

Fiche technique n° 1

La mobilité du PHOSPHORE : du sol au cours d'eau

irda Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Comité *ad hoc* groupe mobilité
phosphore

La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau

Avertissement

Au moment de sa rédaction, l'information contenue dans ce document était jugée représentative des connaissances sur la mobilité du phosphore et son utilisation demeure sous l'entière responsabilité du lecteur.

Cette fiche technique fait partie d'une série de 4 fiches techniques sur la mobilité du phosphore réalisées conjointement par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

Cette série de fiches techniques constitue un des éléments du projet « Gestion du risque associé aux facteurs sources et transport du phosphore des sols cultivés au Québec » réalisé dans le cadre du programme « Initiative d'appui aux conseillers agricoles » selon les termes de l'entente Canada-Québec sur le Renouveau du Cadre stratégique agricole.



Pour information :

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
2875, boulevard Laurier, 9^e étage
Québec (Québec) G1V 2M2

Téléphone : 418 523-5411

Télécopieur : 418 644-5944

Courriel : client@craaq.qc.ca

Site Internet : www.craaq.qc.ca

Publication EVC 014

© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2008

La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau

Rédaction

Isabelle Beaudin, géomaticienne, professionnelle de recherche, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec

Aubert Michaud, chercheur en conservation des sols et de l'eau, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec

Pierre Beaudet, agronome, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), Québec

Marcel Giroux, agronome, chercheur en chimie et fertilité des sols, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec

Révision

Yveline Martin, agronome, répondante en agroenvironnement et chargée de projets, Ordre des agronomes du Québec, Montréal

Annie Pellerin, agronome, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), Saint-Rémi

Éric van Bochove, Ph.D., Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec

TABLE DES MATIÈRES

Le phosphore, un élément essentiel à la vie	1
Eutrophisation	1
L'agriculture et le phosphore	2
La vulnérabilité du territoire agricole aux exportations de phosphore	3
Références	5
Source d'informations supplémentaires	6
Glossaire	7

Le phosphore, un élément essentiel à la vie

Le phosphore (P) est le onzième constituant de la croûte terrestre. Presque entièrement dérivé de l'altération des phosphates de calcium des roches de la surface terrestre, le phosphore entre dans la constitution des tissus où il joue un rôle important dans le stockage et les transferts d'énergie. Il est donc essentiel à la vie humaine, animale et végétale sur terre.

Contrairement aux autres cycles biogéochimiques importants (azote, soufre, carbone, oxygène et eau), le cycle du phosphore ne comporte pas de composante gazeuse en quantité significative et n'affecte presque pas l'atmosphère. Sa disponibilité est donc liée à l'altération des roches ou aux sources anthropogéniques. Il est souvent l'un des éléments limitant la croissance végétale des écosystèmes terrestres.

Bien que les sols contiennent une grande quantité de phosphore, excédant de 15 à 150 fois les besoins des plantes, seule une petite partie, appelée phosphore biodisponible, est accessible aux plantes et aux organismes vivants. Il s'agit du phosphore qui se présente sous une forme disponible pour la nutrition des végétaux. Ce phosphore est surtout présent en solution dans le sol sous forme d'ions orthophosphates directement assimilables par les plantes (Figure 1). Les ions orthophosphates peuvent aussi être attachés aux particules de sol; cela implique qu'ils doivent s'en détacher pour passer en solution. Généralement, l'apport naturel de phosphore biodisponible demeure insuffisant pour répondre aux besoins des cultures dans les systèmes de production agricole modernes. C'est donc par le biais de fertilisants phosphatés organiques ou inorganiques que les besoins en phosphore des cultures sont comblés.

