

**Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux  
souterraines du Québec**

**Protocole pour la préparation du  
Livrable 22 - Vulnérabilité de l'aquifère de roc  
régional**

Par l'Institut national de la recherche scientifique, Centre - Eau Terre Environnement  
(INRS-ETE) en collaboration avec la Commission géologique du Canada (CGC)

11 avril 2012

## **Auteurs**

### **CGC**

Christine Rivard

### **INRS**

Marc-André Carrier

René Lefebvre

## **TABLE DES MATIÈRES**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROFONDEUR DE LA NAPPE (D = GROUNDWATER DEPTH; POIDS = 5) .....</b>	<b>2</b>
2.1	Sources de données .....	2
2.2	Sélection et validation des données .....	2
2.3	Traitement des données .....	2
2.4	Éléments à présenter.....	2
2.5	Format électronique et représentation .....	3
2.6	Éléments à définir dans la légende.....	3
<b>3</b>	<b>RECHARGE (R=NET RECHARGE; POIDS = 4) .....</b>	<b>3</b>
3.1	Sources de données .....	3
3.2	Sélection et validation des données .....	3
3.3	Traitement des données .....	4
3.4	Éléments à présenter.....	4
3.5	Format électronique et représentation .....	4
3.6	Éléments à définir dans la légende.....	4
<b>4</b>	<b>MILIEU AQUIFERE (A=AQUIFER MEDIA; POIDS = 3) .....</b>	<b>5</b>
4.1	Sources de données .....	5
4.2	Sélection et validation des données .....	5
4.3	Traitement des données .....	5
4.4	Éléments à présenter.....	5
4.5	Format électronique et représentation .....	5
4.6	Éléments à définir dans la légende.....	6
<b>5</b>	<b>TYPE DE SOL (S= SOIL MEDIA; POIDS = 2) .....</b>	<b>6</b>
5.1	Sources de données .....	6
5.2	Sélection et validation des données .....	6
5.3	Traitement des données .....	7
5.4	Éléments à présenter.....	7
5.5	Format électronique et représentation .....	7
5.6	Éléments à définir dans la légende.....	7
<b>6</b>	<b>PENTE (T= TOPOGRAPHY; POIDS = 1) .....</b>	<b>7</b>
6.1	Sources de données .....	7
6.2	Sélection et validation des données .....	7
6.3	Traitement des données .....	7
6.4	Éléments à présenter.....	8
6.5	Format électronique et représentation .....	8
6.6	Éléments à définir dans la légende.....	8
<b>7</b>	<b>IMPACT DE LA ZONE VADOSE (I= IMPACT OF VADOSE ZONE MEDIA; POIDS = 5) ....</b>	<b>8</b>
7.1	Sources de données .....	9
7.2	Sélection et validation des données .....	9

7.3	Traitement des données .....	9
7.4	Éléments à présenter.....	9
7.5	Format électronique et représentation .....	9
7.6	Éléments à définir dans la légende.....	9
<b>8</b>	<b>CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE (C=HYDR. CONDUCT. OF AQUIFER; POIDS = 3).....</b>	<b>9</b>
8.1	Sources de données .....	9
8.2	Sélection et validation des données .....	10
8.3	Traitement des données .....	10
8.4	Éléments à présenter.....	10
8.5	Format électronique et représentation .....	10
8.6	Éléments à définir dans la légende.....	10
<b>9</b>	<b>VALIDATION GLOBALE.....</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>11</b>

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Schématisation de la méthode DRASTIC .....	1
Figure 2 : Impact de la zone vadose (d'après Blackmore, 2006) .....	8

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Informations complémentaires	
---	--

## 1 INTRODUCTION

DRASTIC est un indice qui a été développé par la U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) dans les années 1980 pour évaluer la vulnérabilité des aquifères américains. Cette approche utilise 7 paramètres, chaque lettre de DRASTIC correspondant à un paramètre sélectionné par Aller et al. (1987). Ceux-ci sont décrits ci-dessous et illustrés à la figure 1. Chaque paramètre est classé en intervalle (pour les variables quantitatives) ou en types de milieu (pour les variables qualitatives), selon leur potentiel de pollution de la nappe. En d'autres mots, des points (ou cotes) sont attribués, selon un gabarit, en fonction de la valeur d'un paramètre ou des caractéristiques géologiques pour un site donné. Ces intervalles vont généralement de 1 (faible vulnérabilité) à 10 (forte vulnérabilité). Ils sont fournis au tableau 1 en annexe de ce protocole. Aller et al. (1987) ont également attribué des poids à chacun des 7 paramètres (voir figure 1) en fonction de leur importance hydrogéologique présumée pour ce type de processus physique. Le poids accordé varie de 1 à 5.

