

**MANUEL D'EVALUATION
DES EFFETS SOCIO-ECONOMIQUES DES
CATASTROPHES NATURELLES**

Troisième Partie

INFRASTRUCTURE

TABLE DES MATIÈRES

	Page
I. EAU POTABLE ET ÉGOUTS	127
A. DOMMAGES DIRECTS LES PLUS PROBABLES SELON LE TYPE DE CATASTROPHE	127
1. Tremblements de terre	128
2. Inondations	137
3. Éruptions volcaniques	140
4. Tempêtes de vent	141
5. Sécheresses	142
B. MÉTHODE D'ÉVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS	144
1. Inventaire des dommages	144
2. Prix unitaires et coûts globaux	148
3. Fonctions de coûts approximatives	149
4. Exemples d'évaluation des dommages directs	150
C. DOMMAGES INDIRECTS	153
1. Définitions et aspects généraux	153
2. Principaux dommages indirects subis par les réseaux d'approvisionnement en eau potable	154
3. Hausse des coûts d'exploitation	156
4. Évaluation des autres coûts d'exploitation en situation d'urgence	160
5. Manque à gagner imputable à la réduction des services facturés et aux fuites d'eau	166
6. Dommages indirects aux réseaux d'égouts sanitaires et pluviaux	170
D. EFFETS SECONDAIRES	172
1. Effets sur le produit intérieur brut	172
2. Investissements bruts	173
3. Balance des paiements	175
4. Finances publiques	177
5. Prix et inflation	178
6. Effets possibles sur l'emploi	179

II.	TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS	183
A.	INTRODUCTION	183
B.	RAPPORT ENTRE LE TYPE DE CATASTROPHE ET LES DOMMAGES SURVENUS	183
C.	QUANTIFICATION DES DOMMAGES DIRECTS	184
	1. Dommages à l'infrastructure	184
	2. Évaluation des dommages subis par les véhicules et le matériel	187
	3. Périodes de réhabilitation et de reconstruction	189
	4. Évaluation de la composante importée	190
D.	DOMMAGES INDIRECTS	192
	1. Inventaire des dommages indirects	192
	2. Représentation de la méthode d'évaluation des dommages indirects	192
	3. Méthodologie et sources	193
	4. Évaluation des volumes de circulation	196
E.	EFFETS SECONDAIRES	196
F.	EXEMPLE DE CALCUL	197
	1. Brève description du cas	197
	2. Données du problème	198
	3. Valeur du transport par camion sans tremblement de terre	199
	4. Valeur du transport par le système mixte après le tremblement de terre	199
	5. Élasticité de la demande	200
	6. Évaluation des pertes quotidiennes	201
	7. Composante importée de la hausse des coûts de transport	202
III.	ÉNERGIE	209
A.	ASPECTS CONCEPTUELS ET MÉTHODOLOGIQUES	209
B.	SECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ	211
	1. Dommages directs	211
	2. Dommages indirects	214
	3. Composante importée et ventilation des coûts	216
C.	SECTEUR PÉTROLIER	217
	1. Dommages directs	217
	2. Dommages indirects	219
	3. Ventilation des dommages directs et indirects	220
	ANNEXE : VENTILATION DES COÛTS DE CERTAINES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES EN AMÉRIQUE LATINE	221

Ce chapitre traite des effets des catastrophes naturelles sur l'infrastructure au sens large, c'est-à-dire les équipements qui permettent de dispenser les services essentiels adduction d'eau potable et égouts, transports et communications, approvisionnement en énergie

I. EAU POTABLE ET ÉGOUTS

Cette partie débute par la description des types de dommages qui peuvent être causés aux réseaux d'eau potable et d'égouts par les différentes catastrophes naturelles. On définit ensuite les effets directs de ces événements, avant de présenter la méthodologie employée pour évaluer les coûts. La même procédure est suivie pour les effets indirects et la section se termine par la description des dommages secondaires.

A. DOMMAGES DIRECTS LES PLUS PROBABLES SELON LE TYPE DE CATASTROPHE

Les effets des catastrophes varient en fonction des caractéristiques du milieu touché ainsi que du mode de manifestation particulier du phénomène naturel en question. Il est par conséquent difficile de prévoir toutes les formes de dommages éventuels. Néanmoins, une idée générale des effets les plus probables dans chaque cas facilitera leur localisation et leur identification.

Les dégâts occasionnés ne dépendent pas uniquement de la catastrophe mais aussi de la « capacité de résistance aux dommages », caractéristique propre à chaque installation. Il en résulte que les phénomènes d'ampleur et de forme identiques peuvent avoir des effets très différents.

Cette résistance est liée fondamentalement à trois facteurs : la qualité de la conception technique, la qualité de la construction (y compris la technologie : équipements et matériaux utilisés) et la qualité des opérations d'exploitation et de maintenance.

Par exemple, un aménagement raccordé à une seule source ou installation d'adduction d'eau est beaucoup plus vulnérable qu'un complexe alimenté à partir de plusieurs points, car il est possible, dans ce dernier cas, d'assurer au moins un approvisionnement partiel en eau potable, réduisant ainsi les problèmes d'hygiène et rendant inutile la construction d'ouvrages d'urgence.

Une construction de qualité offre une très bonne résistance physique, à la fois en situation normale et advenant une catastrophe naturelle, ce qui permet de limiter l'ampleur des dégâts.

La plupart des éléments qui composent les réseaux d'égouts et d'eau potable doivent être exploités de manière adéquate et entretenus systématiquement afin d'accroître leur résistance aux dommages et de faciliter les réparations à la suite d'une catastrophe. Cela

exige une organisation efficace, avec des ateliers, des pièces de rechange et des plans des réseaux, lesquels peuvent contribuer à reconnaître, évaluer et réparer plus rapidement et à moindre coût les dommages survenus

1. Tremblements de terre

a. Effets généraux des tremblements de terre

Selon leur intensité, les tremblements de terre peuvent produire des failles au niveau du sol et du sous-sol, des affaissements et des glissements de terrain, des éboulements et des coulées de boue¹, ils peuvent également rendre les sols saturés plus meubles (en raison des vibrations), ce qui réduit la force portante du terrain au niveau des fondations et des substructures. Cet ensemble de phénomènes, combinés aux ondulations du sol, sont susceptibles de détruire ou d'endommager directement n'importe quelle partie des réseaux d'adduction d'eau ou des réseaux d'égouts sanitaires ou pluviaux situés dans la zone touchée par le séisme².

L'ampleur et les caractéristiques des dommages varient généralement selon les facteurs suivants

- i. l'intensité du tremblement de terre et son étendue géographique;
- ii la conception antisismique des ouvrages, la qualité de leur construction, la technologie employée, leur maintenance et leur état au moment de la catastrophe;
- iii. la qualité du terrain d'implantation des installations et de la zone adjacente. Il peut arriver que l'ouvrage en soi résiste au séisme, mais que des glissements de terrain dans les environs causent des dégâts par un effet en chaîne. On assiste au même phénomène lorsque, à la suite de la destruction d'un barrage, l'eau libérée endommage d'autres structures du secteur.

