Capsules INRSciences

Centre - Eau Terre Environnement
INRS
Université d'avant-garde

Capsule no. 12, janvier 2012

La migration subreptice des eaux contaminées par un ancien site d'enfouissement de déchets[a]

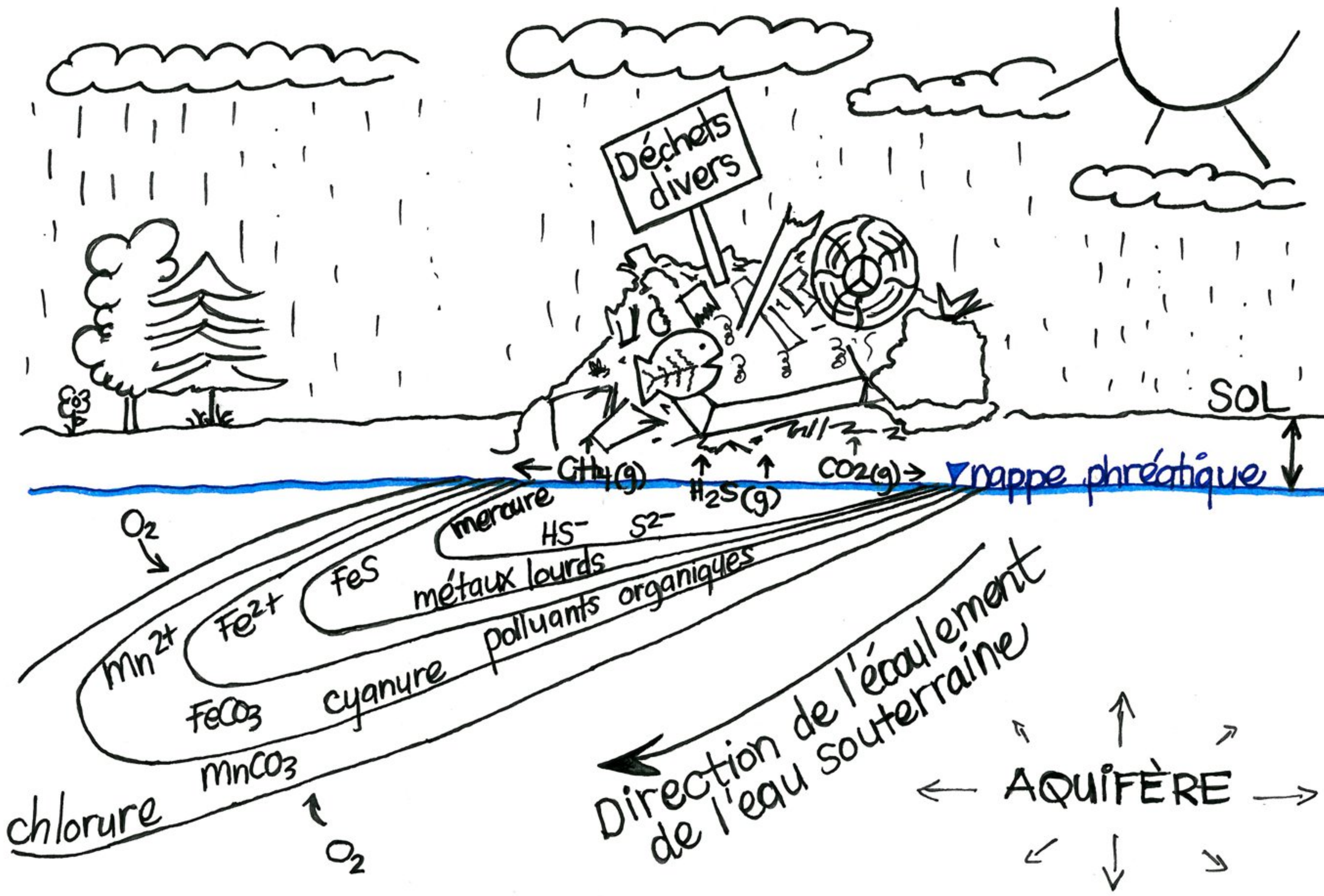
Texte et dessins par
Laurie Tremblay[b]

---

[a] Cette capsule est disponible en ligne à l'adresse suivante : www.ete.inrs.ca/ete/publications#Capsules INRSciences

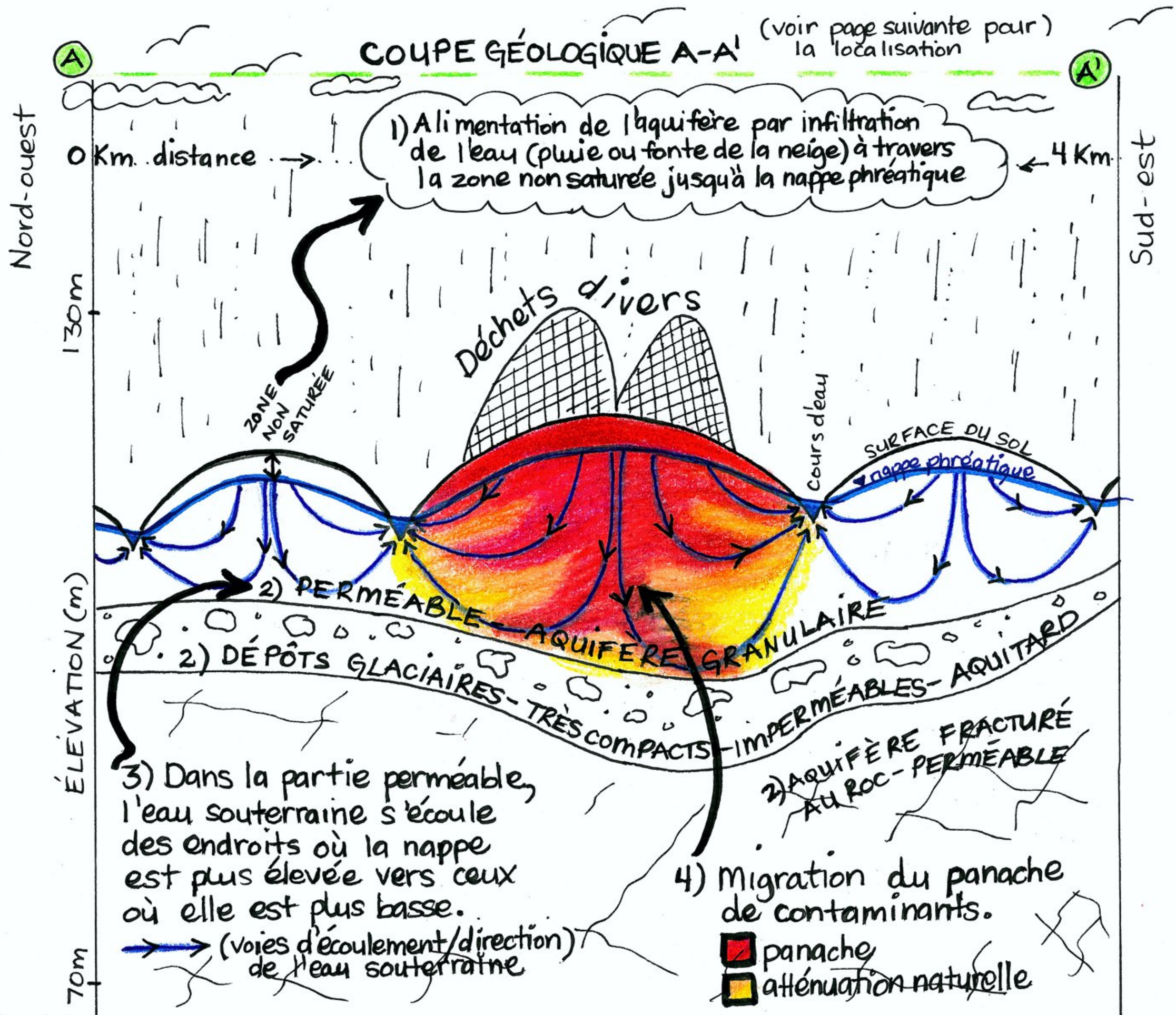
[b] Étudiante au doctorat sous la supervision du professeur René Lefebvre, INRS – Centre Eau Terre Environnement, 490 de la Couronne, Québec (QC) G1K 9A9, laurie.tremblay@ete.inrs.ca