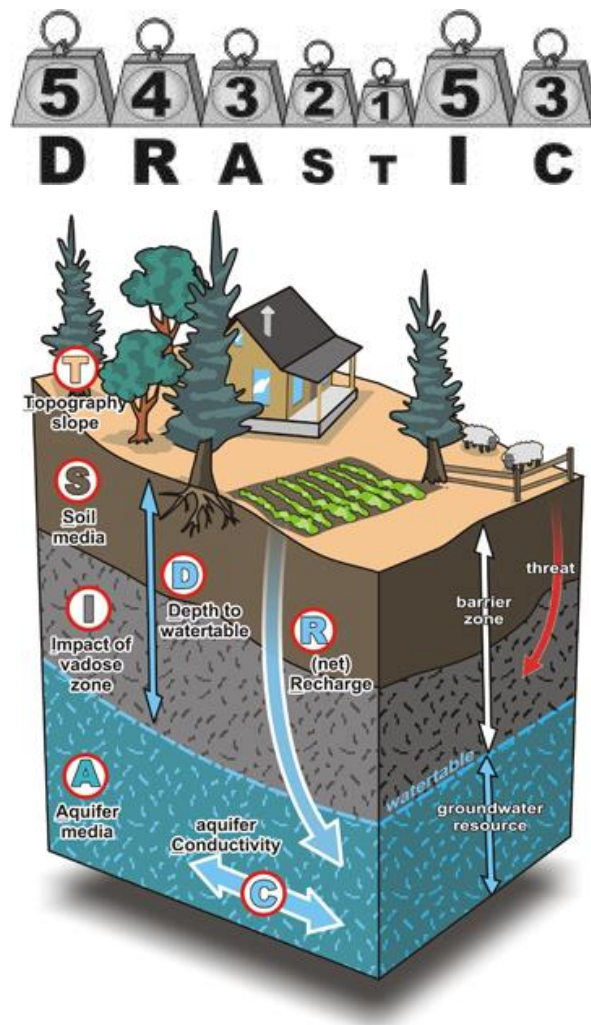


Figure 1 : Schématisation de la méthode DRASTIC

La somme des points (cotes) attribués aux différents paramètres multipliés par leur poids, donne la vulnérabilité :

$$D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + I_R I_w + C_R C_w = \text{Vulnérabilité} \quad (\text{équ. 1})$$

où l'indice R représente la cote (rating) et l'indice w le poids (weight) de chaque paramètre.

Préalablement au calcul de l'indice DRASTIC, une carte de la distribution spatiale de chacun des 7 paramètres doit être générée en format matriciel (c'est-à-dire « raster ») de façon à pouvoir additionner les couches selon l'équation 1. Dans le cadre des projets PACES, des mailles de 250x250 m doivent être utilisées pour les couches matricielles couvrant la région à l'étude, de façon à avoir un nombre de mailles raisonnable sur l'ensemble de la zone, tout en ayant une résolution acceptable en fonction des données disponibles. Ces opérations peuvent être réalisées dans un système d'information géographique (SIG) tel ArcGIS ou MapInfo. Tel que recommandé dans la méthode, la définition de contextes hydrogéologiques et la délimitation de leur étendue peut guider l'estimation des paramètres servant à l'estimation de l'indice DRASTIC (voir par exemple Fagnan, 1998, et Murat et al., 2004).

## **2 PROFONDEUR DE LA NAPPE (D = GROUNDWATER DEPTH; POIDS = 5)**

Ce paramètre correspond à la profondeur de l'eau souterraine à partir de la surface du sol. Il est donc quantitatif. Avec son poids de 5, ce paramètre est jugé comme étant le plus important, ex aequo avec le sixième paramètre (impact de la zone vadose). Ceci provient du fait que plus la nappe est haute (c'est-à-dire près de la surface), plus rapidement la contamination peut atteindre la nappe.

### **2.1 Sources de données**

Les données brutes proviennent principalement de la base de données provinciale (c'est-à-dire du système d'informations hydrogéologiques SIH), de rapports de consultants et de campagnes de terrain réalisées dans le cadre des projets. Au besoin, des points de contrôle théoriques (aussi parfois appelés « points de forçage » ou « points de contrôle ») peuvent être ajoutés de façon à mieux représenter la réalité (ex. : à proximité des cours d'eau). La carte de la profondeur de la nappe peut être générée à l'aide des livrables 19 et 20 (Piézométrie dans les dépôts meubles et dans le socle rocheux).

### **2.2 Sélection et validation des données**

Les données de profondeur à la nappe auront déjà été sélectionnées et validées pour les livrables 19 et 20.

### **2.3 Traitement des données**

Les données de profondeur à la nappe ont déjà été traitées (interpolées) pour les livrables 19 et 20. Ces données devront être converties en format matriciel (si elles ne le sont pas déjà) et reclassées en fonction des intervalles spécifiés au tableau 1 en annexe.

### **2.4 Éléments à présenter**

Les isocontours des profondeurs et les classes doivent être définis en utilisant les intervalles spécifiés au tableau 1 en annexe. Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

## **2.5 Format électronique et représentation**

Comme mentionné plus haut, la couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m.

## **2.6 Éléments à définir dans la légende**

La légende doit respecter les intervalles de 1 à 10 définis par Aller et al. (1987) et présentés dans le tableau 1 en annexe. Les teintes de bleu sont proposées pour représenter ce paramètre: bleu pâle pour une nappe peu profonde et bleu foncé pour une nappe profonde.

