

ÉLIMINATION DE L'AZOTE DES EAUX USÉES (DÉNITRIFICATION)



L'élimination efficace de l'azote des eaux usées représente un impératif crucial, dicté par des enjeux majeurs liés à la préservation de l'environnement et à la protection de la santé publique. L'azote, sous forme de nitrates et d'ammoniac, exerce une influence significative sur les écosystèmes aquatiques et peut poser des risques graves pour la faune, la flore, et même la santé humaine. Dans cet InfoDBO, nous explorerons les raisons essentielles pour lesquelles l'élimination de l'azote des eaux usées est devenue une priorité incontestable, en mettant en lumière les implications environnementales et les menaces potentielles pour la santé publique. Nous examinerons également les processus biologiques clés, tels que la nitrification et la dénitrification, qui jouent un rôle central dans le traitement des eaux usées pour éliminer l'azote, avant de conclure sur l'importance cruciale de la recirculation dans ce processus, notamment dans le contexte des solutions proposées par DBO International.

ENVIRONNEMENT

L'élimination de l'azote des eaux usées revêt une importance fondamentale dans la prévention de l'eutrophisation des lacs et des sources d'eau potable, un phénomène écologique préjudiciable. Lorsque l'azote, principalement sous forme de nitrates et d'ammoniac, pénètre les écosystèmes aquatiques, il agit comme un fertilisant, favorisant une croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques. Cette prolifération végétale crée une couche dense en surface, obstruant la lumière solaire et entravant la photosynthèse des plantes submergées. En conséquence, ces plantes se décomposent, consommant une quantité importante d'oxygène dissous dans l'eau. Ce processus réduit considérablement les niveaux d'oxygène disponibles, mettant en danger la survie des poissons et d'autres organismes aquatiques. Les "zones mortes", où la vie aquatique ne peut plus subsister, résultent souvent directement de ce phénomène. Ainsi, en éliminant l'azote des eaux usées, on contrôle l'apport de nutriments dans les milieux aquatiques, préservant leur équilibre écologique et évitant la dégradation de ces habitats vitaux.

L'azote, en particulier sous forme d'ammoniac, est extrêmement toxique pour la faune aquatique. Même à de faibles concentrations, l'ammoniac peut causer des dommages significatifs aux poissons et autres organismes aquatiques. Il affecte principalement les branchies des poissons, entravant leur capacité à respirer et à réguler l'équilibre entre l'eau salée et l'eau douce. Cette toxicité peut entraîner un stress sévère, une diminution de la croissance, une reproduction altérée et, dans les cas graves, la mort. De plus, l'ammoniac et les nitrates peuvent perturber les processus biologiques essentiels des organismes aquatiques, affectant leur capacité à se nourrir, à se reproduire et à maintenir un équilibre physiologique sain. En éliminant l'azote des eaux usées, on réduit considérablement ces risques, contribuant ainsi à la santé et à la viabilité des écosystèmes aquatiques. Cela est particulièrement important dans les zones où les eaux usées traitées sont rejetées dans des rivières, des lacs ou des estuaires, où elles peuvent avoir un impact direct sur la faune locale.

SANTÉ PUBLIQUE

La présence de nitrates dans l'eau potable, issue de la contamination par les eaux usées, représente un risque majeur pour la santé humaine, en particulier pour les nourrissons. Les nitrates sont convertis en nitrites dans le corps humain, et ces derniers peuvent interférer avec la capacité de l'hémoglobine à transporter l'oxygène. Chez les nourrissons, cela peut conduire à la méthémoglobinémie, ou "syndrome du bébé bleu", une condition potentiellement mortelle caractérisée par une diminution de l'oxygénation du sang. Les symptômes incluent une coloration bleutée de la peau et des difficultés respiratoires. Les adultes peuvent également être affectés, bien que moins fréquemment. De plus, certaines études suggèrent un lien entre une exposition prolongée à des niveaux élevés de nitrates et un risque accru de certains types de cancer, ainsi que d'autres problèmes de santé. Par conséquent, traiter les eaux usées pour en éliminer l'azote est essentiel pour assurer la sécurité de l'eau potable et protéger la santé publique.

Les nitrates provenant des eaux usées peuvent s'infiltrer dans le sol et contaminer les nappes phréatiques, source majeure d'eau potable pour de nombreuses communautés. Cette contamination pose un risque sérieux pour la santé humaine, comme mentionné précédemment, et peut également avoir un impact économique, car le traitement de l'eau contaminée par les nitrates est coûteux et complexe. De plus, une fois que les nitrates sont présents dans les nappes phréatiques, il est très difficile de les éliminer. Ils peuvent persister pendant de longues périodes, étendant le risque de contamination bien au-delà de la source initiale. Par conséquent, traiter efficacement les eaux usées pour éliminer l'azote avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement est une mesure préventive essentielle pour protéger les ressources en eau souterraine et assurer la disponibilité d'une eau potable sûre pour les générations actuelles et futures.



