

# Liste de questions pour l'atelier A

## Coupe hydrostratigraphique

<b>Coupe hydrostratigraphique</b>		<b>Vrai</b>	<b>Faux</b>
F	La surface du roc enfouie sous les sédiments est plane.		X
F	L'aquifère de roc fracturé est partout confiné par les argiles marine.		X
F	L'aquifère de roc fracturé est partout présent sur la coupe.	X	
F	Le roc affleure uniquement dans la partie amont de la coupe.	X	
F	Les dépôts meubles sont présents en surface sur tout le territoire.		X
F	L'épaisseur des dépôts meubles est toujours importante selon la coupe.		X
F	Sur les hauts topographiques on retrouve généralement des tills minces directement sur le roc.	X	
F	Dans les vallées, on retrouve une couverture continue de sédiments argileux.		X
F	Les argiles de la mer de Champlain ne se retrouvent que du côté nord de XXXX.		X
F	L'aquifère de dépôts meubles de sables et graviers deltaïques est partout présent sur les coupes.	X	
F	Les silts prodeltaïques confinent l'aquifère de sables deltaïques de façon continue.		X
F	Sur ces profils, l'aquifère ayant le plus grand potentiel d'exploitation est celui formé par les sédiments sableux, plus précisément dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice et la moraine de Saint-Narcisse.	X	
F	On retrouve par endroit des amas de dépôts fluvioglaciaires de sable et gravier enfouis sous les sédiments fins.	X	
F	On retrouve près de la rivière XXXX une mince couche d'alluvions qui pourrait constituer un aquifère superficiel de sable.	X	
M	L'aquifère de roc fracturé est parfois confiné sous une couche d'argile car l'altitude est sous la limite d'invasion marine.	X	
M	L'aquifère de sable et gravier fluvioglaciaires est partout entièrement confiné sous une couche d'argile marine.		X

M	Les sédiments marins deltaïques ont une granulométrie hétérogène.	X	
M	La rivière XXX est perchée sur ses alluvions silteux de faible perméabilité et n'est pas en contact hydraulique avec l'aquifère de roc fracturé.	X	
M	La nappe de l'aquifère de roc fracturé atteint près de 50 m de profondeur sur la coupe.		X
D	Les aquifères de dépôts meubles sont toujours en lien hydraulique avec ceux du roc fracturé.		X
D	Les sédiments marins d'eau profonde sont les seuls matériaux de la coupe pouvant confiner ou semi confiner les aquifères sous-jacents.		X

**F** Quel est l'aquifère au plus grand potentiel d'exploitation, quel est son épaisseur approximative et où le retrouve-t-on sur cette coupe?

*L'aquifère de sables fluvioglaciaires, d'environ 70 m d'épais, situé au centre entre les km 7 et 8, est l'aquifère ayant le plus grand potentiel d'exploitation sur cette coupe.*

**F** Sur ces coupes, l'eau souterraine s'écoule d'où et vers quoi?

*Tel qu'illustré par le niveau piézométrique, l'eau souterraine s'écoule régionalement depuis la colline du Parc de la Gatineau vers les rivières des Outaouais et de la Gatineau.*

**M** Comment ont été mis en place les sédiments sableux superficiels que l'on retrouve dans la plaine argileuse, à proximité des rivières XX et XX?

*Il s'agit de sédiments alluviaux, mis en place par les rivières actuelles ou anciennes.*

**M** Quelles sont les unités géologiques pouvant constituer des aquifères potentiellement exploitables sur cette coupe?

*Les sédiments fluvioglaciaires, les sédiments marins deltaïques et les alluvions, constitués de sable ou de gravier, peuvent constituer des aquifères de dépôts meubles potentiellement exploitables. Les roches de la Province de Grenville peuvent aussi former un aquifère exploitable si leur réseau de fractures est suffisamment développé. Par contre, les débits qu'on pourra y extraire sont souvent plus faibles que dans les sables et graviers.*

**M** Quelle est la séquence la plus complète d'empilement vertical des unités géologiques et où la retrouve-t-on sur la coupe? Quel est le caractère aquifère ou aquitard de chacune des couches?

*La séquence la plus complète est composée de la base vers la surface de la roche de la Province de Grenville, de sédiments fluvioglaciaires, de sédiments marins d'eau profonde et de sédiments marins deltaïques. Elle se retrouve à deux endroits sur la coupe, soit au pied de la colline rocheuse au nord, autour du km 1, puis autour du lac Charlebois au sud, entre les km 9 et 12. À ces endroits, on a donc un aquifère de roc fracturé à la base, surmonté d'un aquifère de sable et gravier, tous deux à nappe captive, car confinés sous une couche d'argile constituant un aquitard. Un aquifère à nappe libre de sable est présent en surface, mais d'épaisseur limitée.*

**D** Bien que la Mer de Champlain ait envahi l'ensemble du territoire présenté sur la coupe, pourquoi ne retrouve-t-on pas des dépôts marins partout?

*L'écoulement de la rivière Chaudière a causé l'érosion de certaines couches de sédiments. Cet effet est étendu latéralement à la rivière actuelle puisque son chenal s'est déplacé au cours des 10 000 dernières années.*

**D** La rivière XXX est-elle alimentée par de l'eau souterraine sur cette coupe (expliquez votre raisonnement)?

*La rivière Saint-Charles est faiblement alimentée par l'eau souterraine dans la basse ville de Québec. Les sédiments silteux de faible perméabilité sur lesquels la rivière s'écoule restreignent en partie la résurgence de l'eau souterraine provenant de l'aquifère de sables deltaïques. De plus, la couche de sédiments marins sous-jacente limite complètement les remontées d'eau souterraine provenant de l'aquifère profond de roc fracturé.*

## Aquifère de roc fracturé

### Aquifère de roc fracturé

		Vrai	Faux
<b>F</b>	Le secteur XXXX contient deux types de milieux aquifères de roc fracturé.		<b>X</b>
<b>F</b>	Le calcaire domine le secteur XXXX.		<b>X</b>
<b>F</b>	Le territoire de la ville de XXXX repose exclusivement sur du roc cristallin.		<b>X</b>
<b>F</b>	Il est possible d'alimenter des systèmes de distributions en eau potable à partir du roc cristallin.	<b>X</b>	
<b>F</b>	Les failles et linéaments sont liés aux dépressions topographiques dans lesquelles peuvent s'écouler les cours d'eau.	<b>X</b>	
<b>M</b>	Les roches pourraient être plus fracturées, donc plus perméables autour des failles.	<b>X</b>	
<b>D</b>	À l'aide de cette carte, il est possible de déterminer quel type de roche constitue le milieu aquifère ayant le meilleur potentiel aquifère?		<b>X</b>

**F** En quoi les failles et linéaments sont-ils utiles lors des travaux de recherche en eau souterrain?

*Ils peuvent constituer des cibles pour la recherche en eau, car les failles (souvent indiquées par des linéaments) peuvent contribuer à un écoulement plus efficace de l'eau souterraine à proximité.*

**M** À quelle structure physiographique est associée la suite de failles orientées ONO-ESE au sud du secteur XXXX?

*Il s'agit de la Faille du Lac Kénogami, correspondant à la limite du mur sud du Graben du Saguenay séparant les hautes terres des basses terres.*

**M** Souvent, le milieu aquifère de roc fracturé n'est suffisamment perméable que pour permettre l'exploitation de l'eau souterraine par des puits domestiques alimentant des résidences privées. Est-ce le cas pour le secteur XXXX?

