GUIDE D'APPRENTISSAGE

TRANSFORMATIONS

LES MATIÈRES RÉSIDUELLES

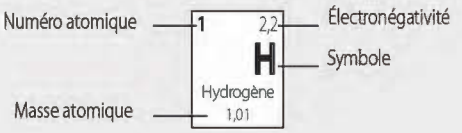
SCIENCE ET TECHNOLOGIE

SCT-4064-2

CONFORME AU NOUVEAU PROGRAMME

sofad

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS



1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIIIB	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 2,2 **H** Hydrogène 1,01																	2 **He** Hélium 4,00
3 1,0 **Li** Lithium 6,94	4 1,6 **Be** Béryllium 9,01											5 2,0 **B** Bore 10,81	6 2,6 **C** Carbone 12,01	7 3,0 **N** Azote 14,01	8 3,4 **O** Oxygène 16,00	9 4,0 **F** Fluor 19,00	10 **Ne** Néon 20,18
11 0,9 **Na** Sodium 22,99	12 1,3 **Mg** Magnésium 24,31											13 1,6 **Al** Aluminium 26,98	14 1,9 **Si** Silicium 28,09	15 2,2 **P** Phosphore 30,97	16 2,6 **S** Soufre 32,06	17 3,2 **Cl** Chlore 35,45	18 **Ar** Argon 39,95
19 0,8 **K** Potassium 39,10	20 1,0 **Ca** Calcium 40,08	21 1,4 **Sc** Scandium 44,96	22 1,5 **Ti** Titane 47,87	23 1,6 **V** Vanadium 50,94	24 1,7 **Cr** Chrome 52,00	25 1,6 **Mn** Manganèse 54,94	26 1,8 **Fe** Fer 55,85	27 1,9 **Co** Cobalt 58,93	28 1,9 **Ni** Nickel 58,69	29 1,9 **Cu** Cuivre 63,55	30 1,7 **Zn** Zinc 65,38	31 1,8 **Ga** Gallium 69,72	32 2,0 **Ge** Germanium 72,63	33 2,2 **As** Arsenic 74,92	34 2,6 **Se** Sélénium 78,97	35 3,0 **Br** Brome 79,90	36 3,0 **Kr** Krypton 83,80
37 0,8 **Rb** Rubidium 85,47	38 1,0 **Sr** Strontium 87,62	39 1,2 **Y** Yttrium 88,91	40 1,3 **Zr** Zirconium 91,22	41 1,6 **Nb** Niobium 92,91	42 2,2 **Mo** Molybdène 95,95	43 1,9 **Tc** Technétium (98)	44 2,2 **Ru** Ruthénium 101,07	45 2,3 **Rh** Rhodium 102,91	46 2,2 **Pd** Palladium 106,42	47 1,9 **Ag** Argent 107,87	48 1,7 **Cd** Cadmium 112,41	49 1,8 **In** Indium 114,82	50 2,0 **Sn** Étain 118,71	51 2,1 **Sb** Antimoine 121,76	52 2,1 **Te** Tellure 127,60	53 2,7 **I** Iode 126,90	54 2,6 **Xe** Xénon 131,29
55 0,8 **Cs** Césium 132,91	56 0,9 **Ba** Baryum 137,33		72 1,3 **Hf** Hafnium 178,49	73 1,5 **Ta** Tantale 180,95	74 2,4 **W** Tungstène 183,84	75 1,9 **Re** Rhénium 186,21	76 2,2 **Os** Osmium 190,23	77 2,2 **Ir** Iridium 192,22	78 2,3 **Pt** Platine 195,08	79 2,5 **Au** Or 196,97	80 2,0 **Hg** Mercure 200,59	81 1,6 **Tl** Thallium 204,38	82 2,3 **Pb** Plomb 207,2	83 2,0 **Bi** Bismuth 208,98	84 2,0 **Po** Polonium (209)	85 2,2 **At** Astate (210)	86 **Rn** Radon (222)
87 0,7 **Fr** Francium (223)	88 0,9 **Ra** Radium (226)		104 **Rf** Rutherfordium (267)	105 **Db** Dubnium (268)	106 **Sg** Seaborgium (269)	107 **Bh** Bohrium (270)	108 **Hs** Hassium (277)	109 **Mt** Meitnérium (278)	110 **Ds** Darmstadtium (281)	111 **Rg** Roentgenium (282)	112 **Cn** Copernicium (285)	113 **Nh** (Nihonium) (286)	114 **Fl** Flerovium (289)	115 **Mc** (Moscovium) (290)	116 **Lv** Livermorium (293)	117 **Ts** (Tennessine) (294)	118 **Og** (Oganesson) (294)

57 1,1 **La** Lanthane 138,91	58 1,1 **Ce** Cérium 140,12	59 1,1 **Pr** Praséodyme 140,91	60 1,1 **Nd** Néodyme 144,24	61 **Pm** Prométhium (145)	62 1,2 **Sm** Samarium 150,36	63 **Eu** Europium 151,96	64 1,2 **Gd** Gadolinium 157,25	65 **Tb** Terbium 158,93	66 1,2 **Dy** Dysprosium 162,50	67 1,2 **Ho** Holmium 164,93	68 1,2 **Er** Erbium 167,26	69 1,3 **Tm** Thulium 168,93	70 **Yb** Ytterbium 173,05	71 1,3 **Lu** Lutécium 174,97
89 1,1 **Ac** Actinium (227)	90 1,3 **Th** Thorium 232,04	91 1,5 **Pa** Protactinium 231,04	92 1,4 **U** Uranium 238,04	93 1,4 **Np** Neptunium (237)	94 1,3 **Pu** Plutonium (244)	95 1,3 **Am** Américium (243)	96 1,3 **Cm** Curium (247)	97 1,3 **Bk** Berkélium (247)	98 1,3 **Cf** Californium (251)	99 1,3 **Es** Einsteinium (252)	100 1,3 **Fm** Fermium (257)	101 1,3 **Md** Mendélévium (258)	102 1,3 **No** Nobélium (259)	103 **Lr** Lawrencium (266)

État à 25 °C :
(Couleur symbole)

Solide

Liquide

Gazeux

Alcalins

Alcalino-terreux

Halogènes

Gaz nobles

Métaux

Métalloïdes

Non-métaux

Radioactif

Synthétique

GUIDE D'APPRENTISSAGE

TRANSFORMATIONS

LES MATIÈRES RÉSIDUELLES

SCIENCE ET TECHNOLOGIE

SCT-4064-2

sofad

Gestion de projet
Alain Pednault

Conception pédagogique
Judith Sévigny

Rédaction de contenus
Judith Sévigny
(Chapitres 1 à 5, annexes, glossaire)
Stéphanie Gervais
(Chapitre 6, autoévaluation, réactivation)

Révision pédagogique et scientifique
France Vallée
Gilles St-Louis

Révision linguistique
Isabelle Pauzé

Conception et production des illustrations
Marc Tellier

Conception graphique et couverture
Mylène Choquette

Infographie
Marquis Interscript

Daniel Rémy
(Chapitre 1)

Correction d'épreuves
Ginette Choinière
Gilles St-Louis
Isabelle Pauzé

Crédits photos
Shutterstock
C1 © MOHAMED ABDULRAHEEM • p. 2 © Peter Scholz • p. 3h © Richard Thornton • p. 3b © Kekyalyaynen • p. 4 © Sue Smith • p. 8 © daizuoxin • p. 9 © Raimundas • p. 11 © showcake • p. 12 © David P. Lewis • p. 14g © BasPhoto • p. 14d © Aries Sutanto • p. 15 © Wuttichok Panichiwarapun • p. 16 © Michelangelus • p. 24 © Glenn Price • p. 26h © koosen • p. 26b © nikkytok • p. 27 © winnond • p. 29 © Portogas D Ace • p. 34 © Arina P Habich • p. 38 © JPC-PROD • p. 42 © Juris Teivans • p. 44 © igorstevanovic • p. 45 © blvdone • p. 54 © Somchai Som • p. 55 © Andrii Zhezhera • p. 56 © Hywit Dimyadi • p. 58 © bibiphoto • p. 59h © Kokoulina • p. 59b © igorstevanovic • p. 60 © Singkham • p. 62 © Singkham • p. 63 © cgdeaw • p. 66g © KajzrPhotography • p. 66d © Timothy Epp • p. 67 © egilshay • p. 78 © Lijuan Guo • p. 79 © InnaVar • p. 82 © whitelook • p. 84 © Nine_Tomorrows • p. 86 © Bobak • p. 89 © Roman Becker • p. 95 © A3pfamily • p. 96 © bmnarak • p. 102 © Pumidol • p. 104 © severija • p. 105h © fotohunter • p. 105b © isak55 • p. 106 © Sergey Nivens • p. 108 © Egorov Artem • p. 115 © Jason Winter • p. 120 © Ezume Images • p. 124h © spetenfia • p. 124b © Flower_Power • p. 130 © Constantine Pankin • p. 132h © Tyler Olson • p. 133 © Arcady • p. 135g © wiedzma • p. 135c © Penny Hillcrest • p. 135d © Aaron Amat • p. 137g © Charles Shapiro • p. 137d © Peter Gudella • p. 138g © genky • p. 138c © Roman Sigaev • p. 138d © Olga Kovalenko • p. 139 © MarcelClemens • p. 162 © Bonezboyz • p. 164 © Africa Studio • p. 165h © Titima Ongkantong • p. 165b © Rossario • p. 166 © Feng Yu • p. 169 © Sebastian Duda • p. 171 © watchara • p. 178 © ktsdesign • p. 182 © Ezume Images • p 201 © Triff • p. 206 © Dmitry Pichugin • p. 216 © corlaffra • p. 218 © KieferPix • p. 219h © Dmitry Naumov • p. 219b © SJ Travel Photo and Video • p. 220 © totojang1977 • p. 222 © Mimadeo • p. 223 © Mega Pixel • p. 224 © Neveshkin Nikolay • p. 228 © Valentyn Volkov • p. 230 © Rudchenko Liliia • p. 231 © photopixel • p. 240 © pixelparticle • p. 246h © 06photo • p. 246b © arctic ice • p. 254 © totojang1977 • p. 268 © Daniel Hebert • p. 272 © somsak intana • p. 273h © Quality Stock Arts • p. 273b © SUWIT NGAOKAEW • p. 274 © Predrag Sepelj • p. 276h © Joshua Resnick • p. 276b © Paul_K • p. 281 © Anastasia_Panait • p. 284 © Massimiliano Pieraccini • p. 285 © Robnroll • p. 287 © Pixavril • p. 291 © Tom Black Dragon • p. 292 © 06photo • p. 306 © Bjoern Wylezich • p. 308 © corlaffra

Wikimedia Commons
p. 110 © Paul Ehrenfest • p. 113 © Bortzelis Essette • p. 145 © Kuebi • p. 200 © George Grantham Bain Collection (Library of Congress) • p. 202 © K. Mado, Y. Ishii, T. Mazaki, M. Ushio, H. Masuda, T. Takayama

Adobe Stock
p. 132b © farbled_01 • p. 209 © fox17

Légende : d = droite c = centre g = gauche
h = haut b = bas

© SOFAD 2017
Tous droits de traduction et d'adaptation, en totalité ou en partie, réservés pour tous pays. Toute reproduction, par procédé mécanique ou électronique, y compris la microreproduction, est interdite sans l'autorisation écrite d'un représentant dûment autorisé de la SOFAD.

Tout usage en location ou prêt est interdit sans autorisation écrite et licence correspondante octroyée par la SOFAD.

Cet ouvrage est en partie financé par le ministère de l'Éducation, et de l'Enseignement supérieur du Québec.

Dépôt légal – 2017
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN : 978-2-89493-783-9 (imprimé)
ISBN : 978-2-89493-784-6 (PDF)

Juillet 2017

Table des matières

Cet aperçu contient :
- la table des matières;
- l'introduction;
- chapitre 1.

CHAPITRE 1

Écologie et biotechnologie
Introduction à la science de l'environnement

SITUATION 1.1

L'ÉCOTOXICOLOGIE | LA CONTAMINATION DU SOL, DE L'AIR ET DE L'EAU | LA BIODÉGRADATION DES POLLUANTS

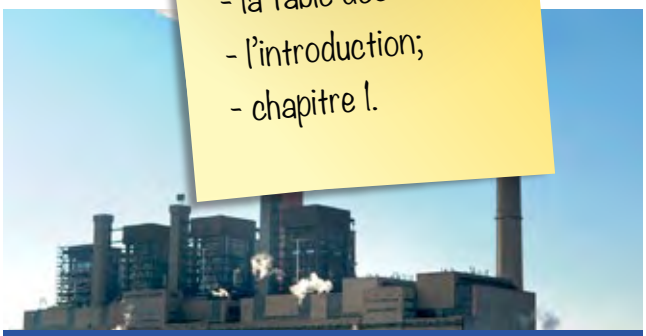
SA 1.1 – Un terrain à décontaminer 4
Exploration 5
Appropriation A 7
Résolution 20
Consolidation 24

SITUATION 1.2 ACTIVITÉ PRATIQUE

L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE | LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

SA 1.2 – Le traitement des eaux usées 26
Exploration 27
Appropriation A 29
Résolution 36
Appropriation B 42
Consolidation 48

SAVOIRS EN RÉSUMÉ 50
INTÉGRATION 54
SAÉ 56



CHAPITRE 2

Lithosphère, hydrosphère et atmosphère
L'écologie du sol, de l'eau et de l'air

SITUATION 2.1 ACTIVITÉ PRATIQUE

LA CONTAMINATION DU SOL ET DE L'EAU | L'ÉPUISEMENT ET LA CAPACITÉ TAMPON DU SOL | LE BASSIN VERSANT

SA 2.1 – Les résidus de l'agriculture 60
Exploration 61
Appropriation A 63
Résolution 70
Appropriation B 74
Consolidation 80

SITUATION 2.2

LA CONTAMINATION DE L'AIR | LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE : LES VENTS DOMINANTS | LE CYCLE DU PHOSPHORE ET L'EUTROPHISATION

SA 2.2 – Le smog 82
Exploration 83
Appropriation A 85
Résolution 90
Appropriation B 92
Consolidation 97

SAVOIRS EN RÉSUMÉ 98
INTÉGRATION 100
SAÉ 102

© SOFAD – Reproduction interdite.

CHAPITRE 3

Tableau périodique

Matière à classement ou classement de la matière ?

SITUATION 3.1

LE MODÈLE ATOMIQUE · LE NUMÉRO ATOMIQUE · LA MASSE ATOMIQUE RELATIVE · LES ISOTOPES

SA 3.1 – L'atome au fil du temps 106
Exploration 107
Appropriation A 109
Résolution 116
Appropriation B 118
Consolidation 121

SITUATION 3.2 ACTIVITÉ PRATIQUE

LE TABLEAU PÉRIODIQUE (GROUPES ET PÉRIODES) · LA RADIOACTIVITÉ · LA STABILITÉ NUCLÉAIRE

SA 3.2 – Ferrailleur amateur 124
Exploration 125
Appropriation A 127
Résolution 140
Appropriation B 144
Consolidation 150

SAVOIRS EN RÉSUMÉ 154
INTÉGRATION 156
SAÉ 162

CHAPITRE 4

Organisation de la matière

Des éléments aux composés

SITUATION 4.1

LES RÈGLES DE NOMENCLATURE ET D'ÉCRITURE · LES IONS POLYATOMIQUES · LA NOTATION DE LEWIS

SA 4.1 – Une polémique chimique! 166
Exploration 167
Appropriation A 168
Résolution 176
Appropriation B 178
Consolidation 180

SITUATION 4.2 ACTIVITÉ PRATIQUE

LA NATURE DE LA LIAISON · LA FORCE DES ÉLECTROLYTES · LA FISSION ET LA FUSION NUCLÉAIRES

SA 4.2 – Des solutions électriques 182
Exploration 183
Appropriation A 185
Résolution 194
Appropriation B 198
Consolidation 207

SAVOIRS EN RÉSUMÉ 210
INTÉGRATION 214
SAÉ 216

© SOFAD – Reproduction interdite.

CHAPITRE 5

Propriétés physiques des solutions

L'eau, la solution clé

SITUATION 5.1

LA NOTION DE MOLE ET LE NOMBRE D'AVOGADRO · LA CONCENTRATION EN MOL/L · LA PÉRIODICITÉ DES PROPRIÉTÉS

SA 5.1 – Au laboratoire d'analyse environnementale ... 220
Exploration ... 221
Appropriation A ... 223
Résolution ... 232
Appropriation B ... 236
Consolidation ... 241

SITUATION 5.2 ACTIVITÉ PRATIQUE

LA SOLUBILITÉ · LA PRÉCIPITATION

SA 5.2 – Un produit à éliminer ... 246
Exploration ... 247
Appropriation A ... 248
Résolution ... 256
Consolidation ... 260

SAVOIRS EN RÉSUMÉ ... 262
INTÉGRATION ... 264
SAÉ ... 268

CHAPITRE 6

Les transformations chimiques

Tout se transforme !

SITUATION 6.1

LA RÉACTION DE NEUTRALISATION ACIDOBASIQUE · LES SELS · L'OXYDATION · LA DÉCOMPOSITION ET LA SYNTHÈSE

SA 6.1 – Neutralisons les vieilles batteries ... 274
Exploration ... 275
Appropriation A ... 276
Résolution ... 282
Appropriation B ... 284
Consolidation ... 288

SITUATION 6.2 ACTIVITÉ PRATIQUE

LA STOECHIOMÉTRIE

SA 6.2 – Décontamination chimique ... 292
Exploration ... 293
Appropriation A ... 294
Résolution ... 298
Consolidation ... 302

SAVOIRS EN RÉSUMÉ ... 304
INTÉGRATION ... 306
SAÉ ... 308

COMPLÉMENTS

AUTOÉVALUATION ... 311
RÉACTIVATION ... 323
ANNEXES ... 328
GLOSSAIRE ... 331
CORRIGÉ ... 340
GRILLE D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES ... 395

© SOFAD – Reproduction interdite.

Présentation du guide d'apprentissage

Bienvenue dans le guide d'apprentissage du cours *Les matières résiduelles*. Ce cours de **Science et technologie** en **4e secondaire** a pour but de développer votre habileté à traiter des situations en rapport avec la production et l'élimination des résidus de la transformation des ressources naturelles et de leur impact sur l'environnement.

