de fournir à l'utilisateur des lignes directrices de base pour la planification d'une campagne d'échantillonnage. Bien que pouvant s'avérer d'une grande utilité, il peut exister des situations où son application ne garantisse pas le succès escompté, auxquels cas on devra recourir à l'expertise de spécialistes.

Ce 8^e cahier, intitulé *Échantillonnage des matières dangereuses*, traite des différentes approches et stratégies pour l'échantillonnage des matières dangereuses en soulevant l'importance à accorder à l'homogénéité pour favoriser la représentativité de l'échantillonnage.

L'utilisation de ce 8^e cahier doit être faite en prenant en compte les renseignements décrits préalablement dans le cahier 1, *Généralités*. Rappelons que ce premier cahier traite du cadre général de la planification d'une campagne d'échantillonnage et des procédures techniques sur les plans de la qualité, de la santé et de l'intégrité de l'échantillon aux fins de mise en preuve devant les tribunaux.

Ce document a été réalisé de pair avec des intervenants des secteurs municipal, gouvernemental et industriel de même qu'avec des associations engagées dans ce domaine. Nous tenons à les remercier très sincèrement pour leur contribution. Nous remercions également les membres du groupe de travail qui ont réalisé cet ouvrage et toutes les personnes qui ont collaboré de près ou de loin à la préparation de ce document.

Septembre 2008

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	11
2. CONTEXTE.....	12
3. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE.....	13
3.1. Historique du site.....	13
3.2. Données visuelles	14
3.3. Tests de dépistage.....	14
4. PLANIFICATION D'UNE CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE	15
4.1. Objectifs d'une campagne d'échantillonnage	16
4.1.1. Détermination de la présence ou de l'absence de contaminants	16
4.1.2. Évaluation de la concentration d'un contaminant et de sa distribution dans l'espace.....	16
4.1.3. Évaluation de la variation de la concentration d'un contaminant en fonction du temps.....	17
4.2. Modes d'entreposage des matières dangereuses	18
4.2.1. Réservoirs et citernes.....	18
4.2.2. Barils.....	18
4.2.3. Tas ou piles.....	18
4.2.4. Lagunes.....	18
4.3. État physique du contaminant	19
4.3.1. État solide	19
4.3.2. État liquide.....	22
4.3.3. État boueux ou semi-liquide.....	23
4.3.4. État gazeux	23
4.4. Choix des paramètres analytiques	23

5.	APPROCHES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	25
5.1.	Échantillonnage aléatoire	26
5.1.1.	Échantillonnage aléatoire simple.....	26
5.1.2.	Échantillonnage aléatoire systématique	27
5.1.3.	Échantillonnage aléatoire stratifié	28
5.2.	Échantillonnage non aléatoire	29
5.2.1.	Échantillonnage représentatif	30
5.2.2.	Échantillonnage ciblé	31
5.2.3.	Échantillonnage selon le jugement	31
5.3.	Éléments de rationalisation de l'échantillonnage en fonction des coûts-avantages reliés aux aspects statistiques.....	31
6.	RESTRICTIONS RELATIVES À L'HOMOGENÉISATION DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE	36
6.1.	Homogénéisation des solides	36
6.2.	Homogénéisation des liquides.....	37
6.3.	Homogénéisation des liquides contenant des solides.....	38
6.4.	Sélection du matériel à analyser.....	38
7.	ÉQUIPEMENTS D'ÉCHANTILLONNAGE.....	39
7.1.	Compatibilité des techniques de prélèvement et des substances recherchées.....	40
7.2.	Compatibilité des matériaux utilisés et des substances recherchées	41
7.3.	Équipements spécialisés	42
7.3.1.	Équipements pour les matières liquides	42
7.3.2.	Équipements pour les matières solides.....	48
7.3.3.	Les pompes	53
7.3.4.	Autres équipements	56
8.	EXEMPLES DE STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE	56
8.1.	Mise en garde	56

8.2.	Échantillonnage des barils.....	57
8.2.1.	Caractérisation préliminaire	57
8.2.2.	Caractérisation exhaustive.....	58
8.2.3.	Échantillonnage des liquides	58
8.2.4.	Échantillonnage des solides.....	58
8.3.	Échantillonnage des réservoirs.....	59
8.3.1.	Échantillonnage avec homogénéisation	59
8.3.2.	Échantillonnage sans homogénéisation.....	61
8.3.3.	Liquide en écoulement dans un conduit fermé.....	65
8.4.	Échantillonnage en tas.....	65
8.4.1.	Échantillonnage de résidus constitués de matériaux	67
8.4.2.	Échantillonnage d'un mélange de résidus de plusieurs procédés.....	68
8.4.3.	Échantillonnage d'un résidu à granulométrie fine.....	69
8.4.4.	Échantillonnage d'un résidu avec une granulométrie variable.....	69
8.4.5.	Instruments d'échantillonnage.....	69
8.5.	Échantillonnage des lagunes	70
8.5.1.	Lagune de sédimentation	71
8.5.2.	Lagune de traitement	71
8.5.3.	Lagune de repos.....	72
8.5.4.	Lagune désaffectée	73
8.6.	Sélection des équipements d'échantillonnage selon les milieux.....	73
9.	ÉCHANTILLONNAGE DE SURFACES.....	74
9.1.	Échantillonnage des surfaces lisses et non poreuses	75
9.1.1.	Principe et théorie.....	75
9.1.2.	Matériel d'échantillonnage.....	75
9.1.3.	Choix du solvant.....	76
9.1.4.	Contrôle de la qualité.....	77
9.1.5.	Technique d'échantillonnage.....	78
9.2.	Échantillonnage des surfaces poreuses	79
9.2.1.	Principe et théorie.....	79
9.2.3.	Contrôle de la qualité.....	79
9.2.4.	Technique d'échantillonnage.....	79

10. CONCLUSION	80
RÉFÉRENCES	81
BIBLIOGRAPHIE.....	85
Annexe 1 - Détermination des points de prélèvement dans le cas de réservoirs circulaires ou elliptiques.....	1

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Courbe isométrique	17
Figure 2 : Coliwasa.....	43
Figure 3 : Échantillonneur lesté.....	46
Figure 4 : Tube télescopique.....	47
Figure 5 : Échantillonneur à grain	49
Figure 6 : Tube d'échantillonnage	50
Figure 7 : Tarière	51
Figure 8 : Pompe.....	62

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Conséquences de l'hétérogénéité et de la granulométrie sur l'approche de l'échantillonnage	21
Tableau 2 : Catégories de matières dangereuses et analyses chimiques requises	24
Tableau 3 : Approches d'échantillonnage et domaines d'application	34
Tableau 4 : Type d'échantillonnage requis selon les milieux échantillonnés	74
Tableau 5 : Choix de solvants pour l'échantillonnage à l'aide de frottis	77

1. INTRODUCTION

L'échantillonnage des matières dangereuses est une activité récente qui a été initiée à la suite de la prise de conscience des problèmes suscités par une gestion irrationnelle de matériaux ou de résidus incompatibles avec les éléments naturels. Aujourd'hui, la recherche et la caractérisation de matières dangereuses sont devenues des outils indispensables et préalables à une saine gestion environnementale.

Ce document présente les concepts fondamentaux sur lesquels s'appuie le prélèvement des matières dangereuses. Il a été rédigé à l'intention des professionnels et des techniciens œuvrant dans ce domaine dans le but d'approfondir leurs connaissances et de consolider leur expertise. Il a pour principal objectif d'aider le personnel technique à accomplir cette tâche avec rigueur afin de déterminer des méthodes optimales de travail adaptées aux buts d'une investigation, de maximiser la précision des renseignements issus des prélèvements et d'en effectuer une interprétation adéquate.

Dans une certaine mesure, il sert aussi de soutien au Règlement sur les matières dangereuses, car il expose la problématique de l'échantillonnage en fonction de l'interprétation qui est faite du règlement québécois. Il ne couvre cependant pas tous les aspects de cette question; le lecteur doit prendre des renseignements auprès des autorités compétentes lorsque la documentation ne fournit pas de réponses à ses questions.

Ce cahier présente les principaux outils et équipements d'échantillonnage de même qu'un aperçu de leur fonctionnement. Les principaux modes d'entreposage de matières dangereuses y sont également exposés et quelques exemples illustrent l'utilisation des équipements et l'application des notions théoriques dans des situations concrètes.

La notion de représentativité fait l'objet d'une attention particulière car elle a une incidence significative sur l'interprétation des résultats. L'utilisation des approches aléatoires d'échantillonnage soutenant l'emploi de la statistique permet en outre au spécialiste de formuler une évaluation quantitative de la représentativité et de déterminer un nombre optimal d'échantillons. Une section a aussi été rédigée pour sensibiliser le préleveur à l'importance de poser un jugement critique lors de la prise d'échantillons solides hétérogènes. Les difficultés reliées à l'échantillonnage de l'état solide sont exposées, tant au niveau du prélèvement qu'au niveau de l'analyse. Cet examen démontre la nécessité pour le spécialiste de maintenir une communication étroite avec les chimistes responsables des analyses.

2. CONTEXTE

L'expression matière dangereuse s'applique à des matériaux présents sous une forme relativement concentrée, confinés dans un espace et un lieu distinct et présentant des propriétés délétères pour l'environnement. Selon la Loi sur la qualité de l'environnement, l'expression est définie de la façon suivante : « Toute matière qui, en raison de ses propriétés, présente un danger pour la santé ou pour l'environnement et qui est explosive, gazeuse, inflammable, toxique, radioactive, comburante ou lixiviable, ainsi que toute matière assimilée à une matière dangereuse comme une huile ou une graisse »¹.

Les modes de confinement qui seront considérés dans ce cahier sont : les barils, les réservoirs et citernes, les lagunes et l'entreposage sous forme de pile ou de tas. Lorsque les polluants sont dispersés dans un milieu, les techniques et la terminologie applicables à l'échantillonnage de ce milieu prévaudront. Celles-ci sont, pour la plupart, décrites dans les autres cahiers du Guide : sols, eaux souterraines, etc.

Les matières dangereuses sont des sous-produits ou des résidus généralement industriels qui sont entreposés parfois sur de longues périodes avant d'être éliminés. Ils sont donc susceptibles de faire l'objet d'échantillonnage et d'analyse chimique et physico-chimique pour déterminer un mode adéquat de gestion.

En plus de l'entreposage à proximité du lieu de production, il existe aussi deux autres types de sites qui font fréquemment l'objet d'échantillonnage. D'une part, viennent les centres de transfert qui sont spécialisés dans le transport, l'entreposage et l'acheminement des matières dangereuses vers un lieu de traitement. Ces entreprises constituent en quelque sorte des plaques tournantes où sont classés et redistribués des matériaux contaminés. À la dernière étape du processus, on trouve l'utilisateur qui peut tout aussi bien recycler le matériel, le détruire ou l'enfouir après avoir pris les dispositions pour éliminer ses caractéristiques initiales potentiellement dangereuses pour l'environnement. D'autre part, viennent les sites désaffectés ou abandonnés. Ceux-ci constituent une catégorie qui regroupe tous les endroits où des matières dangereuses ont été abandonnées illégalement. Les emplacements « privilégiés » sont des entrepôts désaffectés et le sol.

Que ce soit pour la recherche de nouveaux sites, pour la mesure de l'évolution de sites existants, pour la classification de déchets industriels ou pour le contrôle des opérations de traitement et de transfert, la caractérisation des matières dangereuses est un outil essentiel. Celle-ci, associée à l'analyse, permet de classer les matériaux possiblement contaminés selon des normes. Les résultats qui en découlent permettent de déterminer un mode adéquat de gestion. L'échantillonnage constitue donc une étape fondamentale sur laquelle reposent la qualité et la représentativité de l'information analytique et, par conséquent, la pertinence des décisions qui en découlent.

Étant donné la multitude de contaminants existants, des caractéristiques de la matière et du mode de confinement utilisé, les stratégies d'échantillonnage sont très diversifiées et probablement aussi nombreuses qu'il y a de sites.

Ainsi, le spécialiste en échantillonnage doit faire preuve de jugement et d'imagination pour pouvoir utiliser les outils dont il dispose pour réaliser son travail avec le maximum d'efficacité, compte tenu des ressources disponibles.

L'échantillonnage de ces milieux indique également que l'on doit tenir compte des règles de santé et de sécurité. Une saine gestion des opérations lors d'une campagne d'échantillonnage exige aussi que soient considérés non seulement les risques individuels associés à chaque substance mais aussi les risques associés à l'interaction de plusieurs substances et de leurs effets parfois synergiques. Une description complète des équipements de sécurité est présentée dans le cahier 1, *Généralités*².

3. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

Avant d'entreprendre la planification d'une campagne d'échantillonnage, il est indispensable de recueillir des données préalables qui permettront de guider les recherches et d'orienter les travaux. Même en situation d'urgence, il est nécessaire de rassembler tous les renseignements pertinents afin de situer correctement la problématique pour orienter la prise de décision quant aux stratégies d'échantillonnage et aux choix des paramètres analytiques. Ces données préliminaires incluent normalement la connaissance du type d'activité ou des procédés industriels qui ont prévalu sur les lieux. De plus, un examen visuel permet en outre de déterminer le mode d'entreposage et l'état physique de la substance.

Sauf pour les situations urgentes, lorsque par exemple l'environnement ou la santé de la population est sérieusement menacé et qu'une action immédiate est requise, le décideur procède généralement à une caractérisation par étapes. Cette approche permet d'utiliser les résultats de campagnes précédentes pour préparer la prochaine. Une variante de cette méthode consiste à planifier un prélèvement exhaustif d'échantillons mais à les analyser par étapes. Cette approche est avantageuse lorsque les coûts de déplacement et d'installation sont importants ou lorsque la disponibilité des équipes est restreinte.

3.1. Historique du site

Dans le cas de sites désaffectés ou abandonnés, une enquête pour déterminer les événements ou incidents passés fournit souvent assez d'indications pour découvrir le producteur d'une matière dangereuse ou, à tout le moins, le type d'industrie qui l'a produite.

Une investigation auprès des résidents vivant à proximité des lieux où il y a possiblement des matières dangereuses permet également de recueillir de l'information sur les activités qui ont prévalu. L'achalandage des lieux par du matériel de transport, le type et la dimension des conteneurs et la présence d'odeur sont des renseignements qui orientent les recherches. De plus, des renseignements complémentaires permettant d'identifier les propriétaires actuels et antérieurs sont obtenus auprès de la municipalité ou au Bureau de la publicité des droits, où sont maintenus les registres de transactions de biens immobiliers.

Lorsque le producteur d'une matière dangereuse est connu, il est facile d'obtenir les renseignements quant à la nature du procédé et à la composition des intrants et des extrants. Ces indications orientent les préleveurs vers la recherche de certains composés, ce qui limite considérablement les efforts requis pour identifier les constituants. Qui plus est, dans le cas des industries ou entreprises de moyenne importance, la caractérisation est souvent déjà réalisée et les renseignements sont accessibles sur demande.

3.2. Données visuelles

Les données visuelles permettent de préciser l'état physique du contaminant, son apparence de même que le mode de confinement. Ce dernier a évidemment une incidence majeure sur la détermination du type et de l'urgence d'une intervention. Les matières entreposées en tas à l'extérieur présentent des risques de dispersion par érosion, éolisation ou lixiviation. L'examen de la végétation permet d'émettre des hypothèses quant à la toxicité d'un produit lorsque celle-ci est en contact avec la matière suspecte.

3.3. Tests de dépistage

Lorsque les matières dangereuses sont confinées dans un endroit distinct, les tests de dépistage permettent de donner un aperçu de la composition, du degré d'homogénéité des matériaux et des quantités présentes. De plus, en l'absence de renseignements privilégiés quant à la nature des contaminants, on procédera à des analyses qui procurent des renseignements généraux sur un seul ou sur quelques échantillons. Certains types d'analyse fournissent des résultats pour un grand nombre de produits, mais quelquefois avec une précision limitée ou avec une limite de détection élevée. C'est notamment le cas de la méthode de balayage des composés organiques solubles en milieux basique, neutre ou acide communément appelés « composés organiques semi-volatils ».

La méthode d'analyse des composés volatils ou celles des métaux par spectrométrie au plasma permet de quantifier plusieurs composés en une seule opération. Les immunoessais permettent de détecter et de doser rapidement plusieurs composés comme certains composés volatils, les hydrocarbures polycycliques, les biphényles polychlorés et les pesticides. Cette méthode ne nécessite qu'un colorimètre et une trousse appropriée.

Le cahier 1, *Généralités*² élabore davantage sur ce sujet. On y présente aussi un tableau dans lequel est répertoriée une liste de contaminants en association avec le type d'industries productrices.

4. PLANIFICATION D'UNE CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les paragraphes suivants traitent des éléments de planification adaptés à l'ébauche d'une campagne d'échantillonnage des matières dangereuses. Le cahier 1, *Généralités*² énumère aussi plusieurs autres éléments essentiels à la préparation de tout type de campagne. Le lecteur pourra s'y référer au besoin.

Les éléments stratégiques pertinents à la préparation d'une campagne d'échantillonnage de matières dangereuses sont divisés en quatre catégories :

- objectifs d'une campagne d'échantillonnage;
- mode de confinement de la matière dangereuse;
- état physique du contaminant;
- choix des paramètres analytiques.

La planification d'une campagne d'échantillonnage requiert, en premier lieu, une définition des objectifs visés. Ces derniers permettront d'estimer sommairement le nombre d'échantillons, les paramètres à mesurer et les ressources humaines et matérielles requises et, par conséquent, de vérifier l'adéquation entre les ressources financières nécessaires pour un projet et celles qui sont effectivement disponibles.

La deuxième étape de la planification consiste à identifier le mode de confinement, le lieu, et la façon dont la matière dangereuse est entreposée. Cette étape permet de choisir les sites de prélèvement potentiels. À ce stade intervient aussi le choix d'une approche d'échantillonnage, présentée à la section 5. Approches d'échantillonnage.

À la troisième étape, on trouve la nature de l'échantillon. Celui-ci peut être solide, liquide, semi-solide ou gazeuse. La détermination de l'état physique du contaminant permet de préciser les équipements d'échantillonnage appropriés.

Finalement, la détermination des paramètres analytiques fait l'objet de la dernière étape de la campagne d'échantillonnage. Il est rare, surtout si une évaluation préliminaire a été réalisée, que l'on n'ait aucune idée des paramètres à analyser. Si c'était le cas, il est préférable, tel qu'il a déjà été précisé, de requérir des analyses qui offrent l'identification d'un large éventail de substances.

4.1. Objectifs d'une campagne d'échantillonnage

En règle générale, les campagnes de caractérisation ont un des objectifs suivants :

- détermination de la présence ou de l'absence de contaminants;
- évaluation de la concentration d'un contaminant et de sa distribution dans l'espace;
- évaluation de la variation de la concentration d'un contaminant en fonction du temps.

4.1.1. Détermination de la présence ou de l'absence de contaminants

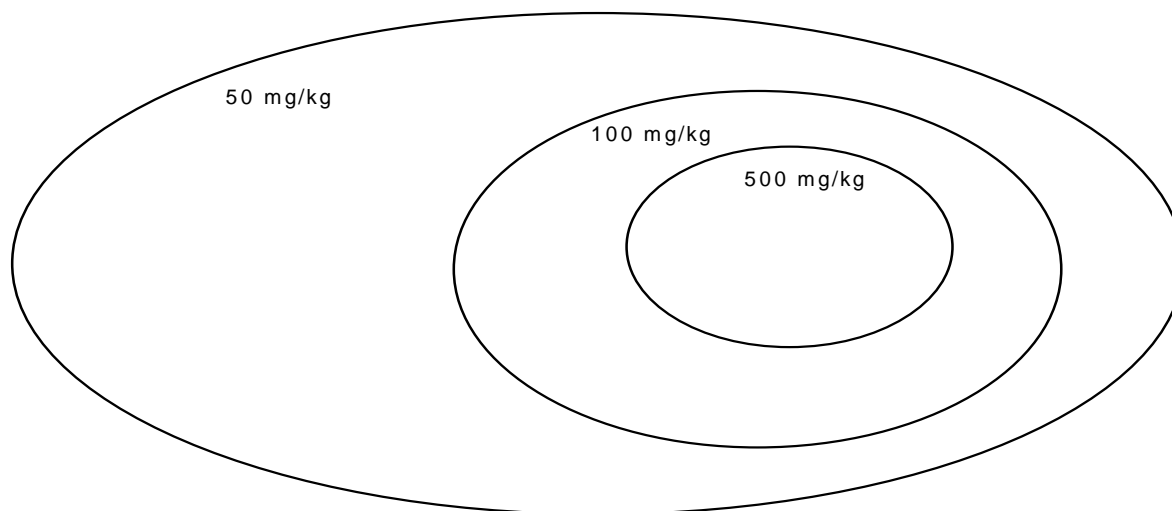
Le premier modèle d'intervention vise uniquement à démontrer que des matières dangereuses sont présentes dans un contenant ou ont été répandues, déversées ou enfouies. Il est aussi utilisé au cours de la production d'un résidu; il s'agit alors d'une évaluation ponctuelle. Il est généralement réalisé à partir d'un échantillonnage ciblé (section 5. Approches d'échantillonnage). Le plus souvent, le préleveur choisit l'échantillon en utilisant son jugement, son expérience ou ses connaissances associées à des critères visuels tels que la couleur et la granulométrie. Parfois, il effectuera le choix d'un échantillon après certaines mesures avec des outils variés, comme le pH à l'aide d'un pH-mètre ou d'un papier indicateur.

Lorsque le type de contaminant est déjà identifié, le préleveur requerra des analyses plus spécifiques. Cet aspect prend une certaine importance en chimie organique, car il existe des méthodes plus spécifiques pour certaines familles tels les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les composés phénoliques et les biphényles polychlorés. En règle générale, ces méthodes possèdent des limites de détection plus basses et des précisions plus élevées que les méthodes de dépistage.

4.1.2. Évaluation de la concentration d'un contaminant et de sa distribution dans l'espace

Les campagnes dites de caractérisation visent la détermination de la concentration de contaminants en un point, dans un espace ou un volume donné. Les points d'échantillonnage peuvent être localisés sur un segment de droite, sur une surface ou à l'intérieur d'un volume. Il s'agit donc d'échantillonnage uni, bi ou tridimensionnel. Dans le cas multidimensionnel, le report de tous les résultats analytiques sur un plan de l'aménagement permet de tracer des courbes isométriques. Cette technique est souvent utilisée en présence de volumes importants de résidus tels une lagune ou un tas qui présentent localement des fluctuations importantes de la contamination dans un plan ou dans l'espace. Chacune de ces courbes délimite une zone où les concentrations sont égales ou semblables. La figure 1 présente un exemple de courbe isométrique. Très souvent, ce type de problème sera traité en utilisant un échantillonnage stratifié (section 5. Approches d'échantillonnage).

Figure 1 : Courbe isométrique



Lorsque la mesure du niveau moyen de la concentration de la matière dangereuse est la seule variable requise et que l'homogénéité est suffisante, la stratification est peu utile et des échantillons composés permettront d'acquérir ces renseignements. Une discussion à ce sujet est présentée plus loin dans ce cahier.

4.1.3. Évaluation de la variation de la concentration d'un contaminant en fonction du temps

Parfois une variable additionnelle s'ajoute, soit le temps. Il s'agit alors d'effectuer plusieurs séries de mesures à différentes périodes. Cette stratégie a pour objectif de mesurer la variation de la concentration des composés dangereux dans le résidu. Pour minimiser les coûts d'une telle opération, les prélèvements sont effectués aux points d'échantillonnage les plus aptes à fournir les données recherchées. Idéalement ces points représentatifs peuvent être déterminés à partir des résultats des campagnes antérieures. Ces situations se présentent surtout en l'absence de modes de confinement sûrs, comme des poches de contamination dans le sol ou une lagune perméable qui permet l'écoulement de contaminants dans l'environnement ou encore dans le cas de tas. Certains résidus industriels peuvent réagir au contact de l'environnement et parfois émettre des gaz comme le méthane ou l'ammoniac. À l'occasion, des réactions seront observées entre les constituants de la matière dangereuse elle-même avec ou sans contact avec l'environnement.

