Université de Montréal

PHY 2100 –Physique environnementale

Terres humides

par
Éloïse Joubert (20213157)

6 mai 2024

1 Zones humides : sujet chaud

FIGURE 1 – Site Northvolt, en bordure du Richelieu [1]

C'est en septembre dernier que le gouvernement Legault a annoncé l'avènement du «plus grand investissement manufacturier de toute l'histoire du Québec» en faisant référence à l'usine de cellules de batteries que l'entreprise suédoise Northvolt établit présentement dans les environs de Saint-Basile-Le-Grand et de McMasterville. Le projet de quelques milliards, financé par le provincial et le fédéral, promet de milliers d'emplois ainsi qu'une «capacité de production annuelle de cellules de 60 GWh, ce qui permettrait d'alimenter environ un million de véhicules électriques par an» [2]. Le premier ministre François Legault affirme que c'est un «projet extraordinaire» en matière de transition écologique[3]. Toutefois, ce qui n'a pas d'emblée été mis de l'avant, c'est que le site sur lequel l'entreprise s'installe compte près de 130 000 m^2 de terres humides abritant de nombreuses espèces vivantes dont certaines espèces menacées [4]. La question se pose : est-ce que ce pari économique vaut bien la perte de ces «zones [de] grande importance pour la biodiversité» [5] ?

1.1 Définition des terres et des milieux humides

Les terres ou les milieux humides englobent plusieurs types d'écosystèmes inondés de façon saisonnière ou permanente, riverains ou non-riverains. Les terres dites palustres, soit le type mis en jeu par l'usine de batteries, comprennent les marais, les marécages et les tourbières. Toute catégories confondues, elles sont fondamentales climatologiquement parlant en ce qu'elles contribuent à «réduire l'érosion des sols, à retenir les sédiments, à absorber les nutriments, à emmagasiner l'eau pour réduire les conséquences des inondations et des sécheresses et à atténuer les effets des changements climatiques» [6]. Qui plus est, les terres humides agissent comme des éponges, filtrant les eaux de surfaces affluentes. En effet, la composition de la canopée marécageuse et la topographie relativement plane ralentit les flux des eaux de surface, permettant à des processus physiques, chimiques et biochimiques de traiter celles-ci de potentiels contaminants comme les résidus d'ammoniaque ou azotés provenant de l'agriculture ou encore des métaux lourds issus d'activités industrielles. Leur efficacité est telle que des terres humides artificielles sont construites afin de servir de système d'épuration d'eaux usées [7].

1.2 Transport de contaminant dans les eaux des terres humides

Il est possible de caractériser l'efficacité des terres humides à traiter des eaux contaminées ou d'en estimer la réponse face un intrant en se penchant sur le transport des particules polluantes, qu'elles soient actives ou passives, par la mécanique hydrique du système. Une autre contribution majeure à considérer est l'impact de la végétation sur les profils de vitesses des écoulements et sur le piégeage des nutriments.

L'équation de transport d'un contaminant par advection et diffusion dans un milieu est définit comme :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla C = D \nabla^2 C \tag{1}$$

Où C est la concentration (kgm^{-3}), $\mathbf{u}$ est la vitesse de l'écoulement (ms^{-1}) et D est un coefficient de diffusivité (sans unités) [8]. Le terme à droite de l'équation représente le transport de contaminants par diffusion et les termes à gauche, le transport par écoulement. On peut adapter cette équation afin de mieux décrire la situation des terres humides en modifiant le côté gauche de l'équation :

$$\phi \frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla C = \nabla \cdot (\kappa D \phi \nabla C) + \kappa \nabla \cdot (\mathbf{K} \cdot \nabla C) \tag{2}$$