À cette fin, vous serez amené à étudier des problématiques ou des applications technologiques en lien avec :

- les transformations chimiques et nucléaires ;
- les propriétés physiques des solutions et l'organisation de la matière ;
- la contamination des différentes enveloppes terrestres et les procédés technologiques qui peuvent les limiter ;
- l'empreinte écologique et l'écotoxicologie ;
- les rejets de la transformation des ressources naturelles et leurs impacts.

Vous serez amené à comprendre ou à résoudre des problématiques en menant des activités expérimentales ou encore en mettant à profit vos connaissances, puis à communiquer adéquatement vos apprentissages.

Vous êtes maintenant convié à réaliser les activités d'apprentissage qui vous sont proposées dans les six chapitres de ce guide.

Portailsofad.com

Sur portailsofad.com des capsules vidéo et des versions imprimables des ressources complémentaires au guide de la collection TRANSFORMATIONS vous accompagneront tout au long de vos apprentissages.

© SOFAD – Reproduction interdite.

COMPOSANTES D'UN CHAPITRE

La démarche d'apprentissage proposée dans un chapitre permet de progresser en réinvestissant les apprentissages réalisés d'une section à l'autre. Le schéma qui suit illustre cette démarche et précise l'intention pédagogique de chacune des sections.

OUVERTURE DU CHAPITRE

La première page décrit le contexte et la thématique qui serviront de trame de fond à l'acquisition des nouveaux savoirs abordés dans le chapitre.

Une table des matières accompagne cette première page. Les savoirs à acquérir y sont présentés pour chacune des *Situations*, ainsi que le thème des situations.

SITUATIONS

Il y a deux *Situations d'apprentissage* par chapitre, l'une théorique et l'autre pratique (expérimentation). La démarche proposée dans ces situations permet d'acquérir de nouveaux savoirs et de développer des compétences dans des contextes réels et signifiants.

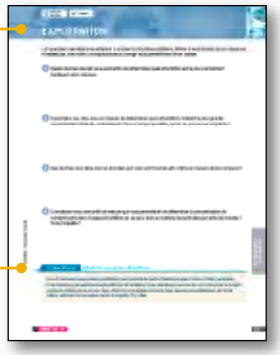
© SOFAD – Reproduction interdite.

PHASES D'UNE SITUATION

PRÉSENTATION DE LA SITUATION

Liée au thème principal du chapitre, cette page décrit brièvement le contexte de la situation, ainsi que des informations nécessaires à la résolution.

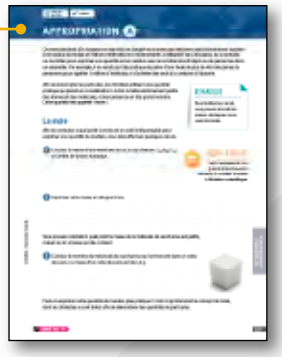
Un encadré décrit la tâche que vous aurez à réaliser plus loin dans la section *Résolution*. Cette tâche est le point de départ qui vous permettra d'acquérir de nouveaux savoirs en vue de résoudre la situation.



EXPLORATION

Cette section vous invite à analyser les informations de la situation ainsi qu'à déterminer les savoirs que vous possédez et ceux que vous devez acquérir pour réaliser la tâche.

Des éléments de la démarche d'investigation en science et des stratégies d'exploration sont aussi proposés.



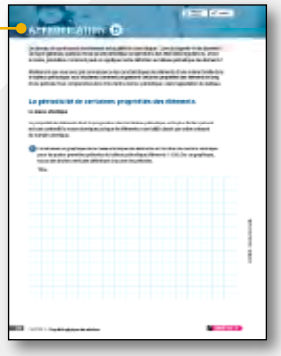
APPROPRIATION A

C'est ici que sont assimilés les savoirs nécessaires pour résoudre la situation.

RÉSOLUTION

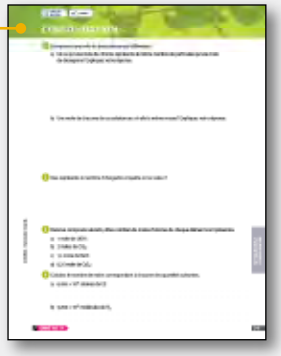
Arrivé à cette section, vous devriez avoir en votre possession toutes les connaissances essentielles à la résolution de la situation énoncée au début de la situation.

D'autres éléments de la démarche d'investigation en science et des stratégies d'analyse sont aussi proposés.



APPROPRIATION B

Dans cette deuxième appropriation, vous acquerrez de nouveaux savoirs prescrits au programme en lien avec ceux vus dans l'*Appropriation A*.



CONSOLIDATION

Cette section vous permettra de consolider les savoirs acquis dans les *Appropriations A* et *B*. Tout comme la section *Intégration*, cette *Consolidation* permet aussi de développer les compétences.

© SOFAD – Reproduction interdite.

EN FIN DE CHAPITRE...

SAVOIRS EN RÉSUMÉ

Cette section résume tous les savoirs *À retenir* qui ont été présentés dans le chapitre.

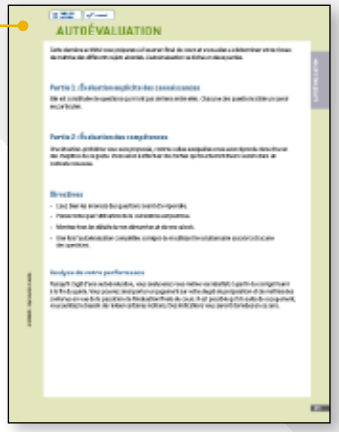
INTÉGRATION

Dans cette section qui inclut des exercices et des situations complexes, vous devrez appliquer les savoirs vus dans ce chapitre.

SAÉ

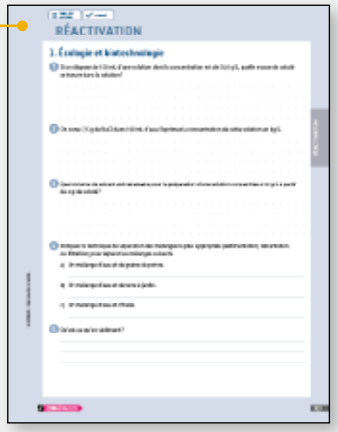
La *SAÉ* est une tâche complexe élaborée selon le modèle des évaluations de sanction. Elle est accompagnée d'une grille d'évaluation des compétences.

COMPLÉMENTS



AUTOÉVALUATION

Une *Autoévaluation* est présentée en première partie de ces *Compléments*. Elle permet d'évaluer vos connaissances acquises et les compétences développées tout au long du cours. Vous pourrez ainsi déterminer les savoirs que vous maîtrisez et ceux pour lesquels une révision s'impose avant de passer à l'*Activité notée synthèse*.



RÉACTIVATION

Au cours des *Situations*, vous croiserez des rubriques *Rappel* présentant des savoirs vus dans un cours antérieur et nécessaires à la compréhension du nouveau savoir ou à la résolution de la situation en cours.

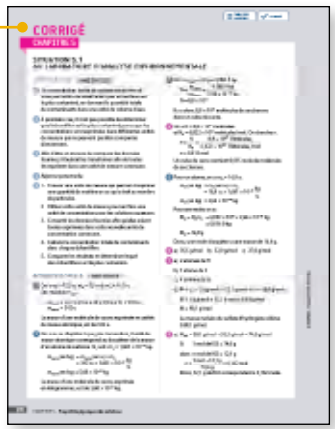
Cette *Réactivation* permettra de réviser, à l'aide de questions d'exercices, les concepts qui font l'objet d'un *Rappel*.

ANNEXES

Dans cette section, on présente des informations complémentaires, notamment certaines abbréviations et unités de mesure.

GLOSSAIRE

Les savoirs à retenir **écrits en bleu** et les termes définis **écrits en noir** dans le texte courant se retrouvent aussi dans le *Glossaire*.



CORRIGÉ

Vers la fin du guide, vous repérerez le *Corrigé*. Il a été conçu non seulement pour valider vos réponses, mais aussi pour vous accompagner dans vos apprentissages. Il contient les réponses aux questions, des explications détaillées sur la démarche ou le raisonnement à mettre en œuvre.

GRILLE D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

Une *Grille d'évaluation des compétences* vous est offerte à la fin du guide. À la suite de la résolution d'une *SAÉ*, vous êtes invité à vous évaluer à l'aide de cette grille. Vous pourrez alors compléter la version abrégée située dans le bas de chaque *SAÉ*.

© SOFAD – Reproduction interdite.

RUBRIQUES

TÂCHE

Vous devrez expliquer lequel des deux types d'agriculture…

Présente la tâche à exécuter dans le cadre de votre situation.

RAPPEL

EXERCICE DE RÉACTIVATION
PAGE XXX, NUMÉROS 1 À 3

L'échelle de pH

Le pH est une mesure…

Réfère à des connaissances que vous avez acquises dans des cours antérieurs et à des exercices de réactivation en lien avec ce *Rappel*.

SAVOIRS À RETENIR

L'**épuisement des sols** consiste en une diminution de la fertilité des sols correspondant à une perte de matériaux et d'éléments nutritifs.

Présente les nouveaux savoirs que vous devez maîtriser. Ce sont les savoirs prescrits par le programme d'études.

DÉMARCHE D'INVESTIGATION *B…*

La première étape de la démarche d'investigation est de définir le problème…

Présente des éléments de la démarche d'investigation en science qui peuvent s'appliquer dans diverses situations.

STRATÉGIE *Envisager…*

Lorsqu'une démarche d'investigation implique de se forger une opinion ou les …

Présente des stratégies d'exploration ou d'analyse qui peuvent s'appliquer dans diverses situations.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Inondations printanières en Montérégie
Au printemps 2011 en Montérégie…

Permet de découvrir des compléments d'informations scientifiques, historiques et culturelles liées aux concepts à l'étude.

© SOFAD – Reproduction interdite.

ASTUCE

L'amont d'un cours d'eau est la direction d'où provient son courant, alors que l'aval est la direction vers laquelle il s'écoule…

Propose une astuce qui simplifie le travail ou offre une façon différente de traiter le problème ou d'appliquer le concept à l'étude.

REMARQUE

Il est important de distinguer les vents dominants des courants-jets. Les courants-jets sont des vents rapides de haute altitude…

Apporte un complément d'information ou des exceptions qui peuvent s'appliquer au concept à l'étude.

BOÎTE À OUTILS

Voir la technique permettant de prélever un échantillon liquide de volume donné.

Réfère à des informations à consulter dans la **Boîte à outils**.

RAPPORT DE LABORATOIRE

Prenez connaissance du **but** de l'expérience et des manipulations du **protocole expérimental**…

Réfère à des informations que vous devez compléter dans le cahier d'expérimentation.

ACTIVITÉ NOTÉE

Vous devez maintenant effectuer l'activité notée 1. Elle est accessible sur le site du cours…

Indique que vous êtes prêt à effectuer l'*Activité notée* prévue pour valider votre compréhension des apprentissages réalisés. L'*Activité notée synthèse* se fait quant à elle, à la toute fin du cours.
Ces activités sont présentées dans des fascicules séparés du guide. Une fois que vous les aurez complétées, vous devrez remettre votre travail à votre enseignant ou à votre tuteur qui vous fournira une rétroaction à la suite de sa correction.

© SOFAD – Reproduction interdite.

Écologie et biotechnologie

Introduction à la science de l'environnement

Les médias nous présentent parfois des images de personnes brandissant des pancartes ou scandant des slogans chocs pour faire connaître leur point de vue concernant l'exploitation des ressources naturelles ou tout autre sujet relatif à l'environnement. Au-delà du militantisme écologiste, l'écologie est d'abord une branche de la biologie qui étudie les interactions des organismes vivants entre eux et avec leur environnement. Cette discipline scientifique est par ailleurs mise en pratique par l'entremise de la biotechnologie, une science où l'on utilise des composantes d'organismes vivants pour créer ou développer des produits et des services. En étudiant le monde vivant, on peut trouver des solutions aux problèmes environnementaux tout en améliorant la qualité de vie des humains. Au cours du présent chapitre, vous acquerrez des connaissances concernant l'écologie et la biotechnologie. À la fin, vous devriez être à même de constater l'importance de bien connaître l'environnement afin de mieux valoriser les matières résiduelles, ainsi que des résidus rejetés par les ménages, les industries, les commerces et les institutions.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CHAPITRE 1

SITUATION 1.1
Un terrain à décontaminer p. 4

L'ÉCOTOXICOLOGIE
LA CONTAMINATION DU SOL, DE L'EAU ET DE L'AIR
LA BIODÉGRADATION DES POLLUANTS

SITUATION 1.2 ACTIVITÉ PRATIQUE
Le traitement des eaux usées p. 26

L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE
LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

SAVOIRS EN RÉSUMÉ p. 50

INTÉGRATION p. 54

SAÉ
Mon empreinte sur la Terre p. 56

© SOFAD - Reproduction interdite.

Un terrain à décontaminer

BUT

Découvrir différents concepts liés à l'écotoxicologie et les appliquer à la décontamination des sols.

Parce que la faune et la flore qui vivent dans les sols sont souvent moins connues que celles des milieux aquatiques, on tend parfois à négliger l'impact que les contaminants peuvent avoir sur la **lithosphère**. Il ne faut cependant pas oublier que l'**écosphère** forme un tout et que la toxicité des contaminants contenus dans le sol peut avoir des impacts dans tout l'environnement. Il existe heureusement plusieurs techniques qui permettent de nettoyer et de réhabiliter les sols contaminés, certaines ayant même recours à la biodégradation par des organismes vivants.

Votre municipalité veut aménager un terrain vacant sur lequel se trouve une station-service désaffectée qui était équipée d'un lave-auto automatique. Afin de rendre le terrain accessible à la communauté, trois projets d'aménagement ont été retenus : un marché public, une aire de jeux pour enfants et un jardin communautaire.

Avant toute chose, le terrain doit être décontaminé afin de le rendre propice à son utilisation future. Pour ce faire, quatre entreprises locales spécialisées en décontamination des sols ont proposé leurs services à la municipalité.

Lithosphère
Enveloppe externe rigide de la Terre. Elle est formée de la croûte terrestre et du manteau externe.

Écosphère
Milieu terrestre propice au développement de la vie.

TÂCHE

Vous devrez :
- déterminer les principaux contaminants à éliminer du terrain ;
- analyser l'offre des entreprises de décontamination ;
- recommander le projet d'aménagement parmi les trois retenus, dont l'impact environnemental sera le moins important ;
- aviser la municipalité sur la ou les entreprises qui devraient obtenir le mandat de décontamination.

© SOFAD - Reproduction interdite.

EXPLORATION

Les questions suivantes vous aideront à analyser la situation-problème. Même si vous doutez de vos réponses, n'hésitez pas à les noter. Les explications fournies dans le corrigé vous permettront de les valider.

DÉMARCHE D'INVESTIGATION *Présentation de la démarche*

La démarche d'investigation est utilisée afin de résoudre une situation-problème, de traiter d'une problématique ou d'étudier un phénomène ou une application. Elle convient aussi bien à un sujet scientifique que technologique.

Bien que la démarche d'investigation soit divisée en cinq étapes successives, celles-ci ne sont pas toujours mises en œuvre de façon linéaire. Cette démarche permet des retours en arrière au besoin. Les étapes sont les suivantes : définir le problème ou le besoin, formuler une hypothèse, vérifier l'hypothèse, tirer des conclusions et communiquer vos résultats ou solutions. Chacune de ces étapes sera présentée plus en détail tout au long du guide, accompagnée de stratégies d'exploration et d'analyse.

BOÎTE À OUTILS

Vous trouverez une présentation sommaire de la **Démarche d'investigation en science** et de ses différentes étapes dans la Boîte à outils.

1 Dans le texte d'introduction de la situation d'apprentissage de la page précédente, repérez les mots ou les concepts clés pertinents au sujet de la décontamination d'un sol et transcrivez-les ici.

STRATÉGIE *Repérer les mots ou les concepts clés*

Afin de définir le problème qu'il faut résoudre, il convient de circonscrire les informations appropriées au problème, c'est-à-dire de délimiter le sujet de la situation. Pour ce faire, on peut repérer les mots et les concepts clés de la situation, comme vous venez de le faire, puis définir les termes pertinents à l'aide de ressources documentaires, comme un dictionnaire ou une source de référence informatique disponible sur Internet.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 340

2 Pour chacun des mots ou des concepts clés que vous avez repérés à la question précédente, trouvez une définition et indiquez la source que vous avez consultée.

Au fil de l'*Appropriation* qui suit, vous prendrez connaissance de divers concepts liés à l'écotoxicologie, cette branche de l'écologie qui étudie l'effet toxique des contaminants sur les écosystèmes et leurs habitants, de même que leur circulation dans la biosphère. Vous y retrouverez assurément certaines définitions que vous venez de transcrire.

© **SOFAD** - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 340

APPROPRIATION A

Plusieurs activités humaines sont responsables de la contamination des écosystèmes par diverses substances plus ou moins toxiques. Afin de réduire l'impact de nos activités sur la biosphère, il faut entre autres identifier les contaminants produits. Il devient alors possible d'agir dans le sens de les éliminer de l'environnement ou, à tout le moins, d'en diminuer les effets néfastes.

Les contaminants

On décrit souvent un contaminant comme une substance qui se trouve là où elle ne devrait pas être. À cet égard, on peut penser à des protéines de soja présentes dans un aliment destiné à des personnes qui pourraient y être allergiques, ou encore à une bactérie pathogène qui se trouverait sur un outil chirurgical censé être stérile. Pour être en mesure d'étudier les effets de contaminants sur un écosystème ou un organisme, on doit d'abord définir formellement ce qu'est un contaminant.

SAVOIRS À RETENIR

Un **contaminant** est un agent causant la modification de propriétés physiques, chimiques ou biologiques d'un milieu ou d'un organisme.

REMARQUE

Cette définition de contaminant est utilisée en écotoxicologie et servira dans le présent guide. On peut considérer que « polluant » et « contaminant » sont des synonymes.

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

1 Pour chacun des exemples qui suivent, indiquez par un crochet si le contaminant présent modifie les propriétés physiques, chimiques ou biologiques du milieu contaminé ou des organismes qui y vivent.

Exemple de contamination	Modification		
	Physique	Chimique	Biologique
L'eau utilisée pour le refroidissement de la machinerie d'une usine de pâtes et papiers est rejetée directement dans la rivière longeant l'usine.			
Depuis quelques décennies, on remarque une augmentation, dans certains cours d'eau, de la concentration d'œstrogène synthétique, une hormone jouant un rôle dans l'ovulation.			
Les centrales thermiques classiques rejettent dans l'atmosphère des oxydes d'azote et de soufre.			
Lors de fortes pluies, il y a parfois une surcharge des stations de traitement des eaux usées, qui doivent alors rejeter des eaux non traitées directement dans des cours d'eau.			