4.2. Modes d'entreposage des matières dangereuses

Il existe quatre modes principaux d'entreposage des matières dangereuses.

4.2.1. Réservoirs et citernes

Les réservoirs métalliques permettent de conserver durant une longue période des liquides non corrosifs. Les liquides corrosifs peuvent aussi y être entreposés à la condition que la surface intérieure soit recouverte d'un matériel adéquat. Des réservoirs de matière plastique, de fibre de verre et de béton sont aussi disponibles. La forme du réservoir est une variable importante qui influence la méthode d'échantillonnage, tel qu'il est présenté à Annexe 1 - Détermination des points de prélèvement dans le cas de réservoirs circulaires ou elliptiques. Dans le cas de solides, il est fréquent d'utiliser divers conteneurs dont ceux sur châssis permettant leur entreposage.

4.2.2. Barils

Les barils en métal ou en matière plastique peuvent contenir des liquides, des solides ou des boues. Puisqu'ils sont manœuvrables, cette caractéristique les rend vulnérables à des accidents qui créent des déformations et engendrent des points de faiblesse susceptibles de causer des fuites. Les barils sont de préférence échantillonnés suivant une verticale qui est perpendiculaire à la surface circulaire du fond. Dans certains cas, les sacs représentent une alternative aux barils et les techniques d'échantillonnage s'apparentent.

4.2.3. Tas ou piles

Parfois, les solides sont entreposés en piles ou en tas. Lorsque la pile est à l'extérieur et qu'aucune disposition n'est prise pour la protéger de l'érosion ou de l'éolisation, il faut toujours envisager l'hypothèse que la lixiviation puisse dissoudre des contaminants et que le ruissellement ou le vent puisse entraîner les particules fines loin de la zone d'entreposage. Dans le cas d'un entreposage intérieur, le remaniement de piles peut provoquer un dégagement de poussières ou de gaz qui peuvent contribuer à la contamination du bâtiment.

4.2.4. Lagunes

Les lagunes servent surtout pour retenir des liquides aqueux qui contiennent des solides en suspension. Ce mode d'entreposage est actuellement interdit pour les matières dangereuses. Toutefois, il peut être requis d'échantillonner une lagune pour en connaître la composition. La section 8. Exemples de stratégies d'échantillonnage traite plus en détail de cette question.

4.3. État physique du contaminant

À ce niveau de la planification, une description physique de la matière dangereuse peut sembler superflue étant donné qu'elle est implicitement décrite dans le mode d'entreposage. En pratique, la situation est quelque peu différente. Par exemple, un liquide contenu dans un réservoir ou un baril peut être tellement visqueux qu'il n'est pas possible de le pomper. De plus, les liquides sont souvent immiscibles et se séparent en plusieurs phases.

Parfois, la granulométrie très fine de solides entreposés en tas permet leur dispersion par le vent et la contamination de grandes étendues. De plus, cette variable joue un rôle fondamental dans la définition de l'hétérogénéité. Une lagune peut contenir plusieurs strates de contaminants de différentes compositions.

Une connaissance détaillée de l'état physique du contaminant est nécessaire afin de choisir une approche d'échantillonnage adéquate et d'utiliser les appareils appropriés.

En l'absence d'une évaluation préliminaire, une visite préalable des lieux est fortement recommandée avant de réaliser l'échantillonnage. Un préleveur en retirera des renseignements qui lui permettront d'adopter des techniques de prélèvement adéquates et, par conséquent, de se munir d'équipements d'échantillonnage convenables. De plus, la visite préviendra les surprises désagréables liées à une planification stratégique incomplète ou inadéquate.

4.3.1. État solide

L'état solide est celui qui présente le plus de difficultés quand vient le temps de prélever un échantillon représentatif à même un tas qui contient des particules dont la granulométrie est très variable et la composition hétérogène. Une extension de ce problème découle du fait que les possibilités d'homogénéisation, au moyen d'un broyage, sont très limitées en laboratoire. De plus, la faible quantité d'échantillons soumis à l'analyse limite les possibilités du traitement d'un échantillon représentatif. Une discussion plus approfondie est présentée à la section 6. Restrictions relatives à l'homogénéisation des échantillons en laboratoire.

Sans offrir une solution complète à cette difficulté, les paragraphes suivants exposent la problématique en montrant qu'elle provient de deux causes principales : la constitution et la distribution³. Cette distinction aidera le préleveur à formuler un jugement critique lors du choix du matériel à échantillonner. De façon générale, la recherche de l'homogénéité de constitution et de distribution favorise la prise d'échantillons représentatifs et simplifie les procédures d'échantillonnage.

L'hétérogénéité de constitution découle des propriétés intrinsèques de la matière. Ainsi, un échantillon de brasque d'aluminium est constitué de débris grossiers de toutes sortes. Sa composition est par conséquent hétérogène. À une échelle plus réduite, la poussière retenue par un précipitateur peut aussi être hétérogène si les particules qui la composent ont des compositions chimiques variées. Cependant, un échantillon de cette poussière paraît beaucoup plus homogène que le premier parce que l'œil ne peut différencier les éléments.

Dans ce dernier cas, la faible granulométrie permettra le prélèvement d'un volume réduit d'échantillon, représentatif de l'ensemble de la masse, en autant que la qualité du produit lors de sa production soit constante. Ainsi, l'analyse de deux échantillons de un ou deux grammes présente une faible variabilité.

Toutefois, dans le premier cas, il faut un très grand volume d'échantillons et des procédures d'homogénéisation pour parvenir à réaliser un prélèvement représentatif de toute la masse lors de l'analyse.

Lorsque les échantillons ne peuvent pas être broyés en laboratoire, le prélèvement est effectué sur fraction fine (section 6. Restrictions relatives à l'homogénéisation des échantillons en laboratoire). Dans ces conditions, le résultat analytique n'est pas représentatif de l'ensemble de la masse, mais plutôt de la fraction des particules fines.

Plus l'hétérogénéité de constitution est grande, plus grand est le risque qu'il y ait une différence entre la composition chimique des particules fines et celle des particules grossières. En l'absence de procédures de broyage, il devient impossible d'analyser un échantillon représentatif de la masse totale de la matière dangereuse. Toutefois, on peut estimer la proportion de particules fines en pesant les fractions issues d'un tamisage. Dans le cas des matières dangereuses, le tamis de 9,5 millimètres est généralement utilisé, mais cette dimension peut varier selon les protocoles analytiques en usage.

En résumé, il est plus difficile de juger visuellement de l'hétérogénéité de constitution à mesure que la granulométrie de la matière diminue. Toutefois, il devient plus facile de prélever un échantillon représentatif.

L'hétérogénéité de distribution résulte de la distribution spatiale des éléments entre eux^a. Cette notion fait référence à la ségrégation de la substance par rapport au milieu dans lequel elle se trouve. Par conséquent, il s'agit d'une propriété extrinsèque de la matière dangereuse.

^a Normalement, l'hétérogénéité de distribution fait référence à l'occurrence du résidu dans le milieu. Par extension, on pourra aussi utiliser l'expression dans le cas de plusieurs résidus mélangés ensemble pour les caractériser l'un par rapport à l'autre.

Ainsi, l'hétérogénéité de distribution est plus grande lorsqu'une substance est dispersée dans un contenant ou dans un milieu que lorsqu'elle est localisée en un seul endroit. En l'absence des caractéristiques visuelles généralement rattachées à la granulométrie, à la couleur ou à l'odeur, il devient vite impossible de reconnaître la présence d'une contamination dont la distribution est hétérogène sans procéder à des analyses chimiques ou minéralogiques. En résumé, plus l'hétérogénéité de distribution est grande, plus la matière dangereuse est dispersée dans un environnement souvent non contaminé. Le cas de la dispersion dans le sol est le plus fréquent mais elle se manifeste aussi dans des barils, des réservoirs, les lagunes et les tas lorsque des matériaux de nature différente ont été accumulés.

L'hétérogénéité de constitution, de distribution et la granulométrie des matières dangereuses sont des variables importantes qui ont une incidence directe sur la planification d'une campagne. Le Tableau 1 : Conséquences de l'hétérogénéité et de la granulométrie sur l'approche de l'échantillonnage résume les différentes situations possibles.

Tableau 1 : Conséquences de l'hétérogénéité et de la granulométrie sur l'approche de l'échantillonnage

	Faible hétérogénéité de distribution (suffisamment concentrée dans l'espace)		Forte hétérogénéité de distribution (grande dispersion)	
	Volume d'échantillon*	Type d'échantillonnage recommandé	Volume d'échantillon	Type d'échantillonnage recommandé
Forte hétérogénéité de constitution et granulométrie grossière	grand	aléatoire ou non aléatoire**	Grand	non aléatoire, très souvent ciblé
Forte hétérogénéité de constitution et granulométrie fine	moyen	Aléatoire (en général, aucun ciblage n'est possible, ni nécessaire)	très grand	aléatoire (ciblé si on peut identifier les zones contaminées)
Faible hétérogénéité de constitution et granulométrie grossière	moyen à grand	aléatoire ou non aléatoire	moyen à grand	non aléatoire ou ciblé
Faible hétérogénéité de constitution et granulométrie fine	petit	aléatoire ou non aléatoire	Moyen (est fonction de la granulométrie du milieu)	Aléatoire (à moins de pouvoir identifier une zone contaminée)

* Il s'agit du volume requis pour que l'échantillon ait, dans la mesure du possible, une valeur représentative de l'ensemble. La section 6. Restrictions relatives à l'homogénéisation des échantillons en laboratoire expose les diverses raisons qui restreignent l'homogénéisation en laboratoire.

** Ce type d'échantillonnage est défini à la section 5. Approches d'échantillonnage.

4.3.2. État liquide

Les liquides uniphases sont présumés homogènes et, sous cette condition, un échantillonnage représentatif peut être réalisé au moyen d'un seul prélèvement en un point quelconque du contenant.

Toutefois, le cas des liquides uniphases homogènes est plutôt rare, car des liquides résiduels et possiblement dangereux renferment souvent des solides en suspension. Ces derniers pourront souvent être homogénéisés par brassage, par agitation ou par recirculation. Les deux premières méthodes s'appliquent à de petits volumes alors que la troisième convient à des contenants plus grands.

Un mélange de plusieurs phases liquides, avec ou sans phase solide, est très courant. Le cas d'une phase aqueuse accompagnée d'une phase organique est le plus commun. L'homogénéisation de ce type de substance est problématique. Toutefois, l'hétérogénéité ne se manifeste que dans le plan vertical, sauf dans le cas de liquides très visqueux. En première approximation, chaque phase est homogène dans le plan horizontal mais on observe souvent l'apparition d'une zone trouble à l'intersection de deux phases. Cette zone peut avoir une composition différente.

La concentration des matières polluantes est presque toujours distribuée différemment entre les phases. Par exemple, en présence d'un mélange immiscible eau et huile, les BPC seront en grande partie solubilisés dans l'huile. En présence de phases multiples, le prélèvement de chacune d'elles permettra leur caractérisation individuelle. Cette approche est plus susceptible de fournir des renseignements adéquats pour la gestion, le traitement et la comparaison à une norme. Le traitement varie généralement avec la nature de la phase et avec la concentration de matières dangereuses qui y sont solubilisées.

Lorsque la séparation des phases est problématique, le prélèvement d'une colonne complète de liquide est préférable puisqu'il est toujours possible de les séparer en laboratoire.

Viscosité des liquides

La viscosité d'un liquide dépend de la résistance éprouvée par les molécules lors de leur déplacement les unes par rapport aux autres en présence d'une contrainte qui vise une déformation ou un mouvement. En général, la viscosité diminue très rapidement avec une augmentation de la température. La viscosité du milieu affecte le choix du type de pompe³ et doit être prise en considération lors de la planification.

Hétérogénéité des liquides en écoulement

Lorsque l'échantillonnage est effectué dans des liquides en écoulement⁴, des substances immiscibles affectent parfois l'homogénéité du milieu. L'installation de chicanes et l'agitation permettent de corriger, ou à tout le moins d'atténuer, les effets de ce problème sur la représentativité de l'échantillon³.

4.3.3. État boueux ou semi-liquide

Les boues sont constituées de liquides généralement aqueux qui contiennent une proportion variable de solides dissous et en suspension. Tout comme pour les liquides, les propriétés rhéologiques (viscosité) et la densité affectent le choix des équipements de pompage.

En raison de la présence d'une grande proportion d'eau et parfois à cause d'émanations de gaz, les boues sont souvent placées dans des conteneurs ouverts qui offrent une accessibilité limitée. L'échantillonnage de larges cuves ou de lagunes requiert des équipements ou des installations particulières comme une embarcation, une grue, ou encore l'aménagement d'une plate-forme.

4.3.4. État gazeux

Ce cahier ne traite pas de ce type d'échantillonnage. Par contre, le cahier 4, *Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes*⁵, décrit les méthodes applicables aux cheminées industrielles; plusieurs des techniques sont adaptables à l'échantillonnage de l'air ambiant.

4.4. Choix des paramètres analytiques

Les principaux paramètres analytiques généralement requis en ce qui concerne les matières dangereuses sont décrits au Tableau 2 : Catégories de matières dangereuses et analyses chimiques requises. Les analyses peuvent être effectuées sur un échantillon intégral ou après un essai de lixiviation. La lixiviation consiste à mettre l'échantillon en contact avec un milieu aqueux dans le but d'évaluer le comportement de la matière soumise à une simulation de conditions environnementales. Les résultats des essais sont comparés à des normes ou des critères qui sont établis par règlement ou qui sont définis pour répondre aux besoins de problèmes particuliers.

Une classification selon les propriétés chimiques ou physico-chimiques permet de regrouper les matières dangereuses par catégories, et le Tableau 2 indique les paramètres analytiques associés à chaque catégorie.

Tableau 2 : Catégories de matières dangereuses et analyses chimiques requises

Matière	Paramètre analytique	Remarques *
Comburant	Non	Vérification possible du contenu de la structure moléculaire (O-O) (peroxydes organiques) Analyses spécifiques si une contamination est soupçonnée
Corrosive	<ul style="list-style-type: none"> pH essai de corrosion de l'acier 	Vérification si un résidu liquide ou solide Peu utile si les pH sont supérieurs à 7
Explosive	Non	
Radioactive	Non	Vérification de l'activité maximale des radioéléments soupçonnés
Gazeuse	Non	Échantillonnage et transport problématiques Analyses spécifiques si une contamination est soupçonnée
Inflammable	point d'éclair	Pour les liquides utilisés afin de vérifier si un résidu est inflammable Pas de tests généraux disponibles pour la vérification de ces caractéristiques Analyses spécifiques si un risque d'inflammabilité est soupçonné Voir les 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e paragraphes de la définition des matières dangereuses
Lixiviable	<ul style="list-style-type: none"> arsenic, baryum, bore, cadmium, cyanures totaux, chrome, fluorures totaux, mercure, nitrites et nitrates, nitrites, plomb, sélénium, uranium 	Analyse du contenu total pour les résidus liquides ou effectuer un essai de lixiviation et analyser le lixiviat pour les résidus solides
Toxique	<ul style="list-style-type: none"> cyanures d'hydrogène sulfures d'hydrogène polychlorodibenzofuranes (PCDF) polychlorodibenzodioxines (PCDD) analyse du contenu total des matières toxiques (ex. : COV,HAP,CP, etc.)	Analyse spécifique pour la vérification de la toxicité des résidus solides ou liquides
Assimilée à une matière dangereuse substance appauvrissant la couche d'ozone huile (objet) et graisse (objet) récipient vide cylindre de gaz halogènes organiques totaux BPC (objet) contamination de la surface	arsenic, baryum, bore, cadmium, cyanures, chrome, fluorures, mercure, nitrites et nitrates, nitrites, plomb, sélénium, uranium, BPC, C ₁₀ à C ₅₀ , PCDD et PCDF <ul style="list-style-type: none"> dosage des hydrocarbures pétroliers (C10 à C50) halogènes organiques totaux BPC 	Analyse du contenu total pour ces paramètres ou analyse de frottis pour les surfaces lisses si elles sont contaminées ou analyse de fragments pour les surfaces poreuses Analyses d'autres substances si on soupçonne d'autres matières assimilées à une matière dangereuse (ex. CFC)
Utilisation à des fins énergétiques	arsenic, cadmium, chrome, plomb, halogènes totaux, BPC, point d'éclair, pouvoir calorifique, eau et soufre pouvoir calorifique, eau et soufre	Applicable aux huiles usées Applicable aux autres matières dangereuses Vérification d'autres paramètres spécifiques selon le cas

* Il est essentiel de contacter les laboratoires pour toute interrogation ou tout renseignement supplémentaire.

Le tableau ne comporte pas de paramètres analytiques pour certaines catégories de matières dangereuses parce que, en règle générale, des interventions pour ces catégories sont inusitées et nécessitent dans certains cas des équipements ou une expertise spécialisés. Par conséquent, la caractérisation des matières radioactives, comburantes, explosives et gazeuses ne sera pas traitée dans ce cahier.

5. APPROCHES D'ÉCHANTILLONNAGE

En général, les campagnes de caractérisation visent l'obtention de la valeur moyenne de la concentration des contaminants dans un milieu. Puisque les ressources limitent souvent le nombre des analyses, il devient essentiel de prévoir un mécanisme qui permettra d'estimer dans quelle mesure l'échantillon est représentatif de la masse de matériaux. S'il était possible d'analyser chaque centimètre cube d'un tas ou d'un baril, les renseignements obtenus seraient parfaits^b en ce sens que la connaissance de la valeur moyenne serait certaine. Malheureusement, il s'agit la plupart du temps d'une procédure irréalisable et irréaliste en raison des coûts qu'elle engendrerait. Toutefois, en l'absence d'un renseignement absolu, la statistique permet d'extrapoler, ou plus précisément de délimiter, un intervalle autour duquel se situe la vraie valeur de la moyenne. L'usage de ces concepts mathématiques doit être planifié avant le prélèvement en choisissant une approche d'échantillonnage appropriée.

Afin de différencier les échantillonnages dont les résultats peuvent faire l'objet d'un traitement statistique, il convient de distinguer deux approches d'échantillonnage. Pour que des données soient admissibles au traitement statistique, elles doivent nécessairement provenir d'un échantillonnage aléatoire en utilisant l'un des modèles probabilistes décrits aux paragraphes suivants. Dans tous les autres cas, le prélèvement est réputé non aléatoire et les résultats ne peuvent pas faire l'objet d'un calcul statistique. Cela ne signifie pas qu'il soit interdit de calculer des paramètres statistiques. Toutefois, des paramètres issus de résultats d'échantillonnage non aléatoires ne pourront pas être utilisés sur une base formelle pour effectuer une démonstration scientifique. Dans un tel cas, l'interprétation des données statistiques sera laissée au jugement de l'utilisateur ou du décideur. Cependant, l'échantillonnage non aléatoire peut donner de bons résultats et peut même constituer, dans certaines circonstances, le type d'échantillonnage à privilégier.

L'outil statistique est d'une grande utilité, mais il comporte certaines contraintes. En plus des contraintes du choix des points d'échantillonnage, on trouve celle d'un nombre d'échantillons élevé.

^b Cette hypothèse indique que les analyses sont effectuées sans erreur ou encore que la somme des erreurs est nulle.

5.1. Échantillonnage aléatoire

Le mot aléatoire signifie que le choix du point de prélèvement est effectué au hasard, sans qu'interviennent le jugement ou la décision du préleveur. Il existe plusieurs façons de préparer un plan d'échantillonnage aléatoire, aussi désigné sous l'épithète probabiliste.

Parmi les divers modèles (patrons) proposés pour l'échantillonnage aléatoire^{6, 7, 8}, trois seront retenus. Ce sont les échantillonnages aléatoires simple, systématique et stratifié. Quelques autres modèles sont disponibles mais présentent un intérêt limité dans la majorité des situations de caractérisation environnementale.

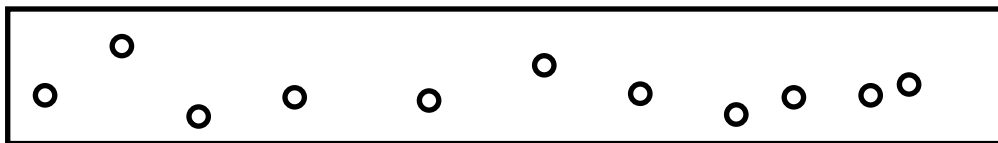
Toutes ces méthodes sont praticables sur un, deux ou trois axes, ce qui permet d'intervenir sur une distance, une surface ou un volume.

5.1.1. Échantillonnage aléatoire simple

L'échantillonnage aléatoire simple requiert de définir un périmètre et de déterminer au hasard des points de prélèvement à l'intérieur de cette zone. Chaque point doit avoir une chance égale d'être sélectionné, et le choix d'un point ne doit pas affecter le choix d'un autre. En principe, la détermination des points doit être faite à partir de règles précises qui incluent l'utilisation d'une table de nombres aléatoires⁹.

En pratique cependant, il est rare que l'on s'interroge sur le caractère aléatoire de prélèvements avant de calculer les paramètres statistiques d'un groupe de données. En situation concrète, devant un tas plus ou moins difforme, il peut être difficile d'appliquer scrupuleusement un modèle aléatoire simple. Des échantillons choisis à l'aveuglette par le préleveur peuvent autant être représentatifs du milieu que s'ils l'avaient été au moyen d'une table de nombres⁹. En réalité, l'usage d'une table confère automatiquement à un ensemble de points un caractère aléatoire, alors qu'il peut subsister des doutes dans le cas d'échantillons choisis à l'aveuglette. Le tout dépend jusqu'à quel point on peut associer un caractère aléatoire à la méthodologie utilisée.

Modèle aléatoire simple



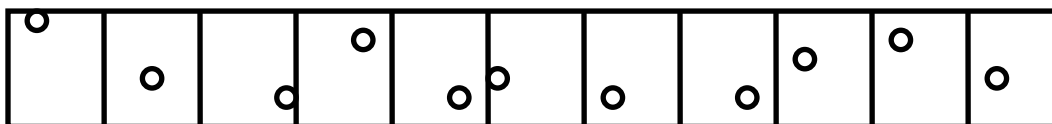
La méthode des nombres aléatoires est utilisée pour éliminer toute possibilité de biais relié à l'intervention humaine, dont le jugement pourrait être influencé par des éléments suggestifs telles l'apparence ou la couleur qui constituent des incitatifs au prélèvement de certains échantillons. Elle doit donc être utilisée chaque fois qu'une démonstration formelle est prévue.

Pour définir la position des points d'échantillonnage, dans une, deux ou trois dimensions, il suffit de choisir une ou des positions aléatoires à l'aide de la table. Par exemple, si l'on veut prélever cinq échantillons sur une distance de dix mètres, on choisira à partir d'un point de la table les cinq nombres consécutifs qui sont compris entre 0 et 10. Si l'on veut mesurer les distances au centimètre près, il suffit de choisir les nombres qui varient entre 0 et 1000 cm. La même méthode permettra de choisir les autres coordonnées du plan cartésien. Il est aussi possible de déterminer de la sorte seulement les points d'échantillonnage en surface et d'utiliser la technique systématique décrite au paragraphe suivant pour l'échantillonnage en profondeur ou vice versa. Par exemple, dans un réservoir, les points de prélèvement en profondeur peuvent être localisés à tous les 20 cm.