## **3 RECHARGE (R=NET RECHARGE; POIDS = 4)**

Ce paramètre fournit les taux de recharge annuelle qui percole à travers la zone non saturée pour atteindre la nappe. Avec son poids de 4, ce paramètre est jugé comme important. La recharge représente en effet le principal vecteur pour le transport des contaminants à partir de la surface. La recharge est toutefois un paramètre difficile à évaluer et chaque méthode présente des avantages et des lacunes. Les différentes approches peuvent fournir des valeurs qui peuvent grandement varier car celles-ci évaluent la recharge à une échelle donnée (ex. : ponctuelle, locale ou régionale) et tiennent compte de différents paramètres. Par conséquent, certaines méthodes estiment l'infiltration (ou recharge potentielle) alors que d'autres estiment la recharge réelle. Il est généralement recommandé d'utiliser plus d'une approche pour réduire l'intervalle de confiance ou l'incertitude associée à ce paramètre (Scanlon et al., 2002).

### **3.1 Sources de données**

Les données sur les taux de recharge sont assez rares bien que quelques rapports de consultants peuvent fournir des valeurs. Dans le cadre des projets PACES, la recharge distribuée (livrable 28) peut avoir été évaluée de différente manière selon le contexte et les données disponibles. Les données qui permettent d'estimer la recharge, selon différentes méthodes, incluent : les débits de rivières, les fluctuations de la nappe, la conductivité hydraulique (K) des différentes formations, la porosité, les données de climat et l'utilisation du territoire.

### **3.2 Sélection et validation des données**

La sélection de la méthode pour évaluer les taux de recharge spatialisés dépend des données et des ressources disponibles pour cette tâche. Il est recommandé d'en utiliser au moins deux, dont une très simple qui utilise des données facilement disponibles comme la séparation d'hydrogrammes de rivière, qui sépare le débit de base du ruissellement à partir de données de jaugeage. La méthode de Chapman (1991), qui peut être appliquée à l'aide d'un fichier Excel, est suggérée. Les résultats du filtre numérique à deux paramètres d'Eckhardt (2005) fournis par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) peuvent également être utilisés ou comparés à ceux d'une autre méthode. La méthode de séparation d'hydrogrammes de rivière a donc l'avantage d'être simple et régionale, mais a le défaut de ne fournir qu'une valeur globale alors que le bassin peut avoir des caractéristiques bien différentes d'un endroit à l'autre (ex. : différentes formations géologiques, pentes, utilisation des terres).

Si des données d'hydrogrammes de puits sont disponibles pour des aquifères à nappe libre, il serait bon de les utiliser pour obtenir des valeurs de recharge locales (Healy et Cook, 2002) pour des unités quaternaires ou des formations rocheuses données. Celles-ci pourront être comparées aux valeurs régionales et/ou associées à une unité géologique donnée.

Pour régionaliser des valeurs locales, des techniques existent si suffisamment de valeurs sont disponibles (ex. : Lorenz et Delin, 2007). Toutefois, le jugement de l'hydrogéologue peut également servir à attribuer des intervalles de valeur en fonction de la géologie et des caractéristiques du terrain.

Enfin, si de la modélisation numérique est possible, celle-ci permettra de valider les informations disponibles, de tester différentes hypothèses (entre autres la conductivité hydraulique des différentes formations géologiques), et d'obtenir une distribution spatiale des valeurs de recharge représentative. Des modèles hydrologiques d'infiltration 1D comme HELP (Schroeder et al. 1994) peuvent permettre l'évaluation de la quantité d'eau atteignant la nappe en tenant compte des différentes composantes du cycle hydrologique avec les précipitations totales et les températures atmosphériques moyennes comme données d'entrée. Par ailleurs, des logiciels de modélisation hydrogéologique comme Modflow (Harbaugh et Mc Donald, 1998) ou FEFLOW (Diersch 1998) permettent de tester des hypothèses sur les combinaisons possibles de K et de recharge, mais aussi sur la présence de zones de résurgence ou de failles qui pourraient agir comme drain, de même que sur l'effet de la pente.

### **3.3 Traitement des données**

En fonction de la ou des méthode(s) choisie(s), les publications citées plus haut peuvent servir de référence pour le traitement des données. Peu importe la méthode sélectionnée, le traitement utilisé devrait être documenté dans le rapport de projet afin de permettre à de futurs utilisateurs de pouvoir l'appliquer aussi.

### **3.4 Éléments à présenter**

Couche de distribution spatiale des taux de recharge, dont les intervalles sont définis soit pour chaque maille du modèle utilisé (ex. : HELP), soit selon les unités hydrogéologiques en utilisant des moyennes.

### **3.5 Format électronique et représentation**

La couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m avec des plages de valeurs définies selon la méthode DRASTIC (voir tableau 1 de l'annexe).