TRAITEMENT

La nitrification et la dénitrification sont deux processus biologiques clés dans le traitement des eaux usées, en particulier pour éliminer l'azote, un polluant majeur.

NITRIFICATION

La nitrification est un processus aérobie (nécessitant de l'oxygène) où les bactéries nitrifiantes convertissent l'ammoniac (NH_3) en nitrites (NO_2^-) puis en nitrates (NO_3^-). Le processus s'effectue en deux étapes : l'oxydation de l'ammoniac en nitrites, et la conversion des nitrites en nitrates. Ces deux étapes sont effectuées lors du passage de l'eau usée dans les systèmes de traitement de DBO international.

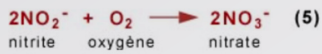
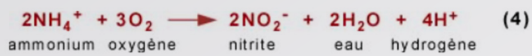
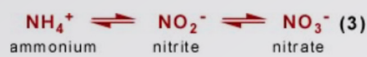


Figure 2 : Formules de nitrification (Bourque, 1997)

les sols, l'oxydation de l'ammoniac soit assurée à la fois par les bactéries oxydant l'ammoniac et les archées oxydant l'ammoniac, il a été observé que les archées oxydant l'ammoniac sont plus dominantes dans les sols et les milieux marins. Cette prédominance suggère que les archées du groupe des Thaumarchaeota pourraient jouer un rôle plus important dans le processus d'oxydation de l'ammoniac dans ces environnements.

La transformation du nitrite en nitrate, constituant la seconde phase de la nitrification, est principalement assurée par des bactéries appartenant aux genres *Nitrobacter* et *Nitrospira*. Cette étape, tout comme la première, génère de l'énergie qui est ensuite utilisée pour synthétiser de l'ATP. Les organismes impliqués dans la nitrification sont chimioautotrophes, utilisant le dioxyde de carbone comme source de carbone pour leur croissance. Certaines bactéries oxydant l'ammoniac disposent de l'enzyme uréase, qui facilite la décomposition de l'urée en deux molécules d'ammoniac et une molécule de dioxyde de carbone. Il a été observé que *Nitrosomonas europaea*, ainsi que d'autres populations de bactéries oxydant l'ammoniac présentes dans le sol, utilisent le dioxyde de carbone produit par cette réaction pour générer de la biomasse via le cycle de Calvin. En parallèle, elles capturent de l'énergie en convertissant l'ammoniac (l'autre produit de l'uréase) en nitrite. Cette capacité pourrait expliquer pourquoi les bactéries oxydant l'ammoniac connaissent une croissance accrue en présence d'urée, particulièrement dans des milieux acides. Dans le domaine de l'écologie, les bactéries nitrifiantes forment un groupe taxonomique spécifique et sont particulièrement abondantes dans les environnements riches en ammoniac, comme les zones de forte décomposition protéique et les stations d'épuration. Ces bactéries prospèrent dans les eaux des lacs et des rivières, surtout là où il y a un apport significatif d'eaux usées. Leur prolifération dans ces milieux est favorisée par la haute concentration en ammoniac des eaux usées et de l'eau douce.

Dans System O)) (Enviro))septic), on retrouve les bactéries oxydant l'ammoniac présente dans les eaux usées ainsi que les divers microorganismes présents dans le sol environnant. Un ensemble de microorganisme est donc responsable du processus de nitrification.

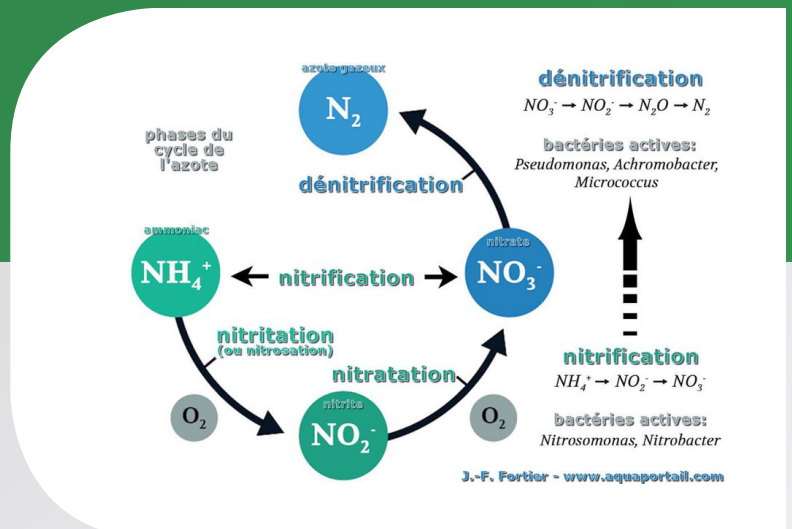


Figure 1 : Cycle de l'azote (Fortier, 2006)