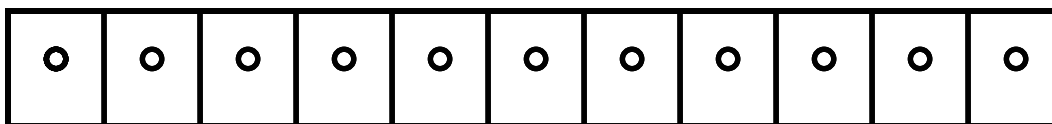
5.1.2. Échantillonnage aléatoire systématique

L'échantillonnage aléatoire systématique consiste à choisir au hasard le premier point de prélèvement et, dans un univers unidimensionnel, à y ajouter ou à y soustraire une unité de longueur choisie à l'avance (intervalle d'échantillonnage). Selon la position du premier point dans le segment à l'étude, des opérations d'addition et de soustraction de la grandeur fixe permettront de couvrir tout le secteur désiré. Dans un cadre bi ou tridimensionnel, une grille ou un cube de grandeur fixe viendra diviser la surface ou le volume en parties égales. Cette grille sera choisie de façon à couvrir les dimensions de la zone à l'étude et doit donc être conciliable avec le nombre de points de prélèvement nécessaires. Ainsi pour échantillonner sur une distance linéaire de 100 mètres, en prélevant dix échantillons, la distance entre chaque point à partir du premier point choisi au hasard sera de 10 mètres. Par la suite, les points d'échantillonnage sont sélectionnés aléatoirement ou systématiquement à l'intérieur de chaque espace, maille ou cube ainsi formé.

Modèle aléatoire systématique avec position aléatoire dans chaque maille



Modèle aléatoire systématique avec position systématique dans chaque maille



Il est aussi possible de modifier les règles du jeu en échantillonnant seulement à toutes les deux ou trois mailles de la grille de prélèvement. Toutefois, ces dispositions doivent être déterminées à l'avance et demeurer invariables en cours de réalisation.

Les mailles utilisées peuvent être carrées, rectangulaires ou triangulaires. Les ouvrages de référence font état des avantages et inconvénients de chacune¹⁰.

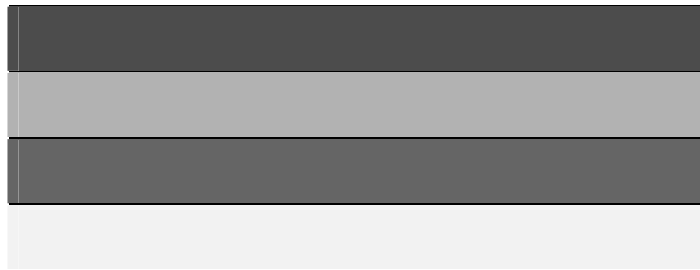
L'usage d'une grille systématique est préférable à la méthode aléatoire simple. La méthode systématique permet de couvrir toute la surface du contenant ou du tas tandis que certaines régions risquent de ne pas être couvertes avec la méthode aléatoire. Même si la méthode aléatoire simple est en principe équivalente à la méthode systématique, elle affiche la lacune de générer une distribution irrégulière de la densité des points d'échantillonnage, laissant parfois des zones importantes sans lieu de prélèvement. La grille systématique génère nécessairement une distribution uniforme des points dans toute la région à l'étude, ce qui facilite souvent l'interprétation des résultats.

5.1.3. Échantillonnage aléatoire stratifié

Lorsqu'un milieu présente des zones de composition homogène, il est possible de le diviser en autant de secteurs qu'il y a de zones semblables. Chaque secteur ainsi délimité est ensuite échantillonné par la technique aléatoire ou systématique. Les résultats moyens de chaque strate permettront d'établir un mode adéquat de gestion pour chacune. Les résultats de toutes les strates peuvent aussi être regroupés pour établir la composition moyenne de l'ensemble⁶.

Lorsque la séparation des couches est possible, le calcul de la composition moyenne ne sera généralement pas requis et les différentes strates recevront chacune un traitement spécifique.

Modèle aléatoire stratifié



L'échantillonnage en strates est très utile lorsqu'un tas ou une lagune sont composés de matériaux différents empilés par couches successives. On trouve les mêmes applications lorsque des matériaux d'une composition différente ont été entassés les uns à côté des autres. L'empilement affiche alors une composition stable dans le plan vertical, mais discontinue dans le plan horizontal, lors du passage d'une strate à l'autre.

Dans le cas d'une pile constituée de couches successives, l'échantillonnage en profondeur sera réalisé après avoir divisé la surface selon un modèle aléatoire. Les différentes strates identifiables sur chacune des carottes seront séparées et analysées distinctement. Au besoin, afin de limiter le nombre d'analyses, les strates présentant une nature semblable seront mélangées, en autant que la localisation de leurs coordonnées cartésiennes soit cohérente d'un point à l'autre. La position de chacune des strates est notée lors du prélèvement, et les résultats permettent de tracer les courbes en deux ou trois dimensions représentant le profil de la distribution de la contamination dans la pile.

5.2. Échantillonnage non aléatoire

L'échantillonnage non aléatoire est constitué de l'ensemble des pratiques dans lesquelles interviennent le jugement ou la décision du préleveur dans le choix des points de prélèvement. Dans le contexte environnemental, il résulte souvent de l'échantillonnage en un ou en quelques points, alors que les positions ont été établies sans faire appel aux lois du hasard discutées à la section précédente.

Lorsque le nombre d'échantillons est relativement grand, l'usage de la statistique permet de définir non seulement une moyenne, mais aussi un intervalle des valeurs qui pourraient être prises par cette moyenne.

En présence d'une quantité suffisante de résultats, l'échantillonnage non aléatoire a comme principal point faible de fragiliser les conclusions issues du traitement statistique et d'empêcher l'utilisation de ces données sur une base formelle. Toutefois, cet argument mathématique n'est pas toujours nécessaire car, dans bien des cas, le fait qu'un seul échantillon contienne une concentration largement supérieure à la norme d'une matière dangereuse est suffisant pour démontrer l'illégalité d'une situation. Dans ces conditions, le risque de commettre une erreur en déclarant matière dangereuse un matériau qui ne le serait pas, devient négligeable ou nul, et ce, même à partir d'un seul résultat analytique.

De plus, dans bien des cas, il y a possibilité de prélever un seul échantillon de façon à ce qu'il soit représentatif d'une masse donnée de substance. Par représentatif on entend un échantillon dont le contenu représente une moyenne non biaisée de l'ensemble d'une quantité donnée d'une substance.

A priori, cette situation existe lorsque la substance est homogène. Dans ce contexte, un seul échantillon semblera représentatif d'un volume donné de substance aux yeux du préleveur; mais il lui sera impossible de le démontrer mathématiquement en utilisant les statistiques et de calculer une zone d'incertitude autour de ce résultat. Autrement dit, il lui sera impossible d'utiliser la statistique comme outil de prise de décision. Cependant, tel qu'il est démontré un peu plus loin dans cette section, cette technique est de loin la plus avantageuse pour établir la valeur de la moyenne.

Il existe trois types d'échantillonnage non aléatoire :

- l'échantillonnage représentatif,
- l'échantillonnage ciblé,
- l'échantillonnage selon le jugement.

5.2.1. Échantillonnage représentatif

Suivant une définition restreinte, l'échantillonnage représentatif peut être réalisé lorsqu'une substance est distribuée de façon homogène dans un milieu ou un espace donné. Le prélèvement en un seul point permet alors l'obtention d'un résultat représentatif.

Cette définition est aussi valide et prend un sens plus large lorsque, lors du prélèvement, il y a possibilité d'échantillonner de façon proportionnelle des unités hétérogènes. Par exemple, un baril peut contenir des liquides distribués de façon hétérogène. En règle générale, dans le cas d'un liquide, l'hétérogénéité se manifeste seulement dans le plan vertical.

Ainsi, dans un baril contenant des particules métalliques, des BPC et des chlorobenzènes, on trouvera les particules métalliques au fond, les BPC au centre et les chlorobenzènes dans la partie supérieure. Le prélèvement d'une colonne de liquide à l'aide d'un tube de verre enfoncé jusqu'au fond du baril permettra le prélèvement d'un échantillon représentatif.

En anglais, le terme « haphazard sampling »⁶ est utilisé pour définir ce type d'échantillonnage que l'on désigne ici par « échantillonnage non aléatoire représentatif » d'une certaine masse ou d'un certain volume d'une substance ou d'un résidu.

Ce type de prélèvement est beaucoup utilisé, même si l'estimation de la représentativité du résultat et le calcul de la variation de la moyenne ne sont pas possibles. Les analyses peuvent porter sur l'échantillon total en autant que le laboratoire puisse l'homogénéiser. Les coûts analytiques sont réduits au minimum et le résultat représente *a priori* la moyenne contenue dans la masse, ce qui constitue par expérience des renseignements probants et suffisants. Il s'agit d'une méthode recommandée lorsque l'objectif est d'établir la concentration moyenne.

En réalisant ce type d'échantillonnage, le préleveur devrait toutefois noter les raisons qui justifient son opinion voulant que le matériel soit homogène, ou les arguments qui expliquent comment la technique de prélèvement fait en sorte que l'échantillon est représentatif d'unités hétérogènes afin de justifier ses conclusions.

5.2.2. Échantillonnage ciblé

L'échantillonnage ciblé⁸ diffère du précédent en ce sens qu'un effort est mis pour retenir la partie qui semble la plus contaminée au préleveur. Contrairement à l'objectif de déterminer la moyenne de la contamination, cette technique vise la démonstration de la présence d'une contamination. Ce type de prélèvement est utilisé lorsque des traces de pollution sont sporadiques ou disséminées (hétérogénéité de distribution). Un tas de résidus qui contient toutes sortes de matériaux hétéroclites tels des sols, des matériaux de construction et quelques pièces de matériaux contaminés constitue un exemple typique.

Il est en général très difficile d'associer la notion de représentativité à ce type de prélèvement. Dans l'exemple précédent, le prélèvement d'un échantillon contaminé en surface ne peut permettre de déterminer la contamination en profondeur ni la distribution de la contamination superficielle. On pourrait ajouter que cet échantillon n'est représentatif que de lui-même.

L'échantillonnage ciblé est donc en réalité une activité de recherche dont le but principal est de démontrer la présence de matières dangereuses et d'en déterminer les concentrations les plus élevées.

5.2.3. Échantillonnage selon le jugement

Très souvent, après avoir examiné un résidu, le préleveur est en mesure d'identifier par la couleur, la texture ou d'autres caractéristiques de la substance un échantillon qui lui semble typique de la moyenne du milieu. Ce type de prélèvement est donc réalisé selon l'opinion du spécialiste et peut être représentatif ou non de l'ensemble. Les mêmes remarques s'appliquent lorsque plusieurs échantillons de nature semblable sont mélangés en souhaitant que le composé représente la moyenne.

Tout comme l'échantillonnage représentatif, l'approche selon le jugement vise l'obtention de la valeur moyenne, mais en se basant sur des notions subjectives, contrairement au premier qui s'appuie sur des considérations techniques.

5.3. **Éléments de rationalisation de l'échantillonnage en fonction des coûts-avantages liés aux aspects statistiques**

L'échantillonnage aléatoire est peu utilisé lors de caractérisations et les deux axiomes suivants aideront à en comprendre les raisons.

Dans le cas de solides, plus une substance est distribuée de façon hétérogène, plus le rapport coûts-avantages de l'échantillonnage aléatoire est élevé par rapport à un échantillonnage ciblé lorsque la contamination est décelable visuellement. Le prélèvement direct d'une substance hétéroclite identifiable dans un milieu est nécessairement moins dispendieux que le prélèvement aléatoire de plusieurs échantillons majoritairement non contaminés.

Dans le cas de liquides, plus une substance est hétérogène, plus le rapport coûts-avantages de l'échantillonnage aléatoire est élevé par rapport à l'échantillonnage représentatif. Cette affirmation est facilement démontrée à l'aide de l'exemple du baril de BPC contenant des particules et des chlorobenzènes. Ainsi, un échantillonnage aléatoire réalisé sur différents points, répartis selon la verticale, conduit presque nécessairement à une valeur de la moyenne moins exacte que celle qui est évaluée à partir de l'échantillonnage représentatif décrit précédemment.

L'autre danger qui guette le préleveur lorsqu'il s'en remet à des mélanges d'échantillons aléatoires est celui de diluer la fraction contaminée avec des matériaux qui ne le sont pas. Les concentrations mesurées dans le mélange peuvent se situer à un niveau admissible, et même sous les limites de détection analytique et peuvent permettre de conclure que la zone n'est pas contaminée alors que la réalité est tout autre. Prenons comme exemple un baril qui contient en volume 50 % d'eau et 50 % d'huile. L'analyse révèle que l'eau est contaminée avec 10 mg/kg de BPC, alors que l'huile l'est avec 75 mg/kg. La concentration moyenne est de 42,5 mg/kg. Le résultat moyen atteint les objectifs d'une norme hypothétique de 50 mg/kg, alors qu'en réalité il faudrait séparer et gérer distinctement les phases eau et huile. Dans ces conditions, la teneur de 75 mg/kg affiche un dépassement de norme.

Cet exemple démontre bien qu'il est illusoire de s'en remettre aux statistiques pour établir aveuglément un plan d'échantillonnage. Au contraire, ce plan doit utiliser d'abord et avant tout les connaissances, l'expérience et l'imagination du préleveur. Cette affirmation est grandement supportée par le fait qu'en présence de matériaux fortement hétérogènes, l'objectif premier n'est pas toujours d'établir une contamination moyenne, mais plutôt de prouver la contamination et de délimiter la zone contaminée, parfois en tenant compte qu'il est possible de séparer les matériaux.

À partir de cette discussion, il est possible de dégager certains principes généraux qui régissent l'élaboration d'une stratégie d'échantillonnage.

Plus une contamination occupe un espace restreint par rapport à l'espace où elle est suspectée, plus il devient risqué de rater la découverte d'une zone contaminée en utilisant une méthode aléatoire, à moins de fractionner les prélèvements et d'en analyser un grand nombre. Dans ces circonstances, un échantillonnage ciblé offre une meilleure perspective en termes du rapport coûts-avantages et permet de mettre en évidence la zone et d'en évaluer approximativement la distribution spatiale. À noter que cette démarche peut être réalisée à partir d'un modèle aléatoire, comme une grille systématique dans le cas d'un forage. Cependant, les échantillons seront choisis en fonction de leur aptitude à présenter une contamination, ce qui abroge le caractère aléatoire de l'ouvrage.

Cette discussion démontre aussi que, lorsque la valeur moyenne d'une contamination est recherchée, l'échantillonnage représentatif est le plus avantageux en termes de son rapport coûts-avantages. Ce type d'échantillonnage peut être combiné à un modèle aléatoire en choisissant au hasard plusieurs points de prélèvement pour ainsi permettre l'usage de la statistique.

Donc, avant d'utiliser les techniques aléatoires, il est souhaitable de chercher à homogénéiser la substance ou la prélever de façon représentative. Par la suite, la prise de plusieurs échantillons suivant un modèle aléatoire approprié permettra de maximiser la rectitude des renseignements et d'utiliser la statistique pour traiter les résultats. Dans ce sens, la statistique devient un outil de travail fort utile et souvent indispensable.

Le Tableau 3 : Approches d'échantillonnage et domaines d'application résume les différentes approches d'échantillonnage et leurs domaines d'application respectifs.

Tableau 3 : Approches d'échantillonnage et domaines d'application

Méthodes aléatoires

Stratégie d'échantillonnage	Définition	Domaine d'application	Avantages/désavantages
Aléatoire simple	Définition de l'unité à l'étude et détermination des points de prélèvement de façon aléatoire en utilisant une table de nombres ou une technique équivalente.	Utile lorsque le caractère aléatoire est requis et qu'il n'y a aucun avantage à procéder de façon systématique. Intéressant surtout lors du prélèvement d'un nombre restreint d'échantillons.	Fournit un moyen d'éliminer l'intervention du préleveur et accorde plus de crédibilité dans le choix des points d'échantillonnage. La distribution inégale de la densité des points de prélèvement réduit la portée de l'interprétation des résultats.
Aléatoire systématique	Le point de départ est choisi de façon aléatoire et tous les autres points sont disposés par rapport au premier en additionnant ou soustrayant une distance donnée.	Recommandable lorsque la substance a une constitution hétérogène difficilement homogénéisable.	Permet de couvrir toute la zone à l'étude et de mettre en évidence le degré d'homogénéité. Le prélèvement d'un trop petit nombre d'échantillons (grande dimension de la grille) réduit les chances de découverte d'une zone problématique. Coûts de caractérisation élevés selon l'ampleur de la campagne.
Aléatoire stratifié	Les surfaces ou les unités qui ont des propriétés semblables sont échantillonnées séparément. Les résultats issus de ces unités sont groupés ensemble pour établir la moyenne de la strate.	À utiliser lorsque des indices tels que la couleur, la consistance, etc. permettent de déceler que les matériaux sont disposés par strates.	Permet de regrouper les résultats des échantillons de même nature à l'intérieur d'une même distribution statistique. Le calcul de la moyenne pondérée de toutes les strates est aussi possible.

Méthodes non aléatoires

Stratégie d'échantillonnage	Définition	Domaine d'application	Avantages/désavantages
Échantillonnage non aléatoire représentatif	Prélèvement d'un échantillon dont le contenu est représentatif de la masse.	Recommandé pour établir la composition moyenne d'un site.	<p>Offre le meilleur rapport qualité-prix pour établir la composition moyenne d'un lieu confiné.</p> <p>Ne permet pas de mettre en relief l'homogénéité de la substance, à moins de prélever plusieurs échantillons représentatifs.</p>
Échantillonnage ciblé	Technique qui consiste à choisir l'échantillon qui semble être fortement contaminé. Cette définition doit être nuancée selon les circonstances et le jugement du préleveur.	<p>Très utilisé pour démontrer la présence de matières dangereuses, surtout lors des premières interventions.</p> <p>Recommandé lors de perquisitions et enquêtes.</p>	<p>Permet d'établir à faible coût la présence ou l'absence de matières dangereuses.</p> <p>Apporte peu ou pas de renseignements sur la distribution spatiale.</p>
Échantillonnage selon le jugement	Prélèvement ou préparation d'un échantillon qui semble représentatif de l'ensemble d'un milieu.	Applicable en présence d'une substance dont on peut reconnaître des unités hétérogènes.	<p>Permet d'apprécier la concentration moyenne. La crédibilité des conclusions diminue à mesure qu'augmente le doute au sujet de l'homogénéité du milieu.</p> <p>La représentativité se limite à la fiabilité du jugement du préleveur. Il est préférable de procéder en duplicata afin d'évaluer la représentativité sur une base plus formelle.</p>

6. RESTRICTIONS RELATIVES À L'HOMOGENÉISATION DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE

Cette section a pour objet de sensibiliser le préleveur aux problèmes soulevés par l'homogénéisation des échantillons au laboratoire et ainsi de permettre au préleveur de mieux définir ses demandes analytiques et de maintenir une bonne communication avec le personnel du service analytique¹¹.

Les solides, de granulométrie variable à disparate, présentent le plus de difficultés d'homogénéisation. La méconnaissance de ces considérations conduit parfois à une interprétation inappropriée ou dénaturée des résultats analytiques relativement à la représentativité du milieu.

6.1. Homogénéisation des solides

Dans le cas des solides, les limitations sont de deux types : celles qui sont issues de la faible quantité des matériaux utilisés pour faire l'analyse et celles qui sont reliées à l'impossibilité de sécher les échantillons.

Les restrictions touchant le poids des matériaux s'appliquent surtout dans le cas des analyses de chimie organique et inorganique, puisque la masse de l'échantillon utilisée est restreinte. Toutefois, pour les tests de lixiviation, cette distinction perd de l'importance car une plus grande masse est utilisée pour réaliser l'essai.

Les analyses chimiques nécessitent des quantités relativement restreintes d'échantillons pour s'adapter aux techniques de laboratoire. Ainsi, en chimie inorganique, le dosage de métaux est effectué à partir d'une masse de l'ordre du gramme. En chimie organique, un maximum d'environ vingt grammes de solides peut être introduit dans un soxhlet et ce poids diminue avec la réduction de la densité de la matière.

S'il était possible d'homogénéiser les échantillons par broyage et mélange, la restriction imposée par la quantité s'amenuiserait. Or, cette homogénéisation n'est pas possible dans beaucoup de cas en raison des propriétés physiques des substances analysées.

Tous les composés organiques possèdent une tension de vapeur, c'est-à-dire qu'ils ont une tendance à l'évaporation. Or, tout broyage provoque une augmentation de la température d'un échantillon. Qui plus est, cette opération est normalement effectuée sur un échantillon sec et, puisque le séchage entraîne la volatilisation des composés organiques, l'homogénéisation des échantillons devient difficilement praticable.

De plus, puisqu'il est non recommandable dans la majorité des cas de sécher un échantillon, il devient aussi difficile de le tamiser. En effet, l'humidité a pour effet de provoquer une agglomération des particules, leur adhérence aux mailles du tamis et l'obstruction de ce dernier. Enfin, le tamisage humide, c'est-à-dire avec un jet d'eau, est lui aussi impraticable pour des raisons évidentes de perte du matériel.

Il existe aussi une autre contrainte qui touche cette fois l'aspect des coûts analytiques. Les échantillons environnementaux sont de nature diverse et contiennent des contaminants dont la concentration varie de nulle à plusieurs milliers de ppm. Dans ce contexte, deux échantillons qui seraient soumis consécutivement à des opérations de broyage et de tamisage seraient facilement « victimes » d'une contamination croisée. La contamination croisée résulte du mélange fautif de deux échantillons ou est reliée à une contamination par des substances présentes dans l'équipement en provenance d'un d'échantillonnage antérieur. L'utilisation d'une procédure raffinée de nettoyage de l'équipement éliminerait ce genre de risque et augmenterait les coûts analytiques.

La contamination croisée représente une source d'erreur majeure dans le domaine analytique. Par exemple, il n'est pas rare qu'un laboratoire utilise trois ensembles de verrerie distincte pour l'analyse des dioxines et furanes. Un ensemble particulier sera choisi après que l'on aura attribué un présumé niveau de la concentration, soit faible, moyen ou fort. Les grandes entreprises réservent même une unité de laboratoire distincte aux échantillons de chacun de ces niveaux.

Quoique beaucoup moins important, le problème de l'évaporation existe aussi en chimie inorganique, car plusieurs composés du mercure sont volatils. La majorité des autres métaux et leurs composés usuels ne présentent pas ce type de comportement. Les échantillons peuvent donc être séchés, broyés et homogénéisés. Toutefois les restrictions applicables aux coûts demeurent en raison des risques associés aux contaminations croisées.

Cette problématique devrait être examinée de près à partir de la théorie d'échantillonnage qui permet d'estimer l'erreur associée à la finesse du matériel et à l'hétérogénéité de constitution.

6.2. Homogénéisation des liquides

Si l'on présume que les liquides uniphases sont homogènes, le prélèvement d'une aliquote (fraction de l'échantillon) fournit un résultat représentatif. Tous les composés solubles, ce qui inclut beaucoup de substances inorganiques et certains composés organiques tels les composés phénoliques, seront analysés par cette technique.