Où ϕ est un facteur (sans dimension) de porosité affectant les flux d'eau au travers de la végétation, κ (sans dimension) est un facteur de tortuosité et $\mathbf{K}$ est un tenseur de dispersion de concentration (m^{2}s^{-1}) [9]. La tortuosité paramétrise le chemin de diffusion relatif à des sédiments de particules ou de molécules dans des milieux poreux [10]. On peut l'approximer comme $\approx \sqrt{\phi}$ [11]. Ainsi, l'équation 2 comprend l'écoulement, la diffusion et la dispersion de contaminants dans un milieu poreux. On peut continuer de simplifier cette expression en considérant un système en deux dimensions pour lequel la diffusivité est constante et le flux de l'eau de surface est unidirectionnel en x[9] :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{u}{\phi}\frac{\partial C}{\partial x} = \kappa(D + \frac{K}{\phi})\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \kappa(D + \frac{K}{\phi})\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \tag{3}$$

Où K correspond dorénavant à la dispersion longitudinale et verticale [9]. Un schéma est représenté à la figure 2. On se retrouve avec une équation différentielle partielle en deux dimensions, ce qui n'est pas trivial à solutionner. Tout d'abord, commençons par considérer une injection instantanée d'une quantité Q de contaminant à t=0 et à x=0. La condition initiale est $C(x, z, t = 0) = \frac{Q}{\phi h}\delta(x)$ et les conditions frontières sont $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ à $z = 0$ et à $z = h$. La solution à l'équation 1, en se positionnant dans un référentiel suivant le fluide, est donnée par :

$$C(x, z, t) = \frac{Q}{(\sigma(t)\sqrt{2\pi})^2} exp\left(\frac{-(x - ut)^2 + z^2}{2\sigma(t)^2}\right) \tag{4}$$

Sachant que $\sigma = \sqrt{2Dt}$ et en comparant les équations 1 et 3, on remarque que l'on peut faire correspondre D à $\kappa(D + \frac{K}{\phi})$ et en prenant compte de ϕ, on peut définir une solution analytique à l'équation 2 telle que :

$$C(x, z, t) = \frac{Q}{(\sigma(t)\sqrt{2\pi})^2} exp\left(\frac{-(x - \frac{ut}{\phi})^2 + z^2}{2\sigma(t)^2}\right) \tag{5}$$

À partir de là, connaissant des intervalles de valeurs pour les différents facteurs, on peut démontrer leurs effets sur le transport des contaminants dans les eaux de surface des terres humides. Les dites valeurs sont présentées à la table 1.

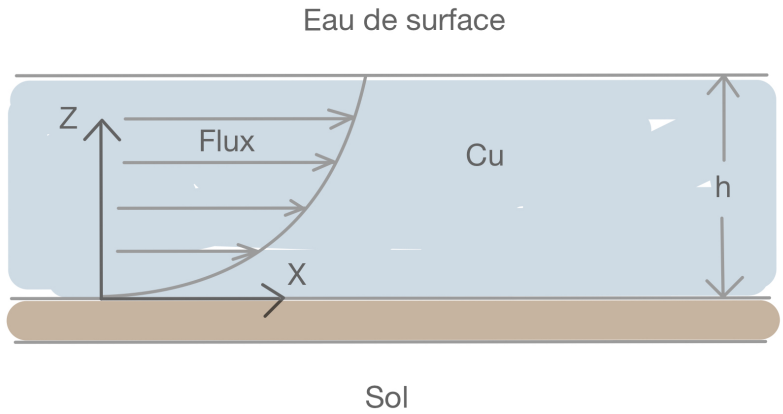
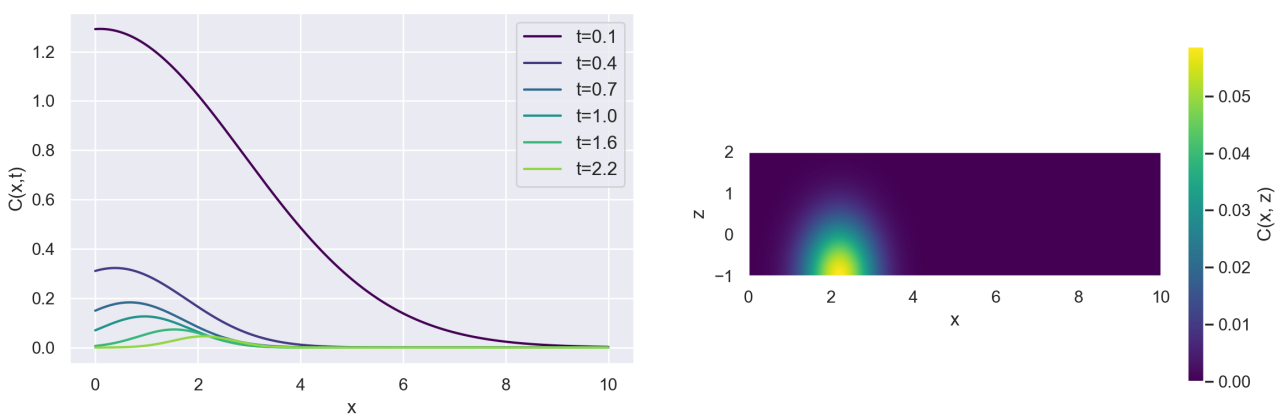