*Non, car la Ville de Saint-Félicien possède un puits captif captant l'eau dans les roches calcaires et servant à alimenter un aqueduc pour la distribution de l'eau potable.*

# Épaisseur des dépôts meubles

## Épaisseur des dépôts meubles

		Vrai	Faux
F	Les dépôts meubles sont peu présents dans le secteur XXXX.		X
F	En général, les dépôts meubles sont accumulés dans les vallées.	X	
F	On retrouve les sédiments les plus épais sur le sommet des collines.		X
F	Le centre villageois de XXXX repose sur plus de XX m d'épaisseur de dépôts meubles.	X	
F	Le centre villageois de XXXX repose sur une plus grande épaisseur de dépôts meubles que le centre villageois de XXXX.	X	
F	La bordure de la rivière XXXX est généralement caractérisée par d'épaisses couches de sédiments.	X	
M	Le centre-ville de XXXX repose sur une épaisseur de sédiments pouvant varier entre XX et XX m.	X	
M	En moyenne, l'épaisseur de dépôts meubles aux endroits recouverts en surface par des sédiments fluvioglaciers est de XX m.		X
M	Aux endroits identifiés par le substrat rocheux affleurant en surface, la moyenne d'épaisseur de dépôts meubles est nulle.	X	
M	Près du fleuve Saint-Laurent, la surface du socle rocheux se situe sous le niveau de la mer.	X	
M	À l'embouchure de la rivière XXX, la surface du roc se situe à plus de XX m sous le niveau de la mer.	X	
M	Il y a beaucoup de forages indiquant la profondeur du socle rocheux dans le secteur XXXX.	X	
M	L'estimation de l'épaisseur des dépôts est fiable dans le secteur de la XXXX.	X	
M	L'estimation de l'épaisseur des dépôts meubles est moins fiable le long des routes.		X
M	De manière générale, l'estimation de l'épaisseur des dépôts meubles est plus fiable dans les vallées.	X	
M	Les points de contrôle sont répartis aléatoirement sur le territoire.		X
D	Plus l'épaisseur des dépôts meubles est importante, et plus il y a de chance que l'aquifère de dépôts meubles soit perméable.		X
D	Moins l'épaisseur des dépôts meubles est importante, et moins il y a de chance que l'aquifère de dépôts meubles soit productif.	X	

F Quelle est l'épaisseur des dépôts meubles maximale que l'on retrouve sur la carte et où ce secteur se situe-t-il?

Selon l'échelle de la carte, les dépôts meubles atteignent plus de 33.5 m d'épaisseur au site ou à proximité des Tring-Jonction et de Vallée-Jonction. En fait, en utilisant des outils de géomatique, on peut établir qu'ils atteignent 50 m d'épaisseur.

**M** Est-ce que la carte de l'épaisseur des dépôts meubles permet de localiser les milieux aquifères de dépôts meubles (expliquez votre raisonnement)?

*Pour localiser les milieux aquifères de dépôts meubles, en plus de l'épaisseur des dépôts meubles, il faut considérer le type de dépôts meubles. Par exemple, il est possible que les dépôts meubles d'une zone ayant une grande épaisseur ne soient composés que d'argile et ne constituent pas un milieu aquifère.*

**M** Pourquoi retrouve-t-on peu ou pas de dépôts meubles sur les hauts topographiques et des épaisseurs plus importantes dans les vallées?

*Lors du dernier épisode glaciaire, le passage du glacier a érodé et pris en charge les dépôts meubles accumulés sur les hauts topographiques pour ensuite les déposer plus loin, dans les creux topographiques. Les eaux de fonte lors de la déglaciation ont aussi mis en place des dépôts meubles dans les vallées, là où elles s'écoulaient. On peut aussi retrouver des épaisseurs significatives de sédiments fins sous la limite d'invasion de la mer de Champlain variant entre 177 et 265 m d'altitude. Finalement, les rivières anciennes et actuelles ont pu déposer des sédiments alluviaux dans leurs plaines inondables.*

**M** Pourquoi les dépôts meubles sont-ils peu présents dans le secteur XXXX?

*Le secteur du Bas-Saguenay est en majeure partie localisé dans le secteur physiographique des hautes terres, correspondant au massif montagneux des Laurentides et présentant un relief dominé par le roc affleurant en surface. Les hautes terres avec leur relief accidenté n'ont pas favorisé le dépôt des sédiments lors de la fonte des glaciers.*

**D** Est-ce que la topographie de surface influence de manière importante l'épaisseur des dépôts meubles dans le secteur XXXX (expliquez votre raisonnement)?

*Non, car dans les Basses-terres, la topographie est généralement plane, tandis que l'épaisseur des dépôts meubles varie. C'est plutôt la topographie du roc enfoui qui influence les accumulations de dépôts meubles.*

## Épaisseur des aquifères de dépôts meubles

### Épaisseur des aquifères de dépôts meubles

		Vrai	Faux
<b>F</b>	L'aquifère de roc fracturé constitue le seul aquifère du secteur.	X	
<b>F</b>	Les aquifères de dépôts meubles sont généralement localisés dans les vallées.	X	
<b>F</b>	Les aquifères de dépôts meubles sont localisés dans des dépressions de la surface du roc.	X	
<b>F</b>	Les aquifères de dépôts meubles dans ce secteur d'étude ont des envergures régionales.		X
<b>F</b>	Le centre villageois de XXXX repose sur un aquifère de dépôts meubles de plus de XX m d'épaisseur.	X	
<b>F</b>	Les aquifères de dépôts meubles ne dépassent jamais XX m d'épaisseur dans le secteur d'étude.		X

F	La municipalité de XXXX est bien fournie en aquifères de dépôts meubles.		X
F	La municipalité de XXXX contient des aquifères de dépôts meubles de grande étendue et de grande épaisseur.		X
F	La limite entre les Basses-terres et les Hautes-terres est caractérisée par la présence d'aquifères de dépôts meubles importants.	X	
M	Il n'y a jamais de milieux imperméables sous les milieux aquifères.		X
M	Les milieux aquifères fluvioglaciaires sont toujours en nappe libre dans le secteur XXXX.		X
M	La présence de sédiments marins d'eau peu profonde est la raison principale de la faible présence d'aquifères de dépôts meubles dans ce secteur.	X	
D	On retrouve des aquifères doubles contenant deux nappes distinctes dans la municipalité XXXX.	X	

F Quels sont les types de dépôts meubles considérés en terme de granulométrie (hydrofaciès) et de mode de déposition (unité géologique) pour la délimitation des aquifères de dépôts meuble?