La majorité de ces ouvrages, notamment les canalisations d'eau potable et les réseaux d'égouts sanitaires et pluviaux, ne sont généralement pas apparents car ils sont construits sous le niveau du sol puis recouverts. Lors d'un tremblement de terre, ces structures réagissent différemment des bâtiments et des ouvrages érigés en surface.

b. Ouvrages en surface

Il s'agit d'installations dont la plus grande partie est apparente et dont les dommages peuvent être évalués pratiquement dès la fin du séisme. Le tremblement de terre agit

¹ Les fortes pluies peuvent également causer des éboulements, des glissements de terrain et des coulées de boue

² On trouvera plus loin la liste des types de dommages pouvant être infligés aux différentes parties de ces réseaux.

sur ces structures en fonction de l'inertie (plus la masse de l'ouvrage est grande, plus l'effet est important); la résistance de l'installation dépend de la relation entre la rigidité et la masse. Dans le cas des canalisations enfouies, ce sont les déformations du terrain produites par le phénomène tellurique qui jouent un rôle déterminant, plutôt que la masse.

- i. **Bâtiments, entrepôts, habitations et hangars à machines.** Les bâtiments administratifs, les entrepôts, les habitations des techniciens, gardiens et ouvriers et les divers types de hangars à machines ou d'usines ont tendance à se comporter comme les constructions comparables situées dans d'autres secteurs; on évalue donc les dommages causés selon les mêmes critères. Les dégâts subis par les machines, les équipements et le matériel entreposé sont estimés séparément.
- ii. **Réservoirs.** Comme la masse du volume d'eau stockée peut être très importante, les contraintes exercées par le séisme sont également prononcées. Si les réservoirs sont élevés, ils risquent par ailleurs de résonner sous l'effet des vibrations causées par le tremblement de terre. La tendance des ouvrages élevés à vibrer lorsque le sol subit des secousses atteint un maximum quand les constructions reposent sur des couches épaisses de sédiments non consolidés³. Outre les effets de la secousse tellurique sur la structure des réservoirs, les oscillations et les vagues qui se forment dans l'eau emmagasinée peuvent également provoquer des dégâts, en particulier lorsqu'il n'y a pas de plaques d'amortissement à l'intérieur.

Selon la qualité de la conception, de la construction et de la maintenance des réservoirs, d'une part, et selon l'intensité du séisme et le type de réaction du sol, d'autre part, les dommages subis peuvent être mineurs à très graves; les réservoirs risquent de s'effondrer ou de basculer et l'eau stockée peut se déverser et causer des dégâts additionnels plus ou moins importants, en fonction de son volume.

Réservoirs semi-enfouis Les réservoirs semi-enfouis⁴, généralement construits en pierres sèches, béton, béton armé ou autres matériaux, peuvent subir les dégâts suivants :

- i. fissures au niveau des parois, du fond, du toit ou des joints ainsi qu'au niveau des points d'arrivée et de sortie des canalisations. Ces lézardes sont parfois faciles à réparer mais peuvent aussi nécessiter la reconstruction totale de l'ouvrage.
- ii. effondrement partiel du toit, des piliers intérieurs ou d'une partie des parois ou du fond, les réparations allant de travaux d'ampleur moyenne à la reconstruction totale.
- iii. écroulement ou effondrement de l'ouvrage.

³ Prevención y mitigación de desastres. Vol. 8, Aspectos de Saneamiento, UNDRO, 1982.

⁴ Entrent dans cette catégorie les réservoirs de régulation et de stockage municipaux.

Réservoirs élevés. Les réservoirs élevés⁵ de taille moyenne ou grande sont généralement en acier ou en béton armé

Les réservoirs soutenus par des structures d'acier dotées de grosses entretoises en diagonale résistent bien aux tremblements de terre; le point le plus vulnérable se situe à l'endroit où les tubes (qui forment la structure portante) pénètrent dans le sol⁶. Toutefois, les dégâts suivants peuvent survenir selon la conception, la construction et la maintenance des réservoirs d'acier, l'intensité de la secousse sismique et la réaction du terrain :

- i. dommages légers, par exemple rupture des entretoises diagonales, lesquelles peuvent être réparées ou remplacées rapidement;
- ii. dommages mineurs à très graves dans la structure portante ou dans la cuve (renfermant l'eau), surtout susceptibles de survenir au niveau du raccordement avec la structure portante ou de l'arrivée et de la sortie des canalisations d'eau;
- iii. écoulement ou effondrement de l'ouvrage

L'examen et le diagnostic des dégâts doivent être effectués par un spécialiste des structures d'acier qui déterminera, en cas de dommages importants, s'il est possible et opportun de réparer le réservoir ou s'il serait préférable de le reconstruire totalement.

Selon le document de l'UNDRO ⁷ cité plus haut, les réservoirs élevés en béton armé résistent moins bien que les ouvrages en acier et les précautions à prendre dans la construction sont moins claires. Une structure en béton armé dissimule souvent beaucoup mieux les conséquences des tremblements de terre qu'une installation en acier. C'est pourquoi il est nécessaire de faire examiner et diagnostiquer par un spécialiste tous les dommages plus importants que les pertes superficielles de stuc, afin d'éviter que de simples fissures apparentes ne se transforment, lors du séisme suivant, en un problème grave.

Un tremblement de terre peut produire les effets suivants .

- i. perte superficielle de stuc facile à réparer, même s'il peut être nécessaire d'employer un échafaudage;
- ii. dommages aux canalisations d'arrivée ou d'évacuation du réservoir ou à des éléments apposés comme les échelles d'accès, qui peuvent être réparés par des travaux peu à moyennement importants, si la structure du réservoir n'a pas souffert;

⁵ Entrent dans cette catégorie les réservoirs de régulation et de stockage municipaux.

⁶ Voir la note 21

⁷ Voir la note 21.

- iii. fissures dans la structure portante ou dans la cuve pouvant survenir, par exemple, dans les zones de chevauchement d'un nombre excessif d'armatures de fer, aux endroits où les conduites pénètrent dans les parois de béton, à la jonction entre la cuve et la structure portante ou à la base de cette dernière;
- iv. écoulement ou inclinaison du réservoir en raison de failles dans les fondations, généralement très graves,
- v. croulement ou effondrement de l'ouvrage

Petits réservoirs élevés. Il s'agit d'ouvrages de stockage d'eau destinés à des habitations isolées, à de petits groupes d'habitations, à des écoles, à de petites entreprises, etc. Leur construction varie fortement : structures portantes en bois ou en profilés métalliques, béton armé, etc.

La cuve est en tôle ondulée ou lisse, en amiante-ciment, en fibre de verre, en béton armé, etc.

Les réservoirs en tôle ondulée s'effondrent fréquemment lors des tremblements de terre, mais tout indique que la mauvaise maintenance est davantage en cause que l'instabilité de l'ouvrage

Les petits réservoirs élevés peuvent subir des dommages au niveau de la structure portante ou de la cuve, qui vont de dégâts légers et faciles à réparer à l'effondrement de l'ouvrage ou à la nécessité de remplacer la cuve. Dans le cas des structures en bois, il est possible de récupérer une partie des matériaux. C'est également possible avec les structures métalliques (sauf les pièces rouillées).

- iii. **Barrages et retenues d'eau** Il ne sera question ici que des barrages et des retenues d'eau servant à l'approvisionnement en eau potable, ce qui exclut les aménagements à usages multiples.

Une secousse sismique importante peut occasionner, par déplacement horizontal, de fortes vagues et faire déborder l'eau au-dessus du barrage. Ce danger est encore plus grand quand des éboulements ou des glissements de terrain à l'intérieur de la retenue provoquent une sorte de raz-de-marée intérieur.