FIGURE 2 – Schéma du modèle en deux dimensions d'un système de terres humides dans lequel est injecté un contaminant et dans lequel l'écoulement de l'eau de surface est longitudinal uniquement. Adapté de [9] et de [12].

u (m/s)	ϕ	κ	D	K
0.001-1	0.7-0.9	0.84-0.95	0.2-0.7	≈0.48

TABLE 1 – Valeurs typiques pour u, ϕ, κ, D et K [12] [13] [11].

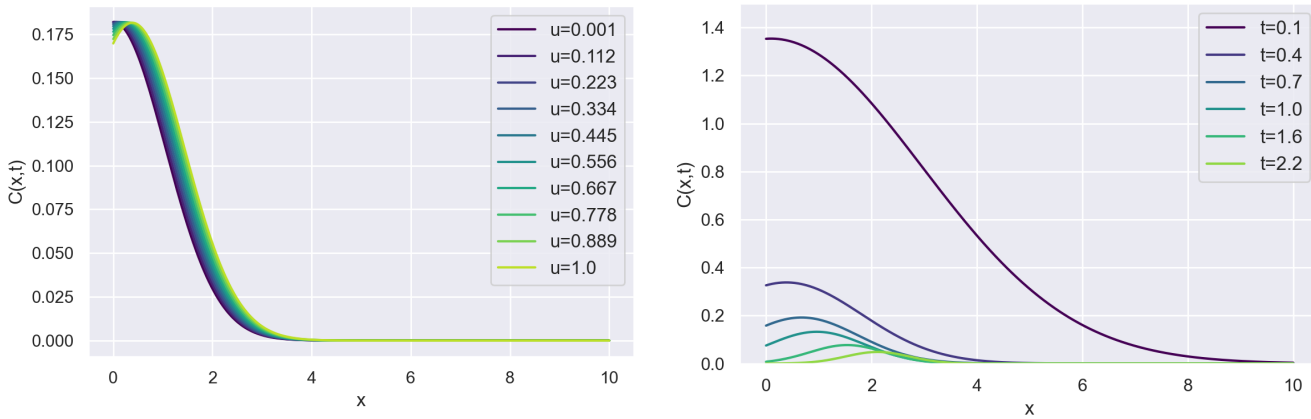
1.3 Application



(a) (b)