La migration subreptice des eaux contaminées par un ancien site d'enfouissement de déchets

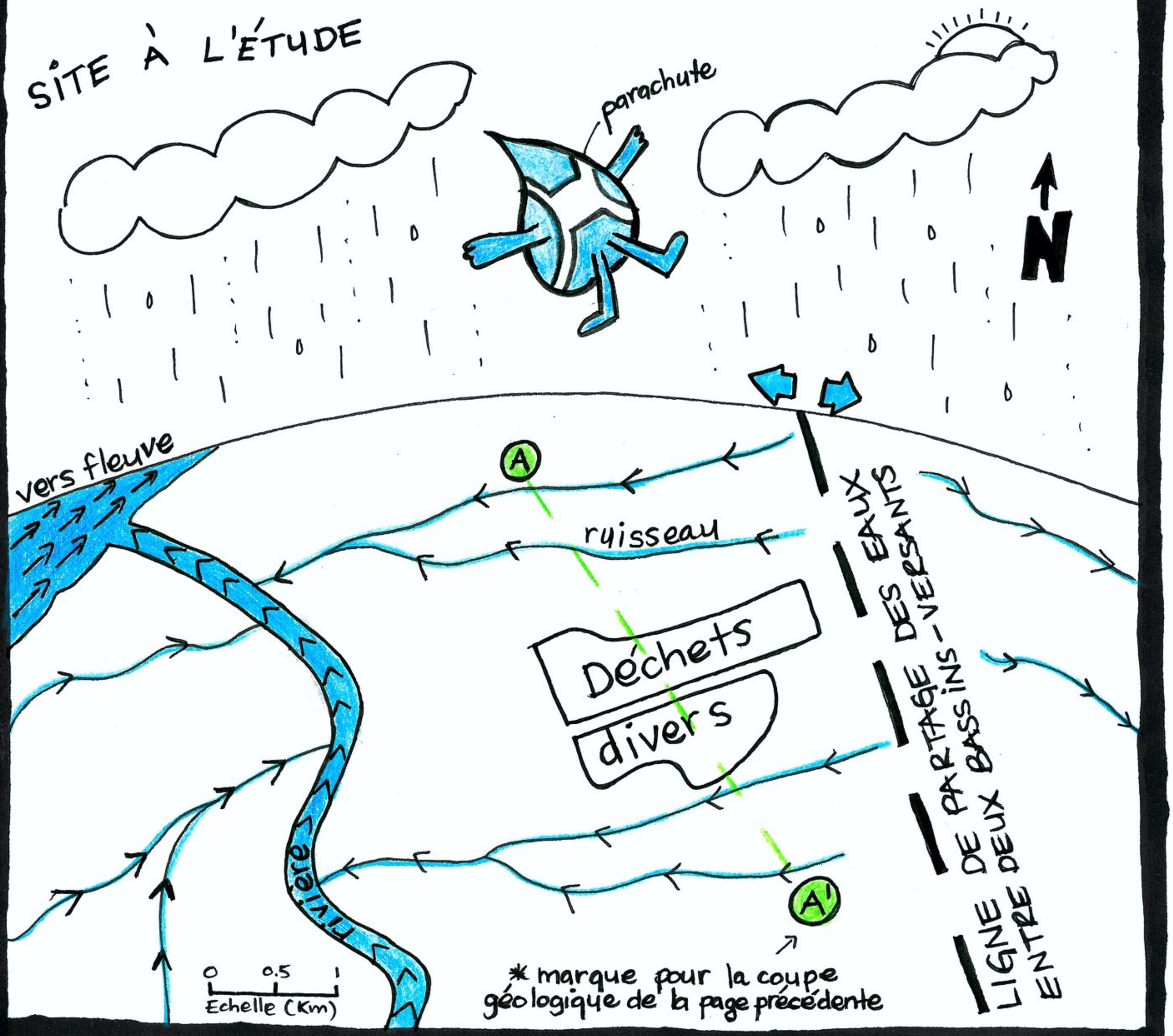


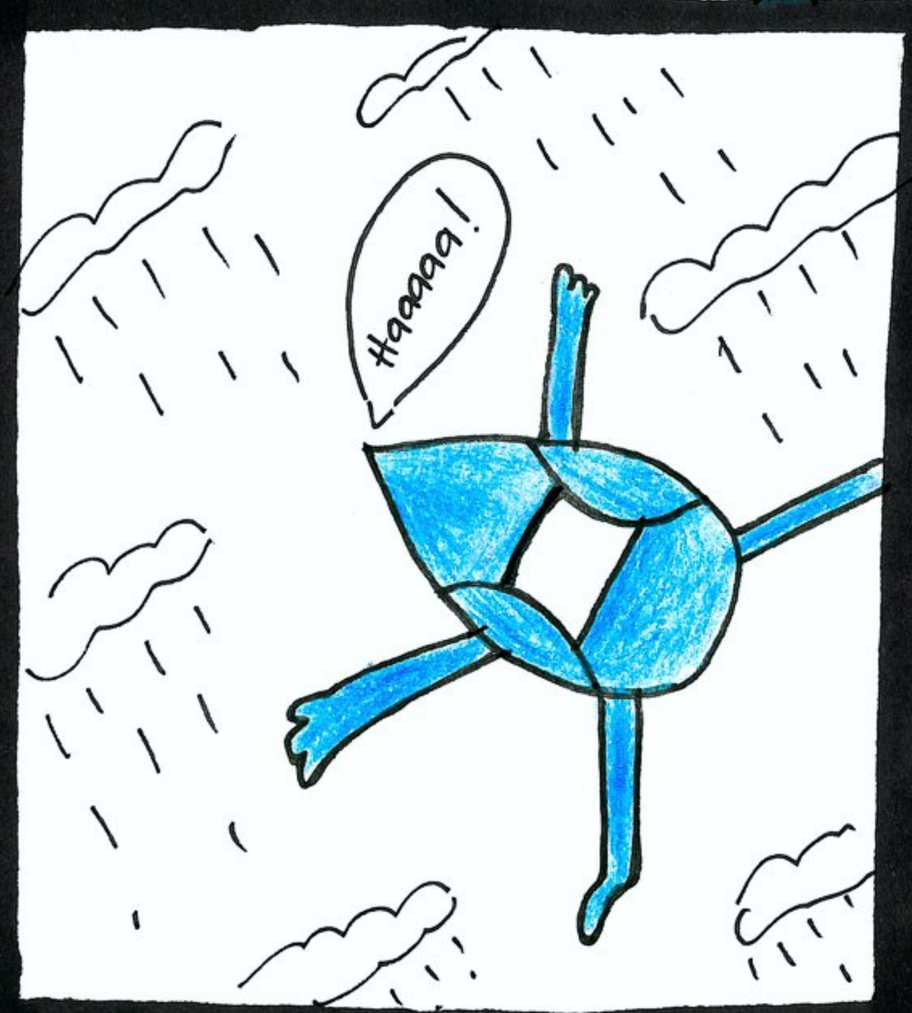
Dans un passé pas si lointain, lorsqu'on voulait se défaire de nos déchets, on les jetait simplement dans un trou. En effet, avant les années 1980, il y avait très peu de considérations environnementales régissant la conception et l'opération d'un dépotoir. À cette époque, on optait souvent pour les anciennes zones d'exploitation de granulats (sablière/gravière) comme lieu d'enfouissement sanitaire (L.E.S.) et aucune barrière imperméable n'était installée sous ou au-dessus des déchets. Dans ces conditions, l'eau des précipitations peut s'infiltrer librement à travers les matières solides résiduelles en décomposition et se charger de contaminants. Ces eaux de lixiviation s'infiltrent ensuite dans le sol, atteignent la nappe phréatique, et forment un panache qui migre grâce à l'écoulement de l'eau souterraine. Pour cette raison, un grand nombre d'anciens sites d'enfouissement représentent un risque sérieux de contamination des eaux souterraines.

De nos jours, les L.E.S. ont fait place aux L.E.T. (c.-à-d. lieu d'enfouissement technique). Dans ces derniers, une membrane imperméable ainsi qu'un système de captage des eaux de lixiviation sont installés sous les déchets et ceux-ci sont compactés et recouverts de sable au fur et à mesure de leur disposition. Lorsque la pile atteint une hauteur maximale réglementaire, une membrane imperméable est placée à la surface pour minimiser l'infiltration des précipitations à travers les déchets. Suite à leur fermeture, certains anciens L.E.S. ont été recouverts d'une membrane imperméable, empêchant ainsi l'eau de pluie de s'infiltrer dans les déchets. Mais qu'en est-il des eaux de lixiviation ayant migré dans le sol et dans l'eau souterraine préalablement à l'installation d'une telle membrane? Jusqu'où ont-elles migré et quelles sont les concentrations de contaminants présents dans l'aquifère? Pour détecter la présence et caractériser l'étendue d'un panache de lixiviat, les hydrogéologues doivent examiner plusieurs aspects liés à l'écoulement de l'eau souterraine : 1) la recharge (ou l'alimentation de la nappe phréatique), 2) la continuité des unités perméables (aquifère) et peu perméables (aquitard), 3) la direction et la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine, et 4) la géochimie de l'eau de la source de contamination et du milieu naturel. Suite à cette investigation, les hydrogéologues utiliseront la modélisation numérique pour représenter le système à l'étude et quantifier les divers processus contrôlant la migration du lixiviat. Dans les pages qui suivent, vous découvrirez ces diverses facettes de l'hydrogéologie appliquées à un site présentement à l'étude.