Dans le cas de substances organiques insolubles dans l'eau comme les huiles et graisses, le laboratoire devrait utiliser tout l'échantillon et rincer le contenant avec le solvant d'extraction. La plupart du temps, l'homogénéisation des huiles et graisses par brassage n'est pas possible, surtout si l'échantillon provient d'un déversement de produits pétroliers. Le volume de liquide utilisé lors de l'analyse organique dépend de la méthode pratiquée par le laboratoire. Afin de permettre l'utilisation de tout l'échantillon, il est donc important de prélever exactement le volume recommandé. Toutefois, dans le cas de résidus liquides, il peut arriver que la nature du procédé combinée à la présence d'autres composés ayant certaines propriétés tensioactives puissent permettre l'émulsion ou la solubilisation d'un liquide organique normalement insoluble dans de l'eau pure.

En présence de phases distinctes d'un volume suffisant, une analyse sur chacune permettra une caractérisation indépendante. La pondération des résultats, à partir du poids ou du volume de chaque phase, sera réalisée au besoin pour établir la composition moyenne. Ainsi, dans le cas d'un mélange d'eau et de solvant chloré, l'homogénéisation est impraticable. L'analyse distincte est donc requise.

6.3. Homogénéisation des liquides contenant des solides

Dans le cas de l'analyse inorganique, les liquides contenant des solides sont généralement facilement homogénéisables. Toutefois, cette affirmation diffère lorsque la taille et la densité des particules solides augmentent.

Dans le cas de l'analyse organique, plusieurs techniques utilisent une extraction séparée pour les phases liquide et solide. Parfois on constate que des concentrations totales plus élevées sont obtenues à partir d'une analyse séparée de chacune des phases. Comme pour les liquides, il est préférable d'utiliser tout l'échantillon et de rincer le contenant.

6.4. Sélection du matériel à analyser

En présence d'un solide hétérogène comme échantillon et en absence d'instructions spécifiques, l'analyste doit prendre une décision quant au choix du matériel soumis à l'essai. De façon générale, l'analyste prélève plutôt les particules les plus fines pour diminuer les problèmes associés à la technique analytique qui permet également de représenter le choix le plus approprié pour évaluer une matière dangereuse.

En effet, il est reconnu et admis que :

- 1- Les particules les plus fines sont susceptibles d'être plus préoccupantes parce qu'elles sont plus mobiles et qu'elles présentent les plus grandes surfaces de contact.

- 2- Lorsque les contaminants sont adsorbés à la surface des particules, ce qui est souvent le cas pour des composés organiques, la fraction des particules fines retient la majorité de la contamination car elle présente une plus grande surface de contact.
- 3- Les particules les plus fines sont susceptibles de provenir de l'effritement des plus grosses. Lorsque cet énoncé est vrai, elles sont donc représentatives de la masse. Dans l'environnement, l'effritement naturel provient surtout des cycles de gel ou de dégel ou de l'érosion ou des deux.
- 4- Le prélèvement de milliers de particules fines accroît les chances de représentativité, alors que le prélèvement de quelques gros morceaux la diminue.
- 5- La surface spécifique des grosses particules est faible, ce qui restreint l'efficacité du traitement analytique, sauf dans le cas de substances poreuses.
- 6- Les résidus issus de procédés industriels présentent très souvent une granulométrie fine, quoiqu'il y ait plusieurs exceptions à cette règle.

7. ÉQUIPEMENTS D'ÉCHANTILLONNAGE

Cette section énumère les principaux équipements utilisés pour l'échantillonnage des matières dangereuses, de même qu'une brève description de leur utilisation. Les aspects qui sont de nature à affecter la qualité des résultats y sont également traités. Les questions d'accessibilité, même si elles sont fondamentales, ne seront pas abordées, car un trop grand nombre de situations différentes existent. Le cahier 1 - *Généralités*² présente une liste d'équipements de base applicables à tout type de campagne ainsi que les techniques de lavage et de décontamination des équipements.

Le choix de l'outillage dépend des considérations décrites précédemment, à savoir une connaissance préalable du résidu, de son mode de confinement, des analyses requises, ainsi que des facteurs spécifiques propres à l'accessibilité au site.

Ceci comprend également les instruments qui servent aux prélèvements proprement dits, les outils de mélange et les contenants pour acheminer les échantillons au laboratoire. Le choix de l'outillage inclut également l'ensemble des moyens pour accéder au site. En raison de la multiplicité des situations, des équipements inhabituels seront parfois requis comme une embarcation, une grue, un palan, un treuil, etc.

Les analyses requises déterminent le type de matériel qui sera utilisé, tant au niveau des contenants qu'au niveau des instruments, lorsque ces composantes sont en contact avec les échantillons. Les matériaux seront sélectionnés de façon à minimiser les risques de contamination, surtout lorsque le contact avec l'échantillon est prolongé, comme dans le cas des contenants qui servent au transport des échantillons. En plus de la contamination, il faut aussi considérer l'absorption ou l'adsorption par les parois du contenant ou des instruments d'échantillonnage et l'évaporation des composés volatils. La libération de composés chimiques par les matériaux du contenant est aussi possible. Toutefois, ces considérations sont déjà prévues aux tableaux synthèses du document DR-09-01 : *Fascicule des modes de conservation pour l'échantillonnage relié à l'application du Règlement sur les matières dangereuses*¹² (ce document est joint à ce cahier). Pour cette raison, il importe de n'utiliser que les matériaux recommandés et de consulter le laboratoire si l'analyse d'autres composés est requise.

Le cahier 1 - *Généralités*² présente les instructions pour réaliser un contrôle de la qualité des opérations d'échantillonnage comme l'usage de blancs et de duplicata de même que des procédures de lavage des équipements. Sans restreindre l'importance des notions exposées dans cette section, il faut cependant préciser que, par définition, une matière dangereuse se trouve dans un état relativement concentré. Par conséquent, des équipements utilisés antérieurement dans des milieux faiblement ou non contaminés pourront être nettoyés avec une méthode distincte. Au besoin, l'analyse d'un échantillon blanc issu de la mise en contact des équipements avec un milieu comparable, mais exempt de contamination, permettra de justifier une méthodologie de nettoyage adéquate. Les opérations en milieux fortement contaminés entraînent toutefois des risques élevés de contamination croisée. En cas de doute, il est suggéré de s'en remettre aux procédures désignées dans le cahier 1, *Généralités*².

7.1. Compatibilité des techniques de prélèvement et des substances recherchées

La concentration d'une substance peut être potentiellement sous-estimée en raison des phénomènes de volatilisation, d'absorption ou d'adsorption. Par exemple, l'échantillonnage des substances volatiles devrait uniquement être réalisé de façon instantanée pour les liquides et de façon ponctuelle pour les solides. Toute manipulation destinée à former un échantillon composé conduit à la volatilisation d'une partie des composés d'intérêt.

La mesure d'une concentration peut aussi être potentiellement surestimée en raison de l'utilisation d'équipements contaminés et par la présence de poussière ou de gaz dans l'air ambiant aux points d'échantillonnage ou lors de la manipulation et du transport.

L'analyse d'échantillons « blancs » a pour objectif de vérifier cette possibilité. Cette procédure est décrite dans le cahier 1 - *Généralités*².

7.2. Compatibilité des matériaux utilisés et des substances recherchées

Les instruments d'échantillonnage ne doivent pas altérer les caractéristiques de la matière.

En général, dans le cas des matières dangereuses, les probabilités d'adsorption par les parois du contenant ne sont pas de nature à affecter la concentration des substances échantillonnées. Ces risques sont surtout présents lorsque de très faibles quantités de substances sont présentes, comme dans le cas de l'eau potable. En l'absence d'agents de préservation, puisque c'est toujours le cas pour les matières dangereuses, certains composés peuvent être très légèrement adsorbés par les plastiques. Toutefois, règle générale, la forte concentration de contaminants et autres composés prévient cette adsorption, puisque les composés majoritaires s'accaparent des sites et les saturent.

Les contenants les plus couramment utilisés sont en verre pour l'échantillonnage en chimie organique et en plastique pour les autres types de prélèvement. Les contenants, le mode et le délai de conservation de même que la masse requise pour chaque paramètre analytique sont répertoriés aux tableaux synthèses du document DR-09-01¹².

Les matériaux tels que le verre, le téflon, l'aluminium et l'acier inoxydable ne présentent pas de risque pour l'intégrité des échantillons. Idéalement, seuls ces matériaux doivent être en contact avec les substances soumises aux analyses de chimie organique. Toutefois, il est permis d'utiliser une longueur d'au plus 0,5 m de tube de silicone de grade médical pour les pompes péristaltiques et pour les échantillonneurs automatiques munis d'une pince à tuyaux. De plus, les contenants doivent prévenir la photodégradation.

Les plastiques tels que le polyéthylène de haute ou faible densité (PEHD, PEFD), le polypropylène (PP), le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polystyrène (PS) peuvent aussi être utilisés lorsque les échantillons sont soumis uniquement aux analyses de chimie inorganique.

Mentionnons que le Téflon® est très utilisé en raison de sa grande inertie chimique et de sa résistance. Ce matériau convient à tous les types d'analyse en environnement. Son coût peut par contre limiter ses utilisations. Le PEHD offre un rapport résistance chimique versus coût intéressant lorsque l'échantillon est destiné à l'analyse de paramètres inorganiques. Pour les échantillons soumis aux analyses de chimie organique, le verre offre pratiquement les mêmes avantages que le plastique, outre sa résistance aux chocs.

Le verre est relativement inerte chimiquement et peut être utilisé dans un grand nombre de cas d'échantillonnage, exception faite des résidus qui contiennent des acides ou des bases fortes telles l'acide fluorhydrique ou la soude caustique.

Le verre standard est suggéré dans plusieurs cas en raison de son coût relativement faible et de sa disponibilité. Par contre, le verre de borosilicate, comme le Pyrex® ou le Corex®, est plus inerte chimiquement et plus résistant que le verre standard.

En résumé, le verre, le Téflon® et l'acier inoxydable sont trois matériaux très utilisés pour l'échantillonnage de résidus destinés à l'analyse des composés organiques. Par ailleurs, le plastique convient généralement pour l'échantillonnage des composés inorganiques.

7.3. Équipements spécialisés

Cette section présente les équipements les plus courants pour l'échantillonnage des matières dangereuses. Beaucoup de ces appareils sont disponibles dans le commerce, mais certains d'entre eux doivent être fabriqués sur commande.

Étant donné que chaque situation d'échantillonnage est pratiquement unique, les équipements doivent être adaptés pour assurer la représentativité des échantillons et préserver leur intégrité. Les paragraphes suivants traitent de l'utilisation possible des équipements; cependant, leur usage peut être élargi pour convenir à diverses applications.

La section 8. Exemples de stratégies d'échantillonnage expose quelques exemples d'utilisation des équipements convenant aux divers types de mode de prélèvement.

7.3.1. Équipements pour les matières liquides

- **Coliwasa et tubes (en verre ou à clapet)**

Le Coliwasa^{8, 13 14} permet le prélèvement de liquides et de boues relativement fluides, c'est-à-dire qui s'écoulent facilement par gravité.

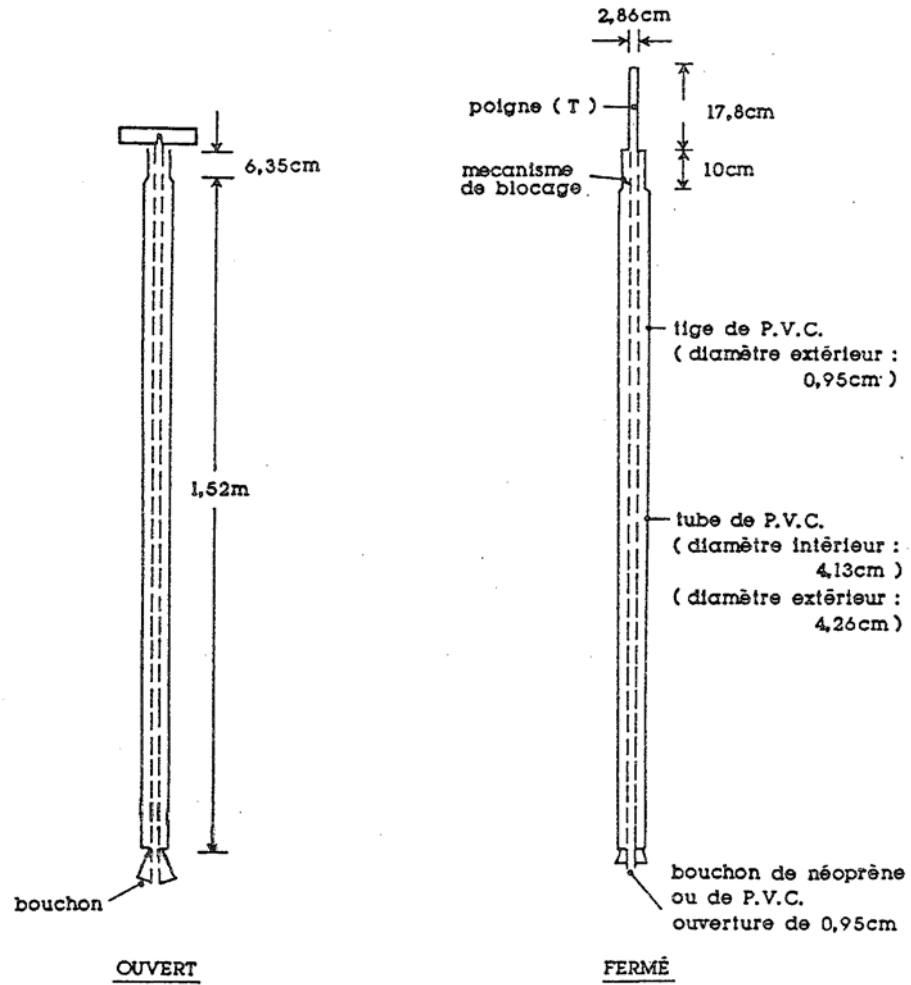
Tout comme le tube de verre, il est parfaitement adapté à l'échantillonnage des liquides multiphasés. En fait, il permet d'échantillonner d'un seul coup toutes les phases liquides d'un contenant en respectant les proportions relatives de chacune des phases.

Tel que schématisé à la Figure 2 : Coliwasa, le Coliwasa est un tube rigide fait de verre, de Téflon®, de plastique ou de métal, parfaitement cylindrique à l'intérieur et à l'extérieur et terminé à sa base par un joint formé par un matériau inerte et souple.

Pour prélever un échantillon, le Coliwasa est plongé lentement dans le liquide, suivant un axe vertical dans un endroit prédéterminé du contenant. Lorsqu'il touche le fond, un dispositif s'engage automatiquement ou est engagé par le préleveur (selon le type de Coliwasa), appliquant ainsi une pression suffisante pour assurer l'étanchéité du joint. Cet appareil permet d'isoler une colonne de liquide représentative d'une coupe verticale du milieu.

D'autres modèles sont munis de trous le long de la verticale dont l'ouverture est actionnée par un mécanisme. Il suffit de placer le Coliwasa dans le liquide et d'ouvrir et fermer le mécanisme pour obtenir un échantillon représentatif. Le Coliwasa est relativement difficile à décontaminer et il n'existe pas vraiment de moyen pour vérifier visuellement si l'intérieur est exempt de dépôts.

Figure 2 : Coliwasa



Dans certains autres cas, un simple tube de verre permet la même opération. Il suffit de descendre lentement le tube dans le liquide, de placer le pouce sur l'ouverture et de le remonter. Une perte de matériel peut survenir lors du transvasement à cause du pouce qui ne peut empêcher l'entrée d'air ou du liquide qui s'écoule par la base en raison d'une trop grande fluidité. Un bouchon limitera cet écoulement et, au besoin, le bouchon peut aussi être inséré à la base et manié par un fil, un câble ou une tige passant à l'intérieur du tube. Il s'agit en réalité d'un Coliwasa dont le tube peut être changé à chaque prélèvement. Le verre est peu dispendieux et recyclable mais le coût de décontamination peut l'être davantage.

Le principal désavantage du verre est sa fragilité. En revanche, il est disponible en différentes longueurs et dimensions. De plus, la tension superficielle entre le verre et les liquides est généralement faible et une vitesse d'immersion lente réduit les risques de mélange de phases causé par l'adhérence des substances aux parois. À remarquer que le Coliwasa muni de perforations minimise ou élimine aussi ce genre de problème.

Le Coliwasa est l'un des rares équipements d'échantillonnage environnemental qui reçoit une approbation de la part de la communauté scientifique pour sa capacité à prélever des échantillons représentatifs. Cette propriété est justifiée par le fait que l'équipement peut réaliser l'extraction d'une section bien délimitée.

Le Coliwasa et le tube de verre sont adaptés à l'échantillonnage de résidus liquides entreposés dans des contenants peu profonds, comme des barils de 205 litres.

MODE D'UTILISATION :

1. Plonger verticalement l'échantillonneur dans le liquide à une vitesse d'environ 5 cm par seconde.
2. Lorsque le tube touche le fond ou atteint la profondeur désirée, faire une pause, placer le pouce sur l'extrémité du tube ou actionner le mécanisme de fermeture et retirer l'échantillonneur verticalement. Dans le cas d'un Coliwasa muni de perforations, l'échantillonneur est immergé dans le liquide en position fermée. À la profondeur requise, il est ouvert durant une période suffisante pour laisser pénétrer le liquide et ensuite fermé de nouveau avant d'être remonté.
3. Placer l'échantillonneur au-dessus du contenant de l'échantillon, puis libérer le liquide contenu dans le tube en soulevant lentement le pouce ou en ouvrant le mécanisme de fermeture.
4. Répéter l'opération jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.

Pour l'échantillonnage des liquides, les tubes à clapet et les pompes à soupape sont d'une grande utilité dans plusieurs situations. Ces modes d'échantillonnage sont décrits en détail dans le Cahier 3- *Échantillonnage des eaux souterraines*¹⁹ Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, leurs avantages et leurs inconvénients y sont mentionnés.

- **Échantillonneur lesté et les modèles Bacon et Kemmerer**

Ces trois appareils sont utilisés pour effectuer des prélèvements à différentes profondeurs dans les réservoirs, les étangs et les lagunes, ou tout autre contenant profond^{8, 13, 14, 15}. Ils sont surtout utilisés pour effectuer des échantillonnages ciblés, c'est-à-dire localisés à des endroits précis. Le prélèvement d'échantillons à diverses profondeurs est parfois nécessaire pour évaluer le degré d'hétérogénéité d'un liquide.

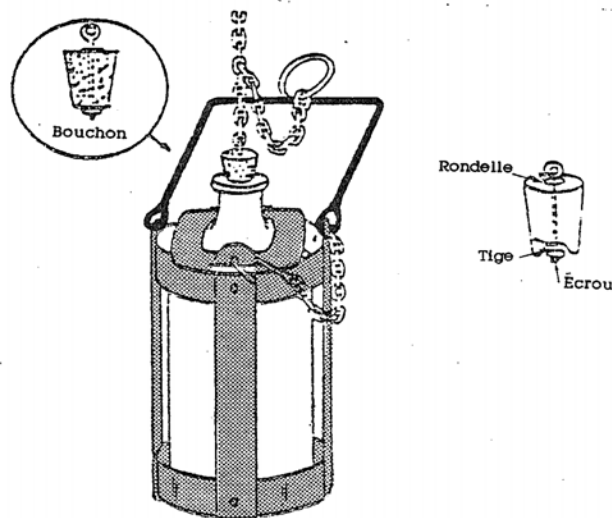
L'échantillonneur lesté est essentiellement composé d'une bouteille, d'un poids et d'un bouchon (Figure 3 : Échantillonneur lesté).

L'échantillonneur Bacon a une forme cylindrique, ce qui permet son utilisation lorsque l'orifice d'accès aux réservoirs ou aux contenants est de dimension réduite. Les capacités volumétriques disponibles sont : 250, 500 et 1000 ml. Une valve actionnée par une corde permet de laisser pénétrer le liquide à l'intérieur du cylindre à la profondeur voulue. Des matériaux tels le bronze plaqué au chrome ou l'acier inoxydable confèrent à l'instrument un caractère inerte vis-à-vis un grand nombre de substances.

L'échantillonneur Kemmerer est constitué d'un cylindre muni de bouchons aux deux extrémités. Lorsque les deux bouchons sont détendus, les liquides peuvent circuler très facilement. L'échantillonneur est descendu à la profondeur désirée et le mécanisme de fermeture des bouchons est actionné. Dans le cas des liquides visqueux, l'utilisation d'une faible vitesse de déplacement empêchera un mélange causé par la turbulence. Il est aussi recommandé d'attendre quelques instants au point de prélèvement pour atteindre l'équilibre avant d'actionner le mécanisme de fermeture.

La fonction et l'utilité de ces trois types d'échantillonneurs sont identiques. Parfois, il est plus commode de fixer l'échantillonneur au bout d'une perche au lieu de le manoeuvrer avec une corde. Une girafe permet des déplacements dans le plan horizontal, même s'il n'y a qu'un seul point d'entrée. Cependant, même si les trois instruments sont admis pour effectuer des prélèvements, seul le modèle Kemmerer peut effectuer un prélèvement sans turbulence importante. Pour les autres modèles, l'ouverture du bouchon crée automatiquement une turbulence qui affecte le milieu et peut entraîner un biais en présence de matières en suspension ou toute autre forme d'hétérogénéité.

Figure 3 : Échantillonneur lesté



MODE D'UTILISATION DE LA BOUTEILLE LESTÉE :

L'emploi des autres modèles est identique, sauf que le type Kemmerer est descendu en position ouverte car il est muni d'un mécanisme de fermeture plutôt qu'un dispositif d'ouverture.

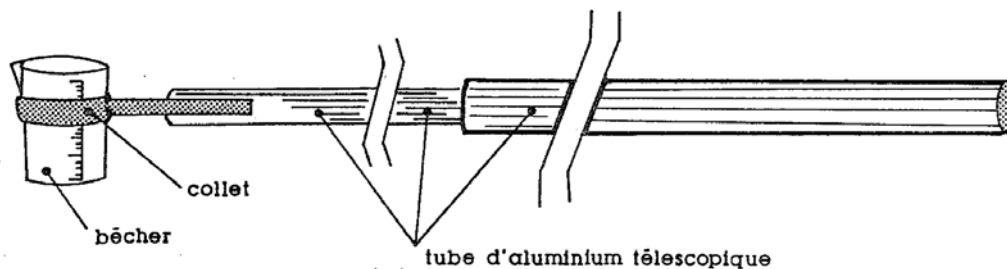
1. Déposer le contenant fermé dans le liquide jusqu'à la profondeur désirée.
2. Tirer sur la corde attachée au bouchon pour faire pénétrer le liquide dans la bouteille.
3. Remonter le contenant lorsque les bulles à la surface cessent.
4. Essuyer l'extérieur avec un linge propre et transférer l'échantillon dans un contenant approprié.
5. Décontaminer la bouteille selon les méthodes indiquées dans le cahier 1 - *Généralités*².

- **Tube télescopique**

Le tube télescopique^{8, 14}, illustré à la Figure 4 : Tube télescopique, est composé d'un collet d'attache relié à deux ou trois sections de tiges télescopiques en aluminium. Le collet sert à fixer un becher pour la prise de l'échantillon. Il est préférable que la grosseur du becher soit égale au volume à échantillonner pour éviter que plusieurs prélèvements au même endroit soient nécessaires. Par contre, un becher de dimension réduite permet le prélèvement en différents endroits et la préparation d'un échantillon composé. Ce type d'appareil ne sert, à toutes fins pratiques, que pour le prélèvement en surface. Même si l'on immerge le contenant en profondeur, il reste en grande partie rempli de la première section du liquide avec laquelle il a été mis en contact, à moins qu'il n'y ait des différences importantes de densité.

Cet outil est disponible chez les distributeurs d'équipements de laboratoire ou de sécurité. Il sert principalement à échantillonner des étangs, des lagunes, des fosses et des réservoirs.