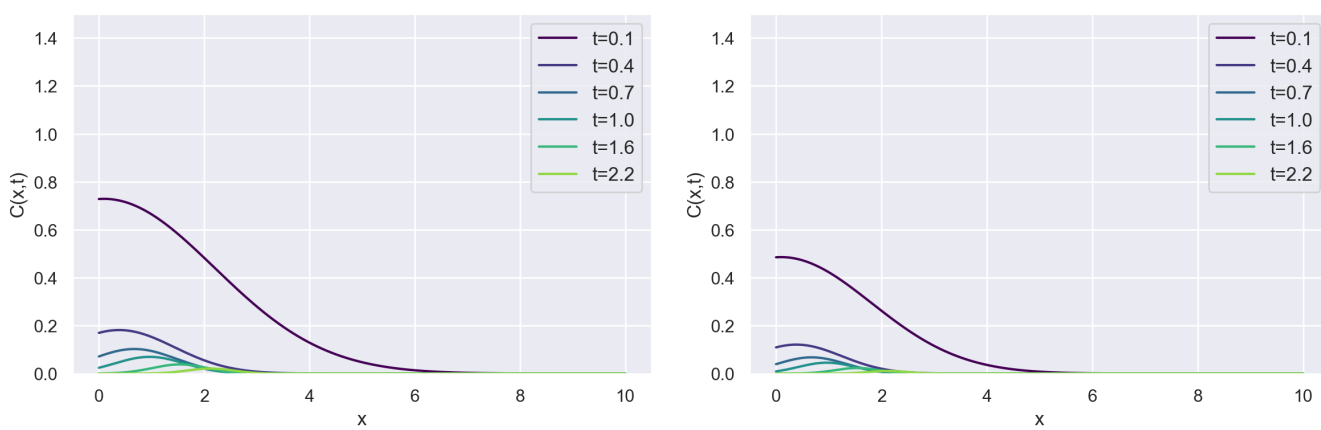
FIGURE 3 – (a) Variation de la concentration du contaminant relâché à $(x, z, t) = (0, 0, 0)$ selon x avec $u = 1$ (m/s), $\kappa = 0.84$,$D = 0.2$, $K = 0.48$ et $\phi = 0.9$, et en (b), selon z pour différents temps donnés.

À la figure 3 sont illustrées la distribution de la concentration par rapport à la longitude en (a) et par rapport à x et à z pour différents moments entre le relâchement du contaminant à $(x, z, t) = (0, 0, 0)$ et son transport par le milieu. Les valeurs des divers facteurs sont : $u = 1$ (m/s), $\kappa = 0.84$,$D = 0.2$, $K = 0.48$ et $\phi = 0.9$. On remarque que la concentration diminue rapidement, mais que la quantité de contaminant n'est pas transportée sur une longue distance depuis son point d'injection. On comprend ceci de par les vitesses d'écoulement plutôt faibles qui sont généralement observées dans les terres humides, dites entre 0.001-1 m/s. D'ailleurs, à la figure 4 (a) est représentée la petite variation de la concentration pour cet intervalle de vitesses au temps $1 = 0.1$. Cela fait en sorte que la quantité de contaminant tend relativement rapidement vers 0 et ne tend pas à se propager dans le milieu.



(a) (b)

FIGURE 4 – (a) Variation de la concentration du contaminant selon x pour différentes valeurs de la vitesse de l'écoulement u(x) avec $t = 0.1$, $u = 1$ (m/s), $\kappa = 0.84$, $D = 0.7$, $K = 0.48$ et $\phi = 0.8$. (b) Variation de la concentration du contaminant selon x pour $K = 0$ avec $u = 1$ (m/s), $\kappa = 0.84$, $D = 0.7$ et $\phi = 0.8$.



(a) (b)

FIGURE 5 – Variation de la concentration du contaminant selon x pour K avec $u = 1$ (m/s), $\kappa = 0.84$, $D = 0.7$, et $\phi = 0.8$. (a) $K = 0.48$ (b) $K = 1$

Aux figures 4 (b) et 5 sont visibles les effets du facteur de dispersion K, selon qu'il corresponde à 0, à 0.48 ou à 1 : plus K est fort et plus le contaminant est efficacement diminué et moins le contaminant a le loisir de s'étendre dans l'espace. Le facteur de transport est pertinent en ce qu'il englobe plusieurs des mécanismes survenant dans les terres humides permettant aux particules polluantes actives ou passives de se faire intercepter par autres sédiments ou par la végétation [13]. Bien entendu, on peut reproduire le même exercice et étudier les effets des autres facteurs tel que la porosité, la tortuosité et la diffusion sur le transport.