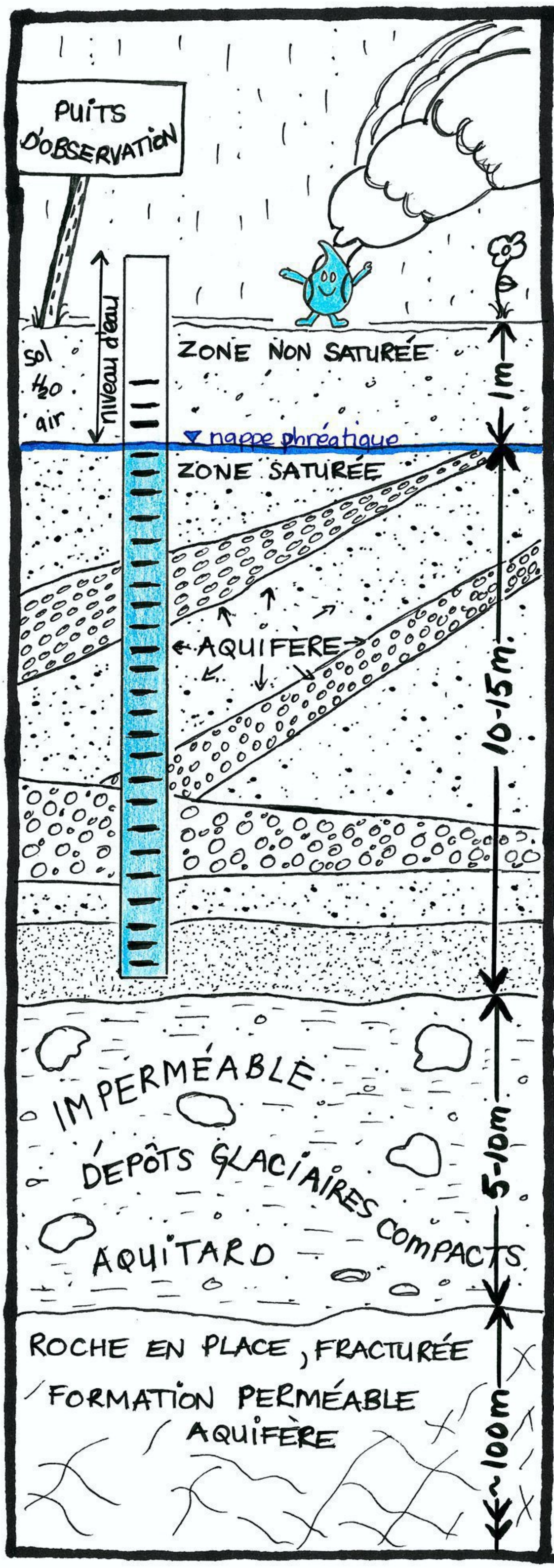


SITE À L'ÉTUDE





Laurie Tremblay 3/9



L'AQUIFÈRE

Un aquifère est un massif de matériaux géologiques perméables qui contient une nappe d'eau souterraine. Un aquifère à nappe libre est constitué de deux zones, une zone non saturée en eau située au dessus d'une zone saturée dans laquelle l'eau souterraine s'écoule.

La recharge de la nappe se fait par l'infiltration d'une partie des précipitations à travers la zone non saturée

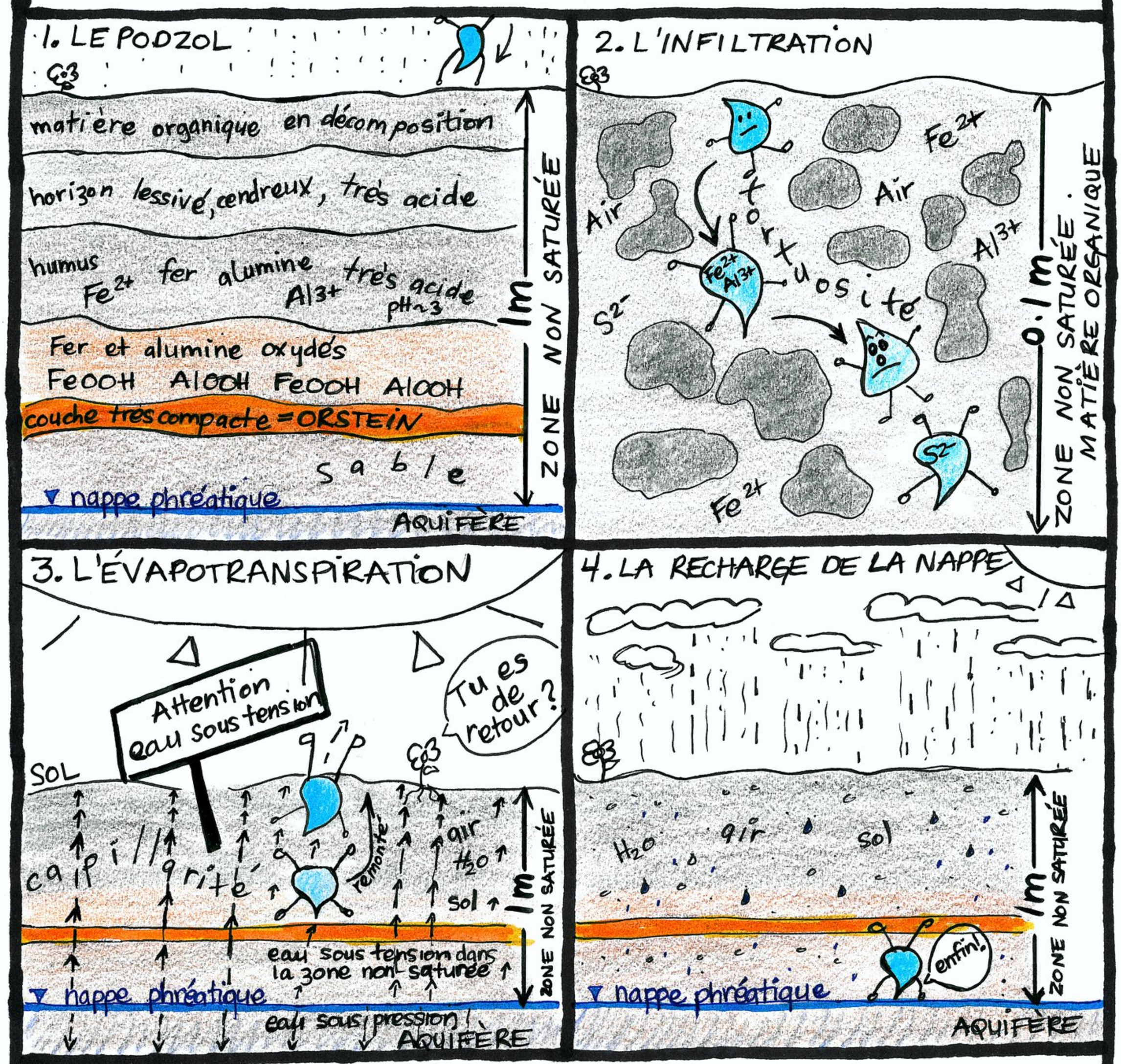
L'aquifère à l'étude est de type granulaire et a de 10 à 15 m d'épaisseur. On le dit granulaire parce qu'il est composé de grains de sable et de silt non consolidés. L'écoulement de l'eau souterraine s'effectue plus facilement et plus rapidement là où il y a plus d'espace entre les grains de sable et où ces espaces sont tous reliés les uns aux autres. Pour connaitre l'élévation de la surface de la nappe phréatique, on mesure le niveau de l'eau dans un puits d'observation. La direction de l'écoulement de l'eau souterraine se fait de l'endroit où le niveau de l'eau est le plus élevé vers un endroit où il est plus bas

Une couche de matériaux géologiques peu perméables qui emmagasinent de l'eau, mais dans laquelle l'écoulement est limité se nomme aquitard. Dans le site étudié, cette couche très compacte, déposée par le retrait des glaciers, est composée de gros cailloux et de grains de sable de grosseurs variés et dont les pores sont comblés par des silts fins et de l'argile.