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 340

À la question précédente, le contaminant du premier énoncé (l'eau) modifie les propriétés physiques de la rivière. Ainsi, bien que l'eau rejetée dans la rivière par l'usine soit propre, elle est plus chaude que le milieu qui l'accueille. On observe donc une augmentation de la température de l'eau de la rivière.

L'augmentation de la concentration d'œstrogène synthétique dans les cours d'eau, provenant entre autres des pilules contraceptives, provoque la transformation sexuelle des amphibiens. Là où on observe une importante contamination, on dénombre une plus grande population femelle qu'à la normale. La contamination de l'eau par les hormones de synthèse entraîne donc une modification des propriétés biologiques de certains organismes.

Les oxydes d'azote et de soufre réagissent avec les gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère pour former de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique. Leur présence entraîne donc une modification des propriétés chimiques de l'eau de pluie, qui devient alors acide. Lorsque cette eau tombe, elle acidifie les sols et les cours d'eau.

Le rejet d'eaux usées non traitées dans un cours d'eau en modifie à la fois les propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les matières fécales rejetées dans l'eau augmentent sa **turbidité** (modification physique) et favorisent la prolifération de bactéries *E. coli* (modification biologique). Les eaux usées peuvent aussi contenir des sels de déglaçage, qui sont épandus sur les routes l'hiver. Ceux-ci modifient les propriétés chimiques de l'eau.

Turbidité
Réduction de la transparence de l'eau en raison de la présence de fines particules en suspension.

2 Puisque les contaminants peuvent se retrouver dans le sol, dans l'eau ou dans l'air, nommez deux contaminants que vous connaissez pour chacun de ces milieux.

Sol : _____

Eau : _____

Air : _____

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 340

Le tableau suivant compile un bon nombre de contaminants qu'on retrouve dans l'environnement.

Les principaux contaminants et les milieux touchés

Contaminant	Milieu contaminé		
	Sol	Eau	Air
Acides nitrique et sulfurique		√	
Aérosols			√
Ammoniac			√
Composés fluorés et chlorés (CFC, fréon, etc.)			√
Composés organiques volatils (COV)			√
Déchets domestiques solides	√	√	
Déchets liquides toxiques	√	√	
Déchets radioactifs	√		√
Eau chaude		√	
Furanne			√
Hydrocarbures (pétrole et dérivés)	√	√	√
Matières organiques mortes (graisses, excréments, bois, etc.)	√	√	
Médicaments (antibiotiques, hormones, etc.)		√	
Métaux lourds (plomb, mercure, zinc, cadmium, nickel, arsenic)	√	√	
Microorganismes (virus, bactéries, parasites)	√	√	
Monoxyde et dioxyde de carbone			√
Nitrates et phosphates	√	√	
Organochlorés (BPC, DDT, etc.)	√	√	√
Oxydes d'azote et de soufre			√
Ozone troposphérique			√
Produits organiques persistants (solvants et pesticides)	√	√	

Aérosol
Ensemble de fines particules solides ou liquides en suspension dans l'air.

Furanne
Composé chimique de formule C_4H_4O utilisé comme réactif en chimie organique.

Hydrocarbure
Composé organique formé de carbone et d'hydrogène.

Matière organique
Matière décomposée d'origine vivante (protéines, lipides, glucides).

Microorganisme
Organisme biologique de taille microscopique.

Ozone troposphérique
Ozone (O_3) présent près du sol et agissant entre autres comme gaz à effet de serre.

Produit organique persistant
Composé organique toxique qui résiste à la biodégradation.

La bioaccumulation et la bioconcentration

Lorsqu'un contaminant est présent dans un milieu, il arrive parfois que les organismes peuplant ce milieu l'absorbent, que ce soit par l'entremise de leur alimentation ou par contact direct avec leur environnement.

SAVOIRS À RETENIR

La **bioaccumulation** est l'accumulation d'un contaminant dans un organisme à partir de son environnement ou de son alimentation.

Le lichen résulte de la symbiose d'un champignon avec des cellules porteuses de chlorophylle.

Par exemple, à la suite de la catastrophe nucléaire de Tchernobyl, survenue en Ukraine en 1986, les lichens du nord de la Russie ont capté des particules radioactives relâchées dans l'air. Les rennes qui se nourrissent de ces lichens ont par conséquent absorbé des **radio-isotopes** qui se sont accumulés dans leur organisme.

Radio-isotope
Isotope radioactif.

© SOFAD - Reproduction interdite.

Le lichen a bioaccumulé du césium radioactif à partir de son environnement, alors que le renne l'a accumulé par l'entremise de son alimentation.

SAVOIRS À RETENIR

Lorsqu'il y a bioaccumulation, le contaminant se retrouve dans l'organisme à des concentrations plus élevées que lorsqu'on le retrouve dans l'environnement. On peut calculer le **facteur de bioaccumulation** en divisant la concentration du contaminant dans l'organisme par sa concentration normale dans l'environnement.

$$\text{Facteur de bioaccumulation} = \frac{\text{Concentration dans l'organisme}}{\text{Concentration normale dans l'environnement}}$$

Exemple :

Une étude a établi la concentration de BPC dans le gras du lait maternel de femmes du Québec à 290 µg/kg, alors que la concentration moyenne présente dans leur alimentation était évaluée à 5,0 µg/kg. Quel est le facteur de bioaccumulation des BPC dans le lait maternel ?

$$\text{Facteur de bioaccumulation} = \frac{\text{Concentration dans l'organisme}}{\text{Concentration normale dans l'environnement}} = \frac{290\,\mu g/kg}{5{,}0\,\mu g/kg} = 58$$

Le facteur de bioaccumulation est de 58, ce qui signifie que la concentration de BPC dans le lait maternel est 58 fois plus élevée que dans l'alimentation des mères.

EXERCICES DE RÉACTIVATION
PAGE 323, NUMÉROS 1 À 3

RAPPEL

La concentration c d'une solution peut être exprimée en différentes unités. Voici les plus courantes.

$$c\ (\text{en g/L}) = \frac{m_{\text{soluté}}\ (\text{en g})}{V_{\text{solution}}\ (\text{en L})}$$

$$c\ (\text{en \% } m/m) = \frac{m_{\text{soluté}}\ (\text{en g})}{m_{\text{solution}}\ (\text{en g})} \times 100\,\% \qquad \text{donc } 1\,\%\ m/m = \frac{1\text{ g de soluté}}{100\text{ g de solution}}$$

$$c\ (\text{en \% } m/V) = \frac{m_{\text{soluté}}\ (\text{en g})}{V_{\text{solution}}\ (\text{en mL})} \times 100\,\% \qquad \text{donc } 1\,\%\ m/V = \frac{1\text{ g de soluté}}{100\text{ mL de solution}}$$

$$c\ (\text{en \% } V/V) = \frac{V_{\text{soluté}}\ (\text{en mL})}{V_{\text{solution}}\ (\text{en mL})} \times 100\,\% \qquad \text{donc } 1\,\%\ V/V = \frac{1\text{ mL de soluté}}{100\text{ mL de solution}}$$

$$c\ (\text{en ppm}) = \frac{m_{\text{soluté}}\ (\text{en g})}{m_{\text{solution}}\ (\text{en g})} \times 10^6 \qquad \text{donc 1 ppm} = \frac{1\text{ g de soluté}}{1\,000\,000\text{ g de solution}} = \frac{1\text{ mg de soluté}}{1\text{ kg de solution}}$$

$$c\ (\text{en ppm}) = \frac{m_{\text{soluté}}\ (\text{en g})}{V_{\text{solution}}\ (\text{en mL})} \times 10^3 \qquad \text{donc 1 ppm} = \frac{1\text{ g de soluté}}{1\,000\text{ L de solution}} = \frac{1\text{ mg de soluté}}{1\text{ L de solution}}$$

© SOFAD - Reproduction interdite.

Exemple :

On doit déterminer la concentration, en g/L, de 500 mL de solution de chlorure de sodium ayant été préparée avec 10,0 g de soluté.

On a $m_{soluté}$ = 10,0 g et $V_{solution}$ = 500 mL = 0,500 L. On cherche (en g/L).

$$c = \frac{m_{soluté}}{V_{solution}} = \frac{10,0\ g}{0,500\ L}$$

$$c = 20,0\ g/L$$

La concentration de la solution est de 20,0 g/L.

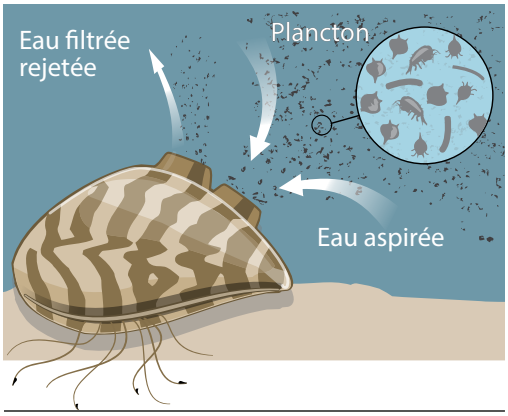
En écotoxicologie, on distingue la bioaccumulation de la bioconcentration.

SAVOIRS À RETENIR

La **bioconcentration** est un cas particulier de bioaccumulation où un organisme accumule un contaminant par contact direct avec son milieu de vie (sources autres qu'alimentaires).

Certaines plantes ont la capacité de capter avec leur feuillage les composés organiques volatils (COV) présents dans l'air. Ces contaminants se trouvent alors concentrés dans diverses parties de la plante. C'est pourquoi on attribue aux plantes des vertus purificatrices et qu'elles sont vendues avec la promesse de dépolluer nos milieux de vie intérieurs. D'autres plantes ont aussi la capacité de capter des contaminants par leur système racinaire. Elles sont d'ailleurs utilisées à l'occasion pour la dépollution des sols ou de l'eau.

3 Outre les plantes, nommez au moins deux autres organismes susceptibles d'accumuler des contaminants.



La moule zébrée filtre l'eau afin de se nourrir de plancton.

Par exemple, parmi les coquillages filtreurs, on trouve la moule zébrée. Pour se nourrir, elle aspire l'eau à travers un siphon. Puis, elle la filtre pour capter les algues microscopiques et le phytoplancton et elle rejette ensuite l'eau. Si sa nourriture est contaminée par des métaux lourds, la moule les accumulera dans sa coquille et ses tissus. C'est pourquoi ce mollusque est utilisé comme **bio-indicateur**.

En mesurant la concentration des contaminants accumulés dans l'organisme de la moule, on obtient un portrait de la contamination de son environnement.

Bio-indicateur
Espèce végétale ou animale dont la présence ou l'état fournit un portrait de la contamination de son environnement. On peut aussi l'appeler espèce indicatrice ou indicateur biologique.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 340

LE SAVIEZ-VOUS ?

Des moules zébrées fixées à une branche.

La moule zébrée

La moule zébrée est originaire de la mer Noire et de la mer Caspienne, situées à la frontière entre l'Europe et l'Asie. Fixée aux coques des bateaux ou transportée dans leurs ballasts, elle a pu envahir les eaux des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent depuis la fin des années 1980, causant d'importants dommages aux infrastructures portuaires, aux stations de traitement des eaux et aux centrales hydroélectriques. Sa grande capacité à capter les polluants pourrait être considérée comme un apport positif aux cours d'eau qu'elle colonise. Cependant, en rendant l'eau plus limpide, la moule zébrée a favorisé la prolifération d'algues à de plus grandes profondeurs qu'à l'habitude. L'introduction de la moule zébrée en Amérique du Nord démontre bien à quel point une espèce exotique peut déstabiliser un écosystème, et ce, en un court laps de temps.

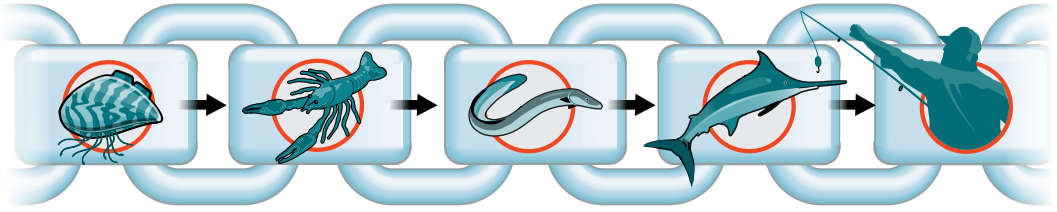
Le mercure est un contaminant qu'on retrouve dans plusieurs milieux aquatiques. Dans les organismes vivants, ce métal lourd est présent sous forme de méthylmercure, un composé produit en **anaérobie** par des bactéries, notamment dans les sédiments marins. Puisque le mercure est très facilement stocké sous cette forme dans les tissus des animaux qui l'absorbent, on observe une bioaccumulation de ce métal chez plusieurs espèces. On est alors en droit de se demander ce qu'il advient de la concentration de ce contaminant dans les tissus des animaux d'une même **chaîne trophique**.

Anaérobie
Se dit d'un processus qui se produit en l'absence d'oxygène.

Chaîne trophique
Ensemble des interrelations entre les organismes d'un écosystème, établies en fonction de leur façon de se nourrir. Dans toute chaîne trophique, aussi appelée chaîne alimentaire, on retrouve des décomposeurs, des producteurs et des consommateurs.

Revenons à la moule zébrée. Puisqu'elle accumule dans sa chair le mercure provenant de son alimentation, le contaminant peut remonter la chaîne trophique jusqu'à l'être humain. Voyons comment, à l'aide de l'exemple suivant.

Exemple :



a) b) c) d) e)

a) La moule zébrée présente une concentration de mercure dans ses tissus d'environ 0,01 ppm.

b) Les écrevisses se nourrissent des plus petits spécimens de moule zébrée. Une écrevisse adulte peut à elle seule en consommer jusqu'à 6 000 en une saison.

c) Parmi les prédateurs de l'écrevisse, on retrouve l'anguille d'Amérique. Cette dernière s'attaque à l'écrevisse pendant sa période de mue, alors que sa carapace est encore molle, ce qui la rend très vulnérable.

d) Bien que l'anguille d'Amérique vive habituellement en eau douce, elle doit retourner dans l'océan Atlantique pour frayer. À ce moment, elle devient une proie pour les grands poissons carnassiers, comme l'espadon. La concentration de mercure dans la chair de l'espadon est souvent supérieure à 1 ppm.

e) L'espadon est largement exploité commercialement ; environ 125 000 tonnes métriques de ce poisson ont été pêchées en 2014. À l'âge adulte, ses principaux prédateurs sont l'humain et le requin.

© SOFAD - Reproduction interdite.

4 a) Sachant que la concentration moyenne de mercure dans l'eau est de 0,000 001 ppm, quel est le facteur de bioaccumulation du mercure dans la moule zébrée ?

b) Quel est le facteur de bioaccumulation du mercure dans l'espadon ?

La concentration de mercure dans l'espadon, qui se situe près du sommet de la chaîne trophique, est donc 100 fois supérieure à celle qu'on retrouve dans la moule zébrée.

SAVOIRS À RETENIR

La **bioamplification** est l'augmentation de la concentration d'un contaminant au sein de différents organismes, du bas vers le haut de la chaîne trophique.

La toxicité

La définition du terme « écotoxicologie » réfère à l'effet toxique des contaminants sur les organismes ou les écosystèmes. Mais qu'est-ce qu'une substance toxique ?

5 a) Nommez trois substances toxiques pour l'humain.

b) Pourquoi considérez-vous ces substances comme toxiques ? Qu'ont-elles en commun ?

SAVOIRS À RETENIR

La **toxicité** d'une substance est sa capacité à induire un effet néfaste chez un être vivant. Une substance est donc toxique lorsqu'elle nuit aux fonctions biologiques d'un organisme. Elle peut le rendre malade, modifier son comportement ou même le tuer. Dans ce dernier cas, on parle de toxicité aiguë.

Par exemple, le mercure est une substance toxique pour l'humain et les animaux. Sous forme de vapeur, il est absorbé par les poumons, d'où il passe directement au système sanguin. Sous forme de méthylmercure, il est absorbé par l'intermédiaire de l'alimentation. Parmi les effets toxiques du mercure, on note une modification des fonctions cérébrales et rénales chez l'humain, ainsi qu'une affection des fonctions reproductrices chez divers animaux.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 340

Certains organismes ont toutefois développé un moyen de survie original : ils produisent des substances qui ne sont pas toxiques pour eux, mais qui le sont pour d'autres organismes. L'if du Canada, un arbuste résineux, renferme dans sa sève une teneur élevée en taxine, une substance qui devient toxique si elle est ingérée par les animaux ou l'humain. À faible dose, cette substance possède toutefois des vertus médicinales. Elle entre maintenant dans la composition de certains médicaments anticancéreux.

L'if du Canada

Un fugu

D'autres organismes sont en mesure de bioaccumuler des substances qui ne sont pas toxiques pour eux, mais qui le sont pour d'autres organismes. C'est notamment le cas du fugu, un poisson japonais très recherché pour sa chair, alors que son foie et ses ovaires renferment une substance mortelle contre laquelle il n'existe aucun antidote : la tétrodoxine. Le fugu bioaccumule cette substance provenant d'une algue dont il se nourrit et contre laquelle il est résistant. Au Japon, seuls les cuisiniers disposant d'une licence accordée par l'État sont autorisés à préparer ce poisson. Ils doivent alors retirer minutieusement les organes toxiques sans contaminer la chair du poisson.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les ampoules fluorescentes compactes (ou fluocompactes) contiennent de 1 à 25 mg de mercure.

Le mercure dans les produits de consommation

Malgré sa grande toxicité, le mercure est encore utilisé dans certains produits de consommation courante. Pensons notamment aux ampoules fluorescentes compactes (ou fluocompactes), dont les défis reliés à l'élimination sécuritaire posent problème. On trouve aussi du mercure dans les amalgames dentaires (les plombages), dans certains produits cosmétiques et comme agent de conservation dans des vaccins. Toutefois, les teneurs observées dans l'organisme d'un individu nord-américain moyen sont bien en deçà du seuil reconnu de toxicité. L'utilisation du mercure dans les thermomètres et les tensiomètres (appareils de mesure de la tension artérielle) est désormais interdite, mais le métal peut être encore présent dans des instruments anciens. Il était aussi utilisé comme antiseptique jusqu'à récemment, dans le mercurochrome, par exemple.

© SOFAD - Reproduction interdite.