Eutrophisation

Bien que dans ses formes les plus courantes, le phosphore ne soit pas toxique ou nocif pour l'être humain, une quantité excessive dans les eaux de surface peut être dommageable pour l'environnement. En effet, si le phosphore, particulièrement le phosphore biodisponible, favorise la croissance rapide de la végétation terrestre, c'est aussi vrai pour la végétation aquatique comme le phytoplancton et les algues. Une croissance excessive de la flore aquatique entraîne une eutrophisation accélérée des plans d'eau et modifie rapidement l'habitat faunique. En plus de dégrader la qualité visuelle du paysage, elle peut interférer avec les systèmes de traitement de l'eau de consommation et causer certains problèmes sanitaires. En effet, lors de la prolifération de cyanobactéries (aussi appelées algues bleu-vert), des toxines nocives (cyanotoxines) pour la santé peuvent être libérées lorsqu'elles se dégradent. Les effets potentiels de ces toxines sur l'être humain et les animaux dépendent du type libéré et de leur concentration dans l'eau. Ces effets peuvent aller d'une simple irritation de la peau jusqu'à l'atteinte du système nerveux, en passant par des troubles hépatiques (RRSSS, 2007).

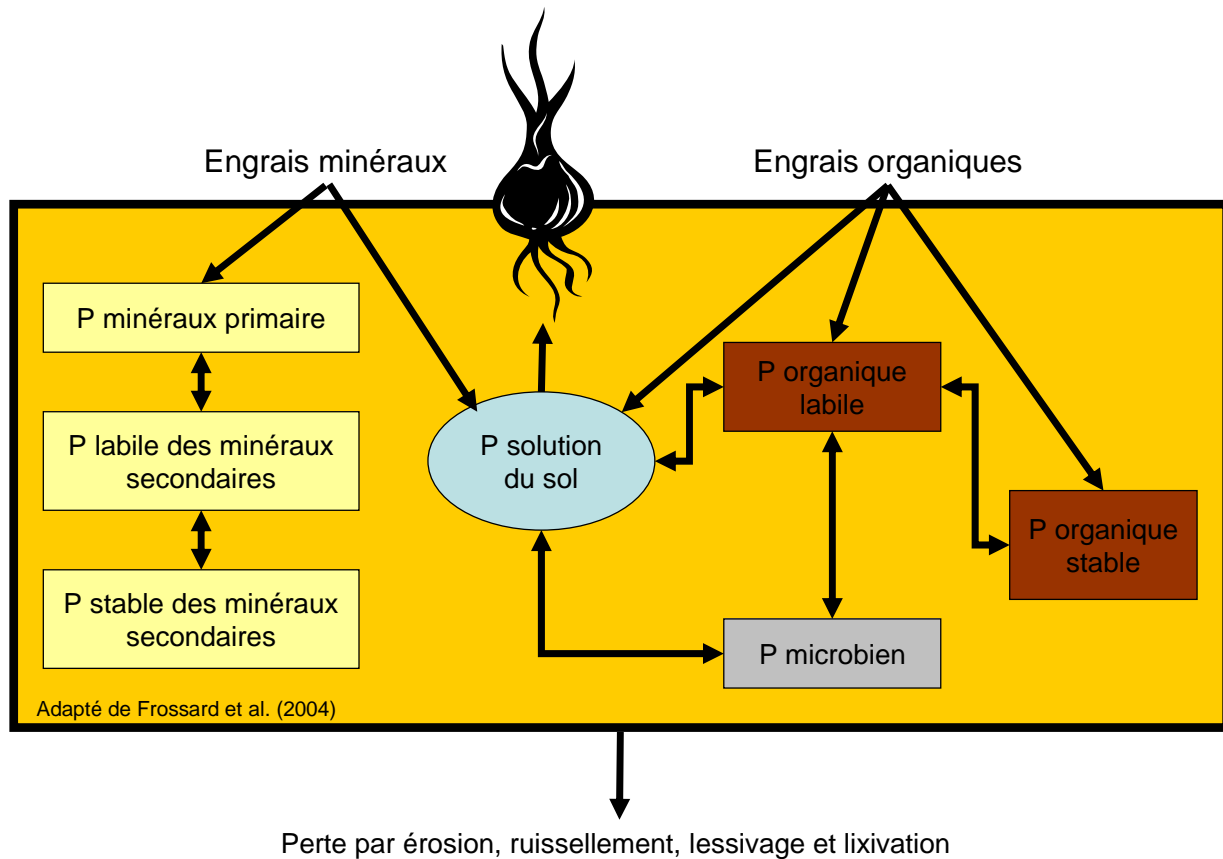


Figure 1. Cycle du phosphore dans le système sol-engrais-plante (adapté de Frossard *et al.*, 2004)