À 20 m de profondeur, on retrouve un autre type d'aquifère situé dans le socle rocheux fracturé. Celui-ci n'a cependant pas été considéré dans la présente étude.

LA RECHARGE DE L'AQUIFÈRE

La quantité d'eau des précipitations qui s'infiltre jusqu'à la nappe phréatique et qui participera à l'écoulement de l'eau souterraine constitue la recharge. Le temps requis pour réalimenter une nappe phréatique par infiltration dépend des matériaux constituants la zone non saturée et de l'épaisseur de celle-ci. La durée de l'infiltration de l'eau entre la surface du sol et la nappe phréatique, à travers les divers types de sol, va influencer la quantité et le type de matières qui seront dissoutes dans l'eau.

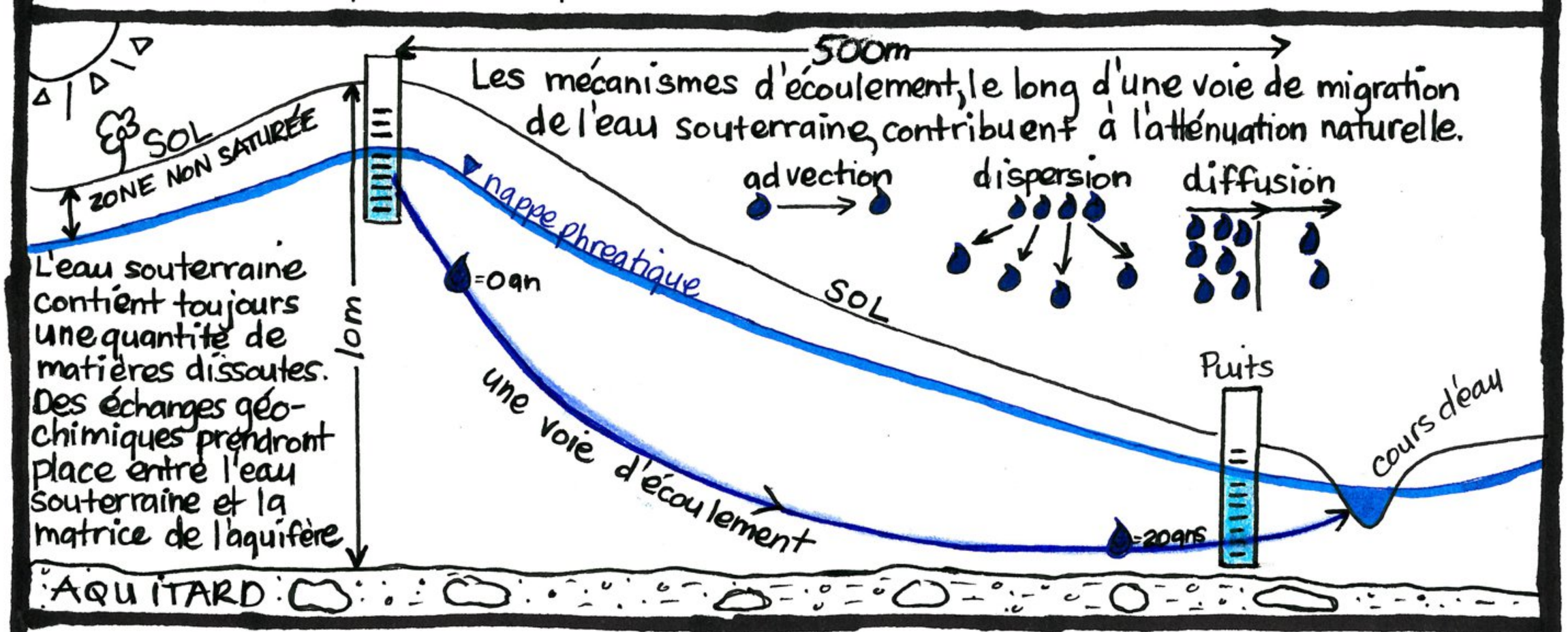


Dans un premier temps, la recharge est contrôlée par la quantité des précipitations, l'évaporation et la quantité d'eau utilisée par les plantes à la surface du sol. Par la suite, la quantité d'eau de recharge dépend de l'épaisseur et des types de sols présents dans la zone non saturée. L'évaluation adéquate du taux de recharge d'un aquifère est essentielle afin d'assurer une bonne gestion et la protection de la ressource en eau souterraine.