Un contaminant est-il toujours toxique ? Si non, quels facteurs peuvent influer sur la toxicité d'un contaminant ?

SAVOIRS À RETENIR

Le premier facteur influant sur la toxicité d'un contaminant est sa concentration. Le **seuil de toxicité** est la quantité ou la concentration minimale d'une substance qui produit un effet néfaste notable sur un organisme.

Par exemple, lorsqu'un nouveau médicament est créé par l'industrie pharmaceutique, les chercheurs doivent établir la dose minimale qui produira l'effet escompté, mais aussi le seuil au-dessus duquel le médicament peut devenir toxique. Même l'acétaminophène, un **analgésique** couramment utilisé, peut s'avérer toxique lorsqu'il est consommé en trop grande quantité. Lorsque le seuil de toxicité est dépassé, la prise d'acétaminophène peut causer des lésions permanentes au foie d'un humain.

Analgésique
Médicament possédant la propriété de diminuer ou de supprimer la douleur.

On peut aussi penser à la bactérie *E. coli*, qui fait naturellement partie de la flore intestinale de l'humain, et ce, sans causer le moindre problème. Cependant, lorsqu'une souche pathogène de cette bactérie se trouve en trop grande quantité dans l'organisme, elle a un effet toxique, entraînant des diarrhées qui peuvent être mortelles chez les sujets fragiles (les jeunes enfants, les personnes âgées ou les personnes dont le système immunitaire est affaibli, par exemple).

SAVOIRS À RETENIR

La toxicité d'un contaminant ne dépend pas uniquement de sa concentration, mais aussi des caractéristiques du milieu dans lequel il est rejeté, de la nature des organismes avec lesquels il est en contact, de la durée d'exposition ainsi que de sa **durée de vie**.

Durée de vie
Temps nécessaire pour qu'un contaminant soit éliminé naturellement d'un milieu ou d'un organisme.

Les produits organiques persistants (POP) ont une longue durée de vie. Ils sont peu biodégradables et ont alors tendance à s'accumuler dans les organismes contaminés. Ces derniers sont donc exposés pendant une très longue période de temps à ce type de contaminants, même si les contaminants ne sont plus présents dans leur environnement. Les effets toxiques sont alors cumulatifs.

© SOFAD - Reproduction interdite.

Bien que la survie du faucon pèlerin ait été compromise par l'utilisation du DDT, l'espèce n'est plus menacée d'extinction au Québec, malgré qu'elle reste vulnérable.

Un des produits organiques persistants les plus connus est le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), un insecticide synthétique interdit d'usage au Canada et aux États-Unis depuis le début des années 1990. Largement utilisé entre les années 1940 et 1970 dans les champs de coton, le DDT sert encore de nos jours dans certains pays pour contrer les épidémies de paludisme, une maladie transmise par les moustiques. La toxicité du DDT se manifeste bien sûr chez les insectes, mais aussi chez les oiseaux et les amphibiens. Ce produit s'avère d'ailleurs responsable du déclin des populations de pygargue à tête blanche et de faucon pèlerin. Chez ces rapaces, le DDT nuit à l'absorption du calcium, rendant du coup la coquille de leurs œufs très fragile. Ces populations ont toutefois recommencé à augmenter dans les pays qui ont banni ce produit.

La décontamination des sols

La décontamination des sols est une opération visant à en retirer les contaminants ou, à tout le moins, à les stabiliser afin de réduire leur toxicité et ainsi de minimiser leurs effets néfastes sur l'environnement. Au Québec, les sols sont principalement contaminés aux hydrocarbures (huiles, carburants, etc.) et aux métaux lourds.

Diverses techniques de décontamination des sols existent. Certaines peuvent s'appliquer directement sur les lieux de la contamination : on parle alors de traitements sur site ou *in situ*. D'autres nécessitent le transport des sols contaminés à un lieu de traitement : on parle alors de traitements hors site ou *ex situ*. Voici quelques exemples de techniques utilisées pour la décontamination des sols.

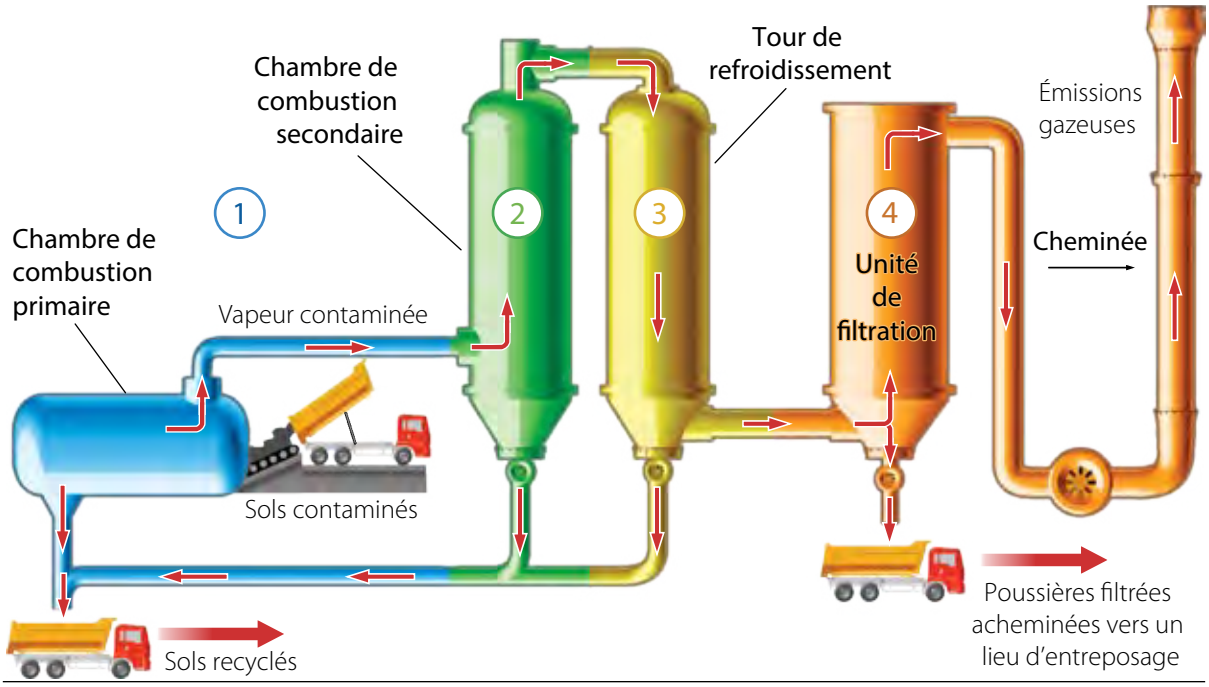
SAVOIRS À RETENIR

Le **traitement thermique** consiste à excaver les sols contaminés pour les transporter par camion jusqu'au site de traitement où ils seront brûlés à haute température dans des fours. Les contaminants sont alors détruits ou rendus inertes.

Cette technique est particulièrement utilisée pour traiter les sols contaminés par des produits organiques, tels les hydrocarbures. La température élevée des fours convertit en bonne partie les polluants en dioxyde de carbone (CO_2) et en vapeur d'eau. Les résidus de **combustion** sont ensuite enfouis dans un site spécialement aménagé. Ce type de traitement est rapide (il prend de quelques heures à quelques semaines), mais il est aussi assez cher, en raison des coûts de transport du sol hors site et de ceux liés à l'énergie dépensée pour chauffer les fours.

Combustion
Réaction d'oxydation rapide accompagnée d'un dégagement de chaleur et d'émission de lumière.

© SOFAD - Reproduction interdite.



Source (adaptation) : Récupère Sol [En ligne].

Étape 1

Les sols contaminés sont déchargés sur un convoyeur à courroie, puis acheminés dans un four rotatif, la chambre de combustion primaire. Ils y sont brûlés à une température supérieure à 650 °C pendant environ une demi-heure. À cette étape, toutes les matières organiques contenues dans les sols et les matières résiduelles sont évaporées. Les sols recyclés sont analysés, puis, s'ils respectent les normes, ils peuvent être réutilisés sur le site ou enfouis dans un site d'enfouissement pour sols contaminés.

Étape 2

Les gaz et les poussières contenant les contaminants organiques sont conduits dans une chambre de combustion secondaire, dont la température excède 1 000 °C. À cette température, les composés organiques dangereux sont détruits.

Étape 3

Les gaz et les poussières passent ensuite dans une tour de refroidissement où, en moins de trois secondes, la température est réduite à moins de 200 °C par la pulvérisation d'un très fin jet d'eau. Cette étape de refroidissement est effectuée très rapidement pour éviter la reformation de sous-produits de combustion, comme des furannes ou des produits organiques persistants. De la chaux hydratée et du charbon activé sont injectés aux gaz refroidis. La chaux hydratée a pour fonction de neutraliser les gaz acides et le charbon activé fournit une sécurité supplémentaire en absorbant les composés organiques pouvant être présents.

Étape 4

Les gaz sont ensuite épurés dans une unité de filtration pour que toutes les particules fines en soient retirées. Ils sont ensuite relâchés dans la cheminée. Un appareil de mesure à la sortie de la cheminée analyse la qualité des émissions afin de s'assurer que celles-ci respectent les lois et les règlements en vigueur.

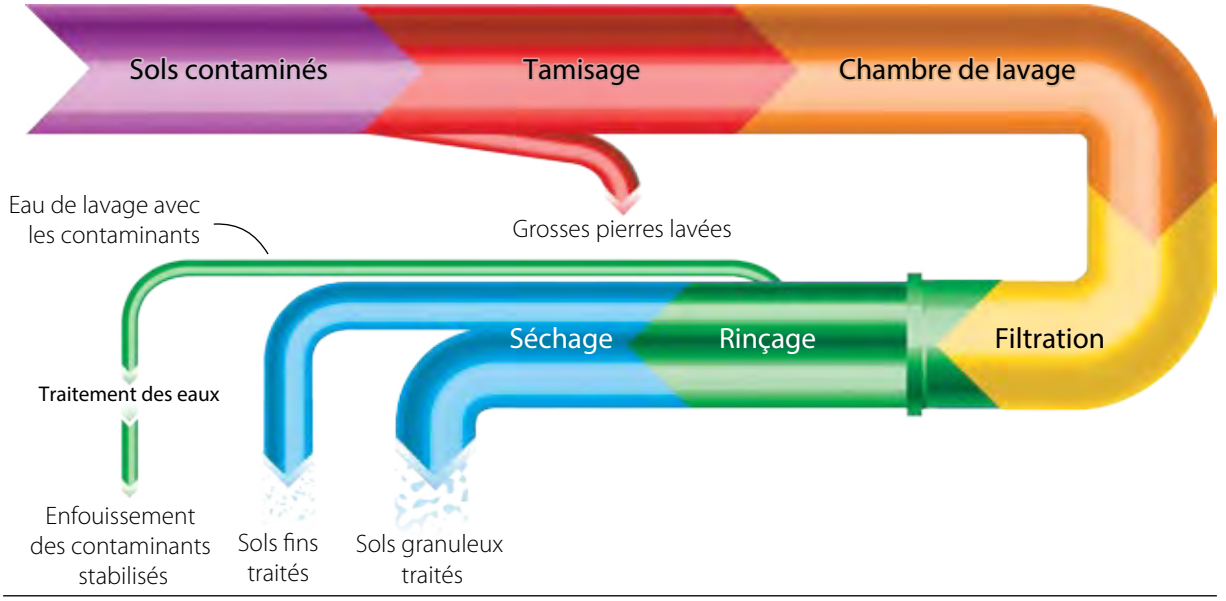
© SOFAD - Reproduction interdite.

SAVOIRS À RETENIR

Le **traitement chimique** vise à stabiliser et à capturer les composés inorganiques présents dans les sols de manière à rendre leur enfouissement sécuritaire pour la santé humaine et l'environnement.

Ce traitement est souvent exécuté hors site, dans une station de traitement. Il est notamment utile pour les substances réfractaires aux traitements biologiques et pour lesquelles le traitement thermique n'est pas le plus approprié, comme les pesticides. C'est une technique rapide dont le coût est modéré.

Le traitement chimique est un procédé complexe ; en voici une présentation schématique.



Une schématisation d'un traitement chimique.

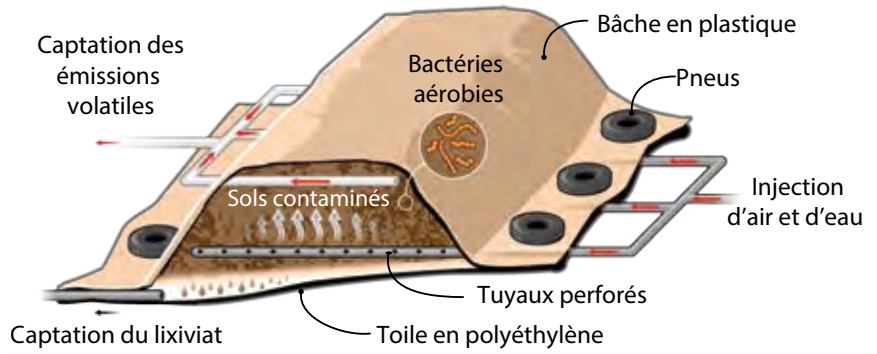
Lors d'un traitement chimique, les sols contaminés passent sur un tamis pour isoler les grosses pierres, afin de ne pas abîmer les équipements ; ces pierres sont nettoyées à part. Les sols sont ensuite transportés dans une chambre de lavage contenant de l'eau et divers produits chimiques pour stabiliser les contaminants. Les sols sont ensuite filtrés pour isoler les particules fines ; puis, ils sont rincés et séchés. L'eau de lavage contenant les contaminants est traitée, puis les contaminants stabilisés sont finalement enfouis.

SAVOIRS À RETENIR

La **biopile** est une technique qui consiste à favoriser l'activité microbienne des sols afin d'accélérer la **biodégradation** **aérobie** des matières organiques.

Aérobie
Se dit d'un processus qui se produit en présence d'oxygène.

© SOFAD - Reproduction interdite.



Le principe de fonctionnement d'une biopile.

Les sols contaminés sont disposés en amas sous une bâche maintenue, par exemple, par des pneus. Des tuyaux perforés sont placés sous l'amas de terre pour l'aérer et l'arroser périodiquement. Les microorganismes se trouvant dans le sol décomposent alors les composés organiques, comme les hydrocarbures, en composés plus simples. Les émissions volatiles sont captées par des tuyaux situés près de la surface du sol, puis le **lixiviat** produit lors de la biodégradation des contaminants est capté par d'autres tuyaux sous la biopile. Après leur traitement, les sols peuvent être remis en place ; c'est pourquoi on dit qu'il s'agit d'une technique de biorestauration ou de bioremédiation. Ce traitement est généralement appliqué sur site. Son coût est modéré, voire faible, si le volume des sols à décontaminer est grand, et le temps de traitement est assez court, soit entre six mois et un an.

Lixiviat
Fluide résultant de la décomposition de déchets.

SAVOIRS À RETENIR

La **phytoremédiation** des sols contaminés met à profit la capacité de certaines espèces de plantes à capter les contaminants par leur système racinaire.

En plantant ces végétaux sur le site contaminé, il est possible d'en retirer les composés riches en azote et en phosphore. Les plantes métabolisent ces composés, ce qui permet de les biodégrader complètement. Elles peuvent aussi capter et bioaccumuler les métaux lourds présents dans le sol. Dans ce cas, on parle de phytostabilisation, puisque ces contaminants ne sont pas biodégradables. Cette technique est peu coûteuse, mais il peut s'écouler plusieurs années avant que des niveaux satisfaisants de décontamination soient atteints dans le sol.

REMARQUE

Aucune méthode de décontamination ne permet à ce jour d'éliminer complètement les contaminants des sols. Cependant, des normes gouvernementales ont été établies afin d'assurer la santé humaine et de préserver l'environnement. Ainsi, la décontamination vise le respect de ces normes, qui dictent la concentration maximale permise dans le sol pour chaque contaminant.

© SOFAD - Reproduction interdite.

RÉSOLUTION

TÂCHE

Vous devrez :

- déterminer les principaux contaminants à éliminer du terrain ;
- analyser l'offre des entreprises de décontamination ;
- recommander le projet d'aménagement parmi les trois retenus, dont l'impact environnemental sera le moins important ;
- aviser la municipalité sur la ou les entreprises qui devraient obtenir le mandat de décontamination.

SITUATION 1.1

L'ÉCOTOXICOLOGIE
LA CONTAMINATION DU SOL, DE L'EAU ET DE L'AIR
LA BIODÉGRADATION DES POLLUANTS

Un terrain à décontaminer

BUT

Découvrir différents concepts liés à l'écotoxicologie et les appliquer à la décontamination des sols.

Parce que la faune et la flore qui vivent dans les sols sont souvent moins connues que celles des milieux aquatiques, on tend parfois à négliger l'impact que les contaminants peuvent avoir sur la **lithosphère**. Il ne faut cependant pas oublier que l'**écosphère** forme un tout et que la toxicité des contaminants contenus dans le sol peut avoir des impacts dans tout l'environnement. Il existe heureusement plusieurs techniques qui permettent de nettoyer et de réhabiliter les sols contaminés, certaines ayant même recours à la biodégradation par des organismes vivants.

Votre municipalité veut aménager un terrain vacant sur lequel se trouve une station-service désaffectée qui était équipée d'un lave-auto automatique. Afin de rendre le terrain accessible à la communauté, trois projets d'aménagement ont été retenus : un marché public, une aire de jeux pour enfants et un jardin communautaire.

Avant toute chose, le terrain doit être décontaminé afin de le rendre propice à son utilisation future. Pour ce faire, quatre entreprises locales spécialisées en décontamination des sols ont proposé leurs services à la municipalité.

Lithosphère
Enveloppe externe rigide de la Terre. Elle est formée de la croûte terrestre et du manteau externe.

Écosphère
Milieu terrestre propice au développement de la vie.

TÂCHE

Vous devrez :
- déterminer les principaux contaminants à éliminer du terrain ;
- analyser l'offre des entreprises de décontamination ;
- recommander le projet d'aménagement parmi les trois retenus, dont l'impact environnemental sera le moins important ;
- aviser la municipalité sur la ou les entreprises qui devraient obtenir le mandat de décontamination.

© SOFAD - Reproduction interdite.

4 CHAPITRE 1 - Écologie et biotechnologie

Voici un rappel de la tâche. Votre municipalité veut aménager un terrain vacant sur lequel se trouve une station-service désaffectée qui était équipée d'un lave-auto automatique. Afin de rendre le terrain accessible à la communauté, trois projets d'aménagement ont été retenus et le terrain doit maintenant être décontaminé afin de le rendre propice à son utilisation future. Pour ce faire, quatre entreprises locales spécialisées en décontamination des sols ont proposé leurs services à la municipalité.