DÉNITRIFICATION

La dénitrification est un processus anaérobie (se déroulant en l'absence d'oxygène) où les bactéries dénitrifiantes convertissent les nitrates en azote gazeux (N₂) ou en oxydes d'azote. Le processus s'effectue en deux étapes : la réduction des nitrates, et la libération de l'azote gazeux.



Figure 3 : Formule de dénitrification (Bourque, 1997)

L'origine de l'oxydation des substances organiques ou inorganiques électrons (e⁻) ou de l'hydrogène résultant (H) est transférée par un transporteur d'électrons et d'hydrogène, qui diffèrent selon les différentes enzymes et bactéries. En règle générale, les cytochromes et les quinones servent de porteurs d'électrons ou d'hydrogène. Le transport d'électrons conduit à

la synthèse de l'ATP au moyen du couplage chimiosmotique et donc à la conservation de l'énergie. En plus de N₂, cependant, une plus petite quantité de N₂O (gazeux) intermédiaire est libérée. Ce processus se déroule dans la nature partout où le nitrate et par les dénitrifiants, la matière organique oxydable est disponible dans des conditions anoxiques ou hypoxiques (par exemple les marécages, les sols, les sédiments dans les rivières et les lacs). Certaines bactéries peuvent également contenir de l'hydrogène moléculaire H₂, du sulfure d'hydrogène H₂S, de l'ammonium NH₄⁺, des ions fer (II) Fe²⁺ et du méthane. C'est composants avec du nitrate NO₃⁻ sont oxydés pour former de l'azote moléculaire N₂. L'azote gazeux est ensuite libéré dans l'atmosphère par diffusion gazeuse.

EN CONCLUSION

C'est pourquoi il est crucial d'avoir un processus de recirculation pour éliminer complètement l'azote des eaux usées. Pendant la recirculation, les nitrates sont renvoyés à la fosse primaire, où ils sont exposés à de nombreuses bactéries dénitrifiantes dans des conditions anaérobies, favorisant ainsi leur conversion en azote gazeux. Notre équipe d'ingénierie chez DBO International possède la connaissance nécessaire pour calculer le pourcentage d'eau qui doit être recirculé afin de répondre aux exigences de chaque pays. Cela permettra d'atteindre le rendement prévu et de maintenir le niveau de performance épuratoire pendant de nombreuses années.

Ahn, Y.-H. (2006). Sustainable nitrogen elimination biotechnologies : A review. *Process Biochemistry*, 41(8), 1709-1721. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.03.033>

Bourque, P.-A. (1997). Cycle de l'azote. Planète Terre. <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycle.azote.html>

Centre national de la recherche scientifique. (s. d.). Ecosystème aquatique : Eutrophisation. L'eutrophisation. Consulté 15 décembre 2023, à l'adresse <https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>

Environnement et Changement climatique Canada. (2009, août 10). Liste des substances toxiques : Ammoniac dissous dans l'eau [Description de programme, page de navigation]. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-substances-toxiques/liste-loi-canadienne-protection-environnement/ammoniac-dissous-dans-eau.html>

Fortier, J.-F. (2006). Bactérie nitrifiante : Définition et explications. AquaPortail. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/12858/bacterie-nitrifiante>

Holmes, D. E., Dang, Y., & Smith, J. A. (2019). Chapter Four—Nitrogen cycling during wastewater treatment. In G. M. Gadd & S. Sariaslani (Éds.), *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 106, p. 113-192). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.10.003>

Karine Chaussé, Denise Phaneuf, Patrick Levallois, & Groupe scientifique sur l'eau de l'Institut national de santé publique du Québec. (2003, juillet). Nitrates / Nitrites | INSPQ. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/nitrates>

notre-environnement. (2023, décembre 15). Les nitrates, le principal polluant des eaux souterraines. <http://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/sante/la-pollution-de-l-eau-douce-ressources/article/les-nitrates-le-principal-polluant-des-eaux-souterraines>

Organisme de bassin versant Abitibi-Jamésie. (2021). L'eutrophisation. OBVAJ. <https://obvaj.org/citoyens/les-bonnes-pratiques/eutrophisation/>