### **3.6 Éléments à définir dans la légende**

Les plages de valeurs de DRASTIC du tableau 1 de l'annexe peuvent être utilisées. Cependant, l'utilisation de ces plages de valeurs pourrait résulter en un manque de contraste entre les différentes régions de la zone d'étude, puisque les intervalles proposés dans DRASTIC sont assez larges et se terminent à 254 mm/an, ce qui pourrait être trop faible pour certaines régions (0-50 mm; 50-102 mm; 102-178 mm; 178-254 mm; > 254 mm). Un dégradé dans les tons de vert est proposé : vert pâle pour une faible recharge et vert foncé pour une recharge annuelle plus importante.

Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

#### **Remarque**

Par conséquent, une couche DRASTIC « modifiée » peut être nécessaire dans le cas où les valeurs de DRASTIC (présentées dans le tableau 1 en annexe) ne permettraient pas d'obtenir des contrastes entre les différentes régions de la zone d'étude. En effet, comme DRASTIC



permet de calculer une vulnérabilité relative, il est important de pouvoir distinguer la vulnérabilité de différents secteurs à l'intérieur du territoire étudié. Comme par exemple, une recharge de 350 ou même 400 mm/an pourrait avoir été calculée pour une unité de sable et gravier et se retrouverait dans la même catégorie qu'une recharge de 254 mm/an obtenue pour un till sableux. À l'opposé, pour un terrain peu perméable, il serait probablement plus approprié de réduire les intervalles des classes inférieures. Dans le cas du projet Montérégie Est, les classes qui ont été utilisées sont : 0-13.5, 13.5-25, 25-37.5, 37.5-145, 145-205 et 205-265 et > 265 mm/an. Si une couche « modifiée » est utilisée, il serait important de bien l'identifier sur la couche elle-même et dans le rapport, de même que sur la carte finale de vulnérabilité.

## **4 MILIEU AQUIFERE (A=AQUIFER MEDIA; POIDS = 3)**

La circulation de l'eau souterraine est fortement influencée par la perméabilité (ou conductivité hydraulique), la composition et le type d'aquifère (poreux ou fracturé). La longueur de son parcours affecte également le temps disponible pour les processus d'atténuation. De façon générale, plus la grosseur des particules du milieu poreux est importante (ou plus l'aquifère est fracturé et poreux), plus la perméabilité est élevée et plus la recharge est importante et les temps de parcours sont courts. La vulnérabilité est donc élevée.

Comme pour les paramètres relatifs au Type d'aquifère et à l'Impact de la zone vadose, le paramètre du Milieu aquifère est un paramètre qualitatif. L'utilisateur doit donc se servir de son jugement professionnel pour assigner les cotes à ce paramètre en tenant compte des caractéristiques de la zone d'étude. Pour ce paramètre, la méthodologie DRASTIC propose des intervalles correspondant à différentes unités géologiques, telles que « roches ignées et métamorphiques (cotes 2 à 5) », « basaltes (cotes 2 à 10) » ou « sable et gravier (cotes 4 à 9) » (voir tableau 1 en annexe).

### **4.1 Sources de données**

Les données nécessaires à l'assignation d'une cote proviennent surtout des cartes géologiques, ainsi que de la connaissance et de la compréhension du système hydrogéologique (ex. : fracturation, conductivité hydraulique (K), zones de recharge et de résurgence, contextes hydrogéologiques, etc.).

### **4.2 Sélection et validation des données**

Aucune validation requise.

### **4.3 Traitement des données**

Aucun traitement requis.

### **4.4 Éléments à présenter**

Les unités géologiques ou contextes hydrogéologiques avec les cotes attribuées. Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

### **4.5 Format électronique et représentation**

La couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m.

## 4.6 Éléments à définir dans la légende

La légende doit présenter le code de couleurs pour les cotes attribuées (qui peuvent être similaires pour deux types d'unités géologiques distinctes, en fonction de leurs propriétés hydrogéologiques). Pour les codes de couleurs, il est recommandé d'utiliser des teintes allant du jaune au orange, en fonction des cotes attribuées (1 à 10), afin de favoriser la visualisation des zones plus et moins vulnérables.

### **Remarques**

Les cotes doivent également tenir compte de la fracturation pour une unité rocheuse donnée. Comme par exemple, le fait que les fractures d'un basalte ne soient « connectées » que localement pourrait faire diminuer la cote de ce paramètre. Inversement, la présence de grandes zones faillées pourrait faire augmenter la cote d'une unité. Pour ces raisons, ce paramètre, pour être adéquatement défini, repose grandement sur la compréhension du système.

La prise en compte des conditions de l'aquifère (i.e. nappe captive, semi-captive ou libre) n'est pas considérée pertinente pour ce paramètre, puisque celui-ci s'intéresse à l'aquifère uniquement (une fois le contaminant arrivé), et que celles-ci sont prises en compte dans les paramètres relatifs à la Recharge et à l'Impact de la zone vadose.

## 5 TYPE DE SOL (S= SOIL MEDIA; POIDS = 2)

La texture et la structure (et donc la perméabilité) du premier mètre de sol ont une influence significative sur l'infiltration et, en conséquence, sur la recharge des aquifères. Si l'eau réussit à entrer dans le système (au lieu de ruisseler ou de s'évaporer), elle pourra percoler jusqu'à la nappe, verticalement ou en se frayant un chemin indirect si une unité moins perméable est présente à cet endroit. Les sols à texture fine tels que les silts et les argiles ont une perméabilité plus faible et tendent à réduire la progression verticale de l'eau et des contaminants. Il est noté que le type d'argile peut aussi avoir une influence sur l'infiltration. La quantité de matière organique peut aussi influencer l'infiltration, puisque celle-ci favorise l'adsorption et retarde la migration de contaminants potentiels.