Les contaminants à éliminer

1 Le terrain contaminé a été occupé pendant de nombreuses années par une station-service équipée d'un lave-auto automatique. À votre avis, quels sont les principaux contaminants qui devront être éliminés ?

Analyse de l'offre des entreprises locales en décontamination

Parmi les contraintes imposées par la municipalité dans son projet de revalorisation d'un terrain contaminé, on trouve l'obligation de faire appel aux services d'entreprises locales spécialisées en décontamination. Quatre entreprises de la région sont donc admissibles, chacune étant spécialisée dans une technique de décontamination précise :

- Entreprise A : traitement thermique hors site.
- Entreprise B : biorestauration sur site par biopiles.
- Entreprise C : traitement chimique.
- Entreprise D : phytoremédiation.

© SOFAD - Reproduction interdite.

2 Parmi ces quatre entreprises, laquelle ne pourra pas être retenue pour la revalorisation du terrain contaminé ? Expliquez pourquoi.

3 Pour chacune des trois entreprises restantes, précisez les principaux avantages et inconvénients de leur méthode de traitement des sols contaminés.

© **SOFAD** - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 341

Les projets de revalorisation retenus

La municipalité a retenu trois projets de revalorisation. Vous devrez choisir le projet qui, à votre avis, aura l'impact environnemental le moins important.

- **Projet 1 : Marché public**

  Le premier projet retenu par la municipalité est la construction d'un marché public extérieur dont les kiosques permanents seront en bois. On pourra y trouver un traiteur, une pâtisserie, un maraîcher, un producteur d'ail, un producteur d'œufs, une boucherie et un producteur de petits fruits frais et transformés. Ce projet comprendra aussi un stationnement asphalté pour accueillir les visiteurs.

- **Projet 2 : Aire de jeux pour enfants**

  Le deuxième projet retenu est l'aménagement d'une aire de jeux pour enfants, pourvue de modules de jeux, de jeux d'eau, de pelouse et d'un aménagement paysager. Un petit étang qui servirait de bassin de rétention et de filtration des eaux de ruissellement est aussi prévu.

- **Projet 3 : Jardin communautaire**

  Le dernier projet est la mise en place d'un jardin communautaire où les citoyens pourraient louer une parcelle de terrain afin d'y faire pousser des légumes et des herbes pour leur consommation personnelle. Des récupérateurs d'eau de pluie ainsi que des composteurs seraient mis à la disposition des jardiniers.

4 Maintenant que vous avez tous les éléments en main, sélectionnez un projet de revalorisation pour le terrain à décontaminer. Pourquoi croyez-vous que ce projet soit le meilleur au regard de son impact sur l'environnement ? Y a-t-il, à votre avis, des contraintes spécifiques au projet que vous avez sélectionné concernant la qualité du sol après la décontamination ?

© SOFAD - Reproduction interdite.

DÉMARCHE D'INVESTIGATION *Tirer des conclusions*

L'avant-dernière étape de la démarche d'investigation en science consiste à tirer des conclusions de la recherche, de l'observation ou de l'expérimentation effectuée. Cette étape permet d'exprimer sa compréhension des faits recueillis, d'établir des relations entre eux et de produire des explications dans le but de les communiquer.

Les techniques de décontamination retenues

5 Afin de réaliser le projet sélectionné, à quelle entreprise ou à quelle combinaison d'entreprises la municipalité devrait-elle confier la décontamination du terrain de la station-service désaffectée ? Démontrez que les techniques de décontamination offertes par cette ou ces entreprises sont adéquates pour le projet de revalorisation sélectionné.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 341

CONSOLIDATION

1 Qu'est-ce qu'un contaminant ?

2 Nommez un contaminant pour chacun des milieux ci-dessous.

a) Sol : _____

b) Eau : _____

c) Air : _____

3 Qu'est-ce qui distingue la bioconcentration de la bioaccumulation ?

4 On a mesuré les taux de métaux lourds présents dans les tissus d'un béluga échoué sur les berges du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de la ville de Québec. On a trouvé des concentrations moyennes de cadmium de 74 milligrammes par kilogramme (mg/kg) dans le foie, les muscles et les reins du cétacé, alors que l'eau du fleuve a une concentration moyenne en cadmium dissous de 0,017 microgramme par litre (µg/L) dans cette partie du fleuve. Quel est le facteur de bioaccumulation du cadmium dans le foie du béluga ?
Note : on considère que 1 litre (L) d'eau a une masse d'environ 1 kilogramme (kg).

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 341

5 Expliquez en quoi consiste la bioamplification.

6 Quels facteurs influent sur la toxicité d'un contaminant ?

7 Qu'est-ce que le seuil de toxicité d'un contaminant ?

8 Expliquez en quoi consiste la biodégradation des contaminants.

9 Il existe plusieurs techniques de décontamination des sols.

a) Nommez une technique biologique de décontamination et décrivez-la brièvement.

b) Quels types de contaminants peuvent être traités par cette technique ?

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

Le traitement des eaux usées

BUT

Associer les différentes méthodes de traitement des eaux usées aux contaminants retirés.

L'eau douce est une ressource limitée essentielle à la vie. Le niveau global de la consommation d'eau potable au Québec est estimé à environ 700 L par personne par jour, ce volume étant attribuable en partie au nombre élevé d'entreprises qui utilisent d'importantes quantités d'eau en territoire municipal. Une grande consommation d'eau potable signifie nécessairement une grande production d'eaux usées. Ces eaux doivent plus tard être rejetées dans la nature. Il faut donc les décontaminer afin que leur impact sur l'environnement soit le moins important possible. C'est là que la station de traitement des eaux usées joue un rôle important. À l'intérieur de celle-ci, divers procédés physiques, chimiques et biologiques sont mis en œuvre afin que les rejets soient les plus propres possible.

Pour mieux comprendre les diverses techniques utilisées dans une station de traitement des eaux usées, vous simulerez chaque technique, à petite échelle, et observerez quel contaminant peut être ainsi éliminé.

TÂCHE

Vous devrez mettre au point la séquence d'étapes menant à une épuration optimale des eaux usées, selon les différentes méthodes de traitement proposées.

© SOFAD - Reproduction interdite.

EXPLORATION

Les questions suivantes vous aideront à analyser la situation-problème. Même si vous doutez de vos réponses, n'hésitez pas à les noter. Les explications fournies dans le corrigé vous permettront de les valider.

Avant d'étudier comment les eaux usées sont traitées, il convient de connaître leur provenance afin d'identifier les contaminants qu'elles peuvent contenir.

1. Dans une résidence, quelles sont les sources d'eaux usées ?

2. Nommez des sources d'eaux usées autres que celles produites dans les résidences.

3. Connaissant les diverses sources d'eaux usées municipales, quels contaminants considérez-vous qu'il est possible d'y retrouver ? Pour chaque contaminant, précisez s'il s'agit d'un contaminant de nature physique, chimique ou biologique.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

STRATÉGIE *Anticiper les résultats d'une démarche*

À l'étape de la formulation d'une hypothèse, on tente d'anticiper les résultats que la démarche d'investigation produira, et cela, afin de guider les étapes suivantes de la démarche. Pour ce faire, on peut effectuer une brève recherche concernant le sujet d'étude, s'il ne nous est pas familier, et noter quelques mots ou concepts qui nous semblent pertinents. Il est alors possible de tenter d'établir des liens qui mèneront à la formulation de l'hypothèse.

À l'intérieur d'une station de traitement des eaux usées, plusieurs méthodes de décontamination sont mises en œuvre. Aucune d'elles ne permet à elle seule de retirer tous les contaminants de l'eau à la fois. Parmi les méthodes, on retrouve le dégrillage, la sédimentation, le déshuilage, la floculation et la filtration par charbon activé.

4 Précisez quels contaminants sont visés pour chacune des techniques de décontamination nommées précédemment.

DÉMARCHE D'INVESTIGATION *Proposer un modèle*

L'une des façons de formuler une hypothèse est de proposer un modèle qui permettra d'expliquer le phénomène ou l'objet technique à l'étude. De manière générale, un bon modèle permet d'expliquer certains aspects de la réalité qu'il représente, de mettre en relation diverses observations et de prévoir des événements nouveaux qui pourront ensuite être observés. De plus, un modèle peut être amélioré à la lumière de nouvelles observations effectuées.

5 Proposez une séquence de traitement des eaux usées à partir des méthodes de décontamination mentionnées précédemment.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

APPROPRIATION A

Les eaux usées municipales

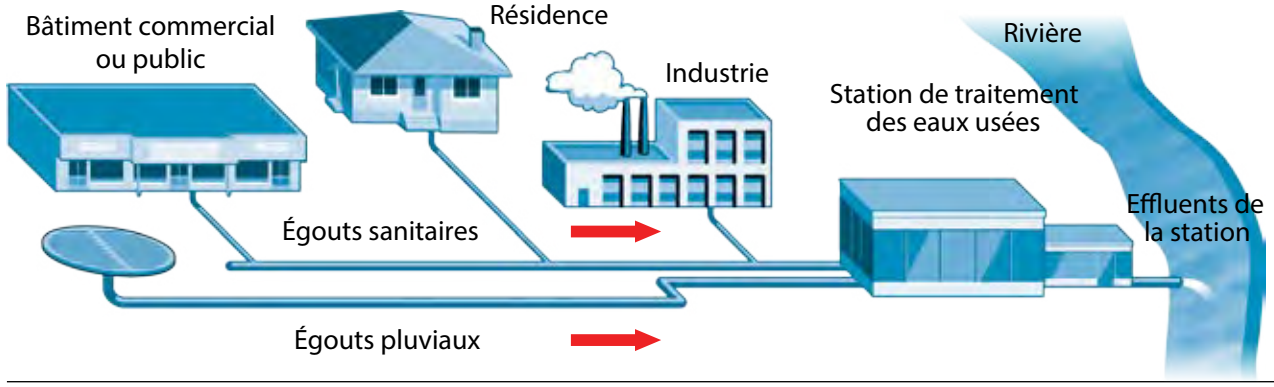
On définit les eaux usées comme des eaux dont la pollution résulte directement de l'activité humaine. Elles proviennent de sources diverses.

1 Comment les eaux usées sont-elles acheminées vers la station municipale de traitement des eaux usées ?

SAVOIRS À RETENIR

Les eaux usées domestiques (provenant des résidences, des commerces et des bâtiments publics) ainsi que les eaux industrielles sont acheminées vers la station de traitement des eaux usées par le réseau d'égouts sanitaires. Les eaux de ruissellement recueillies dans les rues sont quant à elles transportées par le réseau d'égouts pluviaux.

Selon les municipalités, les égouts sanitaires et pluviaux peuvent être communs. Les eaux de ruissellement peuvent aussi être directement rejetées dans un cours d'eau sans être traitées.



Un réseau de collecte et de transport des eaux usées d'une municipalité.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Des médicaments dans les eaux usées

De façon générale, les médicaments qu'on ingère sont en grande partie excrétés dans nos urines ; seulement une petite quantité de substance a le temps de produire un ou des effet(s) dans le corps avant d'être rejetée. Ces médicaments se retrouvent donc dans les eaux usées domestiques. Puisque les stations de traitement ne sont pas conçues pour les éliminer, des résidus de médicaments se retrouvent dans les cours d'eau. Les principaux impacts sont la féminisation des poissons et des amphibiens en contact avec des œstrogènes synthétiques, ainsi que l'augmentation de la résistance des bactéries aux antibiotiques.
Voilà pourquoi il est important de ne jeter aucun médicament, même périmé, dans la toilette. Il faut plutôt rapporter ces produits au pharmacien, qui est en mesure de prendre les dispositions nécessaires afin qu'ils soient éliminés adéquatement.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

Étant donné la variété de contaminants présents dans les eaux usées, leur traitement est primordial afin de préserver l'équilibre fragile des écosystèmes aquatiques dans lesquels elles sont déversées. De plus, en prenant soin des cours d'eau, on s'assure un approvisionnement en eau potable durable.

Le traitement des eaux usées

Les eaux usées sont traitées en plusieurs stades. Bien sûr, les stations de traitement ne sont pas toutes identiques, mais elles fonctionnent généralement selon trois phases cruciales, soit le prétraitement, le traitement primaire et le traitement secondaire. S'ajoute parfois à ces phases un traitement tertiaire comportant diverses techniques, dont certaines relèvent de la biotechnologie.

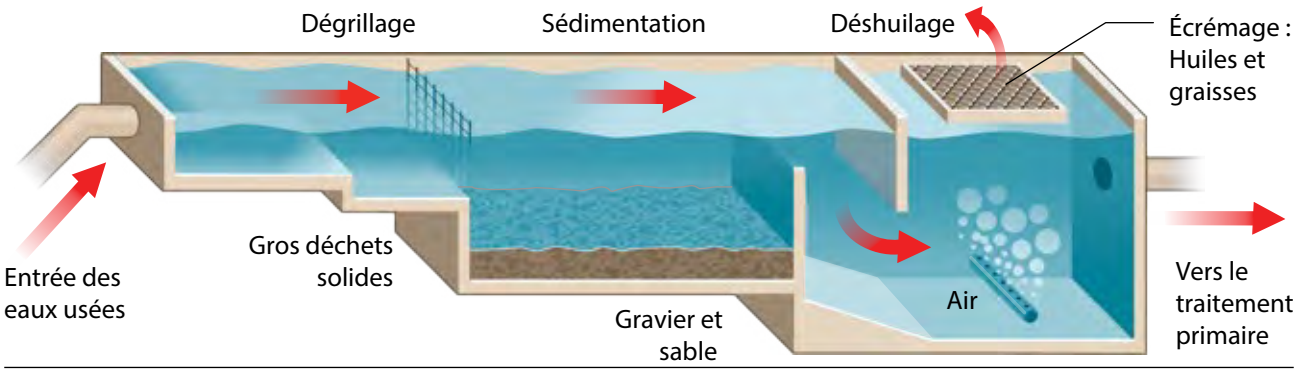
LE SAVIEZ-VOUS ?

La station Jean-R. Marcotte

La station d'épuration des eaux usées Jean-R. Marcotte, qui dessert l'île de Montréal, est la troisième plus vaste au monde. Avec un débit allant jusqu'à 7,6 millions de mètres cubes (m^3) d'eaux usées par jour en temps de pluie, cette usine traite en moyenne l'équivalent du volume intérieur du Stade olympique de Montréal chaque jour.

SAVOIRS À RETENIR

Le **prétraitement** a pour but de retirer des eaux usées les plus gros déchets solides ainsi que les matières insolubles, comme les graisses et les huiles. Cette opération se compose essentiellement de trois étapes : le **dégrillage**, le **dessablage** et le **déshuilage**.



Le prétraitement des eaux usées.

Lors du prétraitement, les eaux usées passent d'abord à travers une grille qui retient les plus gros déchets solides ; c'est le dégrillage. Les eaux usées passent ensuite dans un bassin de sédimentation. Le gravier et le sable se déposent au fond du bassin, où ils sont ensuite récupérés ; c'est le dessablage. La dernière étape du prétraitement est le déshuilage, qui consiste à injecter de l'air dans les eaux usées. Cette opération fait remonter à la surface les matières insolubles, comme les huiles et les graisses, qui forment une mousse. Cette mousse est ensuite retirée par écrémage à l'aide d'un racloir qui balaie la surface de l'eau.

© SOFAD - Reproduction interdite.

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

2 Au cours du prétraitement, les eaux usées subissent quels types de changements : physiques, chimiques ou biologiques ? Expliquez votre réponse.

Le prétraitement des eaux usées consiste donc à séparer les constituants d'un **mélange hétérogène**.

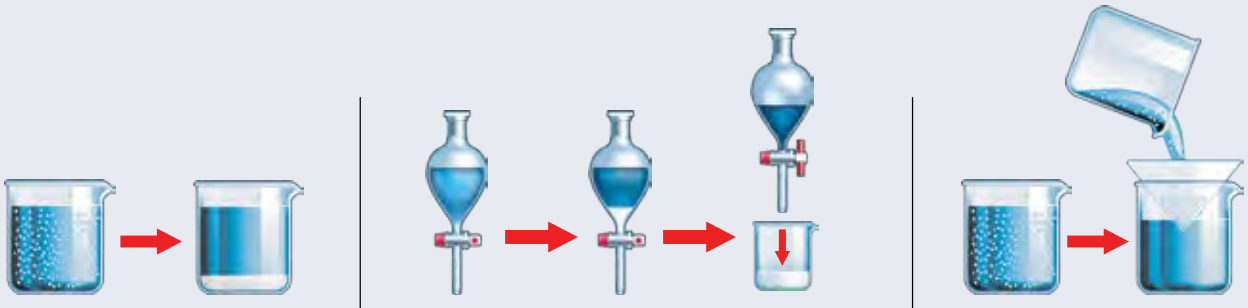
Mélange hétérogène
Mélange dans lequel on peut distinguer les constituants à l'œil nu.

RAPPEL

EXERCICES DE RÉACTIVATION
PAGES 323 ET 324, NUMÉROS 4 À 6

Les méthodes de séparation des mélanges hétérogènes

Il existe trois méthodes de séparation pour les mélanges hétérogènes comportant au moins une phase liquide : la sédimentation, la décantation et la filtration.



a) Sédimentation — b) Décantation — c) Filtration

Trois méthodes de séparation des mélanges hétérogènes.

La sédimentation consiste à séparer les composantes d'un mélange comportant des particules solides en suspension dans une phase liquide. La partie solide tend à se déposer au fond du contenant. Il est ensuite possible de faire couler la phase liquide du mélange en dehors du contenant pour ne garder que le solide déposé, qu'on nomme le sédiment.

La décantation consiste à laisser reposer un mélange de liquides **non miscibles** dans une ampoule à décanter. Le liquide plus dense se dépose alors au fond de l'ampoule. Il est ensuite possible de recueillir le liquide le plus dense dans un bécher en ouvrant la valve à la base de l'ampoule.

Non miscibles
Se dit de deux substances qui ne peuvent être mélangées de manière à obtenir un mélange homogène.