Figure 4 : Tube télescopique



7.3.2. Équipements pour les matières solides

- **Échantillonneur à grain**

L'échantillonneur à grain^{8, 13, 14}, illustré à la Figure 5 : Échantillonneur à grain, est une sonde cylindrique munie d'ouvertures allongées qui se termine par une pointe effilée permettant de perforer des sacs de toutes sortes. Il est formé de deux tubes superposés dont l'extérieur sert de fermeture après une rotation de 180°.

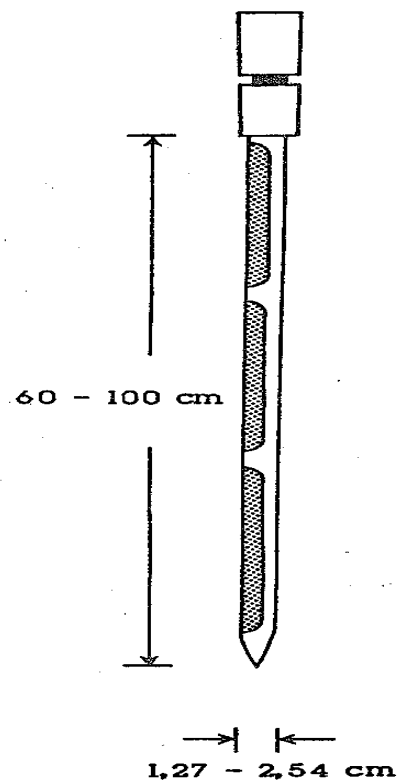
Il n'est pas recommandé d'échantillonner des résidus dont la granulométrie excède 6 mm. Les principales limites d'utilisation de cet échantillonneur sont :

- hétérogénéité de distribution au sein du lot échantillonné qui ne peut pas être évaluée, du moins à travers des sacs opaques;
- granulométrie non uniforme du solide échantillonné ou absence de relation entre la granulométrie et la composition.

MODE D'UTILISATION :

1. Insérer l'échantillonneur en position fermée dans le matériel.
2. Lorsque la profondeur désirée est atteinte, tourner le tube en position ouverte.
3. Fermer le tube et retirer le matériel.
4. Placer l'échantillonneur en position horizontale, les ouvertures dirigées vers le haut; retirer le tube extérieur.
5. Placer l'échantillon du tube intérieur dans un contenant approprié.
6. Répéter l'opération jusqu'à l'obtention de la quantité d'échantillon désirée.

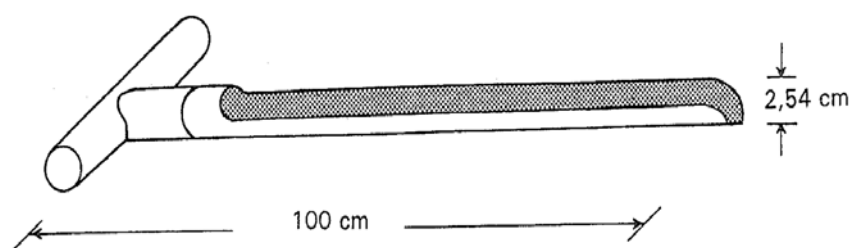
Figure 5 : Échantillonneur à grain



- **Tube d'échantillonnage**

Il s'agit d'un tube^{8, 13, 14} semi-ouvert, muni d'une poignée en T (Figure 6 : Tube d'échantillonnage). L'extrémité est aiguisée pour faciliter l'échantillonnage des poudres, des sables humides, des argiles ou des matériaux très visqueux comme les graisses. Son mode d'utilisation est simple et comparable à l'échantillonneur à grain. Par conséquent, les mêmes commentaires s'appliquent.

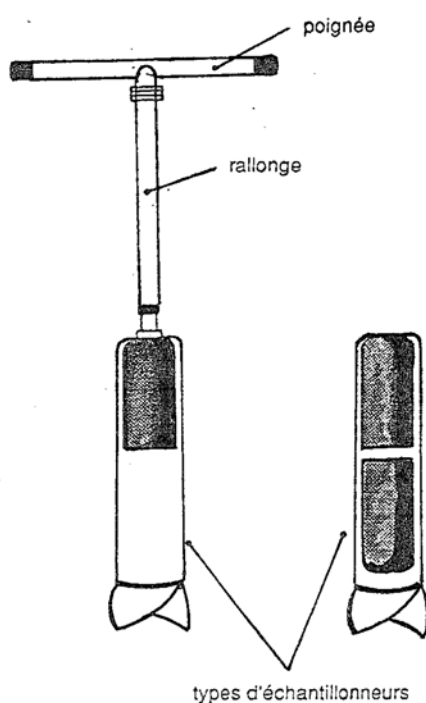
Figure 6 : Tube d'échantillonnage



- **Tarière**

La Figure 7 : Tarière présente un des nombreux modèles de tarière manuelle^{8, 13, 14} disponibles sur le marché. Le prélèvement d'un échantillon de résidu solide à l'aide d'une tarière s'effectue en enfonçant manuellement la tarière par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre à l'aide de la poignée en forme de T. Les tarières sont disponibles en différentes tailles et permettent l'échantillonnage de solides à une profondeur de quelques mètres. Ce modèle permet le prélèvement d'échantillons semblables à une carotte, ce qui permet d'éviter le mélange des couches et l'évaporation des composés volatils¹⁶.

Figure 7 : Tarière



- **Truelle**

Les truelles et les pelles servent principalement à échantillonner les solides en surface. Ils conviennent particulièrement bien pour l'échantillonnage ciblé ou l'échantillonnage selon le jugement. Ces outils doivent être en plastique ou en acier inoxydable et non en tôle galvanisée, car ce dernier matériau peut, par dégradation, contaminer l'échantillon principalement avec du zinc.

Dans le cas d'échantillonnage ciblé ou d'échantillonnage selon le jugement, il faut sélectionner un fragment distinct ou des portions égales de différentes fractions. Dans le cas d'un échantillonnage systématique, on doit effectuer des prélèvements à intervalle régulier.

- **Carottier à sédiment**

Dans le cas des lagunes, il peut être nécessaire d'utiliser des équipements dédiés à l'échantillonnage des sédiments pour prélever la partie solide ou boueuse. Il existe plusieurs modèles, dont les carottiers à piston ou les carottiers fonctionnant par gravité^{11, 17}. Dans ce dernier cas, un tube lesté s'enfonce dans la masse solide grâce à l'énergie cinétique acquise au cours de la descente en chute libre dans la phase liquide. Lors de la remontée, les échantillons sont retenus à l'intérieur du tube grâce à un vide partiel établi au-dessus de l'échantillon, ou encore par un dispositif de retenue situé à la base du carottier¹¹.

- **Nacelle, foreuse et pelle mécanique**

Les nacelles actionnées par des grues sont surtout utilisées dans le cas d'échantillonnage de lagunes ou de tas lorsque le site est difficilement accessible. Dans le cas de tas importants et relativement compacts, une tranchée d'exploration à l'aide d'une rétrocaveuse, d'une pelle mécanique ou d'une benne prenante permettra le prélèvement d'échantillons à même le fossé. Différents modèles de foreuses, décrits dans le cahier 5 - *Échantillonnage des sols*¹⁶, permettent l'échantillonnage en profondeur.

MISE EN GARDE :

Les équipements d'échantillonnage pour les matières dangereuses solides décrits dans la section précédente sont recommandés dans la plupart des volumes traitant de l'échantillonnage environnemental. Cependant, tous ces instruments présentent à des degrés divers des lacunes pour le prélèvement d'échantillons représentatifs. Par exemple, la pelle ou la truelle ne permettent pas une découpe régulière de l'échantillon; il est ainsi difficile de prélever deux échantillons identiques, puisque la hauteur et la surface échantillonnées sont variables.

La tarière provoque le mélange des matériaux et un effritement le long de la paroi, donc une découpe imparfaite, sauf dans le cas de matériaux fins et compacts comme l'argile. Des études pour établir la fiabilité de cet instrument ont été réalisées, entre autres par la Commission à l'énergie atomique américaine¹⁸, et ont démontré que cet appareil pouvait conduire à un échantillonnage biaisé. L'utilisation de ces instruments doit toujours se faire en gardant à l'esprit qu'ils peuvent être la source de biais.

Les outils d'échantillonnage pour les solides devront être améliorés pour permettre une découpe précise et une extraction efficace de la section dans laquelle ils sont enfoncés. Pour plusieurs applications, le carottier à sédiment représente un bon choix à la condition qu'il puisse découper convenablement une section de tas et extraire l'échantillon sans perte.

7.3.3. Les pompes

Il existe plusieurs types de pompes sur le marché³ mais la nature des substances échantillonnées limite considérablement le choix. Les composantes internes des pompes centrifugeuses, à piston et submersibles, viennent en contact avec les liquides échantillonnés. Ces modèles ne trouvent à peu près aucune application pour l'échantillonnage des matières dangereuses à cause des risques de détérioration des composantes internes et des difficultés de nettoyage et de décontamination. Par contre, les pompes péristaltiques et les pompes à air ne présentent pas ce type de problème.

- **Pompes à vide et pompes péristaltiques**

Ces pompes créent un vide partiel dans un tube à échantillonner. Ce vide exerce une pression négative sur le liquide, de façon à le forcer à monter dans le tube jusqu'à la sortie. Selon la viscosité et la densité du liquide à échantillonner, l'action de la pompe est limitée à certaines profondeurs¹⁹. Même si, théoriquement, il serait possible de pomper de l'eau jusqu'à une profondeur de 9,7 m, en réalité les mécanismes à succion ne fonctionnent qu'à une hauteur maximale de 7 à 8 mètres. Cette profondeur est réduite par une augmentation de la viscosité et de la densité du liquide.

La pompe à vide est en réalité une pompe à air utilisée pour créer un vide à l'intérieur d'un réservoir auquel est relié un tube d'échantillonnage. Le vide permet l'aspiration des liquides et aucune substance, outre les composés volatils, ne vient en contact avec les composantes internes de la pompe. Au besoin, plusieurs réservoirs peuvent être placés en série pour éliminer la possibilité qu'un trop-plein ne vienne endommager la pompe.

L'usage d'un barboteur permet de réduire ou d'éliminer les vapeurs émises sous l'effet du vide lorsqu'elles sont susceptibles de détériorer les composantes internes. Ce système de pompage à succion occasionne une évaporation des composés volatils. De plus, le débit d'aspiration d'un système rudimentaire est difficile à régulariser et il est préférable d'y adjoindre un mécanisme de contrôle du vide. Il est également possible d'utiliser une pompe péristaltique au lieu d'une pompe à air, ce qui réduit ces contraintes.

Dans une certaine mesure, les pompes péristaltiques fonctionnent de façon semblable aux pompes à air. La différence réside dans le fait que le fluide se déplace dans le tube sous l'effet d'une force péristaltique (mécanique). Un tube flexible (tube à échantillonner) entoure le périmètre de la chambre de succion. Des rouleaux rotatifs compressent le tube et créent un vide sous l'effet péristaltique. Ce mouvement induit une succion entre chaque rotation, forçant le liquide à monter dans le tube. Cette conception permet d'isoler l'échantillon de tout contact avec les éléments mécaniques de la pompe, évitant ainsi les risques de contamination. De plus, elle est autoamorçante, c'est-à-dire que l'effet péristaltique pompe l'air contenu dans le tube au début des opérations. Il n'est donc pas nécessaire de remplir le tube de liquide pour amorcer le pompage. Le changement du tube flexible élimine les étapes de nettoyage et de décontamination.

La pompe péristaltique est probablement l'outil le mieux adapté à l'échantillonnage de liquides à des fins de caractérisation environnementale. Un débit typique d'environ 1 à 2 litres par minute, obtenu avec un tuyau n° 17 (6,35 mm), est parfaitement adapté à la plupart des besoins en échantillonnage. Cette pompe fonctionne même lorsque la viscosité du liquide atteint 10 000 centipoises, c'est-à-dire la consistance d'une huile de type « bunker léger ».

Dans les cas où la profondeur est combinée avec une grande viscosité de la substance, il est toujours préférable de vérifier au préalable les possibilités d'utilisation. Normalement, le fabricant fournit des renseignements au sujet des conditions optimales et extrêmes d'utilisation de la pompe, de l'effet de la profondeur, etc. Des traités portant sur la mécanique des fluides ou sur l'utilisation des pompes présentent aussi ces renseignements²⁰. Cependant, au-delà d'un examen des considérations théoriques, il est toujours préférable de réaliser des essais car les interactions sont complexes. Par exemple, le débit des pompes rotatives est inférieur à la capacité nominale lorsque la viscosité est de l'ordre de 1 à 100 centipoises²⁰. Dans cet intervalle, une augmentation de la viscosité est donc accompagnée d'une augmentation du débit. Par contre, la résistance occasionnée par la tension superficielle du tube risque aussi d'augmenter, créant un accroissement de la différentielle entre la pression à l'entrée et la sortie. Les effets de ces phénomènes sont donc dirigés en sens contraire; le premier accroît le débit et le second le diminue.

La pompe péristaltique est disponible avec ou sans moteur. De plus, différentes dimensions de tubes permettent aussi de modifier le débit.

Outre la profondeur, une des rares restrictions relatives à l'usage de cette pompe s'avère la présence de particules abrasives ou coupantes qui abîment le tuyau au point de contact avec les rouleaux³.

- **Méthode par déplacement positif**

Cette méthode consiste à exercer une pression sur le liquide au moyen d'un gaz, d'un piston ou d'une membrane. Cette technique est applicable à de grandes profondeurs et les altérations chimiques occasionnées par l'ajout de pression sont plus faibles que celles qui résultent de la succion¹⁹. Toutefois, il est rare que l'on doive recourir à cette technique dans le cas de l'échantillonnage des matières dangereuses. Même si les méthodes par succion suscitent l'évaporation des composés volatils, le recours à une technique comme le Coliwasa élimine ce genre de problème.

- **Avantages des pompes**

La pompe convient tout aussi bien aux échantillonnages ciblé, systématique et représentatif. Elle remplace donc, au besoin, tous les équipements dédiés aux liquides. Un échantillonnage ciblé est réalisé en aspirant à un endroit donné. Le prélèvement de plusieurs échantillons à différents points permet d'effectuer un échantillonnage systématique. Enfin, en présence de zones hétérogènes, le déplacement du tuyau à partir du fond vers la surface (ou l'inverse), avec une vitesse faible et constante, permet de récupérer toutes les strates du résidu pour donner un échantillon représentatif.

Il faut cependant prendre garde à tous les facteurs qui affectent la différentielle de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe - principalement causée par les variations de hauteur - ainsi que les différences de viscosité et de densité entre les strates du liquide. Selon les caractéristiques de la pompe et du tube, le débit est plus ou moins affecté par ces facteurs. Un tube de Téflon® est susceptible d'atténuer l'effet de la viscosité en raison de la faible tension de surface de ce matériel. Une vérification de la constance du débit en différents points permet de déterminer expérimentalement la pertinence de cette méthode.

Pour remédier à ce problème, il suffit de prélever des échantillons constitués de volumes égaux de liquide à différents points d'échantillonnage. Une discussion plus complète est présentée à la section qui traite de l'échantillonnage des réservoirs.

7.3.4. Autres équipements

Dans certains cas, l'échantillonnage de substances de nature hétéroclite est nécessaire : bois, chiffons, carton, ciment, etc. Comme les situations possibles sont très variées, le choix des outils de prélèvement demande souvent de l'originalité.

Par exemple, l'utilisation de ciseaux, de pinces, de scies, etc. peut s'avérer nécessaire pour l'échantillonnage des composantes internes d'un transformateur. Il devient alors important de choisir des outils, aussi variés soient-ils, qui préservent l'intégrité des échantillons prélevés.

8. EXEMPLES DE STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE

8.1. Mise en garde

La section suivante présente des exemples de méthodologies de prélèvement. Ces cas ont été imaginés en réunissant quelques hypothèses de travail couramment proposées pour créer certaines mises en situation. Il est peu probable que toutes les suppositions d'un cas particulier soient mises intégralement et exclusivement en pratique et les méthodes doivent être réévaluées et adaptées pour répondre à une problématique donnée. Par conséquent, la diversité des situations entraîne que les orientations présentées dans ce cahier ne sont pas limitatives.

Les cahiers d'échantillonnage fournissent des indications générales qui doivent toujours être adaptées à l'esprit des lois et règlements en prenant en considération :

- la conjoncture et les risques environnementaux;
- les considérations techniques et scientifiques pertinentes à chaque situation.

En résumé, le cheminement suivant est suggéré :

- 1- Vérifier si le cas correspond à un de ceux abordés dans ce guide.
- 2- Déterminer, en regard de l'esprit de la réglementation, les meilleures stratégies techniques et scientifiques pour prélever des échantillons.
- 3- Proposer aux différents intervenants un plan d'échantillonnage original et adapté aux besoins.

8.2. Échantillonnage des barils

Le lieu d'entreposage est un élément important de la problématique de gestion de barils. L'existence de barils déformés peut indiquer la présence probable de substances à tension de vapeur élevée. Cet état résulte de la présence de liquides volatils ou provient de réactions chimiques qui génèrent des gaz. Dans ce cas, la prudence est de mise lors de l'ouverture; l'utilisation de moyens de protection individuels s'avère indispensable. De plus, la rouille est souvent à l'origine de perforations dans le cas de contenants métalliques, ce qui limite les possibilités de manutention.

En présence d'un grand nombre de barils, il est recommandé de vérifier le contenu, sinon de la totalité, à tout le moins de plusieurs, afin de déterminer s'il existe un ou plusieurs types de matières. En termes de statistique, cet énoncé consiste à déterminer s'il y a une ou plusieurs populations parmi l'ensemble des barils. Les barils présentant un contenu semblable sont regroupés ou identifiés au moyen, par exemple, d'un code de couleur. À ce stade, il est possible de procéder à une caractérisation préliminaire ou exhaustive.

8.2.1. Caractérisation préliminaire

Le terme caractérisation préliminaire ne signifie pas que l'on prélève n'importe quel échantillon de n'importe quelle façon. Il indique plutôt qu'un nombre restreint d'échantillons est retenu afin de limiter les coûts du prélèvement et de l'analyse. Ainsi, lorsque les équipements appropriés sont disponibles, le préleveur a tout intérêt à échantillonner le contenu de la façon la plus représentative possible et à noter la méthode utilisée de même que les contenants échantillonnés. Cette procédure permet de regrouper les résultats avec ceux d'une éventuelle caractérisation complémentaire. Les paragraphes suivants décrivent les techniques applicables dans le contexte d'une recherche de la concentration moyenne d'un contaminant.

8.2.2. Caractérisation exhaustive

Les prélèvements en provenance de barils présentant des caractéristiques semblables peuvent être combinés pour former un échantillon composé. Le prélèvement d'un seul échantillon représentatif permet de minimiser les coûts, mais empêche l'évaluation de la variation de la concentration des composés d'intérêt. L'utilité de ces données statistiques se manifeste si la concentration moyenne est au voisinage d'une valeur cible, ou lorsque le mode de gestion est très sensible aux fluctuations de composition. Le prélèvement de plusieurs sous-échantillons à même l'échantillon composé permet de calculer ces paramètres.

Chaque baril est échantillonné et analysé individuellement si leur contenu semble différent à un point tel que certains pourraient subir un mode de gestion distinct.

Dans un cas comme dans l'autre, des données préliminaires, provenant par exemple de l'analyse de matériaux d'apparence différente, facilitent la prise de décision.

8.2.3. Échantillonnage des liquides

Les liquides constitués de substances immiscibles présentent une hétérogénéité dans le plan vertical. Ils forment des phases distinctes qui se superposent en couches successives. Les matériaux les plus denses occupent les strates inférieures.

Les barils contenant des matières en suspension peuvent être homogénéisés par agitation mécanique, ce qui permet la prise d'un échantillon représentatif en utilisant un seul point de prélèvement. Un agitateur mécanique, constitué d'une hélice mue par un moteur, le brassage ou la rotation du baril avec des équipements spéciaux, permet le mélange de solides de granulométrie fine facilement homogénéisables.

Cependant, l'homogénéisation mécanique est souvent problématique. Le même résultat peut généralement être obtenu par le prélèvement d'une colonne de liquide, à l'aide d'un Coliwasa ou d'un tube de verre muni d'un bouchon. Toutefois, un léger dépôt de particules reste au fond du baril avec cette technique.

Les différentes phases peuvent être séparées au laboratoire si une caractérisation est requise sur chacune d'elles.

8.2.4. Échantillonnage des solides

Contrairement aux liquides, les solides présentent parfois une hétérogénéité suivant les deux axes. Toutefois, l'hétérogénéité dans le plan horizontal est presque toujours plus faible que celle dans le plan vertical en vertu même du mécanisme de remplissage des barils.

Supposons un baril qui recueille les résidus au point de chute d'un convoyeur. Même si les matériaux forment un cône au point de chute, il y aura plus ou moins uniformisation dans le plan horizontal car les particules se distribueront sur l'ensemble de la surface par culbutage. Une parfaite hétérogénéité dans le plan horizontal n'est possible que par l'insertion de cloisons et le remplissage des sections obtenues avec des matériaux différents.

Néanmoins, plusieurs prélèvements dans le plan vertical garantissent l'obtention d'un échantillon représentatif et permettent souvent de juger visuellement de l'homogénéité. Une autre possibilité, un peu moins rigoureuse au plan statistique, consiste à enfoncer l'outil de prélèvement suivant une diagonale du baril. Cette diagonale joint un point en surface à proximité de la circonférence à un point au fond diamétralement opposé; c'est-à-dire que les deux points sont déphasés de 180°.

Un contenu solide est échantillonné en utilisant les techniques et les équipements d'échantillonnage de sols de surface. Ainsi un échantillonneur à grain permet de prélever un solide friable ou de granulométrie fine, alors qu'un tube d'échantillonnage est enfoncé lorsque les matériaux sont plus grossiers¹⁶.

Il n'est pas recommandé de vider le contenu des barils afin d'éviter les multiples dangers liés à cette procédure. Si cette option est toutefois retenue, les concepts applicables à la manipulation des piles décrits dans ce cahier s'appliquent.

8.3. Échantillonnage des réservoirs

Les réservoirs assurent l'entreposage des liquides de toutes sortes. Même en présence de fortes quantités de matières en suspension, comme dans le cas des boues ou des pâtes, les liquides doivent posséder une viscosité telle qu'ils demeurent pompables, faute de quoi un réservoir deviendrait inutilisable. À tout le moins, son contenu ne pourrait plus être transféré.

8.3.1. Échantillonnage avec homogénéisation

En principe, le contenu des réservoirs est homogénéisable; cette caractéristique doit être mise à profit afin de prélever des échantillons les plus représentatifs possible. L'homogénéisation permet de maximiser la justesse de l'information analytique, tout en minimisant les coûts d'échantillonnage et d'analyse.

Avant de mettre cette technique en application, comme toute autre technique d'ailleurs, il faut d'abord vérifier si elle correspond aux besoins particuliers d'information et aux exigences réglementaires et scientifiques. Par exemple, doit-on homogénéiser un réservoir qui contient 10 % de matières en suspension qui, au repos, forment une boue à la base? Il existe plusieurs éléments de réponse à cette question.

D'abord, du point de vue technique, il n'y a aucune raison de ne pas le faire, puisqu'il sera toujours possible en laboratoire de filtrer ou décanter la fraction solide et d'effectuer des opérations analytiques sur chacune comme si elles avaient été prélevées séparément. De plus, l'homogénéisation permet de mesurer précisément la concentration de matières en suspension.

Par contre, il est aussi possible que la quantité de solides nécessaire pour faire les analyses soit suffisamment grande pour qu'il soit préférable d'extraire une portion de boue au préalable. Par conséquent, les besoins d'information et les contraintes réglementaires et scientifiques déterminent le choix d'une technique particulière.