La méthode DRASTIC fournit des cotes de 1 à 10 pour différents types de sol, de l'argile jusqu'au gravier. La carte pédologique, si disponible, peut fournir les informations requises sur les différents types de sol. Si une carte pédologique n'existe pas pour une région donnée, les cartes écoforestières peuvent servir de base à l'interprétation mais il faut toutefois redéfinir les classes. Il faut utiliser le type de sol dominant pour une maille de 250x250 m donnée. Le poids de ce paramètre est assez faible (2).

### 5.1 Sources de données

Les données ayant servi à générer le livrable 11 (Pédologie) devraient permettre la préparation de cette couche, à partir des unités de sols dominantes. Un graphique triangulaire de la classification des sols en fonction des pourcentages de sable, argile et silt (tel que celui présenté à la figure 20 de la page 53 du manuel et Aller et al., 1987 présenté à la figure A1 de l'annexe) peut être utilisé pour faire le lien entre les catégories de DRASTIC et les données pédologiques.

### 5.2 Sélection et validation des données

Aucune validation des données n'est requise.

### **5.3 Traitement des données**

Les données sur les sols dominants devront être reclassées selon les cotes spécifiées au tableau 1 en annexe. Cette reclassification devrait être faite selon la texture des sols considérés.

### **5.4 Éléments à présenter**

Unités pédologiques avec les cotes attribuées. Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

### **5.5 Format électronique et représentation**

La couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m.

### **5.6 Éléments à définir dans la légende**

La légende doit présenter le code de couleurs pour les cotes attribuées (qui peuvent être similaires pour deux types de sol distincts, en fonction de leur capacité à laisser infiltrer l'eau). L'utilisation de teintes de mauve à violet, en fonction des cotes accordées sont recommandées, pour la même raison que celle fournie pour le paramètre précédent (préférence pour une visualisation de l'impact des types de sols sur la vulnérabilité plutôt que des unités distinctes de sols).

## **6 PENTE (T= TOPOGRAPHY; POIDS = 1)**

La topographie dans DRASTIC réfère à la pente ou plutôt à la variabilité de la pente du sol, qui a un impact direct sur la portion de l'eau des précipitations qui ruisselle et s'infiltré. Le pourcentage d'infiltration diminue généralement avec l'augmentation de la pente, ce qui diminue du même coup sa vulnérabilité. La topographie influence également le développement du sol, de même que la direction de l'écoulement de l'eau souterraine. Dans la méthode DRASTIC, les cotes de 1 à 10 (regroupées en 5 classes utilisées, soient : 1, 3, 5, 9 et 10) sont attribuées en fonction du pourcentage de pente comme suit : > 18 %; 12-18 %; 6-12 %; 2-6 %; < 2 % (voir tableau 1 en annexe). Malgré le fait que la pente ait un impact direct sur l'infiltration, le poids de ce paramètre n'est que de 1. Une des raisons possibles pour le faible poids de ce paramètre est qu'il est également pris en compte indirectement dans le paramètre relatif au Type de sol étant donné que la pente influence la végétation présente et également dans le paramètre relatif à la Recharge puisque l'infiltration et donc la recharge diminuent généralement avec l'augmentation de la pente.

### **6.1 Sources de données**

Le livrable 4 (pente du sol) devrait permettre la préparation de cette couche.

### **6.2 Sélection et validation des données**

Voir protocole du livrable 4 (pente du sol).

### **6.3 Traitement des données**

Voir protocole du livrable 4 (pente du sol).

## 6.4 Éléments à présenter

Pentes avec les cotes attribuées selon le tableau 1 en annexe. Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

## 6.5 Format électronique et représentation

La couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m.

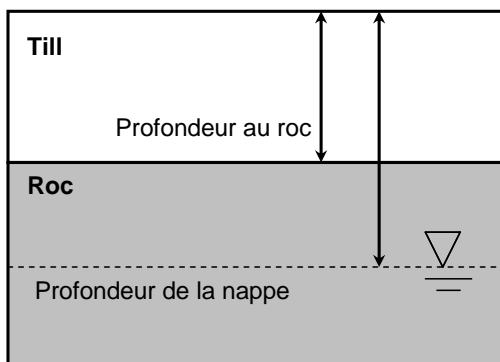
## 6.6 Éléments à définir dans la légende

La légende doit présenter le code de couleurs pour les cotes attribuées pour les pentes (voir protocole du livrable 4). Les pourcentages de pentes peuvent être représentés avec des teintes de brun : beige pour les faibles pentes et brun foncé pour les fortes pentes.