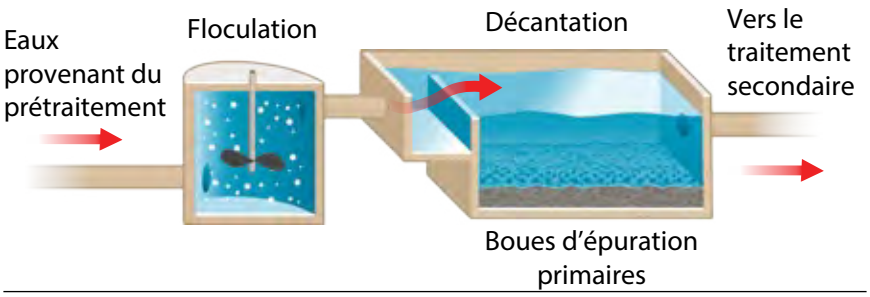
La filtration consiste à faire passer un mélange hétérogène à travers un filtre. Le filtre retient les particules solides tout en laissant passer la phase liquide du mélange.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

SAVOIRS À RETENIR

Le **traitement primaire** consiste en une **floculation** et une **décantation** des matières en suspension des eaux issues du prétraitement.



Le traitement primaire des eaux usées.

Lors du traitement primaire, un **réactif** chimique est ajouté à l'eau, qu'on agite doucement pour favoriser l'agrégation des particules en suspension ; c'est ce qu'on appelle la floculation. Les flocons ainsi obtenus étant plus lourds que l'eau, ils se déposent au fond du bassin de décantation. Ils sont par la suite évacués pour former des boues d'épuration.

Réactif
Substance de départ dans une réaction chimique.

Cette étape du traitement primaire des eaux usées permet de réduire leur teneur en phosphates, tout en éliminant une grande partie des particules en suspension.

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

3 Pendant le traitement primaire, quels types de changements les eaux usées subissent-elles ? Justifiez votre réponse.

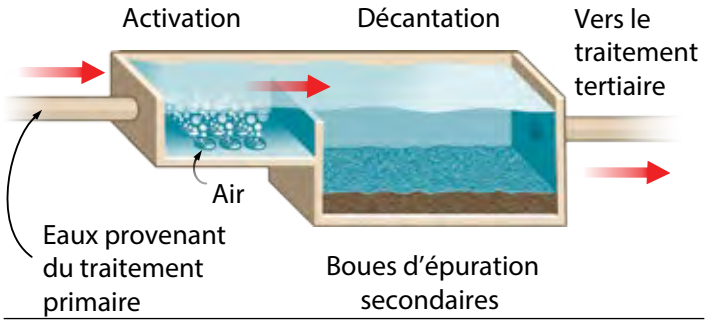
© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

SAVOIRS À RETENIR

Le **traitement secondaire** des eaux usées inclut d'abord une étape d'**activation**, qui consiste à injecter de l'air afin d'activer la **décomposition** des matières organiques par les microorganismes déjà présents, suivie d'une autre décantation.

Décomposition
Transformation chimique au cours de laquelle un composé est séparé en substances plus simples.



Le traitement secondaire des eaux usées.

Lors de cette étape, des bactéries peuvent aussi être ajoutées pour accélérer la biodégradation de l'excédent de matière organique. Le carbone, l'azote et le phosphore d'origine organique sont alors oxydés. Encore une fois, les matières solides résultantes sont décantées et évacuées sous forme de boues d'épuration.

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

4 Lors du traitement secondaire, quels types de transformations les eaux usées subissent-elles ? Expliquez votre réponse.

Après leur traitement secondaire, les eaux usées sont généralement assez propres pour être rejetées dans la nature. Cependant, certaines stations de traitement améliorent encore plus la qualité de leurs **effluents** en leur faisant subir des traitements plus poussés.

Effluent
Eau usée ou traitée s'écoulant d'une station d'épuration.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les boues d'épuration

Les boues d'épuration sont les substances solides obtenues lors des traitements physicochimique et biologique des eaux usées. Afin d'en disposer, les responsables du traitement des eaux les font enfouir au dépotoir ou les font incinérer. Pour ce faire, les boues d'épuration doivent d'abord être déshydratées et stabilisées afin d'éliminer les microorganismes pathogènes qu'elles contiennent. De nos jours, les boues d'épuration sont de plus en plus revalorisées afin de produire du biogaz ou du compost, puisqu'elles sont essentiellement composées de matière organique.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 342

SAVOIRS À RETENIR

Le **traitement tertiaire** des eaux usées n'est pas toujours réalisé. Cependant, il peut s'avérer nécessaire lorsque les eaux traitées doivent être rejetées dans des milieux particulièrement fragiles ou près des points d'approvisionnement en eau potable des municipalités. Parmi les techniques de traitement possibles, à cette étape, on compte la **déphosphatation**, la **filtration** et la **désinfection**.

La déphosphatation se fait par l'ajout de chaux ou de chlorure de fer afin de provoquer la **précipitation** des phosphates encore présents dans l'eau.

La filtration vise à retirer certains composés chimiques en faisant circuler l'eau sur un lit de sable ou de charbon activé. Il est ainsi possible de débarrasser l'eau rejetée des odeurs désagréables qui peuvent en émaner ou d'une coloration anormale. L'eau rejetée peut aussi avoir un **pH** différent, selon les types de composés chimiques retenus par la filtration.

Enfin, la désinfection vise à détruire les microorganismes pathogènes qui pourraient subsister dans les effluents de la station de traitement des eaux usées. Ce procédé peut être réalisé par l'ajout de chlore ou d'ozone dans l'eau, ou encore par l'exposition de l'eau à des **rayons ultraviolets**.

Précipitation
Transformation chimique se manifestant par la formation d'un dépôt solide après le mélange de deux composés en solution aqueuse.

pH
Mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Le pH est exprimé selon une échelle graduée de 0 à 14. Plus la solution est acide, plus le pH se situe près de 0.

Rayons ultraviolets
Ondes électromagnétiques plus énergétiques que la lumière visible, mais beaucoup moins que les rayons gamma.

Les marais du Nord, situés au nord du lac Saint-Charles, dans la région de Québec, forment un milieu abritant de nombreuses espèces animales et végétales, dont le grand héron. De plus, les marais assurent l'assainissement des eaux du lac, principale source d'eau potable de la ville de Québec.

La rhizofiltration peut aussi être utilisée comme traitement tertiaire des eaux usées. Ce procédé consiste à filtrer de l'eau à travers le système racinaire de certaines plantes de milieux humides afin d'en retirer les contaminants. On met alors à profit la capacité naturelle des plantes à bioaccumuler les métaux lourds et les nutriments organiques, comme les phosphates.

Longtemps considérés comme des milieux remplis de vermine, de nombreux marais ont été asséchés et convertis en terres agricoles. Aujourd'hui, on tente d'en réhabiliter plusieurs afin de profiter de la rhizofiltration naturelle qu'elles peuvent offrir et d'ainsi assainir les eaux de surface et souterraines.

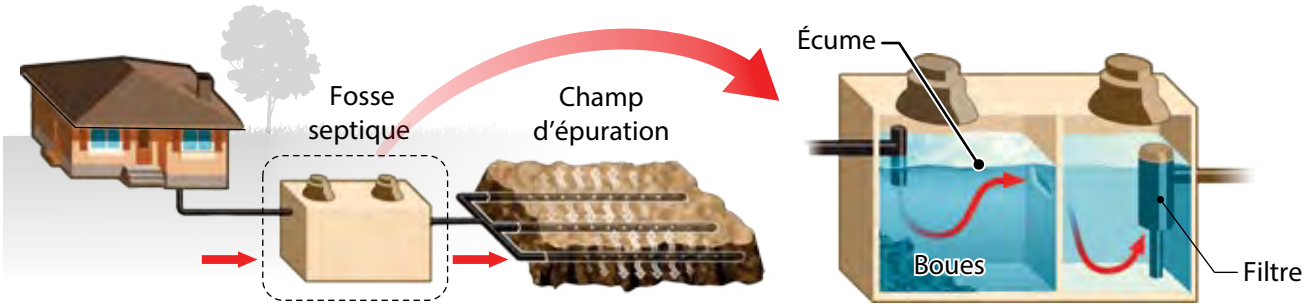
© SOFAD - Reproduction interdite.

À la ville comme à la campagne

Dans les centres urbains, l'alimentation des stations de traitement des eaux usées est assurée par les systèmes d'égouts sanitaires et pluviaux. À la campagne, là où la densité de population est beaucoup moins importante, il serait coûteux pour les municipalités de se doter d'un réseau de captation et de transport des eaux usées. Ces municipalités rurales doivent donc privilégier d'autres moyens afin que les eaux usées domestiques puissent être traitées convenablement.

SAVOIRS À RETENIR

Les résidences qui ne sont pas reliées à un réseau d'égouts sanitaires municipal sont pourvues d'un système qui récupère et traite les eaux usées. Le système le plus largement utilisé comporte une **fosse septique** et un **champ d'épuration**.



Un système d'épuration résidentiel traditionnel est constitué d'une fosse septique et d'un champ d'épuration.

La fosse septique, un réservoir enfoui sous terre, accueille les eaux usées domestiques à mesure qu'elles sont produites. Les matières solides y sont décantées, formant des boues qui doivent être évacuées périodiquement par pompage. On trouve aussi dans la fosse septique des bactéries qui contribuent à la décomposition des matières organiques.

L'eau se trouvant à la surface du réservoir de la fosse est drainée par gravité vers le champ d'épuration. Celui-ci est constitué de tuyaux perforés qui s'étendent sur une grande surface, sous le niveau du sol, dans un lit de gravier. L'eau s'écoule donc directement dans le sol, où les microorganismes complètent la décomposition de la matière organique restante. Le champ d'épuration doit être conçu de manière à retenir les eaux assez longtemps pour qu'elles soient traitées, tout en permettant un drainage suffisant.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Le traitement des eaux usées à la laiterie

Toute production agricole produit des déchets. Il en va de même pour les entreprises de transformation alimentaire. La Laiterie Charlevoix, de Baie-Saint-Paul, a su innover en mettant au point des procédés qui lui permettent de traiter elle-même ses eaux usées.

La première étape du traitement est la méthanisation, au cours de laquelle le petit lait, un résidu de la production de fromage, et les eaux usées sont transformés afin d'obtenir du méthane. Ce biogaz est par la suite utilisé comme combustible pour chauffer les installations de la laiterie et les eaux nécessaires à la production fromagère.

Les eaux usées restantes sont ensuite transférées vers une serre, où la phytoépuration en bassins aérés élimine une très grande partie de l'azote et du phosphore présents dans l'eau. À la sortie de ce deuxième traitement, l'eau est suffisamment propre pour être rejetée dans la nature.

Source : Fromagescharlevoix.com

© SOFAD - Reproduction interdite.

RÉSOLUTION

TÂCHE

Vous devrez mettre au point la séquence d'étapes menant à une épuration des eaux usées optimale, selon les différentes méthodes de traitement proposées.

Dans la présente expérimentation, vous préparerez un mélange représentant les eaux usées acheminées à la station de traitement municipale. Vous prélèverez des échantillons de ce mélange afin de simuler un à la fois divers procédés de traitement des eaux usées, soit le dégrillage, la sédimentation, le déshuilage, la floculation et la filtration par charbon activé. Ces manipulations vous permettront de déterminer quel(s) contaminant(s) chaque procédé permet de retirer des eaux usées. Les produits que vous utiliserez comme contaminants lors de la présente activité expérimentale sont du papier hygiénique, du sable fin, de la fécule de maïs, de l'huile végétale et du café instantané.

ACTIVITÉ PRATIQUE
SITUATION 1.2
L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE
LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Le traitement des eaux usées

BUT
Associer les différentes méthodes de traitement des eaux usées aux contaminants retirés.

L'eau douce est une ressource limitée essentielle à la vie. Le niveau global de la consommation d'eau potable au Québec est estimé à environ 700 L par personne par jour, ce volume étant attribuable en partie au nombre élevé d'entreprises qui utilisent d'importantes quantités d'eau en territoire municipal. Une grande consommation d'eau potable signifie nécessairement une grande production d'eaux usées. Ces eaux doivent plus tard être rejetées dans la nature. Il faut donc les décontaminer afin que leur impact sur l'environnement soit le moins important possible. C'est là que la station de traitement des eaux usées joue un rôle important. À l'intérieur de celle-ci, divers procédés physiques, chimiques et biologiques sont mis en œuvre afin que les rejets soient les plus propres possible.

Pour mieux comprendre les diverses techniques utilisées dans une station de traitement des eaux usées, vous simulerez chaque technique, à petite échelle, et observerez quel contaminant peut être ainsi éliminé.

TÂCHE
Vous devrez mettre au point la séquence d'étapes menant à une épuration optimale des eaux usées, selon les différentes méthodes de traitement proposées.

© SOFAD Reproduction interdite.

26 CHAPITRE 1 – Écologie et biotechnologie

STRATÉGIE *Simplifier un problème*

Pour analyser efficacement un problème complexe, une bonne stratégie à adopter consiste en le diviser en plusieurs sous-problèmes plus simples. Par exemple, vous simulerez chacun des procédés, l'un à la fois, sur des échantillons identiques, ce qui vous permettra de déterminer quel(s) contaminant(s) chaque procédé vise à traiter. Vous auriez également pu tenter d'appliquer les procédés l'un à la suite de l'autre sur un seul échantillon. Toutefois, cette façon de faire ne vous aurait pas permis de déterminer hors de tout doute le ou les contaminant(s) visé(s) par chacun des procédés.

Travail préparatoire

Afin de réaliser l'activité expérimentale, vous devrez mettre en pratique les techniques permettant de prélever un échantillon solide de masse donnée et de mesurer le volume d'un liquide.

BOÎTE À OUTILS

Voir les techniques **Prélever un échantillon de solide** et **Mesurer le volume d'un liquide**.

© SOFAD - Reproduction interdite.

RAPPORT DE LABORATOIRE

Dans l'*Exploration*, vous avez formulé une première hypothèse répondant au but de l'expérience. À la lumière des nouveaux savoirs que vous avez acquis, vous voudrez peut-être la modifier.

Rédigez votre **hypothèse** dans le rapport de laboratoire.

Prenez ensuite connaissance du **but** de l'expérience et du **protocole expérimental**.

1 À la suite de la simulation de chaque procédé de traitement des eaux usées, vous aurez divers paramètres à évaluer. Pour apprécier chacun de ces paramètres, expliquez brièvement comment vous procéderez et s'il s'agit d'une mesure quantitative ou d'une observation qualitative.

a) Couleur : _____

b) Odeur : _____

c) Turbidité : _____

d) Présence de grosses particules : _____

e) Acidité : _____

Lors de la lecture du protocole expérimental, vous avez certainement constaté que la liste du matériel comportait un élément à compléter. Vous devez sélectionner l'instrument de mesure approprié pour le prélèvement des échantillons de liquide que vous utiliserez pour simuler chacun des procédés de traitement des eaux usées. Pour procéder à votre sélection, répondez aux questions suivantes.

2 Dans la trousse d'expérimentation, quels sont les instruments permettant de mesurer le volume d'un liquide ? Indiquez aussi la capacité de chacun de ces instruments.

_____

_____

_____

_____

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

Le choix d'un instrument de mesure se fait selon deux critères : la précision de mesure recherchée et l'ordre de grandeur de la mesure à effectuer. Par exemple, lorsqu'il s'agit de mesurer le volume d'un liquide ou de prélever un échantillon liquide d'un volume donné, on pourrait utiliser un bécher, un cylindre gradué, une pipette ou une fiole jaugée. Le bécher offre une mesure approximative du volume, alors que le cylindre gradué, parce qu'il est plus étroit, permet une mesure plus précise. Si vous êtes à la recherche d'une plus grande précision encore, vous opterez plutôt pour la pipette ou la fiole jaugée.

3 a) En ce qui concerne le volume des cinq échantillons d'eau sur lesquels vous travaillerez lors de votre expérimentation, une grande précision est-elle nécessaire ? Expliquez votre réponse.

b) Considérant la précision requise relativement au volume des échantillons, quel instrument de mesure vous semble le plus approprié à la présente expérimentation ?

Le deuxième critère de sélection d'un instrument de mesure est sa capacité. La plupart du temps, vous devez opter pour l'instrument qui vous permet d'obtenir une mesure comprenant la plus petite incertitude possible. Pour ce faire, il faut bien sûr tenir compte de l'échelle de graduation de l'instrument, mais aussi s'assurer que la capacité de l'instrument soit la plus proche possible de la quantité à mesurer.

4 Parmi les instruments offerts dans la trousse d'expérimentation, lequel vous semble le plus approprié pour prélever un échantillon de liquide d'environ 80 mL ? Expliquez votre réponse.

RAPPORT DE LABORATOIRE

Complétez la **liste du matériel** dans le rapport de laboratoire.

Tout protocole expérimental devrait normalement présenter un schéma du montage, où chacun des instruments et appareils utilisés est dûment identifié.

RAPPORT DE LABORATOIRE

Illustrez chacun des procédés de traitement des eaux usées simulés dans la section prévue pour le **schéma du montage**.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

Réalisation de l'expérience

Assurez-vous d'avoir bien compris le travail préparatoire en comparant vos réponses avec le contenu du corrigé du rapport de laboratoire que vous trouverez à la fin du cahier d'expérimentation. Vous pourrez par la suite procéder à la réalisation de l'expérience.

DÉMARCHE D'INVESTIGATION *Vérifier l'hypothèse*

Il existe diverses façons de valider son hypothèse lors de la mise en œuvre d'une démarche d'investigation en science : l'expérimentation, l'observation, la recherche documentaire, la construction d'un prototype et la modélisation.

Dans le cadre d'une expérimentation, la vérification de l'hypothèse s'effectue en trois étapes : la planification de l'expérience (dans le travail préparatoire), la réalisation de l'expérience (qui consiste à préparer un montage expérimental, à effectuer un ensemble de manipulations et à recueillir des observations ou des mesures), puis l'interprétation des résultats.

Lorsque vous aurez complété les manipulations et noté vos résultats, revenez ici pour finaliser votre expérimentation.

Traitement de l'information

Dans un rapport de laboratoire, la section « Traitement de l'information » comporte généralement trois sections, soit l'analyse des résultats, la discussion et la conclusion.

C'est lors de l'analyse des résultats qu'on traite les données recueillies lors de l'expérimentation : on calcule les valeurs recherchées si elles n'ont pu être mesurées directement, on classe les observations, on détermine les incertitudes concernant les mesures indirectes, etc.

RAPPORT DE LABORATOIRE

Répondez aux questions se trouvant dans l'**analyse des résultats** du rapport de laboratoire.