*Les sédiments les plus grossiers, soit le sable (moyen et grossier) et le gravier, sont considérés et correspondent aux dépôts d'origine fluvioglaciaire et marine deltaïque.*

F D'après cette carte, quelles sont les sources d'approvisionnement en eau disponibles pour les villégiateurs autour des lacs du plateau Laurentien?

*L'eau souterraine contenue dans les aquifères de dépôts meubles semble rarement disponible sur le plateau Laurentien. Par contre, l'aquifère de roc est partout présent et permet généralement une alimentation suffisante pour les besoins en eau d'une résidence isolée. L'eau de surface des lacs peut aussi être considérée, mais sa qualité est susceptible d'être moins bonne et plus variable que l'eau souterraine, rendant son utilisation plus coûteuse à cause du traitement qu'elle nécessite pour la rendre potable.*

M Pourquoi certaines zones aux épaisseurs importantes de dépôts meubles (voir p. XX) ne présentent pas d'aquifères de dépôts meubles (ex. : à l'est de XXXX)?

*Certaines zones n'ont pas de sédiments grossiers d'épaisseur suffisante. Les dépôts meubles y sont dominés par des sédiments plus fins n'étant pas suffisamment perméables pour être considérés comme aquifère.*

M À quoi correspondent les zones où il n'y a pas de milieu aquifère de dépôts d'identifié?

*Ces zones correspondent à des zones d'affleurement rocheux ou à des couvertures de dépôts de till reposant directement sur le roc. Le seul milieu aquifère d'intérêt dans ces zones est celui du roc fracturé.*

M Quel type de dépôt meuble est le plus intéressant pour l'exploitation de l'eau souterraine?

*Les sédiments fluvioglaciaires sont ceux composés des sédiments les plus grossiers ayant les pores les plus grandes et interconnectés, et présentant des valeurs de transmissivité les plus élevées. Au SLSJ, un grand nombre de municipalités s'alimentant en eau souterraine exploitent ce milieu aquifère.*

M Pourquoi l'aquifère important de dépôts meubles de XXXX n'est pas considéré comme un aquifère d'intérêt pour l'exploitation des eaux souterraines?

*Cet aquifère est situé dans la basse ville de Québec, sous un secteur densément urbanisé. Les résidents, les institutions, les commerces et les industries y sont tous alimentés par le réseau d'aqueduc de la ville, dont les sources sont en eau de surface. De plus, les activités humaines qu'on y exerce peuvent représenter un potentiel important de contamination, ce qui diminue d'autant plus l'intérêt de l'aquifère.*

**M** Pourquoi est-ce que les sédiments grossiers de moins de 5 m d'épaisseur ne sont pas considérés comme étant des aquifères de dépôts meubles?

*Une épaisseur saturée de moins de 5 m de sédiments grossiers n'est généralement pas suffisante pour permettre le pompage de l'eau souterraine, car la quantité d'eau emmagasinée est trop faible et la dépression causée autour d'un puits lors de son pompage (appelé cône de dépression) sera trop importante relativement à l'épaisseur de la couche de sédiments grossiers.*

**M** Sur la Plaine Côtière, la séquence hydrostratigraphique dominante est celle du matériel granulaire sur matériel argileux sur roc. Comment ces sédiments ont-ils été mis en place?

*Tout d'abord, lors du dernier épisode glaciaire, le passage du glacier a pris en charge les anciens sédiments et les a transportés plus loin. Ensuite, durant la déglaciation, l'invasion de la mer de Goldthwait a permis la déposition d'argile marine. À cette époque, la Plaine Côtière se retrouvait en eau profonde. Enfin, lors du retrait graduel de la mer, des sédiments granulaires littoraux ont été mis en place.*

**D** Pourquoi les sédiments grossiers situés dans les premiers mètres directement sous la surface du sol ne sont souvent pas pris en compte dans le calcul de l'épaisseur des aquifères de dépôts meubles?

*La définition de l'aquifère implique que le matériau doit être saturé en eau. Ce sont donc seulement les sédiments grossiers qui sont situés sous le niveau piézométrique qui sont considérés.*

**D** Pourquoi la présence d'un aquifère interprété sur la carte n'assure-t-elle pas nécessairement la présence d'un aquifère ayant un bon potentiel d'exploitation?

*Il faut prendre en compte les propriétés hydrauliques de l'aquifère pour quantifier la capacité du matériau à permettre l'écoulement de l'eau souterraine. Une étude hydrogéologique locale est nécessaire afin de calculer entre autres la transmissivité (le produit de la conductivité hydraulique par l'épaisseur de l'aquifère saturé) et déterminer le potentiel d'exploitation d'un aquifère. Aussi, le pompage de l'eau par un puits induit un rabattement de la nappe autour du puits, soit une baisse de son niveau, qui est proportionnel au débit d'eau pompé. Une épaisseur trop faible (ex. : < 5 m) ferait en sorte que l'aquifère serait rapidement dénoyé.*

**D** Pourquoi est-ce qu'un aquifère de dépôts meubles de faible épaisseur (ex. : < 5 m) identifié sur la carte ci-contre ne permet-il pas une exploitation importante de son eau souterraine, comme pour alimenter des puits collectifs ou municipaux à des débits de plus de 75 m<sup>3</sup>/jour?

*Il faut tout d'abord considérer l'épaisseur saturée de l'aquifère pour déterminer son potentiel d'exploitation. Sur la carte ci-contre, le calcul de l'épaisseur des aquifères inclut sa partie non saturée. Aussi, le pompage de l'eau par un puits induit un rabattement de la nappe autour du puits, soit une baisse de son niveau, qui est proportionnel au débit d'eau pompé. Une épaisseur saturée trop faible ferait en sorte que le niveau de la nappe se retrouverait possiblement en dessous de l'aquifère.*

**D** Quelle épaisseur considère-t-on comme exploitable dans l'aquifère de roc?

*Une épaisseur d'environ 150 mètres est considérée, correspondant à la profondeur maximale généralement atteinte par les entrepreneurs en puits et forage. Généralement, l'eau plus profonde n'est plus économiquement rentable pour son exploitation, car elle devient très minéralisée, même saumâtre, et nécessiterait un traitement trop coûteux pour la rendre potable.*