Laurie Tremblay 5/9

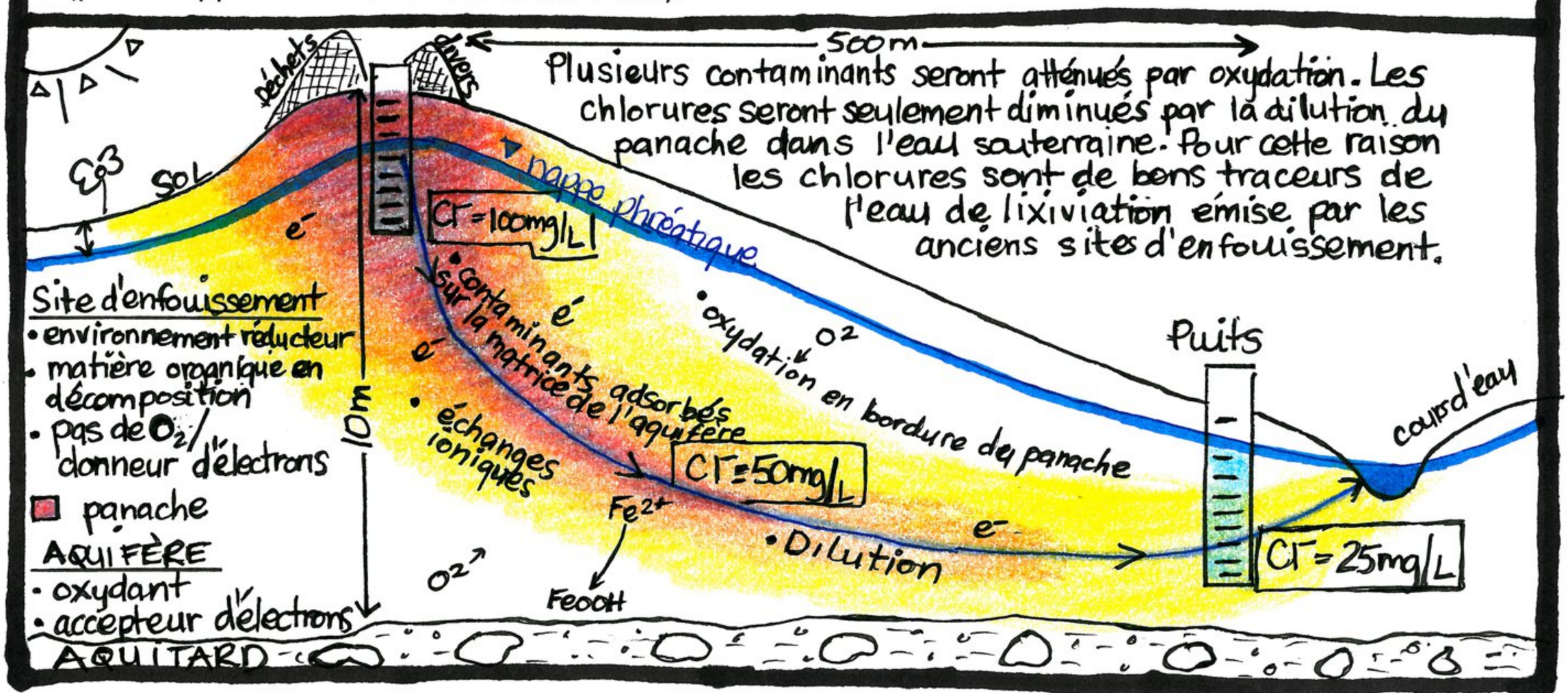
L'ÉCOULEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE

Afin d'évaluer si les eaux de lixiviation risquent de polluer les puits et les cours d'eau en aval de la source de contamination, les patrons et les vitesses d'écoulement de l'eau souterraine doivent être déterminés. Ces derniers sont habituellement obtenus par modélisation numérique. Les vitesses d'écoulement peuvent aussi être calculées à partir de valeurs estimées de conductivité hydraulique, une mesure de la facilité de l'eau à circuler dans le sol. Une fois les voies de migration de l'eau souterraine connues (d'un point d'infiltration à un site d'échantillonnage), il est possible d'évaluer la variabilité de la composition chimique de l'eau souterraine.



L'ATTÉNUATION NATURELLE DES CONTAMINANTS

L'atténuation naturelle comprend tous les processus chimiques, physiques et biologiques qui contribuent à réduire la quantité, la concentration et la mobilité des contaminants sans intervention humaine. Les processus d'atténuation naturelle dépendent de la composition chimique et minéralogique des matériaux de l'aquifère, de l'importance de la source de contamination, des taux de dégradation des composés et de la durée de la migration. Les concentrations des contaminants et la vitesse de l'eau souterraine le long d'une voie d'écoulement permettent d'estimer le taux d'atténuation des panaches de lixiviat dans l'espace et le temps. Il est essentiel d'évaluer si cette atténuation permet de réduire suffisamment le risque environnemental pour les milieux récepteurs (puits d'approvisionnement et cours d'eau).