La rupture d'un barrage peut avoir des conséquences catastrophiques et imprévisibles en raison des grands volumes d'eau libérés. Nous n'étudierons ici que les dommages subis par le barrage lui-même, ainsi que les coûts de réparation, sans tenir compte des effets dans d'autres secteurs

Barrages en enrochement. Ces ouvrages sont plus souples que les constructions en béton et plus résistants que les digues en terre, mais le béton ou l'argile souvent employé pour les imperméabiliser peut se fendre lors d'un tremblement de terre et laisser passer l'eau. Les dommages possibles sont les suivants : i) fissures ou fuites

mineures; ii) fissures ou fuites de moyenne ou grande importance; iii) éboulements dans la retenue, iv) écroulement ou effondrement du barrage.

Barrages en terre Ces structures peuvent être endommagées lors d'un tremblement de terre en raison de failles dans les fondations, de fissures intérieures, du glissement de la terre qui forme les digues ou d'un débordement attribuable aux vagues dans la retenue d'eau ou d'éboulements dans le mur de retenue. Les dégâts possibles sont les suivants : i) dommages mineurs qui, s'ils comprennent des infiltrations, doivent être réparés rapidement afin d'éviter l'accroissement des fuites sous l'effet de l'érosion; ii) dommages de moyenne ou grande importance; iii) accumulation de débris d'éboulement qui pourraient nécessiter un dragage, iv) écroulement ou effondrement du barrage

Barrages en béton Ces ouvrages peuvent se fissurer ou présenter des failles dans les fondations. Par ailleurs, comme avec les autres barrages, des vagues peuvent se former et provoquer un débordement. Les effets possibles sont les suivants : i) fissures ou fuites mineures devant être réparées rapidement; ii) dommages de moyenne à grande importance pouvant nécessiter la vidange de la retenue (avec perte de l'eau stockée); iii) accumulation de débris d'éboulement; iv) écroulement ou effondrement du barrage

iv Considérations relatives à l'évaluation des dégâts

- Les dommages subis par les ouvrages associés aux barrages (canaux, canalisations, stations de pompage, etc. le cas échéant), doivent être évalués séparément, en utilisant les indicateurs ou prix unitaires correspondant à chaque structure.
- On doit suivre le même principe pour les routes d'accès, clôtures, lignes électriques, logements des gardiens, etc. qui peuvent faire partie des installations générales dont le barrage ou la retenue d'eau est l'ouvrage central⁸
- On peut évaluer les dégâts causés au barrage proprement dit par deux méthodes :
- estimation en pourcentage (p %) de la valeur totale de la construction du barrage;
- estimation globale de chacun des principaux travaux.

c. **Ouvrages souterrains ou enfouis**

Il sera question ici des ouvrages aménagés sous la terre, à savoir :

- toutes les catégories de canalisations et de conduites d'eau potable, d'égouts sanitaires et pluviaux, y compris les réseaux de distribution, les chambres, les soupapes et les installations résidentielles;

⁸ Cela vaut également pour les ouvrages de captage et diverses autres installations

- les ouvrages de captage des eaux souterraines comme les puits, les canaux de drainage, les galeries

Ces ouvrages sont très différents des structures en surface, étant pour une bonne part invisibles. Il est donc impossible d'apprécier directement la plupart des effets directs. L'établissement des dommages est en général plus lent et plus difficile. Par exemple, à la suite du tremblement de terre de Mexico⁹ les dégâts majeurs causés aux canalisations d'eau potable étaient réparés quinze jours après la catastrophe, mais les travaux moins importants n'ont été terminés qu'au bout de quelques mois. Les réparations aux réseaux d'égouts sanitaires et pluviaux ont été encore plus complexes et plus lentes.

Les tremblements de terre agissent sur les constructions en surface par les forces d'inertie, par contre, les structures enfouies, comme les canalisations, suivent les mouvements du sol, ce qui produit des déformations potentiellement dommageables. Dans les pays industrialisés, les tuyaux sont traditionnellement constitués de matériaux rigides capables de résister à l'érosion causée par l'eau (intérieure) ou par les éléments chimiques présents dans la terre (extérieure), mais non aux séismes, vu la faible probabilité de ces phénomènes. Du fait de la forte dépendance technologique vis-à-vis de ces pays, nous avons été amenés à employer ces matériaux dans nos régions à haut risque de tremblement de terre. Les secousses sismiques endommagent par conséquent les canalisations et les raccords rigides. Cela signifie que l'on peut s'attendre à des dégâts légers dans le cas des tuyaux plus souples (par exemple en PVC ou en acier soudé) et à des effets prononcés sur les installations en mortier comprimé, en béton, en fonte et en amiante-ciment, en particulier si les raccords sont rigides.

1. **Effet des types de sol sur les dommages** Dans les zones de remblai et les sols meubles, les séismes peuvent produire des crevasses qui à leur tour sont susceptibles de rompre les canalisations enfouies. On a également observé des bris de conduites dans les zones de transition des sols de même que dans les zones de changement de densité des remblais naturels

L'ameublissement du sol est l'une des conséquences les plus dangereuses des tremblements de terre car il réduit la capacité portante des fondations. Une grande partie des dégâts subis par les canalisations dans les plaines inondables ou les terrains sablonneux saturés d'eau est attribuable à l'ameublissement de la terre occasionné par les vibrations du séisme. Au Japon, une zone de sable saturé est devenue pratiquement liquide suite à un tremblement de terre. Les tuyaux et les chambres « flottaient », ce qui a gravement endommagé les installations.

Par ailleurs, il convient de souligner que les tuyaux de grand diamètre enfouis à une faible profondeur sont plus fragiles que les conduites de petit diamètre. En effet, ils résistent moins bien aux ondes de Rayleigh, produites par les secousses sismiques,

⁹ Voir CEPALC, Daños causados por el movimiento telúrico en México y sus repercusiones sobre la economía del país., octobre 1985.

qui se déplacent à la surface du sol comme des vagues, mais de manière moins prononcée.

Un autre risque pour les canalisations d'eau et d'égouts provient de leur emplacement à proximité de bâtiments pouvant s'écrouler. La rupture des conduites qui entrent ou sortent d'un immeuble peut avoir des effets sur le réseau public auquel elles sont raccordées.

ii. **Utilité des cartes de risques sismiques établies en fonction du type de terrain.** Étant donné la difficulté de localiser les dommages sur les canalisations en place, il est recommandé d'étudier les cartes de risques sismiques des zones touchées par le tremblement de terre (si elles ont été établies). Les risques de dommages sont beaucoup plus élevés dans les zones très vulnérables, à savoir :

- Les zones constituées de couches profondes de terre meuble, de sable et de gravier sédimentaire, les marécages et les remblais (sous-sol qui n'amortit pas les vibrations aussi bien que la roche dure);
- Les zones renfermant des couches de sable meuble saturé d'eau et d'autres couches de terre inconsistante susceptible de s'ameublir,
- Les zones dont les strates rocheuses comportent des failles; les canalisations qui traversent ces failles peuvent subir des dégâts.

iii. **Suggestions pour localiser les dommages subis par les canalisations**

Canalisations d'eau potable. Des fuites sont généralement apparentes près des tronçons ou des raccords cassés, mais il est nécessaire de creuser et d'extraire les tuyaux si l'on veut déterminer l'ampleur et l'étendue des dégâts en vue d'effectuer les réparations (habituellement urgentes). Il est toutefois possible que la grande perméabilité du sol ou la faible pression de l'eau empêche de découvrir les canalisations cassées, mais celles-ci pourront être localisées plus tard, après la remise en service du réseau. Voici les indices qui peuvent permettre de localiser ultérieurement les dommages :

- ii. Nouveaux affleurements d'eau, mis en évidence par l'augmentation de la pression dans le réseau après la réparation des dégâts détectés précédemment;
- iii. Absence d'eau ou pression anormalement basse dans certains quartiers, en raison des dommages subis par les canalisations, qui doivent être localisés et réparés,
- iv. Détection de fuites. Cela peut être très long, surtout si l'on ne dispose pas de l'équipement et de l'expérience requises à l'échelon local. D'autre part, il peut être difficile de déterminer si les fuites ont été provoquées par le tremblement de terre ou sont antérieures à celui-ci,

- v. Utilisation de débitmètres au niveau des canalisations d'amenée ou du réseau, quand on détient ce genre d'appareil et quand il est possible de les placer aux endroits voulus, afin de localiser d'autres fuites.