# Contextes hydrogéologiques

## Contextes hydrogéologiques

		Vrai	Faux
F	La séquence de sédiments indifférenciés sur roc domine dans le contexte hydrogéologique XXXX.	X	
F	Sous le centre-ville XXXX, les sédiments fins reposent directement sur le roc.		X
F	Le contexte hydrogéologique est dominé par des argiles déposées directement sur l'aquifère de roc fracturé.		X
F	Le Piedmont contient une couverture de sédiments fins plus étendue que les Hautes-terres.	X	
F	On retrouve tous les contextes (ou presque) dans les vallées importantes.	X	
M	On retrouve de l'argile partout sur le territoire de la zone XXX.		X
M	Le secteur XXXX est dominé par des contextes d'aquifère double.	X	
M	Cette carte permet de localiser les aquifères de dépôt meubles potentiellement exploitables.		X

**F** Contrairement aux aquifères granulaires, pourquoi qualifie-t-on le roc fracturé comme étant un aquifère régional?

*L'aquifère de roc fracturé se retrouve partout sur le territoire, sous la couverture des dépôts meubles. Il est à la base de chacune des six séquences hydrostratigraphiques définies en Montérégie Est. Les aquifères granulaires (ou de dépôts meubles) sont pour leur part plus localisés, car les sédiments perméables sont souvent discontinus et leur épaisseur n'est souvent pas assez importante pour qu'ils constituent un aquifère qui permettrait le captage de quantité d'eau souterraine appréciable à un puits ou à une source.*

**M** Comment peut-on reconnaître si un dépôt meuble est perméable à partir de la carte des contextes hydrogéologiques?

*Les dépôts meubles perméables ici sont contenus dans les sédiments qualifiés d'« indifférenciés » dans la légende des séquences hydrostratigraphiques typiques. Toutefois, les sédiments indifférenciés peuvent contenir des sédiments plus fins qui ne sont pas nécessairement perméables, par exemple du till qui est généralement semi-perméable.*

**M** Quel type de dépôt meuble est le plus intéressant pour l'exploitation de l'eau souterraine?

*Les sédiments fluvioglaciaires sont ceux composés des sédiments les plus grossiers ayant les pores les plus grandes et interconnectés, et présentant des valeurs de transmissivité les plus élevées. Au SLSJ, un grand nombre de municipalités s'alimentant en eau souterraine exploitent ce milieu aquifère.*

**M** Est-il préférable, pour une municipalité, de viser d'alimenter sa population en eau souterraine à partir d'aquifères de roc ou de dépôts meubles ? Pourquoi ?



Lorsqu'un débit d'exploitation important est souhaité, comme c'est le cas pour une municipalité qui veut alimenter sa population en eau potable, il est préférable de viser des aquifères de dépôts meubles. Pour le même volume que la roche, les dépôts meubles contiennent généralement beaucoup plus d'eau. Un aquifère de dépôt meuble peut en effet contenir entre 30 et 50% de son volume en eau tandis que la plupart des types de roc que l'on retrouve au Québec et sur le territoire de l'AT1 en contiennent rarement plus de quelques unités de %. De plus, l'eau souterraine contenue dans les dépôts meubles granulaires (sable et gravier) peut être généralement captée plus facilement car la conductivité hydraulique de ces matériaux est plus élevée que celle de la roche, parfois de plusieurs ordres de grandeur. La roche peut localement être relativement perméable si elle est très fracturée, mais il est difficile de prévoir où ces secteurs sont localisés sur le territoire et à quelle profondeur. Finalement, l'eau souterraine des aquifères granulaires est généralement de meilleure qualité que celle des aquifères au roc.

**D** Quelle séquence verticale de dépôts meubles peut-on reconstituer à partir de cette carte?

De la surface jusqu'à la base, on retrouve des sédiments non différenciés (milieu aquifère), des argiles de la mer Laflamme (milieu imperméable), des sédiments fluvioglaciers (milieu aquifère) et le milieu aquifère de roc fracturé.

**D** Pourquoi la présence d'un dépôt meuble perméable sur la carte n'assure-t-elle pas nécessairement la présence d'un aquifère ayant un bon potentiel d'exploitation?

Il faut prendre en compte les propriétés hydrauliques de l'aquifère pour quantifier la capacité du matériau à permettre l'écoulement de l'eau souterraine. Une étude hydrogéologique locale est nécessaire afin de calculer entre autres la transmissivité (le produit de la conductivité hydraulique par l'épaisseur de l'aquifère saturé) et déterminer le potentiel d'exploitation d'un aquifère. Ensuite, il faut considérer l'extension latérale de l'aquifère. Si sa superficie est faible, le potentiel d'exploitation sera limité. Enfin, le pompage de l'eau par un puits induit un rabattement de la nappe autour du puits, soit une baisse de son niveau, qui est proportionnel au débit d'eau pompé. Une épaisseur trop faible (ex. : < 5 m) ferait en sorte que l'aquifère serait rapidement dénoyé.

## Conditions de confinement

### Conditions de confinement

		Vrai	Faux
F	Le secteur d'étude est dominé par des conditions à nappe libre.		X
F	Le centre-ville de XXXX repose sur une nappe captive.	X	
F	La vallée de la rivière XXXX est généralement bien protégée de la contamination provenant directement de la surface.	X	
F	Les zones à nappe libre sont associées aux hauts topographiques.	X	
M	Le silt sableux ou graveleux est moins confinant que l'argile ou le silt argileux.	X	
M	L'aquifère de roc situé au sommet des collines est généralement confiné.		X
M	Le modèle hydrostratigraphique 3D est généralement fiable dans la vallée de la rivière XXXX.		X

M	Une nappe libre est alimentée par l'eau des précipitations qui provient directement de la surface.	X	
M	Une nappe captive est alimentée par l'eau des précipitations qui provient directement de la surface.		X
M	Une nappe captive est alimentée par l'eau des précipitations.	X	
M	L'aquifère rocheux de XXXX n'est pas confiné puisqu'il est situé sous la limite d'invasion marine de la mer de Champlain.		X
M	Lorsque la surface du sol est à plus de 200 m d'altitude, on retrouve uniquement des aquifères non confinés.	X	
M	Les aquifères de dépôts meubles (voir p. XX) sont toujours non confinés.		X
D	La carte de confinement des aquifères de roc fracturé permet d'affirmer que l'aquifère de dépôts meubles à XXXX est complètement confiné.		X
D	Dans la portion de la rivière XXX de la ville de XXXX, l'eau de surface n'est souvent pas en lien hydraulique avec l'aquifère de roc fracturé.		X

F Quels sont les types de sédiments considérés pour la détermination des conditions de confinement?

*Les sédiments les plus fins, soit le silt et l'argile silteuse, le silt sableux ou graveleux, et le dépôt hétérogène sont considérés.*

F Pourquoi certaines zones aux épaisseurs importantes de dépôts meubles (voir p. XX) ne présentent pas de conditions de confinement (ex. : autour des centres villageois de XXXX et XXXX)?