La discussion d'un rapport de laboratoire présente, sous la forme d'un texte suivi, un rappel du but de l'expérience, un résumé du protocole expérimental, les résultats obtenus à la suite de l'analyse des mesures et observations recueillies pendant l'expérimentation, ainsi que les sources d'erreurs expérimentales et les incertitudes qui y sont reliées. C'est aussi dans la section discussion que l'hypothèse de départ est validée. Si les résultats diffèrent de ceux attendus, on peut tenter d'expliquer pourquoi. Aussi, on peut proposer des améliorations qui pourraient être apportées à l'expérience réalisée ou présenter de nouveaux questionnements qui mériteraient une vérification.

La conclusion du rapport de laboratoire se veut un très bref résumé du résultat de l'expérience en rapport direct avec son but.

RAPPORT DE LABORATOIRE

Consultez les sections concernant la **discussion** et la **conclusion** de l'expérience. Dès la prochaine activité expérimentale, vous devrez rédiger vous-même en entier ces sections.

© SOFAD - Reproduction interdite.

Réalisation de la tâche

5 À partir des résultats de votre expérience, proposez une séquence de traitement des eaux usées en ayant recours à au moins trois des procédés simulés. Pour chaque étape, nommez le ou les contaminant(s) visé(s) et expliquez brièvement en quoi consiste le procédé.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

Réalisation de la tâche (suite)

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

APPROPRIATION B

Malgré l'industrialisation et l'urbanisation qui ont marqué l'évolution des sociétés occidentales au cours du dernier siècle, on ne vit pas complètement coupés de l'écosphère. En effet, chaque acte que l'on pose, chaque choix que l'on fait a un impact, qu'il soit direct ou non, sur l'environnement. Ainsi, chaque jour, on utilise les ressources de la Terre et on y rejette des matières résiduelles. Est-il possible de quantifier l'impact de l'ensemble des décisions qui sont prises par chacun des citoyens ou en tant que population ? C'est ici qu'entre en ligne de compte le concept d'empreinte écologique. Qu'est-ce qu'elle représente et comment la mesure-t-on ? Quelles sont les sphères du quotidien dont on doit tenir compte afin d'évaluer l'empreinte écologique ?

L'empreinte écologique

Avant d'étudier plus à fond le concept d'empreinte écologique, décortiquons les mots afin de leur donner du sens. Imaginez que vous êtes un technicien en identité judiciaire. Vous vous trouvez sur la scène d'un crime, à la recherche d'indices. Tel un détective, vous recherchez des empreintes digitales ou des empreintes de pas. Si le crime avait eu lieu à l'extérieur, peut-être rechercheriez-vous des empreintes de pneus.

1 Qu'est-ce que toutes ces empreintes ont en commun ? Définissez, dans vos propres mots, ce qu'est une empreinte. Utilisez, au besoin, un dictionnaire ou toute autre source de référence.

Maintenant que vous avez résolu le « mystère » entourant le mot « empreinte », revenons au concept d'empreinte écologique. Considérant la définition du mot « empreinte », il serait tout à fait normal de penser que l'empreinte écologique d'une personne est la trace qu'elle laisse sur l'environnement. En réalité, elle est plutôt une mesure de l'impact que ses choix de vie ont sur l'écosphère.

Mesurer l'empreinte écologique

Puisque l'empreinte écologique permet d'évaluer l'impact des activités humaines sur l'écosphère, comment s'y prend-on pour exprimer cette mesure ? Et que mesure-t-on au juste ? Revenons aux empreintes de pas que vous avez relevées plus tôt comme technicien en identité judiciaire. Comment ferait-on pour prendre une mesure de l'une de ces empreintes ?

On pourrait utiliser un ruban à mesurer ou une règle et mesurer la longueur et la largeur de l'empreinte, en traçant des droites plus ou moins **perpendiculaires**. On exprimerait ces mesures en unités de longueur, en centimètres (cm) par exemple. L'empreinte pourrait mesurer par exemple 25,2 cm de longueur sur 10,4 cm de largeur.

Perpendiculaires
Se dit de deux droites qui se croisent à angle droit (90°).

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

Si on vous demandait de ne fournir qu'une seule donnée contenant une unité de mesure pour cette empreinte, quelle serait-elle ? Vous pourriez choisir de ne fournir qu'une seule de vos mesures. Dans ce cas, laquelle serait la plus significative ? Vous pourriez aussi combiner les deux dimensions afin d'estimer l'aire de l'empreinte en unité de longueur au carré.

RAPPEL

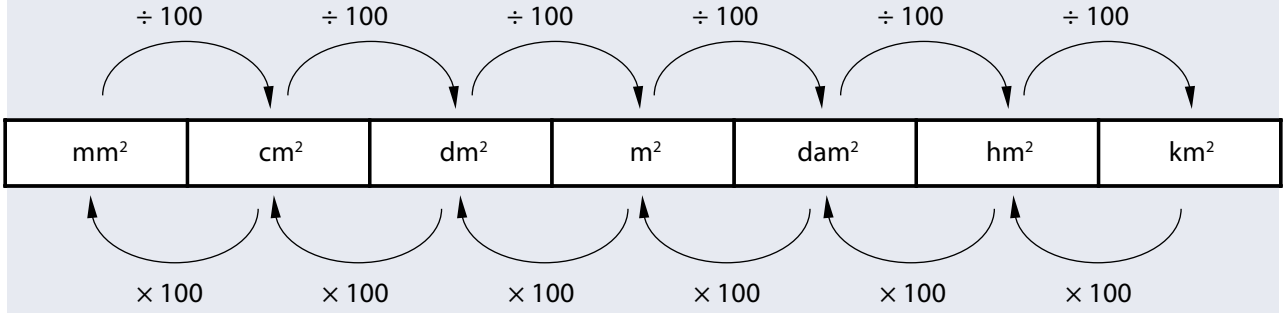
EXERCICES DE RÉACTIVATION
PAGE 324, NUMÉROS 7 À 9

L'aire d'une surface

L'aire est la mesure d'une surface. Dans le cas d'un rectangle, l'aire (A) est calculée en multipliant sa longueur (L) par sa largeur (l).

$$A = L \times l$$

Les mesures des côtés doivent être exprimées dans la même unité de mesure ; l'aire est alors exprimée avec cette unité de mesure au carré. Par exemple, si la longueur et la largeur sont exprimées en centimètres, l'aire est en centimètres carrés (cm^2). Le schéma suivant illustre comment effectuer la conversion entre les diverses unités d'aire.



Une unité souvent utilisée pour représenter de grandes surfaces est l'hectare (ha). L'hectare équivaut à l'aire d'un carré de 100 mètres (m), ou 1 hectomètre (hm), de côté.

$$1 \text{ ha} = 1 \text{ hm}^2 = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10\,000 \text{ m}^2$$

Exemple :

Quelle est l'aire, en hectares, d'un champ rectangulaire de 250 m sur 600 m ?

On a $l = 250$ m $= 2{,}50$ hm et $L = 600$ m $= 6{,}00$ hm. On cherche A.

$A = L \times l = 6{,}00 \text{ hm} \times 2{,}50 \text{ hm} = 15{,}0 \text{ ha}$

L'aire du champ est de 15,0 hectares.

2 Calculez approximativement l'aire de l'empreinte de votre chaussure. Supposez qu'elle est de forme rectangulaire et arrondissez votre résultat au centimètre carré près.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

Maintenant que vous savez comment évaluer l'aire d'une empreinte de pas, comment cette notion pourrait-elle être appliquée au concept de l'empreinte écologique ?

SAVOIRS À RETENIR

L'**empreinte écologique** d'une personne correspond à la surface biologique productive (ou bioproductive) dont la Terre a besoin pour soutenir son mode de vie.

L'empreinte écologique est ainsi une mesure de la superficie productive de sol (forêts, terres cultivées, pâturages) et d'eau (eau potable et ressources des océans) nécessaire à la production des biens et des services consommés (énergie, matières premières, par exemple) et à l'élimination des déchets produits. Une telle mesure permet d'envisager une gestion équilibrée des ressources.

3 À votre avis, quelle unité de mesure d'aire serait la plus adéquate pour exprimer l'empreinte écologique d'une personne : le centimètre carré, le mètre carré ou l'hectare ? Expliquez pourquoi.

SAVOIRS À RETENIR

L'unité de mesure généralement utilisée pour évaluer l'empreinte écologique est l'**hectare global** (hag). L'hectare global est un hectare dont la productivité et la capacité d'absorption des déchets sont égales à la productivité et à la capacité moyennes mondiales.

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

4 Supposons que l'empreinte écologique moyenne d'un Canadien était de 8,2 hag en 2012. Si on suppose que le Canadien moyen vit en banlieue ou dans une petite ville et qu'il possède un terrain mesurant 20 m sur 35 m, son empreinte écologique représente combien de fois la superficie de son terrain ?

Jusqu'ici, il a été question de l'empreinte écologique d'une personne.

SAVOIRS À RETENIR

Tout comme il est possible d'évaluer l'empreinte écologique d'un individu, on peut effectuer cette mesure à l'échelle d'une ville ou d'un pays. On parle alors de l'empreinte écologique par individu d'une région ou d'un pays, celle-ci s'exprimant aussi en hectares globaux. Cette donnée est donc une moyenne, qu'on peut facilement comparer d'une région ou d'un pays à un autre.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

L'empreinte écologique en elle-même est une donnée intéressante. Par contre, elle n'offre aucune information à propos de l'impact réel qu'exercent les gestes faits par toute une population sur son environnement local. C'est ici qu'entre en jeu la notion de biocapacité.

SAVOIRS À RETENIR

La **biocapacité** exprime, en hectares globaux, la capacité d'une zone à produire de façon continue des matières premières et à absorber les déchets produits par la population qui y vit. Le **bilan écologique** d'une population représente la différence entre la biocapacité de la zone qu'elle occupe et son empreinte écologique.

Bilan écologique = Biocapacité – Empreinte écologique

Lorsque l'empreinte écologique d'une population excède la biocapacité de la zone qu'elle occupe, on parle de **déficit écologique**. À l'inverse, lorsque l'empreinte écologique d'une population est inférieure à la biocapacité de son territoire, on parle d'**excédent écologique**.

Exemple :

En 2012, l'empreinte écologique par habitant du Canada était de 8,2 hag, alors que sa biocapacité par habitant était estimée à 16,0 hag. Le bilan écologique du pays était par conséquent celui-ci :

Bilan écologique = Biocapacité – Empreinte écologique

Bilan écologique = 16,0 hag – 8,2 hag = 7,8 hag

Le bilan écologique du Canada représente un excédent écologique, puisque sa valeur est positive.

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

5 Sachant qu'aux États-Unis l'empreinte écologique par habitant est de 8,2 hag et que la biocapacité par habitant est de 3,8 hag, calculez si ce pays se trouve en situation d'excédent ou de déficit écologique.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Le monde en déficit écologique

L'empreinte écologique moyenne de l'ensemble de l'humanité était estimée à 2,8 hag/habitant en 2012, alors que la biocapacité de la Terre par habitant était de 1,7 hag. Il faudrait donc les ressources de plus d'une Terre et demie pour répondre aux besoins de toute la population mondiale. On estime d'ailleurs que nous aurons besoin de l'équivalent de deux planètes Terre pour répondre aux besoins de la population mondiale dès 2030.

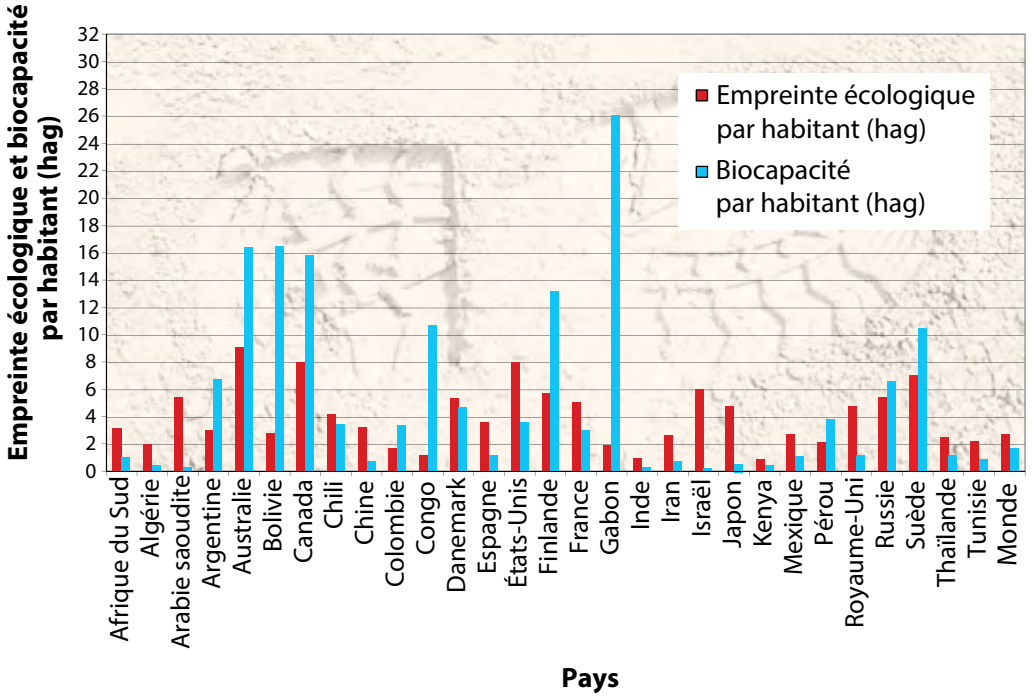
© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

TESTEZ VOS CONNAISSANCES

6 Le graphique suivant représente l'empreinte écologique et la biocapacité de divers pays en 2012. À l'extrême droite du graphique se trouvent l'empreinte écologique et la biocapacité de la population mondiale.

L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE ET LA BIOCAPACITÉ DE DIVERS PAYS EN 2012



Source : Global Footprint Network [En ligne].

a) Parmi les pays présentés, lequel a la plus grande empreinte écologique par habitant ?

b) Lequel a la plus grande biocapacité par habitant ? _____

Une empreinte aux multiples facettes

SAVOIRS À RETENIR

L'évaluation de l'empreinte écologique tient compte de différentes facettes de la vie courante, comme l'alimentation, le transport, le logement et la production et la consommation de biens et de services. Cette évaluation tient compte aussi de l'élimination des matières résiduelles.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 343

Pour chacune des facettes de la vie courante étudiées, différents aspects sont à considérer pour évaluer l'empreinte écologique d'un individu. En voici quelques-uns.

- Alimentation : type d'alimentation adoptée, provenance et mode de production des aliments, consommation de mets préparés, de boissons embouteillées ou de portions emballées individuellement, planification des repas.
- Transport : modes de transport adoptés, modèle de véhicule utilisé, utilisation du transport en commun, recours au covoiturage, habitudes de conduite.
- Logement : lieu de résidence, superficie de l'habitation et du terrain, mode d'alimentation en énergie électrique, méthode de chauffage, habitudes de consommation en énergie et en eau potable, utilisation d'appareils écoénergétiques.
- Production et consommation de biens et de services : réparation ou remplacement des biens endommagés, sélection des produits d'entretien ménager ou de soins personnels, achat de mobilier neuf ou usagé, provenance des biens achetés, emballage des produits.

En lien avec chacun de ces aspects on retrouve la problématique de la gestion des matières résiduelles. Il ne faut pas oublier que l'empreinte écologique tient compte aussi des surfaces bioproductives nécessaires à l'élimination des déchets produits.

Quant à l'empreinte écologique d'un pays, elle est évaluée par l'organisme Global Footprint Network. Pour ce faire, l'organisme tient compte des superficies nécessaires pour les éléments suivants :

- absorption du dioxyde de carbone (CO_2) par les forêts ;
- pâturages nécessaires à l'élevage des cheptels pour la production de viande, de produits laitiers, de cuir et de laine ;
- forêts exploitées commercialement pour la production de bois d'œuvre, de charpente ou de chauffage, ainsi que de la pulpe ;
- pêcheries en mer et en eau douce ;
- terres cultivées pour la consommation humaine et animale, ainsi que le biocarburant ;
- terrains construits ou aménagés.

Ce dernier élément évalue la superficie des terres couvertes par les infrastructures humaines, incluant le transport, le logement, les industries et les réservoirs pour l'énergie hydroélectrique, etc.

LE SAVIEZ-VOUS ?

3RV

Quand il est question de la réduction des matières résiduelles produites par un ménage, on réfère souvent aux « 3R ». Ceux-ci représentent trois gestes faciles à mettre en application dans la vie de tous les jours.

Réduire à la source, en consommant moins.

Réemployer, en donnant une seconde vie aux biens de consommation.

Recycler, en récupérant les matières recyclables.

À ces 3R, on ajoute désormais un « V » pour valorisation. Le compostage en fait partie.

Source : Recyc-Québec [En ligne].

© SOFAD - Reproduction interdite.

CONSOLIDATION

1 Nommez trois contaminants qui sont retirés des eaux usées lors de leur traitement.

2 À quelle étape du traitement des eaux usées y a-t-il biodégradation des contaminants ?

3 Pourquoi les eaux usées doivent-elles être traitées avant d'être rejetées dans l'environnement ?

4 Quelles sont les trois principales étapes du traitement des eaux usées dans la plupart des stations de traitement ? Décrivez-les brièvement.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 344

5 Nommez les principales composantes d'un système d'épuration traditionnel dont doit se doter toute résidence qui n'est pas reliée à un réseau d'égouts sanitaires.

6 Définissez dans vos propres mots ce qu'est l'empreinte écologique.

7 Parmi les pays présentés dans le graphique de l'empreinte écologique et de la biocapacité par habitant de divers pays en 2012 à la page 46 :

a) lesquels présentent un excédent écologique ?

b) lequel présente le meilleur bilan écologique ?

c) lequel présente le pire bilan écologique ?

8 Quels sont les six éléments dont on tient compte lors du calcul de l'empreinte écologique d'un pays ?

9 Que se passerait-il si le bilan écologique de la population mondiale gardait toujours la valeur actuelle ?

© **SOFAD** - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 344

SAVOIRS EN RÉSUMÉ

L'écotoxicologie

L'écotoxicologie est la branche de l'écologie qui étudie l'effet toxique des contaminants sur les écosystèmes et les habitants, de même que leur circulation dans la biosphère.

Un contaminant est un agent causant la modification de propriétés physiques, chimiques ou biologiques d'un milieu ou d'un organisme.