Conduites d'égouts sanitaires. Quand elles sont cassées, des affleurements peuvent apparaître à la surface du sol. Il est nécessaire d'exposer les tuyaux afin de déterminer l'ampleur des dégâts et d'effectuer les réparations. Toutefois, étant donné que ce réseau fonctionne normalement par gravité, sans pression, les fuites peuvent être moins visibles que suite au bris des canalisations d'eau potable, où la pression facilite la localisation des affleurements. Par ailleurs, l'existence de chambres d'inspection aide à estimer visuellement le débit, ce qui permet d'identifier les tronçons qui fuient (en comparant le débit d'une chambre à l'autre) et de révéler la présence d'obstructions à l'intérieur des conduites (en comparant les niveaux d'eaux usées dans les chambres voisines). Ces obstructions peuvent provenir d'une rupture de canalisation causée par le tremblement de terre.

Enfin, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable est coupé (à la suite d'une catastrophe naturelle), la production d'eaux usées est également interrompue. Il faut donc remettre en service le réseau d'eau potable avant de procéder à l'inspection finale des égouts.

Canalisations d'égouts pluviaux. Si la catastrophe se produit pendant la saison des pluies, l'examen du réseau peut se faire de la manière indiquée dans les paragraphes précédents. En période sèche toutefois, l'inspection peut comporter une reconnaissance visuelle des canaux de drainage et des grands collecteurs accessibles (le cas échéant), et un examen des tronçons de petit diamètre à partir des chambres d'inspection situées à proximité.

Ces mesures ne garantissent cependant pas la détection de tous les dommages, d'autres dégâts pourraient être découverts lors de la saison des pluies suivante.

- iv. **Quantification des dommages subis par les canalisations.** Il est évident que l'identification des conduites abîmées, tant dans le réseau d'eau potable que dans le réseau d'égouts sanitaires et pluviaux, suppose la participation des services responsables de ces équipements (pour effectuer, parallèlement, les réparations, car il ne serait pas logique de dégager les canalisations sans effectuer les travaux indispensables). Il faut dans ce cas prévoir un délai plus long que le temps alloué pour l'évaluation initiale des effets d'une catastrophe.

La sélection préliminaire d'un échantillon de tronçons endommagés pourrait aider à estimer de manière grossière le nombre de conduites à réparer ou à remplacer.

- v. **Risques de contamination de l'eau potable.** Lorsque des canalisations d'eau potable et d'égouts sont endommagées en même temps, les eaux usées peuvent contaminer l'eau potable. En effet, les deux réseaux sont généralement construits en parallèle, dans les mêmes rues, à quelques mètres de distance. Deux ruptures

proches l'une de l'autre peuvent donc permettre l'entrée d'eaux usées dans les conduites d'eau potable (en particulier si les volumes d'eau rejetés sont considérables) Dans certains cas, les réseaux d'eau potable et d'égouts sont recouverts d'eau souterraine superficielle. Si le tremblement de terre endommage le réseau d'égouts et provoque des fuites, la nappe phréatique est contaminée. Celle-ci peut à son tour pénétrer dans le réseau d'eau potable en passant par des conduites cassées ou par des raccords non hermétiques, si le réseau présente une pression négative (inférieure à la pression atmosphérique) dues à des bris situés plus bas ou au rationnement de l'eau potable

d. Effets possibles du tremblement de terre sur les ouvrages de captage des eaux souterraines

- i. **Risque de réduction du débit de captage.** Dans les zones où l'eau provient de puits ou de galeries profondes, il arrive que les séismes entraînent les eaux souterraines jusqu'à des failles récentes, diminuant ou interrompant complètement le débit de ces ouvrages.
- ii. **Risque de contamination des eaux souterraines.** Les eaux souterraines sont parfois contaminées du fait de la formation récente de crevasses ou de failles qui les mettent en contact avec les eaux de surface ou les eaux sales. C'est un risque grave qui peut rendre inutilisables un ou plusieurs ouvrages de captage. Les possibilités de rétablissement sont aléatoires et varient d'un cas à l'autre
- iii. **Domages dans les puits profonds, les puits de moyen et de grand diamètre, etc.** Ces divers types de puits peuvent être endommagés de différentes façons, à savoir :
 - enfoncement du sol autour du puits, dégâts légers à graves;
 - effondrement total du puits (dû, par exemple, à une faille passant par le puits et causant son effondrement ou à un éboulement le recouvrant);
 - dégâts, légers à graves, subis par les mécanismes de pompage (les équipements de pompage sont évalués séparément).
- iv. **Domages dans les galeries d'infiltration ou les canaux de drainage ¹⁰.** Les tremblements de terre peuvent produire divers types de dégâts :
 - fissures dans les parois, les tubes ou les voussoirs qui forment le canal ou la galerie, allant de lézardes relativement faciles à réparer (si la galerie est accessi-

¹⁰ Galerie d'infiltration : ouvrage de captage semblable à un canal de drainage mais construit à une plus grande profondeur, comme un tunnel, dont les parois sont percées de petites ouvertures destinées à recueillir les eaux souterraines.

ble) à des crevasses importantes pouvant nécessiter un renforcement intérieur ou le remplacement du revêtement;

- écoulement d'une partie de la galerie ou du canal ou de certains puits d'inspection;
- effondrement total de la galerie ou du canal;
- dommages au niveau des équipements de pompage (le cas échéant), évalués séparément.

e. Contamination des sources d'eau potable

Il a été question dans les paragraphes précédents des risques de contamination des eaux souterraines suite à un tremblement de terre. La contamination des sources superficielles d'eau potable par les carcasses d'animaux morts et les déversements de pétrole et de produits industriels ou toxiques est toutefois plus fréquente. C'est parfois l'une des plus graves conséquences d'un séisme, en raison des vastes problèmes sanitaires qui en découlent. Il est alors extrêmement urgent de rechercher d'autres sources d'approvisionnement et de construire (ou de mettre en service, si elles existent déjà) de nouvelles installations de captage et d'acheminement de l'eau potable.