*Certaines zones n'ont pas de sédiments fins d'épaisseur suffisante. Les dépôts meubles y sont dominés par des sédiments plus grossiers étant suffisamment perméables pour ne pas être considérés comme aquitard.*

F Pourquoi les sédiments fins constituant un aquitard et responsables du confinement des aquifères sont-ils seulement présents dans les vallées des Laurentides et le piedmont?

*Les sédiments fins proviennent de milieux marins et lacustres et ont été mis en place en eaux profondes. Puisque l'altitude maximale d'invasion de la mer de Champlain est d'environ 200 m, on ne retrouve donc pas ces types de sédiments sur le plateau Laurentien.*

M Que signifient les conditions de confinement discontinu?

*La présence potentielle d'horizons de silt prodeltaïque imperméable, que l'on retrouve par exemple de manière discontinue dans la vallée de la rivière Jacques-Cartier, peut confiner localement les aquifères sous-jacents. À l'échelle régionale de réalisation de l'analyse, il n'a pas été possible de localiser les horizons de silt et donc de déterminer localement les conditions de confinement. L'aquifère de roc fracturé peut varier à l'échelle locale entre confiné, semi-confiné ou libre.*

M Pourquoi une épaisseur de moins de X m d'argile ou de silt argileux, ou de moins de XX m de silt sableux ou graveleux, n'est pas considérée comme confinante?

*La réalisation du modèle hydrostratigraphique 3D, qui permet de localiser les couches de sédiments fins, dépend de l'interprétation d'un ensemble de facteurs qui ne sont pas tous très fiables. Il est difficile de définir les couches de silt et d'argile en profondeur. On ne peut donc pas considérer avec suffisamment de certitude une épaisseur faible de ces sédiments comme étant un aquitard. Il se peut que la couche soit trop mince pour limiter l'infiltration et la circulation de*

*l'eau vers les couches sous-jacentes. Aussi, il se peut qu'elle soit discontinue. Dans ce cas, il a été jugé préférable de considérer les aquifères sous-jacents comme étant non confiné.*

**M** Contrairement à la délimitation des aquifères de dépôts meubles, pourquoi les sédiments fins situés dans les premiers mètres directement sous la surface du sol sont toujours pris en compte dans la détermination des conditions de confinement?

*La définition de l'aquitard n'implique pas que le matériau soit saturé en eau, contrairement à la définition de l'aquifère. C'est seulement la très faible conductivité hydraulique du matériau qui définit son caractère aquitard.*

**M** Y a-t-il forcément présence d'argile lorsque les conditions de confinement sont à nappe captive? Et lorsqu'elles sont à nappe semi-captive?

*Il y a forcément présence d'une couche imperméable, généralement composée principalement d'argile, pour avoir des conditions à nappe captive. Dans ce projet, une épaisseur de plus de 5 m d'argile a été utilisée pour définir les conditions de nappe captive. Pour les conditions à nappe semi-captive, la présence d'argile n'est pas nécessairement requise. Deux critères ont été utilisés : présence de 1 à 5 m d'argile ou plus de 3 m de sédiments indifférenciés. Dans les Appalaches, les nappes semi-captives sont caractérisées par des épaisseurs modérées de sédiments peu perméables, comme le till.*

**M** Pourquoi les sédiments fins de moins de 3 m d'épaisseur ne sont-ils pas considérés dans la détermination des conditions de confinement?

*La réalisation du modèle hydrostratigraphique 3D, qui permet de localiser les couches de sédiments fins, dépend de l'interprétation d'un ensemble de facteurs qui ne sont pas tous très fiables. On ne peut donc pas considérer avec suffisamment certitude une épaisseur faible de moins de 3 m de sédiments fins comme étant un aquitard. Il se peut que la couche soit trop mince pour limiter l'infiltration et la circulation de l'eau vers les couches sous-jacentes. Aussi, il se peut qu'elle soit discontinue. Dans ce cas, il a été jugé préférable de considérer les aquifères sous-jacents comme étant non confiné.*

**D** Est-il plus avantageux d'exploiter un aquifère en condition de nappe libre ou de nappe captive ?

*Cela dépend. Il peut être plus avantageux d'exploiter un aquifère à nappe captive, car, grâce à l'unité géologique imperméable sus-jacente, il est protégé de la contamination provenant directement de la surface. Il n'est par contre pas protégé d'un contaminant qui proviendrait de l'écoulement latéral de l'eau souterraine. Les aquifères à nappe libre ont l'avantage de constituer des zones de recharge et l'eau y est typiquement de bonne qualité. Ces aquifères sont par contre plus vulnérables.*

**D** Pourquoi retrouve-t-on une petite zone à XXXX où les contextes de nappe captive ou semi-captive ne sont pas présents?

*Cette petite zone correspond à une remontée du socle rocheux que l'on peut constater sur la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Il y a environ 10 000 ans, l'ensemble des Basses-terres du Saint-Laurent étaient envahies par la mer de Champlain, sauf quelques collines qui formaient des îlots, tels que cette petite zone où les sédiments fins n'ont pu se déposer. Aujourd'hui, cette butte rocheuse n'est plus visible en surface, car les sédiments ont comblé les dépressions du socle rocheux autour. D'ailleurs, c'est plutôt une dépression causée par l'exploitation d'une carrière que l'on y retrouve.*

# Piézométrie

## Piézométrie

		Vrai	Faux
F	L'écoulement souterrain s'effectue de manière générale du sud vers le nord et fait résurgence dans la rivière XXXX et ses tributaires.		X
F	On retrouve les niveaux piézométriques les plus élevés dans la municipalité de XXXX.		X
F	On retrouve les niveaux piézométriques les plus élevés sur les versants des collines.		X
F	La municipalité de XXXX reçoit une bonne part de son eau souterraine depuis la municipalité de XXXX.		X
F	Plus on s'approche de XXX et plus les pentes sont fortes.	X	
F	Dans le secteur XXXX, l'estimation du niveau piézométrique est partout très fiable.		X
F	Les rivières XXX, XXX et XXX constituent des exutoires de l'eau souterraine.	X	
F	La rivière XXXX constitue la zone de résurgence principale de l'eau souterraine de toute la région.	X	
M	Le centre villageois de XXXX reçoit son eau souterraine exclusivement depuis le nord.	X	
M	Les changements importants de la piézométrie ont lieu aux endroits où des variations rapides de la topographie sont observées.	X	
M	On peut s'attendre à un écoulement plus rapide de l'eau souterraine sur les flancs des collines, où l'on retrouve des pentes abruptes de la surface piézométrique.	X	
M	L'eau souterraine fait résurgence rapidement dans le fond des vallées escarpées dans le nord du secteur d'étude et passe donc peu de temps dans l'aquifère de roc fracturé.	X	
D	La surface piézométrique étant plus plane dans les Basses-terres que dans les Hautes-terres, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère est probablement plus long.	X	

F Quelle est la variation maximale du niveau piézométrique observé sur ce secteur d'étude?