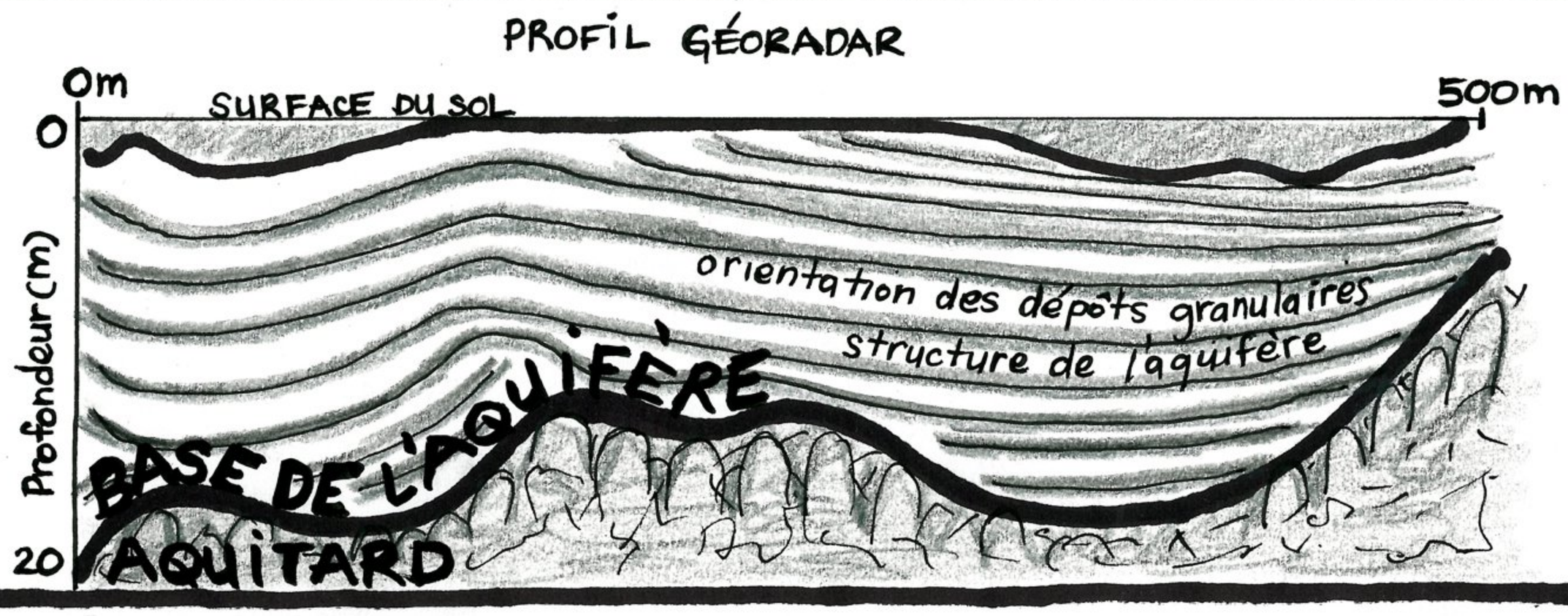


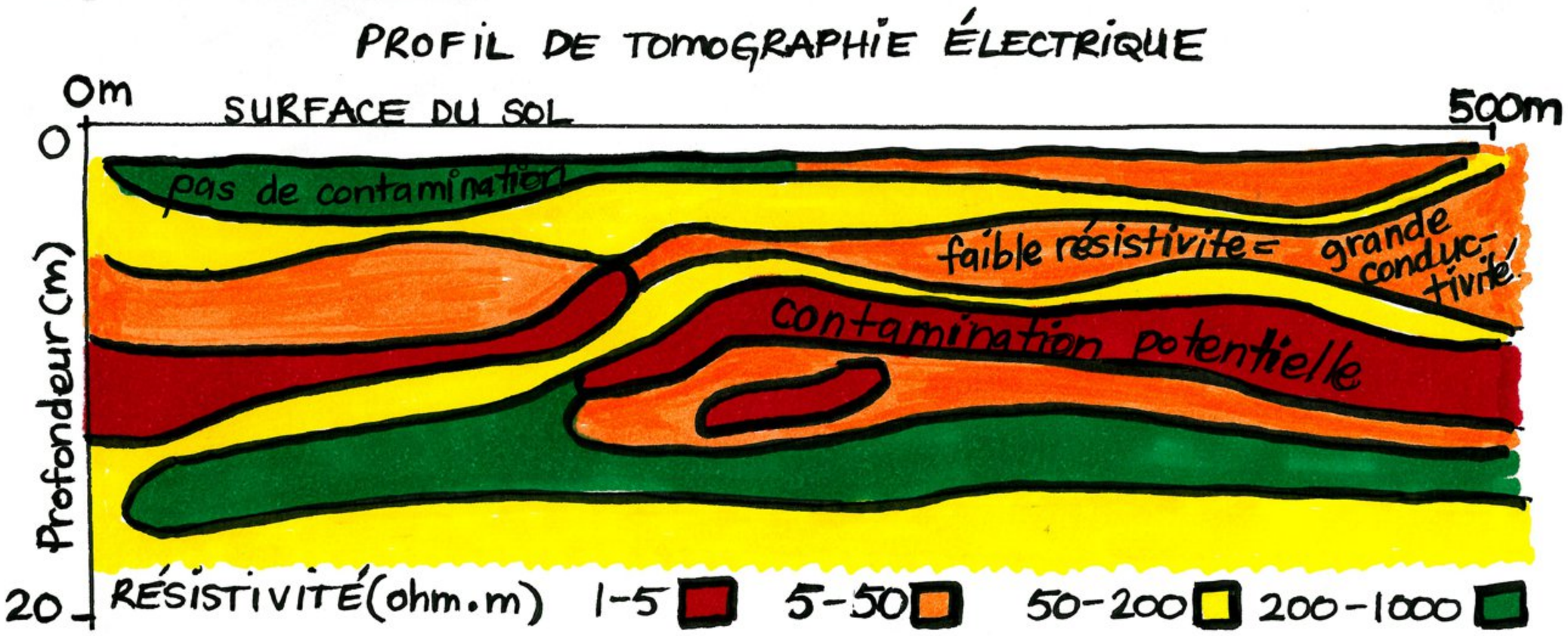
Laurie Tremblay 6/9

ASPECTS TECHNIQUES

Un des objectifs de l'étude présentée ici est de déterminer si les processus d'atténuation naturelle sont efficaces pour prévenir les impacts potentiels des contaminants sur les milieux récepteurs. De façon complémentaire, ce projet permettra aussi de développer de nouvelles méthodes permettant de définir plus efficacement les caractéristiques de l'aquifère, l'écoulement autour du site, de faire la délimitation spatiale des panaches de lixiviat et d'évaluer l'évolution des conditions géochimiques résultant de l'atténuation naturelle.

Par exemple, plusieurs méthodes géophysiques ont servi à caractériser la morphologie de l'aquifère et à détecter l'étendue de la contamination. Ces méthodes produisent une image quasi continue des conditions souterraines à partir de la surface du sol. Les deux méthodes suivantes ont été utilisées : 1) Le géoradar permet d'identifier la base de l'aquifère ainsi que l'orientation des dépôts granulaires de l'aquifère. 2) La tomographie électrique permet de détecter la présence d'eaux de lixiviation qui contiennent des ions en solution comme des chlorures. Des sondages au piézocône ont ensuite été réalisés en des endroits clés afin de définir la distribution verticale des matériaux de l'aquifère. Le piézocone est une sonde qui mesure les propriétés mécaniques et électriques du sol en temps réel.