## 7 IMPACT DE LA ZONE VADOSE (I= IMPACT OF VADOSE ZONE MEDIA; POIDS = 5)

La zone vadosse, soit la zone non saturée située entre la zone racinaire et la nappe, contrôle l'atténuation et le trajet de l'eau et des contaminants potentiels. Une épaisseur importante implique une plus grande distance à parcourir jusqu'à la nappe et donc une probabilité accrue d'atténuation d'un contaminant potentiel. Toutefois, la présence de strates imperméables peut limiter la migration verticale, favorisant une migration horizontale d'un contaminant. Il est à noter aussi que la conductivité hydraulique (K) dépend fortement du degré de saturation. Ces deux facteurs ne sont pas directement pris en compte dans la méthode DRASTIC.

Ce paramètre est intrinsèquement lié au paramètre relatif à la profondeur de la nappe, qui ne fournit qu'une épaisseur générale (interpolée) de la zone vadosse. Cependant, ce paramètre est également considéré être de haute importance dans la méthode puisqu'on lui accorde le même poids (le plus élevé, soit 5). Dans la méthode DRASTIC, l'attribution de cette cote qualitative est principalement basée sur le type d'unité géologique présente (voir tableau 1 en annexe). Toutefois, pour déterminer l'impact global de la zone vadosse dans un système stratifié (i.e. si la nappe n'est pas située dans la première strate), il est important de tenir compte des différentes couches lorsque celles-ci sont connues. Par exemple, si la nappe est située dans le roc, sous une unité de till, le calcul de l'impact de la zone vadosse pourrait être calculé selon l'équation 2 ci-bas.



Exemple :

Si la profondeur au roc est de 10 m et que la nappe dans le roc est à 15 m à partir de la surface, l'impact de la zone vadosse se calculerait ainsi :

$$(10/15) \times I_{\text{till}} + (5/15) \times I_{\text{roc}} \quad (\text{Équ. 2})$$

où  $I_{\text{till}}$  = impact de la zone vadosse sur les dépôts de surface et  $I_{\text{roc}}$  = impact de la zone vadosse sur le roc.

Figure 2 : Impact de la zone vadosse (d'après Blackmore, 2006)

## **7.1 Sources de données**

La profondeur de la nappe peut être dérivée du livable 20 et la stratigraphie provient de la base de données du projet et de la connaissance générale du système (ou d'un modèle géologique des épaisseurs des unités de dépôts meubles). Dans le cas d'une couche de sédiments de surface considérés homogènes sur le roc, la profondeur au roc proviendrait du livable 15 (épaisseur des dépôts meubles) et la distinction des unités des cartes quaternaires proviendrait du livable 12.

## **7.2 Sélection et validation des données**

Aucune.

## **7.3 Traitement des données**

Aucun, sauf si on considère l'influence de la stratigraphie dans la zone vadose via l'équation 2.

## **7.4 Éléments à présenter**

Unités de la zone vadose définies avec les cotes attribuées. Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

## **7.5 Format électronique et représentation**

La couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m.

## **7.6 Éléments à définir dans la légende**

La légende doit présenter le code de couleurs pour les cotes attribuées pour les types d'unité de la zone vadose. Des teintes de gris (gris pâle représentant un impact faible et gris foncé pour un impact important) sont recommandées.

# **8 CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (C=HYDR. CONDUCT. OF AQUIFER; POIDS = 3)**

La conductivité hydraulique (K) contrôle l'écoulement souterrain de l'eau, de concert avec le gradient hydraulique. La K dépend de la porosité (primaire ou secondaire) efficace du matériau de l'aquifère et de la connexion des pores (ou fractures). Plus la K est élevée, plus le contaminant peut migrer rapidement et plus le volume d'eau contaminée peut devenir important. Les 6 intervalles de K définis dans la méthode DRASTIC sont fournis au tableau 1 en annexe. Les valeurs de K spécifiées varient de  $4.7 \times 10^{-7}$  à  $9.4 \times 10^{-4}$  m/s, ce qui est relativement restreint.

## **8.1 Sources de données**

Les données brutes de K sont obtenues principalement à partir des données compilées dans le cadre des projets PACES, incluant notamment le Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP, les études antérieures et les données issues des campagnes de terrain réalisées dans le cadre des projets. Les données de capacité spécifique ( $C_s$  = débit de pompage / rabattement maximal), sont plus nombreuses que les données de K et peuvent également être utilisées afin d'estimer la transmissivité (T) et la conductivité hydraulique (K), même si elles sont moins fiables que des données issues d'essais de pompage.

## **8.2 Sélection et validation des données**

Les données d'essais de pompage disponibles peuvent être numérisées et réinterprétées ou une étude visuelle des résultats graphiques fournis par les consultants peut être effectuée pour juger si l'interprétation fournie dans le rapport semble adéquate. Des critères de sélection, tels la durée et le rabattement maximal de l'épaisseur saturée (limité à moins du tiers), peuvent être utilisés. La validation des valeurs de T et K estimées avec les capacités spécifiques peut être effectuée avec les données de puits dans lesquels un essai de pompage a été réalisé et une donnée de Cs est disponible.