1.4 Remarques

Il faut garder en tête les limites d'un tel modèle. En effet, nous avons approximé que la diffusion est constante, que le flux de l'eau en surface est unidirectionnel et que le niveau de l'eau dans le système est constant. En réalité, il faudrait prendre que compte l'effet dynamique des différents apports en eaux dans le système comme la pluie, l'évaporation, le ruissellement, les déversements d'eaux usées. En d'autres mots, les saisons et la variabilité du climat ne sont pas comptabilisées. De plus, l'activité microbienne, la sédimentation et le transport dans la chaîne alimentaire contribuent également à disposer ou à transformer les contaminants entrant dans le système.

Bref, démontrer la puissance des terres humides n'est pas un problème simple, et je ne suis pas certaine d'y être parvenue tout-à-fait ou directement. Si c'était à poursuivre, je voudrais étudier plus en détails les effets des autres facteurs du système, l'effet d'une source continue ou d'une source qui pourrait aussi se déplacer sous l'effet des flux d'eau de surface.

2 Bibliographie

Références

[1] V. Mazataud, "Le site de northvolt est situé en bordure de la rivière richelieu.," *Le Devoir*, 2024.

[2] C. Pavic, "Northvolt reçoit des milliards de québec et ottawa pour sa méga-usine de cellules de batteries." Le Devoir, 2023. Accessed 25 March 2024.

[3] C. Laplante, "François legault dit que les groupes environnementaux devraient «applaudir» northvolt." Le Devoir, 2023. Accessed 25 March 2024.

[4] A. Shields, "Northvolt empiétera sur des milieux humides identifiés pour leur intérêt écologique." Le Devoir, 2023. Accessed 25 March 2024.

[5] A. Shields, "Le projet de northvolt ne respecterait pas l'accord mondial pour la biodiversité." Le Devoir, 2023. Accessed 25 March 2024.

[6] Environnement et Gouvernements Locaux, "Terres humides." NewBrunswick Canada. Accessed 25 March 2024.

[7] R. H. Kadlec and D. E. Hammer, "Modeling nutrient behavior in wetlands," *Ecological Modelling*, vol. 40, no. 1, pp. 37–66, 1988.

[8] P. Charbonneau, "Chapitre 5 : Processus physiques ii. matière." Université de Montréal, 2024. Accessed 3 mai 2024.

[9] P. Wang, L. Zeng, W. Jiang, and Z. Zhang, "Contaminant transport in wetland flows : Different fate between the upper and bottom layers," *Journal of Cleaner Production*, vol. 246, p. 119040, 2020.

[10] G. R. Carey, E. A. McBean, and S. Feenstra, "Estimating tortuosity coefficients based on hydraulic conductivity," *Groundwater*, vol. 54, no. 4, pp. 476–487.

[11] L. Zeng and G. Chen, "Ecological degradation and hydraulic dispersion of contaminant in wetland," *Ecological Modelling*, vol. 222, no. 2, pp. 293–300, 2011. Wetlands in China.

[12] Y. Yang, S. Tan, L. Zeng, Y. Wu, P. Wang, and W. Jiang, "Migration of active particles in a surface flow constructed wetland," *Journal of Hydrology*, vol. 582, p. 124523, 2020.

[13] Y. H. Huang, J. E. Saiers, J. W. Harvey, G. B. Noe, and S. Mylon, "Advection, dispersion, and filtration of fine particles within emergent vegetation of the florida everglades," *Water Resources Research*, vol. 44, no. 4, 2008.