Enfin, des échantillons de sol ont été prélevés et analysés en laboratoire dans le but d'assigner des valeurs réalistes aux propriétés des matériaux dans le modèle numérique d'écoulement. De plus, des puits d'observation ont été installés dans l'aquifère pour permettre des analyses géochimiques complètes de l'eau souterraine incluant l'analyse des isotopes et la datation de l'eau.

PRISE DE MESURES SUR LE TERRAIN ET ANALYSES DE LABORATOIRE

- Les valeurs de recharge estimée à 150-400 mm/an selon le lieu d'infiltration.
- Les profils géophysiques permettent de cartographier la morphologie et la structure en 3D de l'aquifère en plus d'identifier les zones potentielles de contamination
- Les essais au piézocône et les échantillons de sol permettent de construire une grille en 3D des valeurs de conductivité hydraulique de l'aquifère
- Les échantillons et les analyses d'eau permettent de connaître les concentrations de matières dissoutes dans le panache et dans le milieu naturel

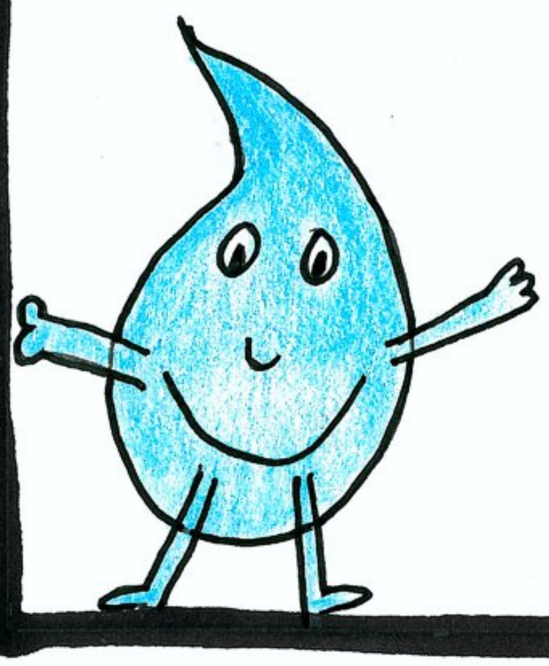
SIMULATION NUMÉRIQUE DE L'ÉCOULEMENT de l'eau souterraine