Lorsque le liquide est présumé hétérogène mais homogénéisable, la technique de mélange consiste à forcer la recirculation du contenu du réservoir au moyen d'une pompe.

L'efficacité de cette méthode dépend de la configuration géométrique, de la forme du réservoir et des points de pompage et de chute du liquide. Par exemple, l'efficacité est réduite et même nulle si les points de pompage et de chute du liquide sont situés tous les deux à une même extrémité (du même côté) d'un réservoir. Dans ces conditions, il est fort probable que le mélange ne puisse se réaliser puisque le liquide situé à l'autre extrémité est peu sollicité à la circulation. Pour être efficaces, les points de chute et de pompage doivent être situés aux extrémités opposées du contenant. Il est aussi probable que des matériaux immiscibles ne soient pas vraiment mélangés. Ces derniers forment des gouttes immiscibles et une courte période d'homogénéisation donne naissance à des zones hétérogènes.

Le débit de pompage et le volume de liquide permettent de calculer la durée nécessaire pour assurer une recirculation du contenu, soit la durée pour un cycle de mélange.

$$\text{Durée} = \text{volume du liquide} / \text{débit de la pompe.}$$

Le nombre de cycles nécessaires pour assurer un mélange dépend de la nature et de la concentration relative des constituants. Ainsi, cinq ou six cycles peuvent suffire pour mélanger un liquide contenant 1 % de solides de granulométrie fine, alors qu'il en faut peut-être une vingtaine si la concentration de solide atteint 10 %. Une augmentation de la granulométrie et de la densité des particules réduit les possibilités d'homogénéisation par recirculation.

Une fois le mélange terminé, il suffit alors en principe de prélever un seul échantillon pour qu'il soit représentatif de la masse. Toutefois, la meilleure technique consiste à prélever un échantillon à même le conduit de recirculation durant le dernier cycle complet de mélange. Cette approche permet de limiter, et même d'éliminer, des erreurs causées par un mélange qui serait en réalité incomplet. L'échantillon peut être prélevé en continu pendant un cycle de recirculation si l'on peut ajuster le débit de l'orifice de prélèvement avec le volume requis. Dans le cas contraire, un volume plus grand que nécessaire est prélevé et sous-échantillonné, ou encore le prélèvement sera fait de façon intermittente, de préférence à intervalle de temps fixe. Le diamètre de l'orifice de prélèvement doit être suffisant pour qu'il ne puisse être la source d'une quelconque élimination de particules solides.

Le maillon faible de ce processus demeure l'hypothèse de l'homogénéité du réservoir. En principe, celle-ci peut être évaluée en prélevant plusieurs échantillons à différents moments, mais on ne peut presque jamais être sûr hors de tout doute que le mélange est parfait. Le point d'échantillonnage peut être tel qu'il se produise une ségrégation constante des phases; l'insertion de chicanes dans le conduit de recirculation peut alors limiter ce problème. Sous l'hypothèse de l'homogénéité, la variance des résultats de plusieurs analyses devrait correspondre à la variance des erreurs analytiques normalement trouvées pour un matériel donné.

8.3.2. Échantillonnage sans homogénéisation

8.3.2.1. Réservoir à fond plat et à parois verticales

La présence de deux phases immiscibles en quantité importante rend problématique leur mélange. L'échantillonnage d'une colonne de liquide représente souvent la meilleure possibilité. Un examen des aspects techniques est décrit dans les paragraphes suivants. Cette méthode s'applique uniquement aux réservoirs à fonds plats et à parois verticales.

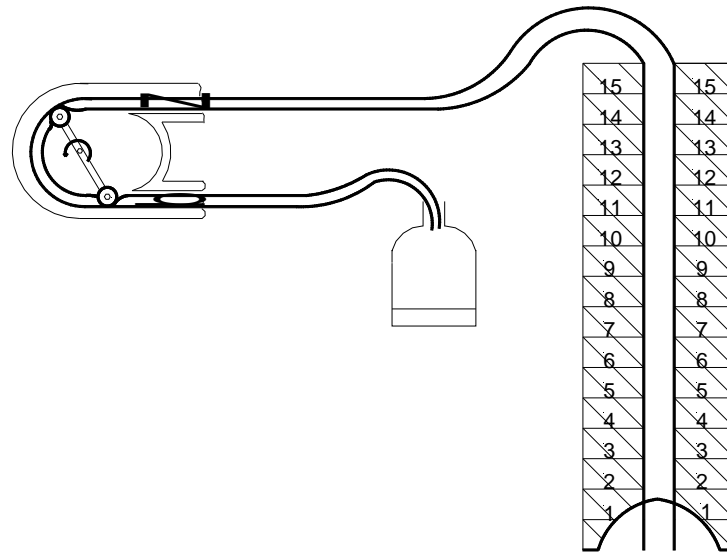
Un exemple typique est celui d'un réservoir où la moitié supérieure est remplie d'huile usée fortement contaminée en BPC, alors que la partie inférieure est constituée d'eau. L'homogénéisation risque d'être très difficile, voire impossible, alors que le prélèvement d'une colonne représentative est facilement réalisable. De plus, les BPC sont beaucoup plus solubles dans la phase huileuse que dans la phase aqueuse et un mélange imparfait conduit à un résultat imprécis puisque l'échantillon n'est pas représentatif de l'ensemble. Somme toute, l'homogénéisation entraîne alors une augmentation de la variabilité des résultats, ce qu'il faut éviter.

Lorsque la technique de recirculation devient risquée, le prélèvement d'une colonne représentative du liquide au moyen d'un Coliwasa ou d'un tube de verre est préférable. La longueur de l'instrument doit être suffisante pour prélever toute la hauteur du liquide. La manipulation de tubes de verre exige de la dextérité et les risques de bris augmentent avec la longueur. Lorsque l'emploi de cet équipement devient incertain, la pompe péristaltique constitue la meilleure solution de rechange.

La pompe permet l'échantillonnage d'un réservoir multiphasé contenant par exemple un dépôt boueux à la base d'une couche aqueuse et une couche de solvant organique. Le tube de prélèvement est attaché à un support dont l'extrémité est munie d'une échancrure à la base afin de ne pas gêner le mouvement du liquide, comme il est illustré à la Figure 8 : Pompe.

Figure 8 : Pompe

La hauteur totale du réservoir est mesurée et le support est gradué au moyen



d'un ruban adhésif pour indiquer les points de prélèvement. La distance entre les points est fonction de la variation potentielle de la concentration dans le plan vertical. Un nombre de points élevé accroît la représentativité du milieu. Si le réservoir est relativement homogène, un échantillonnage à tous les cinq ou dix centimètres est acceptable. Le nombre de points peut aussi être augmenté seulement dans les zones présentant de fortes variations de la composition. Par exemple, une région boueuse devenant de plus en plus limpide à mesure que s'accroît la distance à partir du fond doit faire l'objet d'un échantillonnage à des intervalles rapprochés. Lorsque la consistance du matériel est plus stable, la distance entre les points peut être augmentée.

Tous les renseignements concernant la position du tube dans le réservoir doivent être notés et les contenants identifiés de façon à relier leur contenu à un point donné. Chaque point de prise doit faire l'objet d'un échantillon distinct. La préparation d'un échantillon composé est faite à partir d'un volume égal de liquide lorsqu'il y a égalité de la distance entre les points de prise. Si la distance n'est pas égale, le volume de liquide doit être ajusté pour tenir compte de la section qu'il représente.

Par exemple, supposons que les points de prise sont situés aux 10 centimètres et que le fond du réservoir est échantillonné aux 2 centimètres pour les 10 premiers centimètres. Le mélange d'un volume égal des cinq premiers échantillons permet la préparation d'un échantillon représentatif de la hauteur 0-10 cm. Ce composé est utilisé pour préparer le composé final. Une autre méthode équivalente consiste à extraire, dans chacun des cinq premiers échantillons seulement, le cinquième du volume prélevé dans les autres.

Le contenu du tube doit être purgé à chaque changement de point. La durée de la purge doit être au moins égale au temps requis pour effectuer plus d'un changement du liquide dans le tube. Cette durée est estimée en divisant le volume du tube utilisé par le débit de la pompe. Dans le cas d'un liquide peu visqueux, un volume de purge d'une fois et demie à deux fois le volume du tube est suffisant. Dans le cas de liquide plus visqueux, un changement de trois à quatre fois le volume du tube doit être réalisé à cause de l'adhérence du liquide aux parois. Le liquide ainsi évacué est retourné au réservoir.

Un choix judicieux du diamètre du tube et de la vitesse de la pompe assure une durée convenable à l'échantillonnage. Le préleveur a la latitude de combiner directement les échantillons ou encore de les prélever dans des contenants distincts pour ensuite les mélanger dans des proportions convenables.

Une autre technique plus rapide permet la prise d'un seul échantillon représentatif. Cette technique consiste à déplacer à vitesse constante le tube et son support dans le plan vertical. Le tube vide est d'abord placé au premier point d'échantillonnage, soit immédiatement sous la surface du liquide ou au fond du réservoir. Dès l'instant où la pompe est actionnée, le tube est descendu (ou remonté) à vitesse constante. Le procédé de descente (ou de remontée) peut être répété jusqu'à l'obtention d'un volume satisfaisant, à la condition de ne pas s'arrêter en milieu de course. Le volume du tube, la vitesse de déplacement, le nombre de cycles et le débit de pompage sont ajustés à l'avance pour assurer la prise du volume requis en effectuant au moins une traversée complète de la hauteur du liquide. À la fin de la procédure, le contenu du tube est ajouté à l'échantillon puisque au point de départ le tube était vide.

Cette technique présente l'avantage de ne pas nécessiter le marquage du support et élimine les temps morts entre les points de prélèvement. Elle comporte cependant quelques limitations.

Le maintien d'une vitesse à peu près constante avec une opération manuelle requiert une certaine dextérité. Cette difficulté peut être amoindrie en utilisant une poulie munie d'une manivelle ou un dispositif mécanique actionné par un moteur. Un autre inconvénient vient de la variation du débit associée aux variations de la densité ou de la viscosité du liquide. Ces variables peuvent cependant être vérifiées au préalable en évaluant la constance du débit à différents endroits.

8.3.2.2. Réservoir à base circulaire ou elliptique

Dans le cas d'un réservoir circulaire ou elliptique, la relation entre la hauteur des sections et le volume que chacune représente n'est plus constante. Ainsi, les dix premiers centimètres au fond du réservoir ovale peuvent représenter seulement 10 ou 20 % du volume d'une autre section également de dix centimètres, mais située à mi-hauteur. Cet exemple confirme aussi que l'échantillonnage de ce type de réservoir avec un Coliwasa donne un échantillon qui n'est pas représentatif du contenu. Dans un tel réservoir, le facteur de proportionnalité entre la hauteur d'une section verticale et le volume de liquide que cette section représente change constamment selon la position de la section. L'erreur faite en assumant la constance de la relation entre les intervalles de hauteur et le volume que ces intervalles représentent croît avec le degré d'hétérogénéité. Il est important de noter qu'elle est nulle si le contenu du réservoir est homogène.

La technique de pompage utilisant un arrêt à chaque point s'applique, sauf que la préparation d'un échantillon représentatif requiert le mélange de volumes d'échantillons qui varient selon la position de la section. L'Annexe 1 - Détermination des points de prélèvement dans le cas de réservoirs circulaires ou elliptiques expose plus en détail les calculs requis pour contourner cette difficulté et un logiciel fourni dans ce cahier permet de déterminer les points d'échantillonnage et le facteur de proportionnalité entre les sections.

8.3.3. Liquide en écoulement dans un conduit fermé

Les liquides homogènes dans une canalisation sont échantillonnés au moyen d'une valve montée à même la conduite. En présence d'un écoulement gravitationnel, la valve est installée à la base.

Un liquide hétérogène doit faire l'objet d'un échantillonnage en plusieurs points au moyen d'une sonde. Les canalisations circulaires fermées sont généralement les plus utilisées et les volumes de liquides requis à chaque point sont calculés à l'aide du logiciel présenté à l'Annexe 1 - Détermination des points de prélèvement dans le cas de réservoirs circulaires ou elliptiques. L'installation de chicanes permet d'améliorer le mélange de liquides hétérogènes. Toutefois, des liquides immiscibles et des particules relativement grossières ou à densité élevée risquent de ne pas se mélanger.

De plus, l'efficacité des chicanes diminue avec la réduction de la vitesse de l'écoulement. Mais la vitesse peut à son tour être augmentée par une réduction de la dimension de la conduite. Enfin, l'homogénéisation d'un liquide exige une turbulence d'autant plus forte que la viscosité est élevée. En présence d'un débit faible, les difficultés d'homogénéisation peuvent être contournées par le prélèvement ponctuel d'une section complète du conduit en installant, par exemple, une trappe à la base du conduit.

8.4. Échantillonnage en tas

La plupart du temps, les rejets de procédés industriels ont une composition semblable sur une courte période de production. Cependant, leur composition sur une longue période peut présenter beaucoup de variations en raison des changements dans la composition des matières premières et des modifications du procédé de fabrication.

Les rejets en provenance de procédés qui utilisent des techniques de broyage et d'épuration de gaz, comme des cyclones ou des épurateurs électrostatiques, produisent des particules de granulométrie moyenne ou fine. Par contre, les rejets de produits finis ou semi-finis contiennent souvent simultanément des particules de granulométrie fine et grossière. On n'a qu'à penser aux minéraux qui ne présentent pas les caractéristiques souhaitées et aux accidents de production qui forcent le rejet de produits finis.

Il en va de même des résidus solides qui ont subi des traitements à haute température ou à haute pression. Ainsi, tout procédé métallurgique qui utilise la fusion ou l'électrolyse est susceptible de générer des résidus de granulométrie variable dont la composition peut être fortement hétérogène, du moins à l'échelle de l'analyse de laboratoire.

Pour l'échantillonnage des matières entreposées en tas, il est recommandé de prélever des échantillons composés. Le nombre minimal d'échantillons requis par volume de matières est le suivant :

Volume de matières (m³)	Nombre de sections dans le tas
Moins de 30	1
30 – 60	2
60 – 100	3
100 – 200	4
200 – 1000	4 + 1/100 m ³ au-delà de 200
1000 – 2000	12 + 1/250 m ³ au-delà de 1000
2000	16 + 1/1500 m ³ au-delà de 2000

Cette densité d'échantillonnage implique que le tas doit être considéré par section de 30 m³ (ou plus) en respect du tableau ci-dessus. Chaque section doit être échantillonnée à l'aide d'un composé de cinq sous-échantillons (la justification du nombre requis de sous-échantillons à mélanger est présentée ci-dessous). Toutefois, si une section du tas présente des indices d'hétérogénéité de contamination (ce qui correspond à des populations différentes d'un point de vue statistique), un échantillon composé devra être prélevé pour chacune de ces populations. La présence de différentes populations au sein d'une même section a pour conséquence d'augmenter le nombre d'échantillons à prélever.

Le terme « population » est défini comme étant une collection d'éléments possédant au moins une caractéristique commune et exclusive permettant de l'identifier et de la distinguer sans ambiguïté de toute autre⁹.

Dans le cas où il est impossible de respecter cette densité d'échantillonnage, ou lorsque les concentrations de contaminants sont présumées aux environs des normes ou des critères de décision et qu'alors une plus grande certitude est requise, il revient au responsable des matières de faire la preuve, par exemple par l'entremise de méthodes statistiques, que la densité d'échantillonnage qu'il propose est acceptable.

- **Nombre de sous-échantillons à mélanger**

Le nombre de 5 sous-échantillons proposé correspond à un coefficient de variation initial de la contamination de l'ordre de 200 %. Lorsque mélangés et homogénéisés, les 5 sous-échantillons conduiront à un coefficient de l'ordre de 90 % (coefficient de variation = $100(S/x)$ où S est l'écart type qui serait obtenu avec les résultats des 5 sous-échantillons sans mélange et x la moyenne des résultats).

Si le coefficient de variation de la contamination des matières analysées diffère de la valeur de 200 %, il revient au responsable des matières de proposer un nombre de sous-échantillons à partir du coefficient de variation jugé pertinent pour son cas.

- **Méthode d'échantillonnage – hétérogénéité verticale**

S'il est possible de séparer verticalement les matières dont la contamination est différente et donc d'identifier plus d'une population, il est nécessaire d'échantillonner chaque population individuellement à l'aide d'un composé.

En contrepartie, s'il n'est pas possible de séparer les matières dont la contamination est différente ou s'il n'y a pas d'indice d'hétérogénéité pour une même section, il faut mélanger les sous-échantillons selon l'axe vertical. Dans ce contexte, il faut utiliser un échantillonneur qui permet de prélever un échantillon vertical afin de couvrir toute la hauteur de la section. La représentativité de l'échantillon est alors maximisée. Cette représentativité est plus facile à obtenir lorsque le tas est carré ou rectangulaire que s'il est conique. Il est donc préférable de ne pas constituer de tas conique.

8.4.1. Échantillonnage de résidus constitués de matériaux

Très souvent, les tas constituent un type de problème où l'obtention de la valeur moyenne est très complexe et coûteuse en raison de la présence de matériaux de nature diverse.

Examinons quelle est la nécessité ou quelle est la conséquence de la perte d'une donnée précise quant à la valeur moyenne de la contamination. Une réponse à ces questions permettra ensuite de déterminer une technique de prélèvement adéquate.

Supposons un tas de résidus de cinq mètres de longueur par trois mètres de largeur et un mètre de hauteur qui a été accumulé au cours des cinq dernières années d'exploitation d'une petite entreprise de fabrication de teinture. Tous les déchets et les résidus de l'entreprise ont été stockés au même endroit. On y trouve toutes sortes de matériaux dont :

- du bois, environ 10 % en volume;
- des morceaux de béton (10 %) qui proviennent de la démolition d'un petit hangar;
- du papier à toiture, environ 5 %;

- des matières dangereuses solides (environ 30 %); celles-ci ont été déversées quotidiennement par l'entreprise;
- une couche de sol (45 %), située environ au milieu de la pile, qui provient de l'excavation réalisée pour la construction d'un bureau.

Un préleveur expérimenté se rend sur les lieux après avoir été informé de la composition du tas. Il identifie très facilement les matériaux issus du procédé de fabrication de teinture. Ces derniers ont différentes couleurs et sont repérables parmi la masse de matériaux présumés non contaminés. Il prélève quelques échantillons en prenant soin de classer les spécimens selon la couleur et de les placer dans des contenants distincts. Les résultats des analyses confirment la présence de matières organiques et, dans certains cas, on trouve aussi des métaux dans le lixiviat car des métaux dont la concentration dans le lixiviat est réglementée sont utilisés pour la fabrication de certaines couleurs de teinture.

Pour revenir à la question initiale, cet exemple démontre qu'il est parfaitement inutile d'établir un niveau moyen de contamination de la pile. Il est interdit de mélanger des matériaux contaminés avec des matériaux non contaminés dans le but de diluer les premiers. Par conséquent, la seule option laissée au préleveur dans ce cas-ci est d'effectuer un échantillonnage ciblé. Toute la pile est donc considérée comme matière dangereuse. Si l'entreprise désire séparer certaines sections qui ne semblent pas contaminées comme le bois, elle doit démontrer, après les avoir soustraites de la masse, qu'elles sont exemptes de contaminants. Encore là, le préleveur peut procéder à un échantillonnage ciblé.

Ce premier cas de distribution hétérogène démontre qu'il ne faut pas évaluer la concentration moyenne d'un contaminant dans une pile qui contient des matériaux contaminés dilués avec des matériaux non contaminés. La seule variable importante à évaluer est la concentration moyenne de la partie contaminée. En règle générale, la dispersion des matériaux (hétérogénéité de distribution) nécessite une approche ciblée.

8.4.2. Échantillonnage d'un mélange de résidus de plusieurs procédés

Ce cas est identique au premier puisque, par définition, l'ensemble de la masse est considéré a priori comme matière dangereuse si un seul des matériaux est jugé contaminé. Le préleveur utilisera un échantillonnage ciblé pour caractériser chacun des constituants du mélange lorsque ceux-ci sont plus ou moins mélangés et identifiables. Par contre, un faible niveau de mélange occasionne parfois l'apparition de strates et plusieurs échantillons du même type peuvent être réunis pour augmenter la précision du calcul de la moyenne de chacune. Ces stratégies ne sont évidemment possibles que si les matériaux sont relativement grossiers. Dans le cas de matériaux fins, il peut s'avérer très difficile, voire impossible, d'identifier les composantes du mélange. On considérera alors la pile comme étant un tout homogène.

8.4.3. Échantillonnage d'un résidu à granulométrie fine

Tel qu'il a été discuté en début de section, l'obtention d'un échantillon représentatif de ce type d'amas présente peu de difficultés. Toutefois, en présence d'un tas de plusieurs mètres cubes, l'homogénéité de la masse n'est pas certaine même si l'apparence en témoigne. Une approche aléatoire de type systématique s'avère indiquée pour réaliser cette démonstration. Après avoir au besoin effectué une manipulation de la pile pour la rendre géométriquement compatible avec l'usage de ce modèle aléatoire, une grille est dessinée en surface à la suite du choix aléatoire du premier point de prélèvement. Par la suite, des forages à l'intérieur de chaque maille de la grille (patron) permettront de recueillir des échantillons.

En l'absence de strates, le mélange de tous les échantillons et l'analyse subséquente assurent la détermination de la composition moyenne. Par contre, le mélange et l'analyse de chaque carotte permettent non seulement d'évaluer la composition moyenne de la pile mais aussi la variation dans le plan horizontal.

Un changement de la composition des matériaux dans le plan vertical est décelé au moyen d'un examen visuel des carottes. Si cet examen révèle la présence de strates, chaque carotte est subdivisée pour donner autant d'échantillons qu'il y a de strates. Les strates en provenance des autres forages pratiqués selon la grille sont combinées pour déterminer la composition moyenne des strates.

Par contre, une analyse individuelle de chaque échantillon stratifié permet d'évaluer la composition de tous les points sélectionnés selon les axes verticaux et horizontaux. Ce dernier mode de traitement est le plus exhaustif et aussi le plus dispendieux. Ce type d'évaluation est également possible en l'absence de strates. Il suffit alors de séparer les carottes en sections d'une longueur déterminée.

8.4.4. Échantillonnage d'un résidu avec une granulométrie variable

Les techniques décrites à l'exemple précédent peuvent être utilisées mais les résultats risquent de présenter une variation beaucoup plus grande que si le matériel est homogène. Toute tentative pour constituer un échantillon moyen conduit à un résultat non représentatif de la masse si la composition chimique des granulats grossiers et fins diffère, à moins de procéder à un broyage et d'analyser chacune des classes granulométriques.

8.4.5. Instruments d'échantillonnage

Les instruments doivent être adaptés à la dimension des piles et au type de prélèvement désiré. Ainsi, une pelle ou une truelle est utilisée pour réaliser des échantillonnages lorsque l'épaisseur de la pile est réduite. Lorsque l'amas est plus volumineux et que les matériaux sont de granulométrie moyenne, l'emploi d'une tarière ou d'un tube d'échantillonnage est recommandé. Pour des matériaux rigides ou lorsque les piles sont très volumineuses, une foreuse peut être nécessaire.

Le Cahier 5 - *Échantillonnage des sols*¹⁶ présente divers modèles d'instruments pouvant s'appliquer également aux matières solides. L'usage de la foreuse à tarière est particulièrement recommandable. Cet équipement peut fonctionner même dans des matériaux durs et compacts. En présence d'une pile compacte, il peut aussi être possible de creuser une tranchée avec une rétrocaveuse. Cette méthode permet de mettre davantage en évidence la stratification.