L'agriculture et le phosphore

Plusieurs sources de phosphore ont contribué et contribuent toujours au cycle du phosphore (Tableau 1). L'équilibre naturel du cycle du phosphore a été considérablement modifié au cours des derniers siècles. De nos jours, ce sont les sources liées aux activités humaines qui contribuent le plus à l'augmentation des quantités de phosphore rejetées dans l'environnement. Ces sources peuvent être de nature ponctuelle ou diffuse. Les sources ponctuelles de phosphore proviennent de points localisés alors que les sources de nature diffuse proviennent de superficies réparties sur une surface de territoire et difficiles à localiser exactement. Les sources de nature ponctuelle proviennent majoritairement des zones industrielles et urbaines : rejets d'usines, rejets d'égouts, usines de filtration, fosses septiques, etc. Elles ont longtemps été une source majeure de pollution des eaux de surface au Québec. À la suite des efforts importants mis en place pour réduire les sources ponctuelles, ce sont maintenant les sources diffuses de phosphore qui sont principalement responsables des apports en phosphore des eaux de surface, particulièrement dans les bassins versants à vocation agricole.

La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau

Depuis l'avènement de la production commerciale de fertilisants minéraux, l'intensification de l'agriculture a eu pour effet d'accroître la quantité et la fréquence des émissions de phosphore dans l'environnement. L'utilisation mondiale des fertilisants et le taux d'accumulation de phosphore dans les sols agricoles auraient triplé entre 1960 et 1990, pour diminuer un peu au cours des 15 dernières années. Les flux actuels de phosphore vers les océans sont actuellement trois fois plus élevés que les niveaux naturels de référence (8 Tg ou 8×10^{12} g). Même si un territoire agricole peut ne générer qu'une faible exportation de phosphore par hectare vers les cours d'eau, le cumul de ces exportations sur l'ensemble du territoire agricole peut générer des quantités substantielles de phosphore, susceptibles de dégrader le milieu aquatique. Une évaluation des différentes sources de phosphore parvenant à la baie Missisquoi, en territoire canado-américain, a ainsi montré que l'apport en phosphore diffus représentait environ 91 % de la charge totale en phosphore (167,3 t/an). De cette quantité, près de 80 % était attribuable à l'agriculture (Hegman *et al.*, 1999).

Tableau 1. Sources de phosphore dans l'environnement

Source de phosphore	Vitesse de libération	Source de l'information
Altération des roches	0,01 - 1,00 kg/ha/an	Frossard <i>et al.</i> , 2004
Dépôts atmosphériques	0,01 - 2,00 kg/ha/an	Frossard <i>et al.</i> , 2004
Dépôts météoritiques	~ 1,00 mg/ha/an	Frossard <i>et al.</i> , 2004
Forêts	0,02 - 1,00 kg/ha/an	Hillbricht-Ilkowska <i>et al.</i> , 1996
Zones urbaines	0,92 - 5,60 kg/ha/an	Hillbricht-Ilkowska <i>et al.</i> , 1996
Agriculture	0,04 - 6,30 kg/ha/an	Hillbricht-Ilkowska <i>et al.</i> , 1996

La vulnérabilité du territoire agricole aux exportations de phosphore

La contribution des sources diffuses de phosphore provenant de l'agriculture à l'eutrophisation des plans d'eau ruraux est reconnue depuis longtemps. Les instances gouvernementales québécoises ont ainsi mis en place le Règlement sur les exploitations agricoles (REA) qui vise la gestion optimale des déjections animales (entreposage et épandage) et autres matières fertilisantes (Québec, 2007). La très grande majorité des entreprises agricoles doivent maintenant se doter d'un plan de fertilisation produit par un agronome afin de s'assurer d'équilibrer les charges de phosphore produites ou importées par rapport à la capacité d'un sol à disposer de ces charges de phosphore.