2. Inondations

a. Effets généraux des inondations

Les inondations sont causées par divers facteurs : fortes pluies, dégel, débordement de cours d'eau ou de retenues d'eau, tempêtes, raz-de-marée, etc. Elles peuvent être très violentes et très dévastatrices. Leur importance dépend des paramètres suivants :

- i. niveau atteint par l'eau, violence et rapidité avec lesquelles survient le phénomène et zone touchée;
- ii. qualité de la conception et de la construction des ouvrages, notamment en ce qui a trait aux précautions prises (ou non) pour un certain niveau de crue;
- iii. qualité du terrain d'implantation des ouvrages, c'est-à-dire capacité à résister à l'érosion provoquée par les inondations, et qualité des terrains adjacents, quant aux risques d'éboulement ou de glissement de terrain créés par des pluies torrentielles ou persistantes.

b. Contamination de l'eau potable par les inondations

Parmi tous les dommages que peuvent entraîner les catastrophes naturelles, la contamination à grande échelle de l'eau potable représente le danger le plus grave, celui

qui a les conséquences les plus lourdes. Lorsqu'elle se produit, un grand nombre de maladies généralement associées au manque d'hygiène peuvent prendre la forme de maladies d'origine hydrique et affecter une grande partie de la population. Mentionnons, entre autres, la fièvre typhoïde et le choléra, quand ils existent à l'état endémique, la dysenterie bacillaire et l'amibiase intestinale, l'hépatite infectieuse et la gastro-entérite. Pour lutter contre l'apparition de ces maladies, il est primordial de traiter l'eau à l'aide de substances chimiques de stérilisation (comme le chlore) ou de la faire bouillir avant la consommation.

La contamination de l'eau potable et du sol peut avoir diverses origines :

- i. Contamination des sources superficielles d'eau potable, attribuable à l'accumulation de carcasses d'animaux morts près des prises d'eau, à l'augmentation excessive de la turbidité de l'eau ou à la présence d'autres types de produits toxiques ou de contaminants.
- ii. Contamination des sources d'eaux souterraines quand le niveau de crue dépasse la hauteur de la margelle des puits; l'eau se déverse alors directement dans ceux-ci ou dans d'autres ouvrages de captage.
- iii. Reflux des eaux usées, qui inondent les habitations, les étages inférieurs des bâtiments et les rues, lorsque le niveau des cours d'eau ou des plans d'eau dans lesquels se déversent les égouts sanitaires et pluviaux monte. L'eau de reflux pénètre dans les habitations par les appareils sanitaires et les canalisations d'évacuation, alors qu'elle parvient dans les rues en empruntant les chambres d'inspection et les bouches d'égouts. (On peut éviter ce phénomène en posant des soupapes de retenue dans le réseau d'égouts, mais cela est rare dans les pays de la région).
- iv. Difficulté à faire bouillir l'eau contaminée parce que les combustibles ont été mouillés pendant l'inondation.

Pour évaluer le coût de la contamination, il faut considérer :

- le coût de construction des ouvrages de captage d'urgence ou de remplacement et leur coût d'exploitation;
- le coût d'approvisionnement d'urgence de la population en eau potable par camions-citernes ou d'autres moyens;
- le coût de nettoyage et de désinfection des sources contaminées;
- le coût de nettoyage des habitations et des rues contaminées par les eaux usées ou par l'inondation elle-même.

c. Dommages causés par les inondations

i. Dommages aux canalisations et installations connexes. On considère ici les dégâts pouvant être subis par les canalisations et les installations connexes, comme les chambres et les soupapes de types divers. Les inondations peuvent avoir les effets suivants :

- Érosion du sol, à la suite de quoi les canalisations sont désenfouies, déplacées ou même emportées;
- Montée du niveau des eaux souterraines, qui fait flotter les canalisations et les chambres, et les éloigne de leur emplacement d'origine. Cela peut également provoquer d'autres bris dans les installations. Les dégâts sont généralement modérés à graves;
- Déplacement et perte totale des canalisations.

ii. Dommages aux réservoirs semi-enterrés Ils sont assez rares car ces constructions se situent généralement sur des terrains élevés.

Les inondations peuvent produire les dégâts suivants :

- Érosion des fondations, avec fissures ou écroulement partiel des réservoirs, en particulier s'ils sont en maçonnerie plutôt qu'en béton armé;
- Flottement du réservoir, si une grande partie de la cuve se trouve sous le niveau du sol, lorsque les effets de l'inondation s'accompagnent d'une forte hausse du niveau de la nappe phréatique (ce qui est très probable dans certains terrains, quand les précipitations se prolongent). Le danger est plus grand si le réservoir n'est pas plein. Cela peut causer des dégâts partiels graves ou même la destruction

iii. Dommages aux équipements de pompage et aux installations électriques

- Endommagement des moteurs électriques, pompes à moteur, démarreurs et tableaux de commande électriques de divers types si le niveau de crue est assez élevé.
- Chute des lignes basse ou haute tension en raison de l'affouillement à la base des installations, provoquant des dégâts aux lignes électriques elles-mêmes, aux tableaux électriques et aux sous-stations.

iv. Dommages aux prises d'eau, aux barrages et aux constructions en surface. Si la force dynamique de l'inondation est assez importante et s'il n'y a pas de protection contre ces effets, on peut observer une érosion aux environs de tout ouvrage situé dans les zones les plus touchées, c'est-à-dire aux endroits où l'inondation est la plus violente et qui, par ailleurs, se trouvent sous le niveau de crue.

Ces conditions peuvent toucher en particulier les constructions suivantes : prises d'eau et ouvrages connexes, comme les canaux et les conduites d'eau, les hangars à machines, les stations d'épuration, etc., lesquels doivent être évalués séparément

- v. Barrages et retenues d'eau La présence d'un barrage et d'une retenue d'eau sur un cours d'eau en crue est, bien évidemment, une situation à haut risque. Les barrages conçus pour retenir l'eau potable sont vulnérables aux inondations, en particulier lorsqu'ils possèdent une capacité de déversement limitée. Par ailleurs, si le nombre de pertuis et de vannes est insuffisant, il peut se produire de grands dommages et même la destruction ou l'écroulement du barrage, avec le risque d'une nouvelle catastrophe et d'énormes pertes additionnelles causées par la grande quantité d'eau libérée.

3. Éruptions volcaniques

a. Effets généraux des éruptions volcaniques

Une éruption volcanique peut provoquer des effets en chaîne, dont les conséquences sont parfois plus graves que l'éruption elle-même .

- i. phénomènes sismiques;
- ii. inondations et avalanches, éboulements et coulées de boue, attribuables au réchauffement du terrain et aux vibrations locales;
- iii. rejet de cendres, poussières, gaz, roches, pierres et lave Les principaux effets de l'éruption elle-même sont les suivants :

b. Contamination de l'eau potable

- i. Contamination des sources superficielles d'eau potable due à la présence de cendres, de gaz ou de substances toxiques, ou aux carcasses d'animaux à proximité des prises d'eau ou dans les canaux ouverts d'acheminement de l'eau captée.
- ii. Contamination des sources d'eaux souterraines, relativement rare sauf lorsque les cendres déposées sont très abondantes, renferment des matières hautement contaminantes ou pénètrent dans les puits (si ceux-ci ne possèdent pas de couvercles) et atteignent l'eau captée.
- iii. Contamination des stations de filtration ou d'épuration par le dépôt de cendres volcaniques dans les réservoirs de coagulation et de décantation ou dans les filtres, ce qui affecte directement la qualité de l'eau ou obstrue les filtres.
- iv. Contamination des réservoirs ou bassins ouverts.