## **8.3 Traitement des données**

En ce qui concerne la réinterprétation des données d'essais de pompage, les équations de Theis ou de Cooper-Jacob peuvent être appliquées si le puits montre un comportement de milieu poreux équivalent. Sinon, l'utilisation d'autres équations plus appropriées peut être nécessaire, en se référant, par exemple, au livre de Kruseman et de Ridder (2000). Si les valeurs de T et K sont évaluées à partir des données de capacité spécifique (Cs), l'équation de Cooper-Jacob peut être utilisée de façon itérative. En ce qui concerne la régionalisation des données, ces dernières peuvent être interpolées si suffisamment de données sont disponibles pour une même formation, groupe ou contexte hydrogéologique, ou simplement représentées par une valeur moyenne (médiane) pour une formation, groupe ou contexte hydrogéologique donné (voir protocole du livrable 21).

## **8.4 Éléments à présenter**

Conductivités hydrauliques évaluées pour une formation, groupe ou contexte hydrogéologique avec les cotes attribuées. Il serait préférable, pour fins de visualisation, d'y ajouter les éléments suivants : réseaux routier et hydrographique adaptés à l'échelle 1/100 000, limites des MRC et nom des principales municipalités.

## **8.5 Format électronique et représentation**

La couche résultante devrait être en format matriciel avec résolution de 250x250 m.

## **8.6 Éléments à définir dans la légende**

La légende doit présenter le code de couleurs pour les cotes attribuées en fonction des K. Des teintes de rouge sont suggérées pour les 6 classes.

# **9 VALIDATION GLOBALE**

Il est à noter qu'une validation « globale » de la carte de vulnérabilité réalisée à partir de la superposition des 7 couches (voir équation 1) devrait être faite. Cette vérification peut être faite à partir de différentes données, notamment des données géochimiques, des types d'eau définis pour différents secteurs, des concentrations en nitrates et/ou de la datation (tritium, C14). Il est également suggéré de vérifier les résultats de vulnérabilité de DRASTIC avec les zones de recharge définies dans le livrable 28 pour voir si les zones les plus vulnérables concordent avec ces dernières.

## **10 BIBLIOGRAPHIE**

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. and Hackett, G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. National Water Well Association, Dublin, OH.
- Blackmore, A. 2006. Groundwater Vulnerability to Potential Contamination in the Annapolis Valley, Nova Scotia. M.Sc. Thesis, Acadia University, Wolfville, NS, 206 p.
- Chapman, T. G. 1991. Comment on "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis" by R. J. Nathan and T. A. McMahon. *Water Resources Research*, 27(7): 1783-1784.
- Diersch, H.J.G. 1998. FEFLOW – Reference Manual. WASY – Institute of Water Resources Planning and System Research Ltd., Berlin. WASY FEFLOW®: <http://www.wasy.de/english/produkte/feflow/index.html>
- Fagnan, N. 1998. Cartographie hydrogéologique régionale et vulnérabilité des aquifères de la MRC de Portneuf. Mémoire de maîtrise, INRS-Géoressources, Québec, Canada, Novembre 1998, 219 p., annexes et planches cartographiques.
- Harbaugh, A.W., E.R. Banta, M.C. Hill, McDonald, M.G. 2000. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model: User guide to modularization concepts and the ground-water flow process. USGS Open- File Report 00-92. USGS.
- Healy, R.W. and Cook, P.G. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10: 91-109.
- Kruseman, G.P. and de Ridder, N.A. 2000. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, second edition, International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands, 377 p.
- Murat, V. Martel, R., Savard, M.M., Nastev, M., Paradis, D., Michaud, Y., Lefebvre, R., Therrien, R. 2004. Comparing Vulnerability mapping methods in two Canadian hydrogeological settings. In D. Demers, D. Leahy, R. Lefebvre, S. Leroueil et R. Martel, ed., *Proceedings, 57th Canadian Geotechnical Conference and 5th Joint CGS/IAH Conference*, October 24-27, 2004, Quebec City, Canada, ISBN 0-920505-29-5, Session 3B2, p. 1-5.
- Nastev, M., Savard, M.M., Lapcevic, P., Lefebvre, R. and Martel, R. 2004. Hydraulic properties and scale effects investigation in regional bedrock aquifers, south-western Quebec, Canada, *Hydrogeology Journal*, vol. 12(3): 257-269.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W. and Cook, P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, *Hydrogeology Journal*, 10:18-39.
- Schroeder, P.R., Lloyd, C.M., Zappi, P.A. 1994. The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model. User's guide for version 3, Interagency Agreement No. DW21931425.