La bioaccumulation est l'accumulation d'un contaminant dans un organisme à partir de son environnement ou de son alimentation. On peut calculer le facteur de bioaccumulation en divisant la concentration du contaminant dans l'organisme par sa concentration normale dans l'environnement.

$$\text{Facteur de bioaccumulation} = \frac{\text{Concentration dans l'organisme}}{\text{Concentration normale dans l'environnement}}$$

La bioconcentration est un cas particulier de bioaccumulation où un organisme accumule un contaminant par contact direct avec son milieu de vie (sources autres qu'alimentaires).

La bioamplification est l'augmentation de la concentration d'un contaminant au sein de différents organismes, du bas vers le haut de la chaîne trophique.

La toxicité d'une substance est sa capacité à induire un effet néfaste chez un être vivant. Une substance est donc toxique lorsqu'elle nuit aux fonctions biologiques d'un organisme. Elle peut le rendre malade, modifier son comportement ou même le tuer. Dans ce dernier cas, on parle de toxicité aiguë.

Les facteurs influant sur la toxicité d'un contaminant sont sa concentration, les caractéristiques du milieu dans lequel il est rejeté, la nature des organismes avec lesquels il est en contact, la durée d'exposition ainsi que la durée de vie du contaminant. Le seuil de toxicité est la quantité où la concentration minimale d'une substance produit un effet néfaste notable sur un organisme.

La décontamination des sols

Diverses techniques de décontamination des sols existent. On distingue les techniques sur site ou *in situ*, qui s'appliquent directement sur les lieux de la contamination, et les techniques hors site ou *ex situ*, qui nécessitent le transport des sols contaminés à un lieu de traitement.

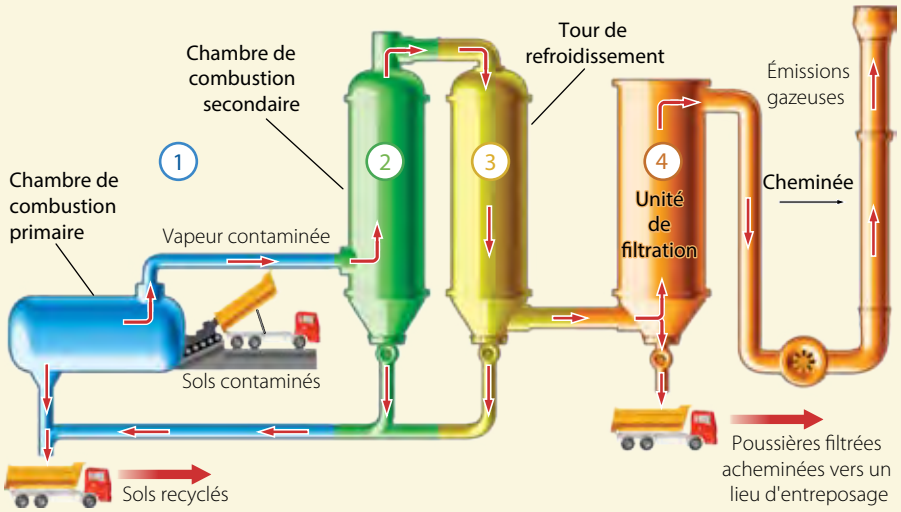
Le traitement thermique consiste à excaver les sols contaminés pour les transporter par camion jusqu'au site de traitement où ils sont brûlés à haute température dans des fours. Les contaminants sont alors détruits ou rendus inertes.

Le traitement chimique vise à stabiliser et à capturer les composés inorganiques présents dans les sols de manière à rendre leur enfouissement sécuritaire pour la santé humaine et l'environnement.

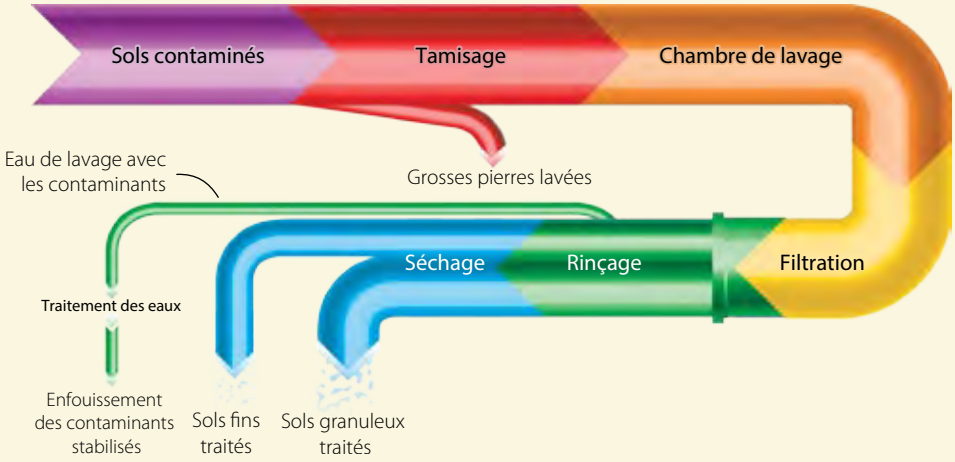
La biopile consiste à favoriser l'activité microbienne des sols afin d'accélérer la biodégradation aérobie des matières organiques.

La phytoremédiation des sols contaminés met à profit la capacité de certaines espèces de plantes à capter les contaminants par leur système racinaire.

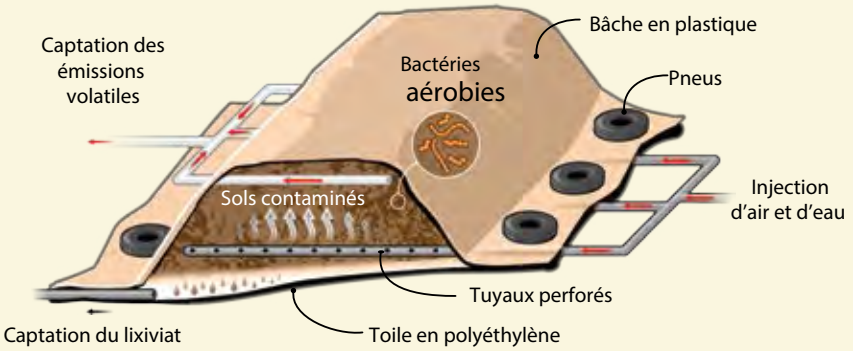
© SOFAD - Reproduction interdite.



Les étapes d'un traitement thermique.



Une schématisation d'un traitement chimique.



Le principe de fonctionnement d'une biopile.

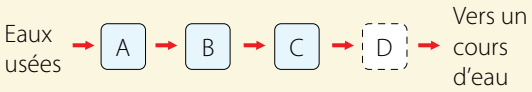
© SOFAD - Reproduction interdite.

Le traitement des eaux usées

Les eaux usées sont des eaux dont la pollution résulte directement de l'activité humaine. Elles proviennent de sources diverses. Elles sont décontaminées dans une station de traitement des eaux usées avant d'être rejetées dans l'environnement.

Les eaux usées domestiques ainsi que les eaux industrielles sont acheminées vers la station de traitement des eaux usées par le réseau d'égouts sanitaires. Les eaux de ruissellement recueillies dans les rues sont quant à elles transportées par le réseau d'égouts pluviaux.

La décontamination des eaux usées se fait généralement en trois étapes : le prétraitement, le traitement primaire, qui est physicochimique, et le traitement secondaire, qui est biologique. Lorsque les effluents de la station de traitement sont rejetés dans un milieu particulièrement fragile, ils peuvent nécessiter un traitement tertiaire.



Le fonctionnement d'une station de traitement des eaux usées.
A – Prétraitement : dégrillage, sédimentation et déshuilage.
B – Traitement physicochimique primaire : floculation et décantation.
C – Traitement biologique secondaire : activation et décantation.
D – Traitements tertiaires facultatifs.

Le traitement tertiaire comporte plusieurs techniques, comme la rhizofiltration, qui consiste à filtrer l'eau à travers le système racinaire de certaines plantes de milieux humides afin d'en retirer les contaminants.

Les résidences qui ne sont pas reliées à un réseau d'égouts sanitaires municipal sont pourvues d'un système qui récupère et traite les eaux usées. Le système le plus largement utilisé comporte une fosse septique et un champ d'épuration.

L'empreinte écologique

L'empreinte écologique permet d'évaluer l'impact des activités humaines sur les écosystèmes et correspond à la surface bioproductive dont la Terre a besoin pour soutenir le mode de vie d'un individu ou d'une population.

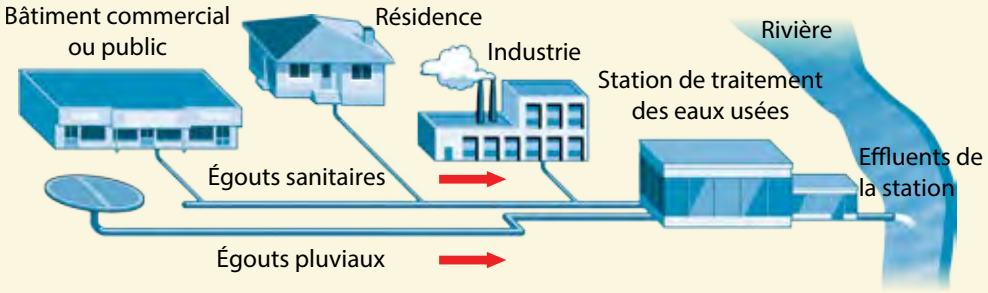
Elle est exprimée en hectares globaux (hag), qui représentent des hectares dont la productivité correspond à la productivité moyenne mondiale d'un hectare de terrain. On exprime aussi l'empreinte écologique d'une population en hectares globaux.

Le bilan écologique d'une population représente la différence entre la biocapacité de la zone qu'elle habite, exprimée en hectares globaux, et son empreinte écologique.

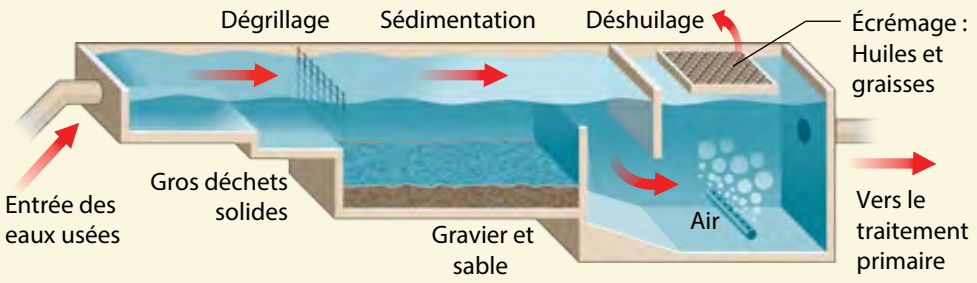
Bilan écologique = Biocapacité – Empreinte écologique

Si le bilan écologique est négatif, on parle de déficit écologique ; si le bilan écologique est positif, on parle plutôt d'excédent écologique.

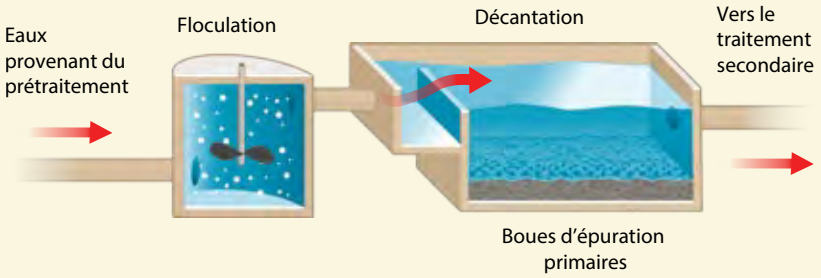
© SOFAD - Reproduction interdite.



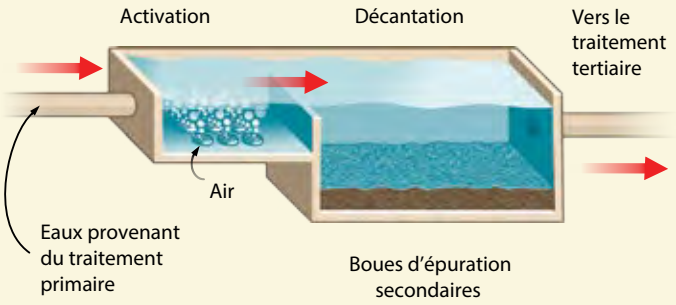
Un réseau de collecte et de transport des eaux usées d'une municipalité.



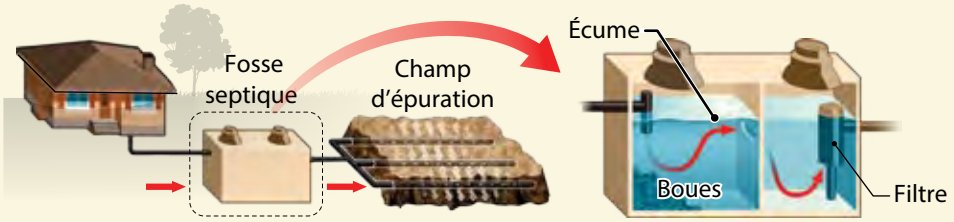
Le prétraitement des eaux usées.



Le traitement primaire des eaux usées.



Le traitement secondaire des eaux usées.



Un système d'épuration résidentiel traditionnel est constitué d'une fosse septique et d'un champ d'épuration.

© SOFAD - Reproduction interdite.

INTÉGRATION

Les ampoules fluorescentes compactes (ou fluocompactes) remplacent de plus en plus les ampoules incandescentes sur le marché compte tenu de leur faible consommation électrique. Le Canada a d'ailleurs légiféré afin d'interdire la vente d'ampoules incandescentes à partir de 2014.

1 Comment le remplacement de toutes les ampoules incandescentes dans votre résidence vous permettrait-il de réduire votre empreinte écologique ?

2 Les ampoules fluocompactes contiennent cependant du mercure, entre 1 mg et 25 mg chacune selon la taille et la puissance de l'ampoule. Expliquez pourquoi il est impératif de disposer adéquatement de ces ampoules lorsqu'elles ne fonctionnent plus.

3 Les ampoules fluocompactes ne sont pas toutes éliminées de façon adéquate. Quels milieux peuvent être contaminés lorsqu'une telle ampoule se retrouve dans les déchets domestiques au lieu d'être récupérée ? Expliquez votre réponse.

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 344

4 Comment le mercure contenu dans les ampoules fluocompactes peut-il contaminer les humains ?

5 Un incendie a ravagé un bâtiment où étaient entreposées des ampoules fluocompactes en prévision de leur récupération, laissant le terrain et les eaux de surface fortement contaminés au mercure. Quelle technique biologique pourrait être utilisée afin de décontaminer ce site, si la reconstruction du bâtiment n'est pas prévue ?

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 344

SAÉ

Mon empreinte sur la Terre

Conscient de l'impact de vos choix comme citoyen sur l'environnement, vous désirez prendre des mesures afin de diminuer votre empreinte écologique. L'évaluation de votre empreinte écologique tient compte de nombreuses facettes de votre vie. Chacune de vos décisions de vie et chacun des gestes que vous faites a un impact sur l'environnement, qu'il soit positif ou non.

TÂCHE

Vous devrez déterminer lequel de ces échantillons contient la plus grande concentration totale de contaminants.

Un plan d'action

1 Vous devez élaborer un plan d'action qui vous permettra de réduire votre empreinte écologique. Pour ce faire, vous devez d'abord sélectionner la facette de votre vie courante sur laquelle vous désirez vous concentrer, puis vous proposerez des gestes concrets que vous pourrez faire relativement à cette facette et qui vous permettront de réduire votre empreinte écologique. Parmi ces gestes, au moins un devra se rapporter à la diminution de la quantité de matières résiduelles générées. Vous devrez aussi expliquer en quoi chacun des gestes proposés permettra de réduire votre empreinte écologique.

Facette de la vie courante choisie : _____

Geste 1 : _____

© SOFAD - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 344

Geste 2 :

Geste 3 :

De l'individu à la collectivité

2 Quel geste votre collectivité (votre municipalité ou votre province, par exemple) pourrait-elle faire afin de réduire son empreinte écologique relativement à la facette de la vie courante que vous avez choisie ? Justifiez votre réponse.

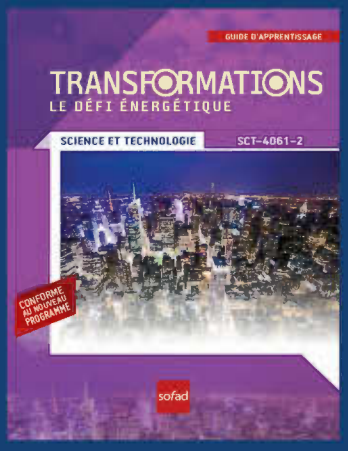
Note par critère

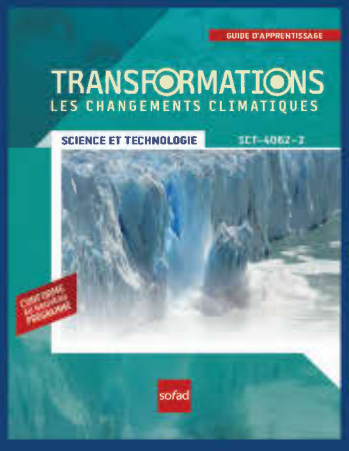
Cr 2.1	A	B	C	D	E
Cr 2.2	A	B	C	D	E
Cr 2.3	A	B	C	D	E

© **SOFAD** - Reproduction interdite.

CORRIGÉ PAGE 344

La collection **TRANSFORMATIONS** couvre l'ensemble des cours du programme de formation diversifiée de 4e et de 5e secondaire.





TRANSFORMATIONS propose une démarche d'apprentissage basée sur l'acquisition de tous les savoirs prescrits dans des situations d'apprentissage intéressantes et riches. L'approche pédagogique qui soutient cet apprentissage est la suivante :

Le questionnement, à la fois inductif et déductif, donne un sens aux savoirs et aux compétences à développer. Les guides d'apprentissage offrent une multitude d'exercices simples et de tâches plus complexes en réponse aux besoins exprimés par les apprenants et les enseignants. Des ressources supplémentaires sont aussi offertes sur le Portail Web du cours.

Composantes de la collection TRANSFORMATIONS :

- Cahier d'expérimentation : version imprimée et PDF ;
- Boîte à outils : version imprimé et PDF ;
- Guide d'apprentissage : version imprimée et PDF ;
- Guide synthèse d'enseignement (PDF) ;
- Capsules vidéo de concepts et de techniques ;
- Matériel d'expérimentation ;
- Activités notées ;
- Corrigés.

sofad

ISBN 978-2-89493-783-9

9 782894 937839

Imprimé au Québec 7609-01