c. Évaluation des dommages causés par la contamination

Ces différentes formes de contamination n'endommagent généralement pas les ouvrages. Les coûts comprennent surtout les opérations d'enlèvement des résidus de cendres ou d'autres matières (que l'on peut évaluer par le coût de la main-d'oeuvre). Toutefois, il peut être nécessaire de remplacer provisoirement les ouvrages de captage ou les stations. Il est recommandé de considérer, s'il y a lieu, les éléments suivants :

- le coût de construction des ouvrages de captage d'urgence et leur coût d'exploitation;
 - le coût d'approvisionnement d'urgence de la population en eau potable (s'il n'a pas été pris en considération dans le point précédent);
 - le coût de nettoyage et de désinfection des sources et des ouvrages de captage d'eau potable, des stations, des réservoirs et bassins, etc.
- i. Dommages aux canalisations, aux réservoirs semi-enfouis et aux installations connexes. Les coulées de lave, si elles sont abondantes et assez érosives, peuvent endommager les installations enfouies suivantes :
- canalisations d'eau potable ou d'égouts : les canalisations, les chambres et les soupapes peuvent être déterrées, déplacées, emportées ou écrasées;
 - réservoirs semi-enfouis : destruction partielle ou totale.
- ii. Dommages aux ouvrages et bâtiments en surface. Les projections de lave, de pierres ou de roches, parfois à grande distance, peuvent endommager à peu près tous les types d'ouvrages en surface. Selon la violence de l'éruption, la distance des constructions par rapport au volcan et certains facteurs aléatoires, les dégâts peuvent être légers ou entraîner la destruction totale.

4. Tempêtes de vent

a. Dommages causés par les tempêtes de vent

Le vent peut surtout endommager les ouvrages en surface. Les risques augmentent en fonction de la hauteur des structures et de la surface exposée aux vents. Les effets dépendent de la résistance des ouvrages à ce phénomène naturel.

- i. Les bâtiments, les habitations et les hangars à machines des réseaux d'eau potable et d'égouts se comportent comme les constructions semblables des autres secteurs et les dégâts survenus doivent être évalués selon les critères énumérés pour le secteur des habitations.

- ii. Réservoirs élevés. Si le vent est assez fort, plusieurs réservoirs peuvent s'écrouler et causer des dommages dus au déversement brusque de l'eau emmagasinée (dont le volume peut atteindre plusieurs milliers de mètres cubes), en plus des dégâts subis par les canalisations de raccordement et les installations situées à proximité, du fait de l'effondrement.

Si la structure est assez résistante ou si les vents ne sont pas très forts, les dommages peuvent se limiter aux installations connexes, comme les échelles d'accès et les rampes, ou aux canalisations d'admission et d'évacuation du réservoir. Parmi les effets les plus probables, citons ceux qui concernent :

- les réservoirs du réseau municipal(villes et villages) d'approvisionnement en eau potable, dont le volume est probablement le plus important;
- les réservoirs des entreprises, marchés, écoles, etc. de taille intermédiaire;
- les réservoirs à usage domestique de taille généralement réduite, destinés aux habitations.

5. Sécheresse

a. Effets généraux des sécheresses

Contrairement aux autres catastrophes naturelles, les sécheresses ne surviennent pas brusquement: elles résultent de l'absence ou du manque de précipitations pluvieuses ou neigeuses pendant plusieurs mois, voire plusieurs années. Les effets principaux sont la diminution ou la disparition des sources d'eau potable. Les cours d'eau superficiels, tels les rivières et les ruisseaux, pâtissent généralement plus rapidement de ce phénomène que les eaux souterraines, pour deux grandes raisons :

- i. Le débit des eaux de surface est habituellement plus rapide que celui des eaux souterraines. Par conséquent, les eaux d'origine pluviale ou de fonte atteignent la mer, par l'intermédiaire des fleuves, en beaucoup moins de temps¹¹ que les eaux d'infiltration. C'est pourquoi le débit des cours d'eau est plus rapidement affecté par les sécheresses (ou par les fortes pluies), sauf lorsque des lacs ou des retenues d'eau atténuent les variations annuelles des précipitations et régularisent, par conséquent, le débit des cours d'eau.
- ii. Les eaux souterraines présentent deux propriétés très efficaces pour minimiser et retarder les effets de la sécheresse (en particulier si les conditions hydro-géologiques sont favorables) : une grande capacité de stockage dans les pores des terres perméables (comme une éponge) et une faible vitesse de déplacement en direction de la mer. En raison de cette vitesse, de l'ordre de quelques mètres par

¹¹ Avec, par exemple, une vitesse de seulement 0,1 m/s, les eaux superficielles parcourent 8,64 km/jour, soit 100 km en 12 jours.

jour¹² le débit est le résultat de l'accumulation de plusieurs années d'eau de pluie et ses fluctuations dépendent moins des variations annuelles du niveau de précipitation.

b. Dommages causés par les sécheresses

- i. Atteinte aux sources superficielles d'eau potable. Selon les caractéristiques des sources superficielles d'eau potable et le type de sécheresse en cause, il peut survenir les effets suivants :

La diminution du débit normal d'approvisionnement en eau potable peut occasionner, selon son ampleur :

- une limitation modérée de la consommation,
- un rationnement modéré à très important;
- une augmentation de la hauteur de pompage dans certains ouvrages de captage;
- la disparition totale de certaines sources.

- ii. Contamination des sources d'eau potable attribuable aux facteurs suivants :

- diminution de la capacité d'auto-épuration des cours d'eau, en raison de la baisse du débit;
- augmentation de la concentration des pesticides, des insecticides ou des déchets industriels, pour la même raison;
- contamination par les poissons morts suite, notamment, à la diminution de l'oxygène libre;
- contamination par la présence d'animaux morts à proximité des prises d'eau potable;
- ce qui précède peut rendre nécessaire l'augmentation ou la variation du dosage des additifs chimiques dans l'eau, afin d'atténuer la turbidité ou les risques sanitaires;
- nécessité d'aménager (ou de mettre en service) d'autres sources d'eau potable¹³.

¹² Avec une vitesse moyenne de 1 m/jour, les eaux souterraines prennent 274 années pour parcourir 100 km.

¹³ Il peut s'agir bien souvent de capter les eaux souterraines à partir de puits profonds.

iii. Atteinte aux sources d'eaux souterraines. Selon la durée de la sécheresse et les caractéristiques hydro-géologiques locales, de nouveaux besoins en eaux souterraines peuvent surgir :

- pour l'approvisionnement d'urgence en eau potable,
- pour l'approvisionnement des secteurs industriels ou agricoles à partir d'autres sources,
- ce qui précède est susceptible d'entraîner une baisse relative de la nappe phréatique et, par conséquent, une diminution du rendement des puits et une augmentation de la hauteur de pompage pour obtenir le débit nécessaire.

Ces conditions peuvent majorer les coûts d'exploitation des puits existants, avec probablement une diminution du rendement des équipements de pompage et, dans certains cas, le risque de payer des amendes au service d'électricité en raison de la chute de puissance.

iv. Autres sources d'eau potable. La nécessité de disposer d'autres sources d'eau potable (en raison de la baisse de la capacité des sources de surface) peut obliger à :

- construire des puits d'urgence et à les équiper rapidement pour assurer l'approvisionnement en eau potable;
- utiliser les puits existants destinés à d'autres usages (par exemple, industriel, sportif ou agricole) pour l'approvisionnement indispensable de la population;
- combiner les deux solutions.