**Annexe 1 :  
Informations complémentaires**

---



Tableau 1: Cotes et poids des sept paramètres de la méthode DRASTIC (Aller et al., 1987)

Cote	Prof. de la nappe (m) D	Recharge (mm/a) R	Type d'aquifère A	Type de sol S	Topographie (% pente) T	Impact de la zone vadose I	Cond. hydr. de l'aquifère (m/s) C
1	30.5 +	0-50		Nonshrinking & Nonaggregated Clay	18 +	Confining Aquifer	4.72E-07 – 4.72E-05
2	22.8-30.5		Massive Shale (1 to 3)	Muck			4.72E-05 – 1.41E-04
3	15.2-22.8	50-102	Metamorphic / Igneous (2 to 5)	Clay Loam	12-18	Silt/Clay (2 to 6) Shale (2 to 5)	
4			Weathered Metamorphic / Igneous (3 to 5)	Silty Loam		Metamorphic /Igneous (2 to 8)	1.41E-04 - 3.30E-04
5	9.1-15.2		Glacial Till (4 to 6)	Loam	6-12		
6		102-178	Bedded Sandstone, Limestone & Shale Sequences (5 to 9) Massive Sandstone (4 to 9) Massive Limestone (4 to 9)	Sandy Loam		Limestone (2 to 7) Sandstone (4 to 8) Bedded Limestone, Sandstone, Shale (4 to 8) Sand & Gravel with significant Silt & Clay (4 to 8)	3.30E-04 to 4.72E-04
7	4.6-9.1			Shrinking and/or Aggregated Clay			
8		178-254	Sand & Gravel (4 to 9)	Peat		Sand & Gravel (6 to 9)	4.72E-04 - 9.43E-04
9	1.5-4.6		Basalt (2 to 10)	Sand	2-6	Basalt (2 to 10)	
10	0-1.5	254 +	Karst Limestone (9 to 10)	Thin or absent	0-2	Karst Limestone (8 to 10)	9.43E-04 +
<b>Poids</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

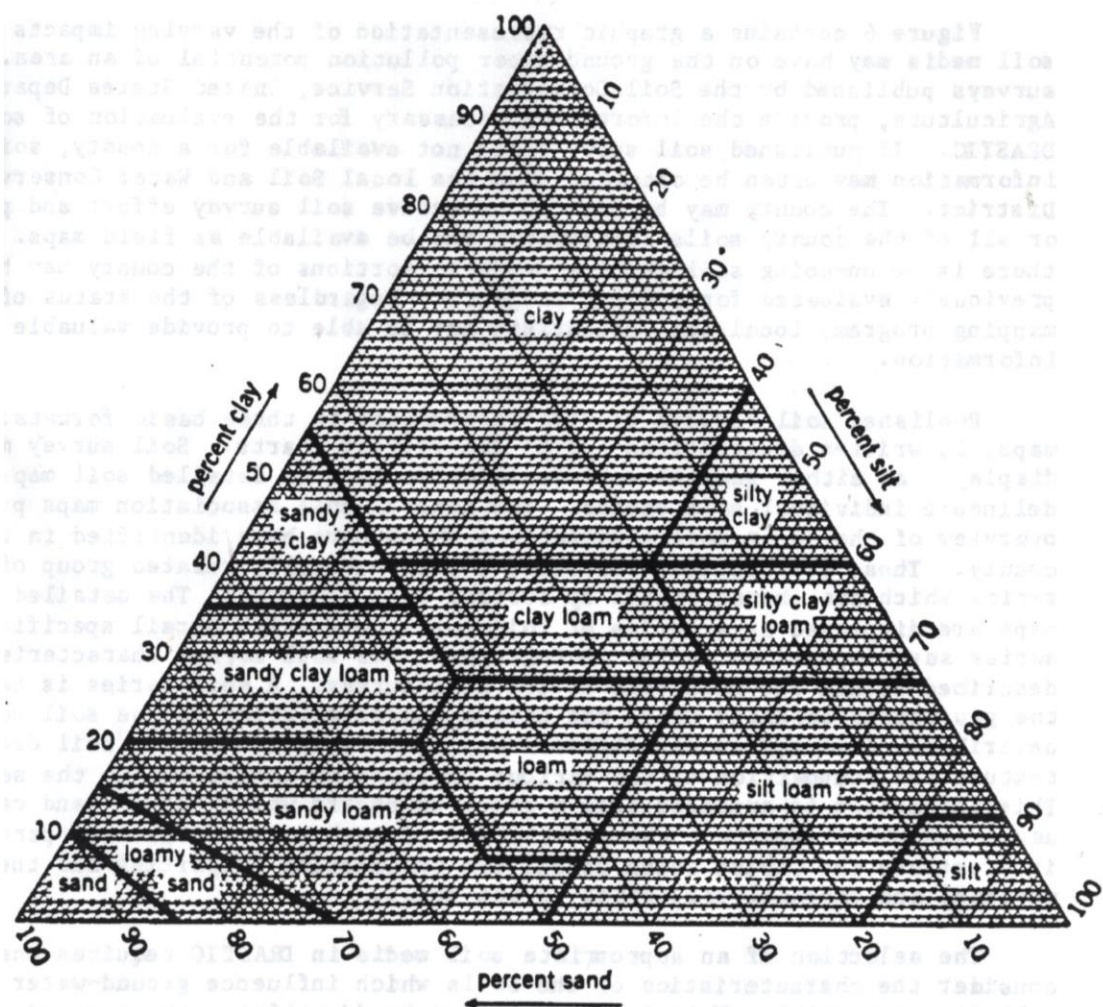


Figure A1: Graphique triangulaire pour la classification des sols basée sur la texture (Soil Conservation Service, 1951, tiré de Aller et al., 1987)