Toutefois, la vulnérabilité d'un territoire aux exportations de phosphore ne dépend pas seulement des sources de phosphore qui y entrent. Afin de définir la vulnérabilité d'un champ ou d'un territoire, il faut à la fois tenir compte des formes et des quantités de phosphore présentes dans les sols ou appliquées aux sols (la source), de même que des mécanismes de transport vers les cours d'eau.

De plus, la biodisponibilité du phosphore dépend non seulement de la quantité de phosphore présent dans le sol et de la capacité de sorption de ce dernier, mais aussi des sources de phosphore apportées au sol et de l'activité microbienne qui favorise la libération du phosphore moins disponible. Par ailleurs, le devenir des formes biodisponibles de phosphore est tributaire des processus hydrologiques, lesquels sont responsables de la mobilisation et du transport vers le réseau hydrographique.

La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau

Conceptuellement, la vulnérabilité relative d'un champ ou d'un territoire donné peut être exprimée par une combinaison de facteurs *source* et de facteurs *transport* (Figure 2). Alors que les facteurs *source* décrivent les conditions qui prédisposent à l'accumulation de phosphore potentiellement mobilisable pour l'exportation, les facteurs *transport* décrivent les composantes, majoritairement hydrologiques, qui prennent en charge le phosphore et le transportent vers les cours d'eau.

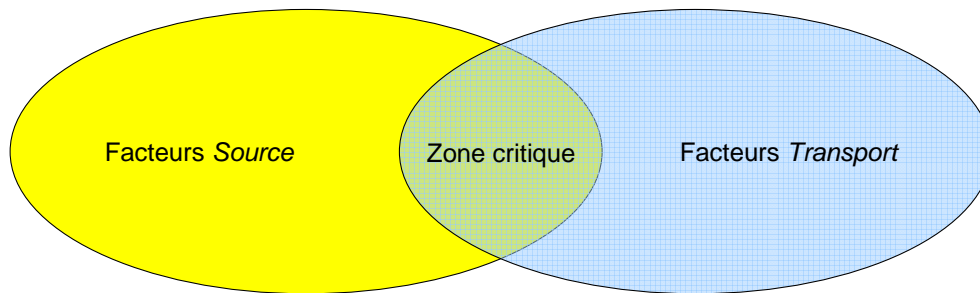


Figure 2. Notion de zones critiques appliquée à la mobilité diffuse du phosphore

Parmi les principaux facteurs *source* qui ont une influence sur le phosphore disponible pour l'exportation figurent :

- la richesse ou la saturation en phosphore du sol;
- le bilan des apports en phosphore provenant des engrais de ferme et des engrais minéraux;
- les modalités des apports des engrais de ferme, notamment la période et l'incorporation.

Parmi les facteurs *transport* qui ont une influence déterminante sur les processus de ruissellement et d'érosion, on note :

- la rotation des cultures;
- les pratiques culturales (travail du sol) (Cazalais *et al.*, 2003);
- l'aménagement hydroagricole des champs et du territoire (Stämpfli *et al.* 2007; Laroche 2000; CCSE).