B. METHODE D'EVALUATION DES DOMMAGES DIRECTS

1. Inventaire des dommages

Il est recommandé de dresser l'inventaire des dommages directs afin d'en établir le coût. Cette opération comporte plusieurs phases, dont un grand nombre peuvent être mises en oeuvre simultanément :

a. Détermination des sources d'information et indication de leur fiabilité

- i. Déterminer précisément les sources utilisées, notamment les suivantes :
 - les organismes gouvernementaux ou municipaux directement responsables des services d'eau potable et d'égouts, et d'autres organismes liés au secteur;
 - les organismes et associations professionnels et corporatifs oeuvrant dans le domaine (comme la section locale de l'AIDIS, par exemple);
 - les bureaux d'étude et les cabinets d'experts-conseils du secteur;
 - les experts nationaux et internationaux présents dans le pays et possédant les connaissances ou l'expérience voulues dans le domaine;
 - d'autres sources à identifier dans chaque cas.
- ii. Vérifier et indiquer la fiabilité des renseignements reçus. Effectuer les reconnaissances et les vérifications sur le terrain qui sont nécessaires et possibles
- iii. Noter, pour les diverses évaluations des dégâts, le degré de fiabilité et de précision des rapports sur les ouvrages endommagés. Il serait également utile de distinguer entre ce qui a pu être vérifié personnellement et ce qui correspond à des informations provenant de tiers ou à des estimations grossières non confirmées ou non vérifiées.

b. Listes des dommages directs

- i. **Listes établies par emplacement.** Il est recommandé de regrouper les dommages :
 - i. Par municipalité, en distinguant les zones urbaines des zones rurales.
 - ii. Par réseau :
 - réseau d'eau potable;
 - réseau d'égouts sanitaires;
 - autres réseaux d'assainissement;
 - réseau d'égouts pluviaux.
 - iii. Par station ou par sous-réseau à l'intérieur de chaque ville et de chaque réseau, voici l'exemple d'un réseau d'eau potable dans une ville donnée :

- ouvrages de captage : ouvrage A, ouvrage B, etc.;
- stations d'épuration : station 1, station 2, etc.;
- principales canalisations vers les réservoirs;
- réservoirs . réservoir A, réservoir B, etc.;
- réseau de distribution;
- autres, à spécifier dans chaque cas.

Cela facilite le calcul du coût total des dommages subis par le réseau d'eau potable de la ville, par ajout des sous-totaux.

- iv. Chaque liste doit comprendre les renseignements suivants : nom de la municipalité, origine et fiabilité des informations et désignation du réseau ou du sous-réseau touché.

c. Caractéristiques des sous-réseaux endommagés

Il faut mesurer l'utilité de recueillir des renseignements en considérant la disponibilité des informations provenant des sources officielles. S'il s'agit d'une ville importante, les réseaux d'eau potable et d'égouts peuvent être immenses et complexes et les données risquent d'être incomplètes, même en temps normal. Par ailleurs, à la suite d'une catastrophe, une grande partie des fonctionnaires du secteur sont souvent affectés aux travaux d'urgence, ce qui les rend peu disponibles.

Dans ce cas, il peut être préférable de ne recueillir que les informations strictement indispensables, c'est-à-dire se préoccuper surtout des sous-réseaux endommagés et non de ceux qui fonctionnent normalement, à moins que cela soit utile pour comparer les dommages ou pondérer les effets indirects. Il est donc recommandé de n'indiquer que les caractéristiques principales des sous-réseaux touchés.

d. Dommages directs

Ces dommages doivent être énumérés de la manière indiquée précédemment. La liste des dégâts est établie par matériel, par équipement et par ouvrage du même type. On recommande d'adopter la procédure suivante :

- i. Pour chaque type de matériel ou d'ouvrage endommagé, indiquer brièvement ses caractéristiques principales, le type de dommage et le nombre approximatif d'ouvrages ou de matériels touchés, dans l'unité de mesure voulue.
- ii. Pour chaque type d'ouvrage ou de matériel, indiquer :
 - le type d'ouvrage ou de matériel,

- le prix unitaire de la construction ou du remplacement (P.U.);
- le coût unitaire des réparations, en pourcentage (R %) du prix unitaire précédent.

On obtient ainsi :

$$U_d = \text{coût unitaire des dommages} = (P.U.) \times (R \%)$$

$$U_r = \text{coût unitaire de remplacement} = (P.U.) \times 100 \% = (P.U.)$$

- iii On peut obtenir une évaluation en pourcentage (R %) du degré d'endommagement des ouvrages, matériels ou équipements par une estimation pondérée, en considérant si l'ouvrage, le matériel ou l'équipement peut être réparé ou reconstruit partiellement ou s'il est indispensable de le reconstruire ou de le remplacer entièrement, vu l'ampleur des dégâts. S'il est possible de procéder aux réparations, on évalue le coût des dommages en pourcentage (R %) du coût total de l'ouvrage (partie d'un ouvrage, d'un matériel ou d'un équipement). S'il est nécessaire de reconstruire ou de remplacer totalement l'ouvrage, on estime que $R = 100 \%$.
- iv. L'évaluation des pourcentages R % doit reposer sur les estimations du personnel du service responsable de chaque réseau et sur d'autres sources, mais l'évaluation finale revient à l'expert mandaté.

e. Démolition, démontage et enlèvement des débris

Outre ce qui a été indiqué précédemment, il faut tenir compte de la démolition, du démontage et de l'enlèvement des débris. Pour ce faire, il convient de :

- i. Considérer pour chaque type d'ouvrage ou de matériel endommagé (identifié selon les recommandations des paragraphes précédents) si la reconstruction ou les réparations nécessitent ou non au préalable une démolition, un démontage ou l'enlèvement des débris. Si c'est le cas, on doit indiquer la quantité approximative d'ouvrages ou de matériels à démolir et à enlever, dans l'unité voulue, laquelle doit être de préférence la même que celle utilisée pour quantifier les dommages;
- ii. Indiquer les principales activités ou les gros travaux requis pour la démolition (ou le démontage) et l'enlèvement des débris de chaque élément, avec un seul prix unitaire global comprenant tous ces aspects.
- iii. Tenir compte toutefois du degré de difficulté et des coûts inhérents aux divers ouvrages et matériels. Par exemple, il convient de distinguer entre la démolition d'un réservoir en béton armé et le simple démontage de canalisations en amiante-ciment, dont les raccords peuvent être très faciles à retirer et qui peuvent être récupérées en partie.
- iv. S'il est impossible d'évaluer précisément le prix d'un élément, on peut adopter un critère semblable à celui qui a été déterminé plus haut, le coût de démolition et d'en-

lèvement des débris correspondant à D % du prix unitaire. Ce D % n'a pas à être identique pour tous les éléments, étant donné les divers degrés de difficulté liés à la démolition et au démontage.

- v S'il est possible, à la suite de la démolition ou du démontage, de récupérer une partie du matériel en vue de sa réutilisation par l'entreprise ou de sa vente, on estime sa valeur à un pourcentage (V %) du prix unitaire du matériel neuf. Ce montant peut être soustrait du coût de démolition, de démontage et d'enlèvement des débris.

2. Prix unitaires et coûts globaux

a. Prix unitaires à considérer dans l'évaluation des dommages

Ils peuvent provenir des sources suivantes .