Le contenu des tubes est généralement mélangé afin de représenter la composition moyenne du secteur. L'échantillonnage ciblé est obtenu en prélevant, à même les tubes, des échantillons à des endroits précis ou encore en choisissant les parties qui ont une texture ou une couleur déterminée.

En l'absence de matériaux d'une granulométrie adéquate pour des analyses chimiques tels des blocs monolithiques relativement homogènes, on procédera au concassage de quelques agrégats. L'homogénéité de tels résidus peut être évaluée visuellement ou en examinant le procédé qui est à l'origine. Par exemple, des intrants finement broyés à l'entrée devraient produire des extraits homogènes. Des procédés entraînant une fusion ou une liquéfaction produisent un effet analogue. Dans le tas de blocs hétérogènes, en supposant que seulement la face externe est contaminée, il y a un risque de diluer cette fraction avec la fraction interne qui ne l'est pas. On peut alors couper l'agrégat avec des outils appropriés.

8.5. Échantillonnage des lagunes

Le cas des lagunes présente simultanément le problème de l'échantillonnage des liquides et des solides. Toutefois, en raison de l'utilité même d'une lagune, la granulométrie des solides qu'elle contient est presque nécessairement fine et la problématique associée à l'échantillonnage de matériaux grossiers est normalement absente.

Dans le contexte particulier de l'échantillonnage des matières dangereuses, il est préférable de distinguer différents types de lagunes et de les classer selon leur mode d'activité. On distingue notamment :

- la lagune de sédimentation rejetant un effluent épuré;
- la lagune de traitement; ce type de lagune peut fonctionner en circuit ouvert ou fermé, c'est-à-dire avec ou sans entrée et sortie de matériel en mode continu;
- la lagune de repos pour entreposer des liquides ou des boues en attendant de trouver un mode adéquat de gestion de son contenu;
- la lagune désaffectée qui est parfois recouverte de terre ou d'autres matériaux.

8.5.1. Lagune de sédimentation

Globalement, la lagune permet la sédimentation de particules solides présentes dans un effluent. Le principe de fonctionnement comporte une réduction de la vitesse de l'effluent pour permettre le dépôt des particules sous l'effet de la gravité. Selon ce concept, les solides issus de cette décantation sont nécessairement distribués de façon hétérogène. Les particules les plus denses se déposent en premier, ce qui donne naissance à une hétérogénéité potentielle dans le plan horizontal. Ce type de lagune demeure la plus problématique dans le contexte d'un échantillonnage représentatif.

Les lagunes qui fonctionnent en mode continu, c'est-à-dire avec l'entrée et la sortie permanente de liquide, constituent un système dynamique en ce sens que l'arrivée de l'effluent modifie continuellement l'équilibre dans les lagunes. Le contenu se trouve ainsi perturbé en continu par l'arrivée d'un effluent et la sortie d'un liquide assaini. Dans ces conditions, les résultats d'un échantillonnage contiennent deux éléments. Le premier est lié à la composition du liquide au repos et le second est lié à l'agitation causée par l'ajout de nouveaux matériaux. Ce type d'évaluation est nécessaire pour caractériser les paramètres de fonctionnement d'une lagune, comme la vitesse de sédimentation. Un exemple typique de l'échantillonnage d'une lagune de ce type est présenté dans un document de l'EPA²². Même si l'exploitant de ces systèmes doit évaluer les paramètres dynamiques afin de maintenir des conditions de fonctionnement optimales, une description de cette méthodologie n'est pas pertinente dans le contexte de ce cahier.

Un bassin de sédimentation sera donc caractérisé lorsque les phases aqueuses et solides sont au repos. L'objectif de la caractérisation est alors de déterminer si les phases aqueuses et sédimentaires appartiennent à une classe de matières dangereuses. Toutefois, l'échantillonnage en mode dynamique est toléré lorsque les volumes d'entrée et de sortie ont une incidence négligeable sur la composition des matériaux durant toute la période d'échantillonnage. Des faibles volumes d'entrée et de sortie par rapport au volume de la lagune favorisent cette éventualité.

8.5.2. Lagune de traitement

Les lagunes sont aussi utilisées pour traiter des effluents. Dans ces conditions, la lagune devient une sorte de réacteur dans lequel des réactions chimiques ou microbiologiques provoquent la dégradation de certains composés.

Il existe deux types de lagune de traitement. Le premier fonctionne en mode continu. Tout comme pour le bassin de sédimentation, ce type de lagune ne doit pas faire l'objet de prélèvement en cours d'activité. Le deuxième fonctionne par lot de matériel, donc en circuit fermé, et convient parfaitement à cette détermination une fois que le traitement est terminé, c'est-à-dire au moment où le matériel est susceptible d'être rejeté.

Contrairement au bassin de sédimentation, ce type de procédé favorise l'homogénéité du contenu. Une agitation du contenu assure le contact entre la boue et les substances actives, ce qui provoque nécessairement une homogénéisation des solides. Il est alors possible de caractériser la boue qui résulte du mélange lorsque l'équilibre entre les phases aqueuses et solides est atteint, c'est-à-dire lorsque la boue est homogène. Dans ce cas, l'analyse d'un seul échantillon est suffisante pour caractériser le contenu de la lagune. La statistique permet d'évaluer le degré d'homogénéité en procédant à l'analyse de plusieurs échantillons. Si le contenu d'une lagune est homogène, des échantillons de boues prélevés à différents endroits avec une bouteille lestée auront une même composition. Par conséquent, la variation entre les résultats de l'analyse de plusieurs échantillons ne devra pas excéder la variation normale reliée aux erreurs analytiques. La présence d'agitation mécanique ou aéromécanique est donc une caractéristique très importante qui facilite l'échantillonnage. Si l'agitation n'est pas suffisante pour assurer l'homogénéité du matériel, une augmentation graduelle de la concentration de matières en suspension vers le bas de la lagune est prévisible. Le prélèvement d'une section verticale de la boue avec une pompe péristaltique ou un tube de verre est une technique adéquate. Une ségrégation dans le plan horizontal est très peu probable, sauf en présence de sections peu agitées, donc peu sollicitées au mélange. L'échantillonnage peut aussi être réalisé après l'arrêt de l'agitation et la séparation des phases. Ce cas est semblable à la lagune de sédimentation au repos, excepté que l'hétérogénéité dans le plan horizontal n'existe pas à toutes fins pratiques.

8.5.3. Lagune de repos

Le troisième cas est celui d'une lagune de repos. Si le matériel est homogène, les techniques décrites pour la lagune de traitement sont appropriées; sinon, c'est-à-dire si le contenu est hétérogène, on doit effectuer la technique suivante.

Si l'on prend pour acquis que l'équilibre d'une lagune de repos est atteint, la phase aqueuse risque de ne pas être homogène dans le plan vertical. Dans une lagune, la présence de particules non décantables et de matière organique immiscible crée une hétérogénéité. Enfin, la composition de la phase aqueuse est aussi affectée par la température, qui modifie la solubilité des sels et les équilibres de l'échange du gaz carbonique avec l'air. De plus, des gradients de température sont souvent observés dans la colonne de liquide et créent de légères variations dans la composition chimique. Une hétérogénéité dans le plan horizontal est cependant moins probable, à moins que le dépôt immédiatement sous le liquide ait une composition très variable.

Le dépôt solide d'une lagune de sédimentation présente souvent une hétérogénéité selon les deux axes. Le dépôt graduel des solides sous l'effet de la gravité entraîne une hétérogénéité selon l'axe horizontal. De plus, toute variation dans le procédé, dans la composition des matières premières ou dans l'efficacité des dispositifs d'assainissement induit des changements temporels de la composition des rejets. Ces modifications se traduisent par des différences dans le plan vertical. L'échantillonnage stratifié est donc approprié²².

8.5.4. Lagune désaffectée

Le quatrième cas est caractérisé en utilisant les concepts décrits dans la section traitant de l'échantillonnage des tas. Au besoin, le matériel destiné à couvrir la lagune est excavé et le dépôt solide est échantillonné avec des instruments appropriés tels cuillère fendue, tube d'échantillonnage ou foreuse.

8.6. Sélection des équipements d'échantillonnage selon les milieux

Le Tableau 4 : Type d'échantillonnage requis selon les milieux échantillonnés constitue une sorte de résumé des concepts décrits dans ce cahier. On y trouve une liste d'appareils utilisables en fonction des caractéristiques du milieu, du mode de confinement et du type d'échantillonnage requis.

L'échantillonnage représentatif est recommandé lorsque la valeur moyenne de la concentration d'un contaminant est recherchée. Lorsque l'usage de la statistique est requis, on procédera à la prise de plusieurs échantillons représentatifs selon les techniques décrites dans l'ouvrage.

Tableau 4 : Type d'échantillonnage requis selon les milieux échantillonnés

Milieu	Type de contenant	Type d'échantillonnage				
		Échantillonnage aléatoire			Échantillonnage non aléatoire	
		Simple	Systématique	Stratifié	Représentatif	Ciblé
Liquide homogène	Baril et réservoir de formes variées	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe, échantillonneur Kemmerer	S. O.*	Pompe et Coliwasa	S. O.*
Liquide hétérogène	Baril et réservoir à fond plat et parois verticales	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe et Coliwasa	Tube télescopique, pompe, échantillonneur lesté
Liquide hétérogène	Baril et réservoir de formes variées	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe, échantillonneur Kemmerer	Pompe	Tube télescopique, pompe, échantillonneur lesté, etc.
Solide granulométrie fine**	Baril, tas	Tube	Tube	Tube	Tube	Pelle, truelle, tarière et tube
Solide granulométrie moyenne et grossière**	Baril, tas	Tube et foreuse	Tube et foreuse	Tube et foreuse	Tube et foreuse	Pelle, truelle, tarière, tube et foreuse

* Sans objet.

** Pour assurer la représentativité, le tube ou la foreuse doivent pouvoir extraire convenablement un échantillon. La coupe dans l'amas doit être nette; de cette façon, peu ou pas de matériaux qui ne sont pas dans la direction de la coupe seront inclus et, à l'inverse, peu ou pas de matériaux non représentatifs se trouveront dans la coupe. De plus, l'extraction doit être complète, c'est-à-dire que l'échantillon est extrait complètement jusqu'à la profondeur désirée.

9. ÉCHANTILLONNAGE DE SURFACES

Des matériaux d'usage courant peuvent devenir contaminés à la suite d'un contact avec des substances polluantes aéroportées. Ainsi, les bâtiments, les surfaces pavées de même que les équipements ou matériaux exposés à l'environnement risquent d'être contaminés par des poussières en suspension dans l'atmosphère. L'action contaminante de ces substances est susceptible de se manifester sous forme de dépôt et d'affecter non seulement l'extérieur des bâtiments et des équipements mais aussi l'intérieur par l'entremise des systèmes de ventilation.

De plus, les réservoirs, contenants, poutres, conduits ou autres équipements exposés à des matières dangereuses liquides ou solides peuvent être contaminés par des dépôts de surface et nécessiter un nettoyage avant leur réutilisation ou leur recyclage.

Il existe deux volets pour l'échantillonnage des surfaces lisses et non poreuses par la technique de frottis et l'échantillonnage des surfaces poreuses.

9.1. Échantillonnage des surfaces lisses et non poreuses

9.1.1. Principe et théorie

Généralement, les surfaces lisses et non poreuses sont échantillonnées par la technique de frottis. Il peut s'agir d'un objet ou d'une pièce métallique à nu.

L'aire de la surface à échantillonner doit être adaptée à la concentration de la substance à échantillonner. Ainsi, une aire accrue est sélectionnée devant la perspective d'un faible degré de contamination ou d'une limite de détection analytique élevée. La forme de la surface n'a pas d'importance (carré, rectangle, cercle) l'aire doit cependant être connue avec précision afin de permettre le calcul de la concentration par unité de surface. La dimension typique de la superficie couverte lors d'un échantillonnage varie respectivement entre 400 et 900 cm² pour des prélèvements destinés à l'analyse inorganique et organique.

La démarcation de la zone à l'étude peut être réalisée en traçant le périmètre au moyen d'instruments appropriés tels que règle, compas, etc. L'utilisation d'un gabarit est recommandée. Puisque la surface en contact avec le gabarit n'est pas échantillonnée, une assez grande latitude est laissée quant à la nature de ce dernier. Cependant, le matériel doit être assez résistant pour ne pas être affecté par de possibles contacts avec le tissu lors de l'échantillonnage des surfaces.

9.1.2. Matériel d'échantillonnage

Des gazes de coton, des bâtonnets ouatés ou des papiers filtres non contaminés servent au prélèvement. Le choix du matériel dépend de la dimension de la surface, de l'état physique du contaminant et de sa concentration. Ainsi, on utilisera de préférence des bâtonnets pour la caractérisation d'une petite surface et une gaze pour une superficie d'une certaine dimension contenant, par exemple, un résidu huileux qui nécessite un tissu ayant une bonne capacité d'absorption.

Les solvants les plus fréquemment utilisés sont l'eau purifiée et l'hexane, respectivement pour les composés de la chimie inorganique et organique. L'emploi de ces solvants est courant mais non limitatif, tel qu'il est élaboré ci-dessous.

Le port de gants est essentiel pour éviter que des produits contenus sur la peau ne soient ajoutés à l'échantillon et pour éliminer les risques liés à l'absorption cutanée de solvants ou de substances toxiques. Il existe plusieurs types de gants. Les fabricants possèdent des renseignements sur la résistance du produit aux composés chimiques. Après avoir choisi un type de gants particulier, il est recommandé de réaliser quelques essais en analysant le résidu d'un lavage du gant avec le solvant pour confirmer l'adéquation du matériel et l'absence de contaminants ou d'interférences. Les gants de nitrile et de néoprène résistent bien aux solvants universels recommandés dans ce document.

9.1.3. Choix du solvant

Le choix du solvant doit tenir compte à la fois des risques de dissolution de la surface du matériel et de la solubilité du contaminant. Dans certains cas, la composition de la surface doit être connue pour déterminer les possibilités d'altération et de contamination à la suite de la friction causée par un frottement et de la solubilisation causée par le solvant. Le choix du solvant est un élément important. Il existe deux solvants dont l'usage est considéré comme universel : l'eau pour les composés de la chimie inorganique, et l'hexane pour les composés de la chimie organique. Ni l'un ni l'autre ne possèdent de propriétés agressives de dissolution pour la vaste majorité des applications environnementales. Ils sont donc susceptibles de dissoudre lentement un grand nombre de polluants sans affecter la surface de façon significative. La friction causée par le passage d'un tissu contribue aussi à accroître l'adhérence de la poussière et il est rarement nécessaire de recourir à des solvants très agressifs à moins que les substances soient « adhérentes » à la paroi. Au besoin, plusieurs pièces de tissu sont utilisées.

En plus du caractère universel de l'eau et de l'hexane, le Tableau 5 énumère quelques autres possibilités.

Tableau 5 : Choix de solvants pour l'échantillonnage à l'aide de frottis

Paramètres	Solvants	Applications	Avantages/désavantages
Tous les composés inorganiques	Eau	Usage général	
Tous les composés organiques	Hexane	Usage général	
Tous les composés inorganiques	Acide nitrique ou acide chlorhydrique 5-10 %*	Surface inerte comme le verre	Pouvoir de dissolution plus grand que l'eau. Réagit avec les surfaces métalliques.
La majorité des composés organiques	Acétone**	Surfaces minérales non peintes. Efficace même en présence d'eau.	Dissout certains plastiques, affecte les peintures et les vernis.
La majorité des composés organiques	Dichlorométhane***	Surfaces minérales non peintes	Dissout certains plastiques, affecte les peintures et les vernis.

* Ces acides ont une activité limitée à la température ambiante et à une concentration de 5-10 %. Ils ne sont pas considérés comme très agressifs dans le contexte environnemental.

** L'eau est soluble dans l'acétone et il est préférable de consulter le laboratoire avant d'utiliser ce produit.

*** Le dichlorométhane est un solvant très agressif et peut solubiliser une grande quantité de substances qui créeront potentiellement des interférences ou affecteront la qualité des chromatogrammes. Ce solvant, le cas échéant, solubiliserait toute teinture ajoutée à la gaze. Il faut donc consulter le laboratoire avant d'utiliser ce produit.

9.1.4. Contrôle de la qualité

L'usage d'échantillons « blancs » revêt une grande importance dans le cas des surfaces en raison des possibilités de récupération partielle des contaminants et de la solubilisation des revêtements.

Niveau 1 : Vérification de la propreté du tissu utilisé

Chaque campagne d'échantillonnage de frottis doit être accompagnée de l'analyse d'un échantillon de tissu qui a été mis en contact avec le solvant utilisé pour démontrer l'aptitude de ce produit à être utilisé.

Niveau 2 : Vérification de la qualité des travaux

Cette étape est réalisée en analysant un échantillon qui a suivi les mêmes étapes à l'exception de l'échantillonnage lui-même. Ce « blanc » permet de déterminer si le milieu ambiant ou le solvant utilisé introduit des contaminations ou encore si les manipulations induisent des erreurs comme l'ajout d'impuretés reliées à des gants souillés.

Niveau 3 : Vérification de la totalité du recouvrement ou de la dissolution de la surface

Après l'échantillonnage du frottis, le préleveur peut également vérifier la validité de sa technique en procédant à un dernier échantillonnage. Cet échantillon sera analysé de façon distincte et permettra de vérifier les deux hypothèses précédentes. Il s'agit en outre d'une méthode très efficace pour évaluer le recouvrement. Dans le cas d'une récupération presque totale, le dernier lavage ne devrait contenir qu'un infime pourcentage de la quantité récupérée lors des premiers lavages. Cette remarque n'est cependant pas applicable en présence de surfaces perméables car les contaminants peuvent avoir migré vers l'intérieur. Dans ces conditions, des quantités faibles ou nulles ne confirment pas nécessairement une récupération totale.

Les risques de dissolution d'une partie de la surface peuvent être évalués en réalisant l'échantillonnage d'une surface reconnue propre lorsqu'un tel échantillon est disponible. Cette évaluation permettra, entre autres, de préciser le degré d'altération de la paroi, de la nécessité d'une restauration après l'échantillonnage et, éventuellement, de l'interférence potentielle des composés de dissolution envers les contaminants recherchés.

9.1.5. Technique d'échantillonnage

- Marquer la surface à échantillonner au moyen d'un outil approprié ou d'un gabarit.
- Essuyer la surface à l'aide du matériel choisi par des mouvements verticaux ou horizontaux en évitant de passer deux fois au même endroit. Utiliser des gants appropriés et imbiber le tissu avec le solvant afin d'éviter la formation de gouttelettes. Au besoin, utiliser un compte-gouttes pour ajouter le solvant. Plier le tissu lorsqu'il semble saturé par la contamination ou utiliser plusieurs tissus en notant la quantité approximative du solvant, surtout s'il est susceptible de contenir de petites quantités du ou des contaminants recherchés. Éviter le contact des gants avec les parties souillées du tissu afin de limiter les pertes de matériel.
- Transférer le tissu dans un contenant de verre ambré pour l'analyse des composés organiques, et dans un contenant de plastique ou de verre pour les composés inorganiques.

- Réaliser les deux premiers niveaux du contrôle de la qualité décrits à la section précédente. Lorsque le niveau 1 est acquis grâce à l'expérience antérieure, on peut effectuer seulement le niveau 2, puisque ce dernier inclut déjà le niveau 1. La réalisation du niveau 3 est optionnelle mais recommandée en l'absence d'expérience préalable concernant une surface et un contaminant donnés. Ce type de contrôle fournit des renseignements au préleveur désireux d'améliorer sa technique.

9.2. Échantillonnage des surfaces poreuses

9.2.1. Principe et théorie

Généralement, lorsqu'un objet tel que le bois, le béton, l'asphalte, les roches etc. présente une surface poreuse, il est probable que des contaminants l'aient pénétré. L'échantillonnage des surfaces poreuses consiste donc à prélever une partie de la surface de l'objet et à analyser son contenu total ou lixiviable selon les paramètres choisis pour la caractérisation.

9.2.2. Matériel d'échantillonnage

Les outils utilisés varient selon l'objet à échantillonner. Des échantillons d'asphalte ou de roche sont recueillis au moyen d'un marteau, au moyen de carottes de forage ou par scarification. Le bois et le béton sont échantillonnés au moyen de ciseaux ou d'un marteau. Une attention particulière doit être apportée à la sécurité du préleveur. La méthode choisie doit être simple et ne doit pas altérer les contaminants par dégagement de chaleur ou par diffusion de la matrice.

9.2.3. Contrôle de la qualité

Il faut s'assurer que les outils de prélèvement ne contaminent pas les échantillons. Avant de procéder à l'échantillonnage de la surface à évaluer, il est requis de prélever un échantillon témoin d'une surface non contaminée au moyen de l'équipement approprié. Ce même équipement doit ensuite être utilisé pour le prélèvement de la surface à évaluer.

9.2.4. Technique d'échantillonnage

- Déterminer la surface à échantillonner et choisir le matériel approprié.
- Prélever une partie de la surface dans le(s) premier(s) centimètre(s) avec un ciseau, un marteau ou tout autre instrument approprié selon la contamination observée puis en analyser le contenu total ou en lixiviation selon les paramètres.
- Transférer le matériel dans des contenants bien identifiés.

10. CONCLUSION

Ce cahier présente l'essentiel des principes qui doivent être assimilés pour parvenir à réaliser l'échantillonnage des matières dangereuses.

Les exemples illustrent les concepts applicables dans diverses circonstances. Toutefois, puisque chaque situation est unique, il n'est pas possible de présenter des modèles applicables de façon intégrale. Il appartient donc au préleveur, à partir de ces notions de base, de mettre au point un plan d'échantillonnage adapté à chaque conjoncture.

L'étape de la planification doit permettre de préciser les objectifs, le mode de confinement l'état physique du contaminant et de déterminer les paramètres analytiques requis. Par la suite, la stratégie d'intervention doit tenir compte du degré d'homogénéité du milieu, duquel dépendent l'approche d'échantillonnage et le choix des équipements. Cette étape est généralement précédée d'une évaluation ou d'une visite préliminaire qui permet d'établir les points majeurs de la problématique.

Les stratégies d'intervention sont fortement influencées par la démonstration de la présence d'un contaminant et la détermination de la valeur moyenne de ce dernier. Dans le premier cas, un échantillonnage ciblé représente souvent la meilleure stratégie. Par contre, la détermination de la valeur moyenne nécessite l'élaboration d'un mode d'intervention plus complexe. L'échantillonnage représentatif semble le plus approprié pour assurer la réalisation de cet objectif.

L'usage de la statistique s'avère un outil utile et parfois indispensable à la prise de décision. Ce cahier suggère pour chaque milieu une approche destinée à optimiser son usage, c'est-à-dire en minimisant la variabilité des échantillons.

Le préleveur doit de plus travailler en étroite collaboration avec le laboratoire afin d'obtenir une appréciation de la marge d'erreur de même que de la portée des résultats analytiques pour en arriver à une interprétation éclairée. Cette communication est davantage importante dans le cas des matières dangereuses en raison de la diversité des espèces chimiques, de l'hétérogénéité des milieux, des restrictions imposées lors de l'analyse et de la complexité des interactions possibles.