Les exportations de phosphore vers les cours d'eau ne peuvent provenir que des zones où il y a interaction des facteurs *source* et *transport* du phosphore. Ces zones particulièrement vulnérables à l'exportation de phosphore sont appelées *zones critiques* (Figure 2). Plusieurs études ont démontré qu'une proportion relativement restreinte du territoire est responsable de la majorité des exportations de phosphore qui sont concentrées sur une courte période. Pionke *et al.* (1997) estiment ainsi que 90 % des exportations de phosphore des bassins versants proviennent de seulement 10 % du territoire et surviennent surtout au cours de quelques événements de ruissellement de forte intensité. Au Québec, sur le bassin versant du ruisseau au Castor en Montérégie-Est, Michaud *et al.* (2002) ont observé que 75 % des exportations de phosphore provenaient de seulement 6 % de la période de caractérisation

(1997-2000), principalement à la fin de l'hiver et tôt au printemps. Une estimation des charges de phosphore exportées à l'échelle du bassin versant de la rivière aux Brochets (630 km²) au moyen de la modélisation hydrologique suggère, pour sa part, qu'environ 10 % des superficies du bassin contribuent à 50 % des exportations de phosphore (Beaudin *et al.*, 2006). Afin de prévenir la mobilité du phosphore, il est donc impératif de bien évaluer et de contrôler tant les sources que les mécanismes de transport du phosphore. Une bonne connaissance du milieu permet de bien cibler les portions contributives du territoire et les interventions qui permettront de réduire les exportations de phosphore en provenance de ces zones critiques.

Références

- Beaudin, I. 2006. Revue de littérature. La mobilité du phosphore. Version finale. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec. 137 p. Disponible en ligne : <https://www.craaq.qc.ca/index.cfm?p=32&l=fr&IdDoc=1759>.
- Beaudin, I., J. Deslandes, A.R. Michaud, F. Bonn et C.A. Madramootoo. 2006. Variabilité spatio-temporelle des exportations de sédiments et de phosphore dans le bassin versant de la rivière aux Brochets au Sud-Ouest du Québec. Partie I : Paramétrage, calibrage et validation du modèle SWAT. *Agrosolutions* 17(1): 4-19.
- Cazelais, S., J. Nault, G. Lamarre, J.-C. Hébert et È. Pontbriand-Sarao. 2003. Le travail du sol. Par où commencer? Logiag, Québec. 28 p.
- CCSE (Centre de conservation du sol et de l'eau de l'est du Canada). Les bandes riveraines et la qualité de l'eau : une revue de la littérature. Sans date. Disponible en ligne : <http://www.agrireseau.qc.ca/navigation.aspx?r=bandes%20riveraines>
- Frossard, E., P. Julien, J.-A. Neyroud et S. Sinaj. 2004. Le phosphore dans les sols - État de la situation en Suisse. Le phosphore dans les sols, les engrais, les cultures et l'environnement, Cahier de l'environnement n° 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, Suisse. 180 p.
- Hegman, W., D. Wang et C. Borer. 1999. Estimation of Lake Champlain Basinwide Nonpoint Source Phosphorus Export. Technical Report No. 31. Lake Champlain Basin Program. Grand Isle, Vermont, États-Unis. 69 p.
- Hillbricht-Ilkowska, A., L. Ryszkowski et A.N. Sharpley. 1995. Phosphorus transfer and landscape structure: riparian sites and diversified land use patterns. Dans : Phosphorus cycling in terrestrial and aquatic ecosystems: a global perspective. Tiessen (ed.). SCOPE/Jonh Wiley, New York, États-Unis. pp. 201-208.
- Laroche, R. 2002. Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Aménagements et techniques pour le contrôle de l'érosion. Module 6 - Autres pratiques de conservation. Feuillet 6-B. Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). 11 p. Disponible en ligne : www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Amenagements.pdf

La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau

Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2002. Description du système de transfert du phosphore dans le bassin versant du ruisseau au Castor. *Agrosol* 13(2): 124-139.

Pionke, H.B., W. J. Gburek, A.N. Sharpley et J.A. Zollweg. 1997. Hydrological and Chemical Controls on Phosphorus Loss from Catchments. Dans : *Phosphorus Loss from Soil to Water*. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes et A.E. Johnston Eds. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni. pp. 225-242.