- i. Études ou listes des prix généralement utilisées par l'organisme responsable des services et réseaux correspondants. Il convient d'indiquer la date de ces listes qui, si nécessaire, doivent être actualisées à l'aide de coefficients simples permettant de corriger les effets de l'inflation et d'autres facteurs;
- ii. Prix unitaires estimatifs provenant d'études directes ou de sources locales appropriées;
- iii. Prix unitaires comparatifs recueillis pour la région et pouvant servir de référence pour les prix des deux paragraphes précédents ou être employés à leur place si nécessaire;
- iv. Autres listes de prix unitaires tirées, par exemple, de manuels, de catalogues ou de revues nationales du secteur du bâtiment.

b. Main-d'oeuvre et composante nationale et importée du prix du matériel

Quelle que soit l'origine de la liste utilisée ou l'estimation des prix unitaires, il est recommandé de considérer :

- i. la part de la main-d'oeuvre;
- ii. le pourcentage de matériel d'origine nationale;
- iii. le pourcentage de matériel importé par rapport au prix unitaire.

Ce dernier chiffre permet d'établir, dans le montant total des dommages directs, la valeur des importations et les effets sur la balance des paiements.

c. Types d'ouvrages, de prix unitaires ou de prix globaux

Les réseaux d'eau potable et d'égouts sanitaires et pluviaux comportent une multitude de types d'ouvrages, de matériel et d'équipements. Il est facile d'évaluer le coût de ces éléments à partir des listes de prix unitaires. C'est le cas, par exemple, des canalisations et des conduites d'eau, dont le prix unitaire peut être exprimé en mètres linéaires, à l'achat et après installation.

Par contre, d'autres types d'installations, comme les stations d'épuration de l'eau potable, comprennent divers éléments dont l'origine, la technologie et le prix peuvent varier. Leur coût doit être évalué à partir du prix global de la station. Il est possible de se servir des sources suivantes :

- i. Informations locales sur le coût de construction de la station et sur sa valeur actuelle;
- ii. Manuels ou études de prix d'autres pays, de préférence ceux qui ressemblent le plus au cas examiné;
- iii. Manuel préparé par le Bureau panaméricain d'hygiène publique¹⁴.
- iv. Si une partie seulement de la station est endommagée, les indications qui précèdent ne s'appliquent qu'à cette partie.

3. Fonctions de coûts approximatives

a. Fonctions de coûts simplifiées

Les fonctions employées pour décrire les variations de coûts qui surviennent quand on change les paramètres de calcul (par exemple, le débit) sont normalement exprimées ainsi :

$$C = a x^b$$

où : C = coût

x = paramètre de calcul, comme Q (débit en l/s)

a, b = facteurs et exposants décrivant la variation de la fonction.

(Cette équation donne des lignes presque droites sur du papier bilogarithmique).

¹⁴ Voir Water and Wastewater Cost Analysis Handbook for Latin America and the Caribbean, Bureau panaméricain d'hygiène publique?? et Banque internationale de développement, septembre 1986.

b. Fonctions de coûts du manuel OPS-BID¹⁵

Toutefois, dans le manuel du Bureau panaméricain d'hygiène publique déjà cité, on emploie des fonctions plus complexes (utilisables avec un ordinateur) qui donnent une meilleure approximation.

Ces fonctions sont représentées par l'équation suivante :

$$C = a + b x^c \cdot y^d$$

où : C = coût

x, y = variables indépendantes (par exemple, paramètres de calcul)

a, b, c et d = facteurs et exposants décrivant la variation de la fonction.

c. Évaluation des dégâts subis par les bâtiments

Les dommages subis par les bâtiments administratifs, les habitations des gardiens et du personnel, les hangars à machines, etc. doivent être évalués à l'aide des critères énumérés dans le chapitre intitulé « Habitations ».

d. Évaluation des dégâts subis par les routes d'accès aux installations électriques

Les dommages aux routes d'accès ou autres sont évalués au moyen des critères présentés dans le chapitre portant sur les transports et les communications et dans ceux concernant les installations électriques, selon les indications de la partie correspondante.

4. Exemples d'évaluation des dommages directs

a. Exemple d'inventaire des dommages directs

Le tableau 1 présente un inventaire des dommages directs survenus dans une ville fictive. Afin de mener à bien l'inventaire et de recueillir les informations indispensables, il faut suivre les recommandations suivantes :

- i. L'inventaire établi pour l'évaluation ne doit comporter que les renseignements nécessaires à l'identification des ouvrages, du matériel ou des équipements endommagés et doit être présenté de manière à ce qu'il soit possible d'indiquer les prix unitaires correspondants (P.U.).

¹⁵ Voir encore une fois OPS-BID, Op. cit.

- ii. Il est parfois nécessaire d'obtenir des informations additionnelles sur les caractéristiques principales des sous-réseaux, afin de pouvoir établir l'importance relative des dommages et d'évaluer les dégâts indirects. Il est recommandé de présenter ces données à part, en annexe de l'inventaire.
- iii. L'inventaire sommaire peut également renfermer des notes fournissant, par exemple, un supplément d'information sur les dégâts subis par un ouvrage, un matériel ou un équipement donné ou expliquant la méthode employée pour estimer la valeur R % de chaque élément, lorsque cela est nécessaire.

b. Exemple d'évaluation des dommages directs

On se reportera au tableau 1 : « Exemple d'inventaire sommaire des dommages directs » à partir duquel est élaboré le tableau 2, qui comporte deux colonnes de plus, « Prix unitaire » (P.U.) et « Sous-totaux » (P.U.) x (R %) x (quantité endommagée). Pour déterminer les prix unitaires, il faut suivre les indications données dans les pages précédentes du présent chapitre.

c. Prix unitaires ventilés

On trouvera ci-après certains prix unitaires estimatifs¹⁶ avec leurs composantes (dont les pourcentages sont fictifs et approximatifs), qui doivent être déterminés dans chaque cas réel.

M.O.	=	main-d'oeuvre en % du P.U.
C.N.	=	composante nationale en % du P.U.
C.I.	=	composante importée en % du P.U.
F.G.	=	frais généraux et marge bénéficiaire en % du P.U.

i. Puits en béton de deux mètres de diamètre intérieur

P.U.	=	500 \$US/ml
M.O.	=	30 % (P.U.)
C.N.	=	35 % (P.U.)
C.I.	=	15 % (P.U.)
F.G.	=	20 % (P.U.)

¹⁶ Ces prix unitaires et leurs composantes ne sont pas tirés d'une étude; ils ont été inventés pour l'exemple

ii. Canalisations en amiante-ciment avec raccords Gibault, type 20, installées

				P.U. \$US/ml	M.O.	C.N.	C.I.	FG
a)	D	=	100 mm	12	20 %	30 %	30 %	20 %
b)	D	=	150 mm	20	"	"	"	"
c)	D	=	200 mm	32	"	"	"	"
d)	D	=	250 mm	41	"	"	"	"
e)	D	=	300 mm	57	"	"	"	"

iii. Canalisations en fonte avec raccords douille-corde, installées

D = 400 mm

P.U. = 100 \$US/ml

M.O. = 20 %

C.N. = 10 %

C.I. = 50 %

F.G. = 20 %

iv. Canalisations en ciment comprimé, installées

	\$US/ml	M.O.	C.N.	C.I.	F.G.
a) D = 175 mm	14	30 %	50 %	-	20 %
b) D = 200 mm	18	30 %	50 %	-	20 %
c) D = 300 mm	30	30 %	50 %	-	20 %
d) D = 500 mm	70	30 %	50 %	-	20 %