RÉFÉRENCES

1. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC. *Règlement sur les matières dangereuses (L.R.Q., c. Q-2, r. 15.2, 2008)*.
2. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1 – Généralités*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
3. SECRÉTARIAT D'ÉTAT AUPRÈS DU PREMIER MINISTRE. *Échantillonnage des déchets industriels*, Neuilly-sur-Seine Cedex, 1984, 208 p.
4. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 2 – Échantillonnage des rejets liquides*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
5. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 4 – Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
6. GILBERT, Richard O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1987, 320 p.
7. MARTEL, Jean-M. et Raymond NADEAU. *Statistique en gestion et en économie*, Montréal, Gaëtan Morin éditeur, 1988, 621 p.
8. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Waste Analysis, EPA Guidance Manual for Facilities that Generate, Treat, Store and Dispose of Hazardous Wastes*, Rockville, Government Institutes Inc., 1994, 186 p.
9. SCHERRER, Bruno. *Biostatistique*, Montréal, Gaëtan Morin éditeur, 1984, 850 p.

10. PARKHURST, David F. « Optimal Sampling Geometry for Hazardous Waste Sites » in *Environ. Sci. Technol.* , n° 18, 1984, p. 521-523.
11. CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). *Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés*, volume 1 « Rapport principal », Winnipeg, 1993, 90 p.
12. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Fascicule DR-09-01, Modes de conservation des échantillons relatifs à l'application du Règlement sur les matières dangereuses, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante
13. CHEREMISINOFF, Paul N. et Bruce T. MANGANIELLO. *Environmental Field Sampling Manual*, Pudvan Publishing Company, 135 p.
14. GRIECO, Patricia et Richard B. TRATTNER. *Sampling for Environmental Data Generation*, Matawan, SciTech Publishers Inc., 233 p.
15. ENVIRONNEMENT CANADA. *Échantillonnage pour la qualité de l'eau*, Ottawa, 1983, 65 p.
16. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 5 – Échantillonnage des sols*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
17. MUDROCH, Alena et Scott D. MACKNIGHT. *Handbook of Techniques for Aquatic Sediments*, Boca Raton, Floride, CRC Press, 1991, p. 29-89.
18. SHELLEY, W.J. et W.A. ZIEGLER. *Generation of quantitative data while sampling ores and concentrates, Symposium on nuclear material management*, Vienna, Communication SM67/36, 1967.
19. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.

20. KARASSIK, Igor J., William C. KRUTZSCH, Warren H. FRASER et Joseph P. MESSINA. *Pump Handbook*, New York, McGraw-Hill Inc., 1976, p. 70-99.
21. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 7 – Méthode de mesure du débit en conduit ouvert*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
22. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Test Method for Evaluating Solid Waste*, volume II a, SW846, 3rd edition, 1986, part III, chapter 9.

BIBLIOGRAPHIE

- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). *Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés*, volume 1 « Rapport principal », Winnipeg, 1993, 90 p.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). *Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés*, volume 2 « Sommaire des méthodes d'analyse », Winnipeg, 1993, 180 p.
- CHEREMISINOFF, Paul N. et Bruce T. MANGANIELLO. *Environmental Field Sampling Manual*, Pudvan Publishing Company, 135 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA. *Échantillonnage pour la qualité de l'eau*, Ottawa, 1983, 65 p.
- FÖRSTNER, U. and G.T.W. WITTMANN. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981, p. 121-131.
- GILBERT, Richard O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1987, 320 p.
- GRIECO, Patricia et Richard B. TRATTNER. *Sampling for Environmental Data Generation*, Matawan, SciTech Publishers Inc., 233 p.
- KARASSIK, Igor J., William C. KRUTZSCH, Warren H. FRASER et Joseph P. MESSINA. *Pump Handbook*, New York, Mc Graw-Hill Inc., 1976, p. 70-99.
- KEITH, Lawrence H. *Principles of Environmental Sampling*, American Chemical Society, 1988, 458 p.
- KEITH, Lawrence H. *Environmental Sampling and Analysis: A Practical Guide*, Chelsea, Lewis Publishers Inc., 1992, 143 p.

KEITH, Lawrence H. *Sampling and Analysis Methods*, Chelsea, Lewis Publishers Inc., 1992, 803 p.

LIPSKY, D. et al. *Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standard*, vol. 1, « Soils and Solid Media, U.S. Department of Commerce, 1993, 264 p.

MARTEL, Jean-M. et Raymond NADEAU. *Statistique en gestion et en économie*, Montréal, Gaëtan Morin éditeur, 1988, 621 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1 – Généralités*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 5 – Échantillonnage des sols*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 7 – Méthode de mesure du débit en conduit ouvert*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.

MUDROCH, Alena et Scott D. MACKNIGHT. *Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling*, CRC Press, Boca Raton, Floride, CRC Press, 1991, p. 29-89.

NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE. *Data Quality Objectives for Remedial Response Activities: Development Process*, U.S. Department of Commerce, 1993, 156 p.

NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE. *Data Quality Objectives for Remedial Response Activities: Development Process Example Scenario: RI/FS Activities at a Site with Contaminated Soils and Ground Water*, U.S. Department of Commerce, 1993, 287 p.

PARKHURST, David F. « Optimal Sampling Geometry for Hazardous Waste Sites » in *Environ. Sci. Technol.*, n° 18, 1984, p. 521-523.

RUPP, G.L. et R.R. JONES. *Characterizing Heterogeneous Wastes: Methods and Recommendations*, U.S. Department of Commerce, 1993, 144 p.

SECRETARIAT D'ÉTAT AUPRÈS DU PREMIER MINISTRE. *Échantillonnage des déchets industriels*, Neuilly-sur-Seine Cedex, 1984, 208 p.

SIMMONS, Milagros S. *Hazardous Waste Measurements*, Chelsea, Lewis Publishers Inc., 1991, 315 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Waste Analysis, EPA Guidance Manual for Facilities that Generate, Treat, Store and Dispose of Hazardous Wastes*, Rockville, Government Institutes Inc., 1994, 186 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidance for the Data Quality Objectives Process*, EPA QA/G4, Washington, United States Environmental Protection Agency Quality Assurance Management Staff, 1994, 68 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Test Method for Evaluating Solid Waste*, volume II a, SW846, 3rd edition, 1986, part III, chapter 9.

VAN EE, Jeffrey J., Louis J. Blume et Thomas H. Starks. *A Rationale for the Assessment of Errors in the Sampling of Soils*, U.S. Department of Commerce, juillet 1990, 66 p.

Annexe 1 - Détermination des points de prélèvement dans le cas de réservoirs circulaires ou elliptiques

Introduction

Les réservoirs ronds ou elliptiques installés en position horizontale, c'est-à-dire lorsque la section courbe est perpendiculaire au sol, doivent être échantillonnés en utilisant une technique spécifique afin de garantir la représentativité de l'échantillon. Cette technique requiert le partage du cylindre en sections d'égale hauteur et le calcul du volume de chacune. Ce volume est utilisé pour pondérer la quantité de liquide qui sera prélevée à chaque segment et qui servira à la préparation d'un échantillon composé.

Les calculs requis sont passablement laborieux mais un programme informatique élimine la tâche de les réaliser manuellement. Cette annexe décrit le fonctionnement de deux programmes conçus dans Excel version 5. Ces programmes sont applicables aux surfaces circulaires et elliptiques et permettent de déterminer la position des points d'échantillonnage selon deux méthodes :

- le volume de liquide à prélever à chaque point ;
- le temps de pompage à chaque point selon le mode d'échantillonnage choisi.

Les paragraphes suivants exposent le cheminement mathématique suivi pour établir ces paramètres et décrivent l'utilisation concrète du programme.

1. Variables

Ce modèle possède trois ou quatre variables « obligatoires » qui permettent de définir tous les paramètres nécessaires à l'échantillonnage de n'importe quel modèle de réservoir circulaire ou elliptique pour toute hauteur de liquide. Ces variables, qui sont placées dans les cases ombrées au début de la feuille de calcul, sont :

- le diamètre du réservoir ou la longueur des axes (2) dans le cas de l'ellipse;
- la hauteur du liquide dans le réservoir;
- le nombre de points d'échantillonnage désiré.

Ces variables déterminent la position du point d'échantillonnage et le volume du liquide présent entre chaque segment du cylindre. Elles doivent nécessairement être numérisées pour que le programme fonctionne correctement.

Le nombre de points d'échantillonnage maximal est fixé à 24, ce qui est suffisant pour des applications courantes. Toutefois, il pourrait facilement être augmenté en effectuant des manipulations élémentaires dans la feuille de calcul.

Un message d'erreur apparaît à la droite des cases « hauteur de liquide » et « nombre d'échantillons » lorsque la hauteur du liquide dans le réservoir est supérieure au diamètre (au petit axe dans le cas de l'ellipse) ou lorsque le nombre d'échantillons est supérieur à 24. Dans le cas du programme pour les réservoirs de forme elliptique, le même message apparaît lorsque la dimension du grand axe est inférieure à celle du petit axe.

Les calculs accessoires réalisés avec les variables facultatives facilitent l'utilisation pratique du modèle. Ces variables, pour lesquelles l'absence de valeur ne gêne pas les calculs, sont :

- le volume d'échantillons requis,
- la durée requise pour réaliser l'échantillonnage.

Ces deux données permettent de s'adapter aux contraintes du prélèvement qui sont, soit la détermination du volume d'échantillon à chaque point, soit, lorsque la pompe dispense un débit constant, la durée de pompage à chaque point.

Ce programme est conçu pour fonctionner avec des nombres purs, c'est-à-dire qu'il ne contient aucune formule pour convertir des unités de mesure. Par conséquent, si le centimètre est l'unité de mesure, les surfaces seront exprimées en cm^2 et les distances en cm. Il est donc nécessaire d'utiliser toujours la même unité de mesure pour les variables hauteur et diamètre. Un calcul erroné serait réalisé si, par exemple, le diamètre du cylindre était exprimé en mètres et la hauteur du liquide en centimètres.

Les unités des cellules « volume d'échantillons requis » et « durée requise » sont indépendantes des autres. On peut très bien utiliser des mètres pour les deux premières variables obligatoires et des millilitres pour le volume d'échantillon. À moins de modifier le nombre de chiffres significatifs dans le tableau des résultats, on trouvera pratique d'utiliser des millilitres comme unité de mesure du volume d'échantillons et des minutes pour la durée de l'échantillonnage. Des volumes de 500 ou de 1000 ml sont couramment requis, et l'ordre de grandeur de la durée d'un échantillonnage est la minute.

2. Conception mathématique pour un réservoir de section circulaire

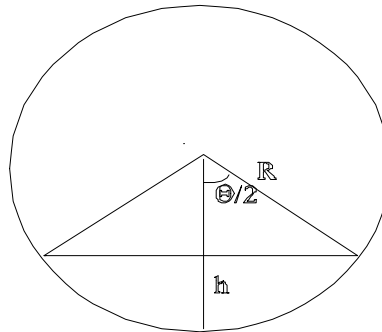
Il existe plusieurs méthodes pour estimer la surface sous une corde inscrite dans un cercle, tel qu'illustré à la figure 1. Ce programme utilise les deux équations suivantes :

$$S = \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta) \quad (1)$$

où θ est exprimé en radian et égal à

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{(R-h)}{R}$$

Figure 1



Cette autre équation équivalente élimine le calcul de la valeur de l'angle θ

$$S = R^2 \cos^{-1} \frac{R-h}{R} - (R-h) \sqrt{2Rh - h^2} \quad (2)$$

Pour illustrer la méthode de calcul, utilisons un exemple dont les résultats sont reproduits aux tableaux 1 et 2, et illustrés à la figure 2. Il s'agit d'un réservoir de 100 cm de diamètre et de 300 cm de longueur. Les liquides étant par définition homogènes dans le plan horizontal, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la longueur pour établir les points d'échantillonnage et tous les calculs sont effectués dans un univers à deux dimensions, donc sur une surface de section circulaire.

Dans un premier temps, le cylindre, représenté par une surface circulaire, est divisé de façon imaginaire par des cordes. Toutes les cordes sont situées à égale distance les unes des autres et sont tracées à partir de la base jusqu'au niveau atteint par le liquide dans le réservoir. Les trois premières cordes et la dernière sont illustrées à la figure 2.

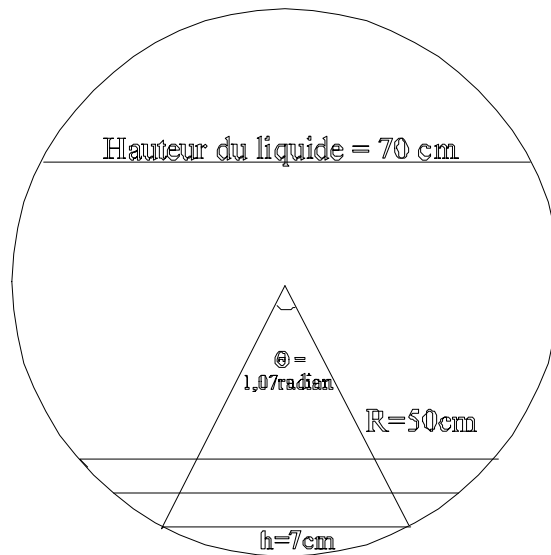
Le calcul de la position des cordes est facilement réalisé en divisant la hauteur du liquide par le nombre de points d'échantillonnage requis, ce qui permet de fixer la position de la première corde. Des multiples entiers de cette dimension déterminent la position de toutes les autres cordes. Ce processus est répété jusqu'à ce que la dernière corde atteigne exactement la hauteur du liquide.

L'angle soutenu par chacune des cordes est évalué par trigonométrie. La longueur de la droite issue du centre et perpendiculaire à la corde est égale au rayon moins la distance h déterminée à l'étape précédente. La valeur de l'angle, qui sous-tend la première corde, est donnée par :

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{(R - h)}{R}$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{(50 - 7)}{50} = 1,07 \text{ radian.}$$

Figure 2



Une fois la valeur de l'angle établie, la surface est obtenue au moyen de l'équation 1, soit :

$$S = \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta)$$

Soulignons que ce processus permet de calculer la surface totale sous chacune des cordes. Par conséquent, pour obtenir l'aire entre la première et la deuxième corde, il faut effectuer une opération de soustraction. La surface sous la deuxième corde moins la surface sous la première donne l'aire entre les deux cordes, et ainsi de suite. Les surfaces ainsi obtenues sont 242, 427, 531, etc. (tableau 1).

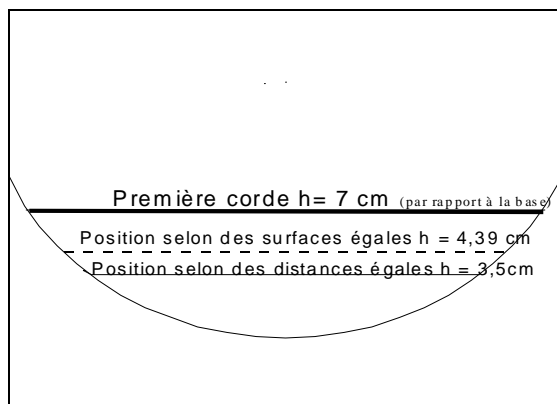
Cette valeur permet de pondérer le volume qui sera prélevé dans chaque section. En effet, le quotient de la surface entre chacune des cordes par la surface totale couverte jusqu'à la hauteur du liquide constitue une mesure de la contribution de chacune des surfaces. Pour les trois premières surfaces, les pourcentages sont respectivement 4,1, 7,3 et 9,0.

2.1 Détermination du point de prélèvement

Il existe deux approches pour estimer la position du point d'échantillonnage entre deux cordes. La première consiste simplement à le localiser à mi-chemin en effectuant simplement la moyenne des deux distances ou en ajoutant $h/2$ à chaque corde. Cette méthode est satisfaisante pour un bon nombre d'applications. Toutefois, pour être rigoureux, le point exact devrait se situer à un endroit où les surfaces supérieures et inférieures sont égales.

Ce concept est illustré à la figure 3, où est représentée la surface sous la première corde. Il est alors assez facile de visualiser qu'une ligne qui viendrait diviser l'aire de cet arc de cercle en deux parties égales passera plus près de la corde que de la base du cercle. La partie inférieure est très affectée par la courbure du cercle alors que la partie supérieure l'est beaucoup moins. La position de la première corde, selon une moyenne des distances, est de 3,5 alors qu'elle est de 4,39 selon le concept des surfaces égales, ce qui représente une différence substantielle.

Figure 3



Ce point est préférable au premier, car il se situe à l'intersection de surfaces égales entre chaque corde et, par conséquent, à l'intersection de volumes égaux lorsqu'on ajoute la dimension de la longueur du réservoir.

On remarque que dans la moitié inférieure du cercle, le point obtenu par des surfaces égales est légèrement au-dessus du point obtenu par l'autre méthode. L'écart entre les positions diminue à mesure que l'on s'approche du centre, où il devient nul. Par la suite, la différence croît de nouveau, sauf que le point obtenu avec les surfaces égales est maintenant en dessous de l'autre point.

L'écart entre la position des points croît avec une augmentation du diamètre du réservoir et une diminution du nombre de points de prélèvement. Il s'agit d'un détail qui peut avoir une certaine importance, surtout si le nombre de points de prélèvement est restreint.

Lorsque le nombre de points de prélèvement est relativement grand, ce raffinement perd de l'intérêt puisque les points qui sont les plus affectés sont précisément ceux pour lesquels la contribution au volume total est la plus faible. De plus, il devient plus ou moins nécessaire de considérer cette astuce lorsque la précision des instruments de mesure, qui permettent de positionner le tube à l'endroit désiré, est inférieure à la différence générée par les deux méthodes de calcul. Il faut aussi considérer d'autres sources d'erreur, comme la précision de la mesure du diamètre du cercle, l'imperfection géométrique de la structure circulaire, la présence de résidus solides à la base, etc.

2.1.1 Calcul de la position des points selon le concept des surfaces égales

Les surfaces médianes entre deux cordes sont obtenues en additionnant à la surface totale, sous une corde quelconque, la moitié de la surface sous la corde qui lui est supérieure. L'équation 2 est alors utilisée pour calculer la hauteur h de cette nouvelle corde. Toutefois, puisqu'il n'est pas possible d'isoler h dans cette équation, le calcul est réalisé par itération.

Ce calcul n'est pas automatique et requiert une intervention humaine.

Opération du logiciel

Les cellules programmées de la feuille de calcul sont toutes interreliées. Les seules cellules qui nécessitent une intervention sont, à part les variables, les cellules situées sous les colonnes L et M dans le tableau 2. Chaque fois que les variables obligatoires sont modifiées, toutes les cellules incluant celles de la colonne K, intitulée « Surface cumulative entre les cordes », sont automatiquement mises à jour. Les deux colonnes suivantes doivent être numérisées à l'aide d'un calcul par itération, accompli par la fonction « Valeur cible » du menu « Outil ».

La procédure suivante est utilisée :

- 1) Positionner le curseur dans la case L15.
- 2) Avec la souris, ouvrir le menu « Outil » et sélectionner « Valeur cible ». Il apparaît alors une boîte de dialogue qui contient trois cases.
- 3) Si la cellule L15 a été sélectionnée au départ, la case « Cellule à définir » affiche : L_{15} . Si une autre cellule est active avant d'ouvrir la boîte, taper L_{15} , ou simplement sélectionner L15. Cette cellule contient l'équation 2.
- 4) Avec la souris, positionner le curseur dans la case « Valeur à atteindre » et taper la valeur de la case K15, soit 121.
- 5) Avec la souris, activer la case « Cellule à modifier » et cliquer sur M15 ou taper M_{15} . Cette cellule contient le paramètre h, qui est l'inconnu de l'équation 3.

Pour effectuer les calculs, appuyer sur « Retour » ou cliquer sur « OK ». Différentes valeurs sont affichées dans les cases L15 et M15, jusqu'à ce qu'un nombre voisin de 121 soit trouvé. La boîte de dialogue affiche un « État de la recherche »; cliquer sur « OK ». La procédure est répétée avec les cases L16 et M16 et la valeur contenue dans la case K16, etc.

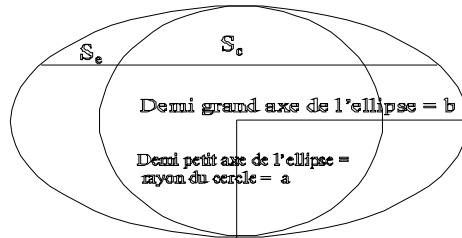
Les valeurs de la hauteur (h) demeureront inscrites dans les cellules de la colonne M jusqu'à une prochaine mise à jour manuelle. Toutefois, une modification du diamètre du réservoir entraîne un changement de la valeur de la surface sous la colonne K (surface à définir). Le nouveau rayon du cercle est alors utilisé avec la valeur de hauteur (h) de la colonne K provenant de la précédente mise à jour pour calculer une nouvelle surface. Lorsque les valeurs des « surfaces exactes » sous la colonne J sont semblables à celles des « surfaces à définir » de la colonne K, il n'est pas nécessaire de recalculer les hauteurs. Des changements de la hauteur du liquide ou du nombre de points d'échantillonnage qui ont une incidence directe sur h n'affectent en rien les colonnes K et M, ce qui requiert une mise à jour manuelle.

L'impression des tableaux 1 et 2 s'effectue en activant la fonction « imprimer » du menu « Fichier ».

3. Conception mathématique pour un réservoir de section elliptique

Les étapes de calculs pour des surfaces elliptiques sont très semblables à celles des surfaces circulaires en vertu de la similarité entre les propriétés de l'ellipse et du cercle. Un exemple est fourni aux tableaux 3 et 4. La figure 4 et les équations 3 à 5 démontrent cette similarité.

Figure 4



Cette similarité est résumée par les équations suivantes :

$$\frac{\text{Aire } S_e \text{ sous la corde de l'ellipse}}{\text{Aire totale de l'ellipse}} = \frac{\text{Aire } S_c \text{ sous la corde du cercle}}{\text{Aire totale du cercle}} \quad (3)$$

En substituant les équations propres à chaque terme, on obtient :

$$\frac{\text{Aire } S_e}{\pi ab} = \frac{\frac{1}{2} a^2 (\theta - \sin \theta)}{\pi a^2} \quad (4)$$

et après simplification :

$$\text{Aire } S_e = \frac{1}{2} ab (\theta - \sin \theta) \quad (5)$$

L'angle θ est toujours évalué à partir du cercle de rayon a .

Par conséquent, il est possible de passer de l'aire sous la corde du cercle à l'aire sous la corde de l'ellipse en multipliant la surface sous la corde du cercle par b/a et par a/b pour faire l'opération inverse. Le programme utilise donc les équations 1 et 2 pour réaliser les calculs de la surface circulaire et le facteur approprié pour passer du cercle à l'ellipse ou de l'ellipse au cercle.

L'équation 3 a une incidence très importante au niveau des solutions issues du programme, soit la quantité de liquide à prélever à chaque point (ou la durée) et la position du point d'échantillonnage selon l'approche des surfaces égales.

Rappelons que la quantité d'échantillons à chaque point est établie à partir du rapport de la surface entre chaque corde à la surface totale couverte par la hauteur de liquide. Ce quotient est donc un nombre pur. Par conséquent, que les valeurs de surfaces soient établies avec a^2 dans le cas du cercle ou ab dans le cas de l'ellipse n'a aucune importance. Ce ratio demeure inchangé si le rayon du cercle est égal au demi petit diamètre de l'ellipse, peu importe la valeur du grand diamètre.

La même remarque s'applique pour le point d'échantillonnage établi à partir de surfaces égales. Ce point est identique pour l'ellipse ou le cercle, en autant que les autres paramètres demeurent inchangés.

Le programme traitant des surfaces circulaires peut donc être utilisé pour déterminer les paramètres d'échantillonnage des réservoirs elliptiques en utilisant le petit axe comme diamètre du réservoir. Tous les paramètres utilisés pour préparer un échantillonnage seront exacts. Cependant, toutes les données touchant les calculs des surfaces seront sous-estimées d'un facteur b/a .

*Ministère du
Développement durable,
de l'Environnement
et des Parcs*

Québec 