Québec. 2007. Règlement sur les exploitations agricoles. Consulté en ligne :
http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R11_1.HTM

RRSSS. 2007. Problématique des cyanobactéries en Montérégie et impacts potentiels sur la santé. Régie régionale de la santé et des services sociaux (RRSSS), Gouvernement du Québec, Québec, Canada. 2 p. Consulté en ligne :
www.rrsss16.gouv.qc.ca/santepublique/protection/environnement/Eauxrecreatives/index.html

Source d'informations supplémentaires

SERA-17. 2005. Organization to Minimize Phosphorus Losses from Agriculture.
http://www.sera17.ext.vt.edu/SERA_17_Publications.htm. Consulté en 2007.

GLOSSAIRE

Adsorption	Rétention superficielle par un solide des molécules d'un gaz aussi bien que d'une substance en solution ou en suspension dans un liquide. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)
Anthropogénique	Causé ou généré par l'être humain. (<i>Wiktionnaire</i>)
Bassin versant	Territoire dont les eaux se déversent vers un exutoire unique. (Adapté de <i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)
Biodisponibilité	Aptitude d'un nutriment à être absorbé par l'organisme après ingestion. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>) Biodisponible (en parlant du phosphore) : directement assimilable par les végétaux.
Cyanobactérie	Bactérie procaryote photosynthétique que l'on trouve principalement en milieu aquatique. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>) Aussi appelée algue bleu-vert.
Eutrophisation	Enrichissement des eaux par des nutriments, se traduisant par une prolifération des végétaux aquatiques ou des cyanobactéries et par une diminution de la teneur en oxygène des eaux profondes. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)
Lixiviation	Transport dans le sol, par convection, d'une substance dissoute (soluté) résultant des mouvements de la phase liquide du sol. (<i>Larousse agricole, 2002</i>) Transport des éléments nutritifs (constituants solubles) dans le sol avec le mouvement de l'eau (solvant).
Orthophosphate	Composé du phosphore (acide ou sel) caractérisé par les radicaux suivants : $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$, HPO_4^{-2} ou PO_4^{-3} . (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)
Phosphore (P)	Élément chimique non métallique et pentavalent, numéro atomique 15. Constituant essentiel des plantes. Il intervient dans la plupart des processus physiologiques (respiration, photosynthèse, etc.) et favorise la croissance, la précocité et la résistance au froid. (<i>Larousse agricole, 2002</i>)
Phosphate	Roche contenant de l'acide phosphorique tricalcique servant d'engrais ou de matière première à des engrais. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)

La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau

Richesse du sol	Teneur ou quantité, en parlant de nutriments disponibles dans le sol pour la croissance des plantes.
Ruissellement	Écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente de terrain, des eaux qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage à la surface du sol. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)
Saturation (en nutriment)	Concentration maximale d'un soluté dans un solvant. (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>) En parlant du phosphore, proportion des sites d'adsorption dans le sol qui sont occupés par le phosphore.
Sorption	Prise et rétention d'une substance (le sorbé) en surface (adsorption) et à l'intérieur (absorption, au sens restreint) d'une autre substance (le sorbant). (<i>Le grand dictionnaire terminologique</i>)
Sources diffuses	Sources de sédiments, nutriments ou autres substances mobilisées par le mouvement des eaux de ruissellement ou de lixiviation sur l'ensemble du territoire pour atteindre le réseau hydrographique ou l'aquifère.
Sources ponctuelles	Sources de sédiments, nutriments ou autres substances provenant de points d'émission localisés, facilement identifiables dans le temps et dans l'espace.
Zones critiques ou vulnérables	En parlant de sources diffuses de contamination, zones critiques d'émissions en raison de la présence de sources potentiellement mobilisables et de facteurs favorables à leur transport.

Sources :

Larousse agricole - Le monde paysan au XXI^e siècle. 2002 (4^e édition). Larousse. 800 p.

Le grand dictionnaire terminologique. <http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>. Consulté en octobre 2007.

Wiktionnaire. <http://fr.wiktionary.org/>. Consulté en 2007.