*Le niveau piézométrique varie d'environ 800 m entre les hautes terres au sud de la municipalité de L'Anse-Saint-Jean et les basses terres en bordure de la rivière Saguenay.*

F Comment peut-on obtenir la profondeur de la nappe depuis le niveau piézométrique?

*Il suffit de soustraire l'élévation du sol au niveau piézométrique pour obtenir la profondeur de la nappe.*

F Quel phénomène observe-t-on lorsque le niveau piézométrique est supérieur au niveau du sol?

*En condition d'aquifère à nappe libre, l'eau souterraine jaillira naturellement en surface, sous forme de source ou en formant des lacs ou des milieux humides. En condition d'aquifère à nappe captive, l'eau jaillira d'un forage si la couche confinante est transpercée comme dans le cas d'un puits.*

**M** Pour une municipalité s'approvisionnant en eau souterraine, pourquoi est-ce important de déterminer le sens d'écoulement de l'eau souterraine?

*Il est important de connaître d'où provient l'eau souterraine qui est consommée pour permettre l'évaluation des menaces pouvant exister sur la quantité et la qualité de l'eau provenant des territoires en amont des sources d'eau potable.*

**M** Pourquoi y a-t-il un écoulement général de l'eau souterraine de l'est vers l'ouest?

*À l'échelle régionale, l'écoulement se fait généralement depuis les hauts topographiques, soit les Appalaches à l'est, vers les bas topographiques, soit le Piedmont et éventuellement les Basses-terres à l'ouest.*

**D** Pourquoi considère-t-on la piézométrie comme étant une réplique « adoucie » de la topographie de surface en Outaouais?

*La nappe est généralement peu profonde, en moyenne de 6 m, et ne dépasse que très rarement 20 m. La variation de la topographie du sol varie pour sa part de plus de 500 m, passant de 555 m au sommet du Mont Sainte-Marie (massif le plus élevé des Hautes-terres) à 20 m au niveau le plus bas en bordure de la rivière des Outaouais. Le niveau piézométrique varie aussi conséquemment de plus de 500 m et dépend ainsi très fortement de la topographie de surface. On considère toutefois que la piézométrie est « adoucie » comparativement à la topographie du sol puisqu'elle varie moins rapidement sur une courte distance. Par exemple, le gradient hydraulique depuis le sommet d'une colline jusqu'à sa base (niveau piézométrique le plus élevé moins niveau le plus faible) est généralement plus faible que le gradient altimétrique du sol.*

**D** Comment la surface piézométrique et la surface du sol sont-elles inter-reliées?

*Dans notre climat relativement humide au Québec, la profondeur de la nappe est généralement peu profonde, dépassant rarement plus de 10 m, sauf en quelques endroits notamment sur la moraine de Saint-Narcisse où la hauteur non-saturée peut atteindre 30 mètres. La surface du sol varie quant à elle de plus de 500 m sur l'ensemble du territoire de la Mauricie sud-ouest. Par conséquent, la surface piézométrique dépend fortement de la surface du sol et est donc très semblable. On considère qu'elle constitue en fait une réplique adoucie de la surface du sol. En effet, la profondeur de la nappe est plus importante au niveau des hauts topographiques et plus faible dans les vallées, résultant ainsi en une pente plus adoucie que celle de la surface du sol.*

## Recharge et résurgence

### Recharge et résurgence

		Vrai	Faux
<b>F</b>	La recharge est généralement faible dans les vallées et élevée sur les hauts topographiques.	X	
<b>F</b>	En général, le secteur des Basses-terres reçoit relativement beaucoup de recharge.		X
<b>F</b>	La recharge ne dépasse jamais XX mm/an sur le secteur d'étude.		X
<b>F</b>	À XXXX, les taux de recharge varient peu sur le territoire.	X	

F	La recharge autour du centre villageois de XXXX oscille entre XX et XX mm/an.	X	
F	La municipalité de XXXX repose majoritairement sur des zones préférentielles de recharge.	X	
F	Les dépôts de sables et graviers fluvioglaciers sont responsables de la faible recharge dans les vallées.		X
F	La couverture argileuse épaisse et continue limite la recharge et la résurgence dans le secteur XXXX.	X	
F	L'absence d'argile, tel qu'en bordure de la rivière XXXX, est responsable des taux de recharge significatifs.	X	
F	Les zones de résurgence préférentielle sont souvent associées aux cours d'eau.	X	
F	Le centre-ville de Saint-Liboire repose majoritairement sur une zone préférentielle de résurgence.		X
F	Quelques sources naturelles ponctuelles ont été localisées sur le XXXX lors des travaux du PACES.		X
F	La zone potentielle de suintement en bordure de la rivière XXXX correspond à une zone de résurgence de l'eau souterraine.	X	
M	La pente du terrain plus forte sur les versants des collines augmente la recharge.		X
M	Les zones de résurgence préférentielle correspondent aux seuls endroits où l'eau souterraine peut refaire surface.		X
M	Les zones de suintement sont localisées à la base de pentes fortes, là où il y a rupture de pente.	X	
M	Les zones non identifiées comme ayant une recharge préférentielle sont localisées où l'argile marine ou bien le socle rocheux affleurent en surface.	X	

F Qu'est-ce qui limite la recharge dans le secteur XXXX?

*Les vallées sont caractérisées par la présence de sédiments argileux qui limite la percolation de l'eau souterraine jusqu'à l'aquifère de roc fracturé.*

M Comment ont été délimitées les zones de recharge préférentielle dans ce projet? Et les zones de résurgence préférentielle?

*Les zones de recharge préférentielle doivent avoir une recharge supérieure à 250 mm/an, être situées hors des zones captives et être associées à la présence d'un dôme piézométrique d'une superficie supérieure à 1 km<sup>2</sup>. Les zones de résurgence préférentielle doivent avoir une recharge inférieure à 50 mm/an, être situées hors des zones captives, être associées à la présence d'une dépression de la surface piézométrique et le niveau de la nappe doit être inférieur à 1 m de profondeur.*

M De nombreux facteurs influencent la recharge, dont le climat, la végétation, l'occupation du territoire et les propriétés des sols, des dépôts et du roc. Outre les précipitations, quel est le facteur ayant généralement le plus d'influence?

La perméabilité des matériaux depuis la surface jusqu'à la nappe est le facteur dominant. Des matériaux très perméables favorisent grandement l'infiltration et la circulation de l'eau souterraine jusqu'à la nappe tandis que des matériaux fins imperméables limitent grandement la recharge.