- Patrons d'écoulement (doivent être validés avec des données de terrain.)
- Vitesses de l'eau souterraine estimées à 15-20 m/an selon la voie de migration empruntée

SIMULATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE MASSE

- Taux d'atténuation naturelle de divers contaminants (doivent être validés avec les données de terrain)

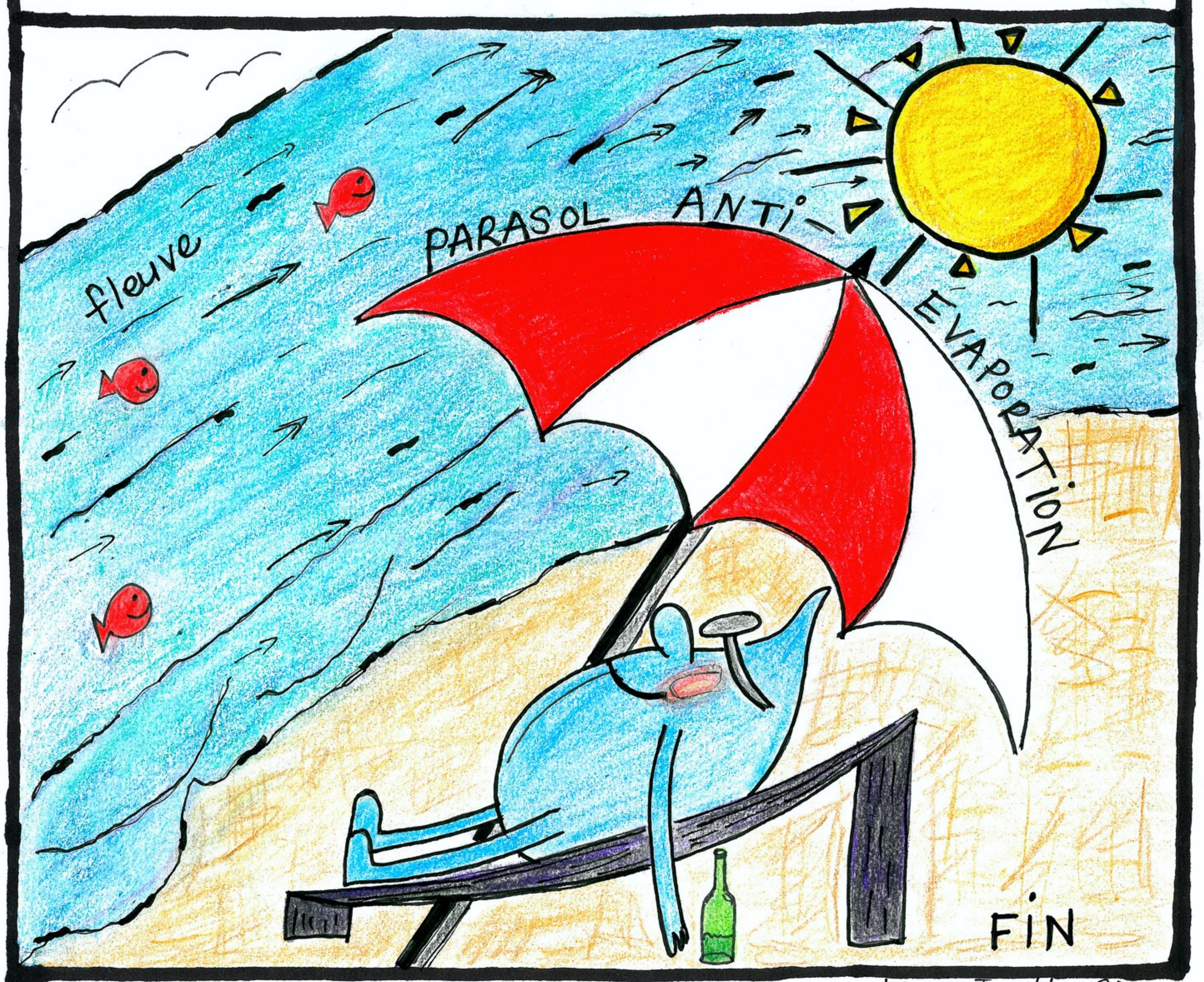
RÉSULTAT FINAL



RECOMMENDATIONS POUR LA GESTION ENVIRONNEMENTALE DU SITE À L'ÉTUDE

Laurie Tremblay 8/9

CONCLUSION

L'intégration et la corrélation des données obtenues par l'ensemble de ces méthodes ont permis de bien définir les caractéristiques de l'aquifère et de modéliser l'écoulement de l'eau souterraine. Il sera ensuite possible de modéliser le transport des contaminants pour évaluer l'efficacité des processus d'atténuation naturelle afin de faire des recommandations aux gestionnaires du L.E.S. à l'étude. Dans un même temps, nous avons développé et testé des méthodes novatrices de caractérisation hydrogéologique qui contribueront à l'avancement technologique de la détection et de la caractérisation des eaux souterraines contaminées.

Cependant, les processus d'atténuation naturelle sont parfois insuffisants pour réduire la contamination de l'eau souterraine sous des normes acceptables. De plus, les sites d'enfouissement ont une durée de vie limitée et l'implantation d'un nouveau site dans un secteur est rarement bienvenue par les résidents. N'oublions pas aussi que les sites d'enfouissement contribuent de façon significative à l'émission de gaz à effet de serre. La solution ne réside-t-elle pas simplement dans la réduction de la quantité de déchets que nous produisons? Et une fois les eaux souterraines contaminées, il est difficile, parfois même impossible de revenir en arrière. Des techniques existent, mais elles sont complexes et coûteuses. Ne serait-il pas plus facile de prévenir la contamination en amont afin de protéger les ressources en eau souterraine, des ressources vitales pour la société et les générations futures?