**M** Comment les aquifères à nappe captive sont-ils alimentés en eau souterraine?

Ils sont alimentés par écoulement latéral de l'eau souterraine provenant de la portion de l'aquifère en amont piézométrique qui reçoit une recharge significative, lorsque la couche imperméable (aquitard) diminue en épaisseur ou même disparaît. Cette zone amont est située parfois dans les Hautes-terres, par exemple sur les collines du Parc de la Gatineau.

**M** Les milieux aquifères situés au droit des zones non identifiées comme ayant une recharge préférentielle sont-ils tout de même alimentés par l'infiltration de surface?

Oui, car il est faux de considérer que le roc et l'argile ne reçoivent aucune recharge, elle est simplement beaucoup plus faible que celle des milieux aquifères granulaires. D'autre part, les aquifères peuvent être alimentés horizontalement par écoulement souterrain depuis un autre aquifère contigu.

**M** Pourquoi retrouve-t-on de grandes zones de résurgence au sud de la moraine de Saint-Narcisse?

Les segments aquifères de la moraine de Saint-Narcisse reçoivent une recharge très importante. Tout juste au sud de ceux-ci, la surface du sol diminue abruptement depuis le piedmont vers la plaine des Basse-terres. La surface piézométrique ne diminuant pas aussi abruptement, la nappe devient plus élevée que la surface du sol, causant ainsi la résurgence diffuse de l'eau souterraine.

**M** Pourquoi est-ce important de protéger en priorité les zones de recharge plus élevée de l'eau souterraine?

L'eau souterraine qui s'écoule dans les aquifères provient préférentiellement de ces zones où la recharge est la plus élevée. Elles sont plus vulnérables aux activités de surface et à la pollution que celles-ci peuvent générer. Si un aquifère sous une zone de recharge est contaminé, la contamination risque de s'étendre vers l'aval hydraulique et même atteindre les portions où l'aquifère est confiné et donc normalement protégé de la contamination qui pourrait provenir directement de la surface.

**D** Comment les eaux souterraines sont-elles en lien avec les milieux humides?

Les milieux humides regroupent les sites saturés en eau ou inondés durant une période suffisante pour influencer la végétation et le substrat. Ils sont souvent alimentés par l'exfiltration de l'eau souterraine. Ces zones de résurgence constituent des environnements de transition entre les systèmes aquifères et le réseau hydrographique de surface. Leur protection apparaît fondamentale au maintien du rôle écologique des eaux souterraines sur les écosystèmes associés aux milieux humides et aux plans d'eau de surface.

## Vulnérabilité

### Vulnérabilité

	Vrai	Faux
<b>F</b> La vulnérabilité varie peu sur le territoire d'étude.		<b>X</b>
<b>F</b> Le niveau de vulnérabilité « élevée » est rare sur le secteur d'étude.	<b>X</b>	

F	Le niveau de vulnérabilité « moyenne » est prédominant dans les Hautes-terres.	X	
F	Les centre-villes de XXXX et de XXXX reposent sur un aquifère dont la vulnérabilité est considérée comme « faible » selon le RPEP.		X
F	Les zones de vulnérabilité « faible » coïncident avec les vallées et les zones de vulnérabilité « élevée » avec les sommets des collines.		X
F	La route XXX est érigée majoritairement sur des zones à vulnérabilité « élevée ».		X
F	Le secteur XXXX est parfois très sensible à la contamination qui pourrait provenir de la surface.		X
F	Il existe peu de corrélation entre la faible vulnérabilité et le confinement des aquifères.		X
F	Les zones à vulnérabilité faible coïncident avec les zones où la recharge est faible.	X	
F	Les amas de sables et graviers fluvioglaciaires au nord de XXXX sont parfois très sensibles à la contamination qui pourrait provenir de la surface.	X	
F	Les dépôts meubles grossiers présents dans les vallées sont responsables des indices DRASTIC relativement faibles.		X
M	Les zones aux vulnérabilités les plus faibles correspondent exclusivement à des zones ayant une épaisse couverture d'argiles imperméables.		X
M	Les milieux aquifères ayant un petit indice DRASTIC sont tout de même susceptibles de se voir affecter par une contamination.	X	
M	Les aquifères identifiés sur la carte d'Épaisseur de l'aquifère des aquifères de dépôts meubles (voir p. XX) sont de manière générale les plus vulnérables.	X	
D	Cette carte permet de déterminer la vulnérabilité de l'aire d'alimentation d'un puits.		X

F Pourquoi les zones de vulnérabilité « élevée » coïncident-elles avec les vallées?

*Les dépôts meubles, tels que les sédiments fluvioglaciaires qui présentent les vulnérabilités les plus élevées, sont accumulés dans les vallées.*

F Pourquoi les aquifères identifiés sur la carte d'épaisseur et limites de l'aquifère à nappe libre sont-ils de manière générale les plus vulnérables?

*Ce sont des aquifères constitués de dépôts meubles grossiers, très perméables et qui sont en contact direct avec la surface, c'est-à-dire sans couche de sédiments fins sus-jacente qui pourrait limiter la percolation de l'eau transportant un contaminant jusqu'à l'aquifère.*

M Pourquoi la vulnérabilité est-elle généralement faible sur le secteur XXXX?

*Les affleurements rocheux, qui comme l'argile présentent les vulnérabilités les plus faibles, dominent sur le secteur. Leur faible conductivité hydraulique, leur faible recharge et les pentes élevées contribuent entre autres à diminuer l'indice DRASTIC.*

M Pourquoi les aquifères situés sur les hauts topographiques sont-ils moyennement vulnérables malgré l'absence de couverture argileuse?



Sur les collines, le contexte hydrogéologique présente un aquifère de roc fracturé recouvert par des dépôts de till. La vulnérabilité y est inférieure comparativement aux aquifères de dépôts meubles situés dans les vallées puisque le roc est moins perméable que des sédiments grossiers. Le till, bien que sableux, est aussi considéré comme étant moyennement perméable, moins que les sables et graviers fluvioglaciers, par exemple. La percolation d'un contaminant qui proviendrait directement de la surface serait donc retardée par la couche de till puis circulerait lentement dans l'aquifère rocheux. La forte pente du terrain favorisant le ruissellement des précipitations en surface plutôt que leur infiltration, de même que la nappe un peu plus profonde sur le sommet des collines, participe aussi à la diminution de la vulnérabilité.

**M** Puisque les aquifères ayant une vulnérabilité faible sont peu sensibles à la pollution de l'eau souterraine à partir d'une contamination en surface, comment peuvent-ils être contaminés?

*L'aquifère pourrait être contaminé par l'infiltration d'un polluant en amont hydraulique où la vulnérabilité serait plus élevée. L'écoulement latéral pourrait ensuite acheminer l'eau souterraine contaminée vers la portion de l'aquifère ayant un indice DRASTIC faible. Une contamination potentielle pourrait aussi survenir via l'infiltration préférentielle autour d'un puits mal scellé. Même dans une zone à nappe captive à faible vulnérabilité, il est donc important de bien aménager et entretenir les puits d'alimentation.*

**M** Pourquoi est-ce que la vulnérabilité du milieu aquifère de roc fracturé est peu connue sur le secteur XXXX?  
*L'indice DRASTIC se calcule seulement pour le premier aquifère rencontré, soit celui le plus près de la surface. La vulnérabilité du milieu aquifère de roc fracturé n'est alors connue qu'aux droits où le roc affleure en surface. Puisque la majorité du secteur Lac-Saint-Jean Est est recouvert par des dépôts meubles, la vulnérabilité du milieu aquifère de roc fracturé est alors peu connue.*

**D** À l'aide de cette carte, pourquoi ne peut-on pas déterminer la vulnérabilité de l'aire d'alimentation d'un puits tel qu'exigé par le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (Gouvernement du Québec, 2015b)?

*L'analyse de la vulnérabilité a été effectuée à l'échelle régionale et pourrait s'avérer non représentative localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, les résultats de l'étude ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Une étude hydrogéologique spécifique pour chaque puits d'alimentation visé par le règlement doit donc être réalisée.*

**D** Qu'est-ce qui semble le plus influencer la vulnérabilité sur le secteur XXXX et dans la région en général?  
*Puisque de façon générale, les zones les plus vulnérables coïncident avec les zones où des dépôts granulaires se retrouvent à la surface du terrain, et à l'inverse, les zones les moins vulnérables correspondent aux dépôts de surface plus fins (argile et silt) et aux affleurements rocheux, la cartographie de la vulnérabilité des aquifères de la région du SLSJ est fortement représentative du type de dépôt meuble et semble fortement influencée par leur conductivité hydraulique.*

**D** Bien qu'on retrouve des aquifères superficiels de sable et gravier dans certaines vallées, pourquoi l'indice DRASTIC de la carte ci-contre indique généralement une vulnérabilité plutôt faible dans les vallées?

*En Montérégie Est, la méthode DRASTIC a été appliquée uniquement pour l'aquifère régional de roc fracturé puisque les aquifères granulaires n'y sont pas assez étendus pour être cartographiés à l'échelle régionale. La compréhension des conditions hydrogéologiques permet de présumer que les aquifères localisés de sable et gravier situés en surface présentent probablement une vulnérabilité relativement élevée.*

# Qualité de l'eau – critères de santé

## Qualité de l'eau – critères de santé

		Vrai	Faux
F	Globalement, la qualité régionale de l'eau souterraine dans le secteur XXXX est bonne et présente peu de risque pour la santé humaine.	X	
F	Les dépassements en fluorures et en uranium sont de causes naturelles, liés à la nature de la roche.	X	
F	Les aquifères de dépôts meubles semblent plus propices aux dépassements des critères de qualité de l'eau que les aquifères de roc.		X
F	Aucun dépassement en baryum n'a été observé.	X	
F	Le paramètre pour lequel il y a eu le plus de dépassements dans cette étude est le XXXX.	X	
M	Les cartes ci-contre indiquent un problème généralisé de contamination en azote sous forme de nitrites et nitrates (NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> ), dû au caractère agricole de la région.		X
M	Les dépassements en fluorures proviennent tous des milieux aquifères rocheux.	X	
M	Certains dépassements de CMA sont d'origine anthropique.		X
M	Les échantillons d'eau analysés dans le cadre de cette étude ont permis de confirmer qu'aucune problématique de contamination bactériologique, de pesticide ou d'hydrocarbure n'existe sur le territoire.		

**M** D'où provient la contamination en fluorures mesurée dans certains puits?

*Il semble que ce sont les eaux souterraines contenues dans les milieux aquifères de roc cristallin qui sont les plus propices à présenter ce type de problématique. Les concentrations importantes en fluorures seraient d'origine naturelle, liée à la dissolution des minéraux présents dans la roche.*

**M** Pourquoi les dépassements en baryum sont-ils problématiques?

*Santé Canada (2014) informe que le baryum est reconnu comme contributeur potentiellement à plusieurs problèmes liés à la santé humaine, les plus reconnus étant l'augmentation de la pression artérielle et des maladies cardiovasculaires.*

**M** Pourquoi les dépassements en arsenic sont-ils problématiques?

*Santé Canada (2014) informe que l'arsenic est reconnu comme contributeur potentiellement à plusieurs problèmes liés à la santé humaine, dont plusieurs types de cancer, de même que des effets cutanés, vasculaires et neurologiques.*

**M** Pourquoi les dépassements en uranium sont-ils problématiques?

*Selon Santé Canada (2014), l'uranium peut causer des lésions sur les reins, mais qu'étant peu radioactif, l'uranium est rapidement éliminé du corps et que l'effet néfaste peut être rapidement réversible après arrêt de l'exposition. Il existe des problèmes de contamination par l'uranium connus en Outaouais, par exemple dans la réserve indienne de Kitigan Zibi Anishinabeg, bien que les résultats du PACES ne les ont pas mis en évidence. Les dépassements en*

uranium proviennent surtout des puits d'aquifères fracturés, assez profonds, ayant des conditions oxydantes et des pH proches de la neutralité, conditions favorables à la formation de complexes avec les carbonates, contribuant à une augmentation de la dissolution de l'uranium.

**D** Lorsqu'aucun dépassement de CMA n'est observé dans un puits échantillonné dans le cadre du PACES, est-ce que l'eau peut être consommée sans traitement (expliquez votre raisonnement)?

*Non, pas nécessairement, puisque la qualité bactériologique n'a pas été testée (bactéries totales et e-coli), bien qu'elle puisse causer des effets sur la santé. Cet aspect n'a pas été couvert par le PACES puisque la qualité bactériologique est typiquement liée à l'installation et l'entretien du puits et ne constitue donc pas une problématique régionale. De plus, même si l'eau ne présente aucun dépassement des CMA et ne représente donc aucun danger pour la santé, les objectifs esthétiques devraient être considérés, car leurs effets peuvent être non négligeables ou même inacceptables pour plusieurs consommateurs. Différentes solutions de traitement existent pour diminuer la plupart des paramètres sous le seuil de l'objectif esthétique. De plus, lorsque l'eau est acheminée dans un réseau de distribution desservant plus de 20 personnes, le Règlement sur la qualité de l'eau potable (Gouvernement du Québec, 2015b) exige qu'une désinfection de l'eau par chloration soit effectuée pour préserver sa qualité dans le réseau. Il est également à noter que l'étude du PACES n'a pas analysé les pesticides et les hydrocarbures.*

**D** Pour les puits d'alimentation où aucun problème lié à la qualité de l'eau n'a été identifié, pourquoi est-il tout de même recommandé de faire un suivi de la qualité de l'eau?

*Un suivi de la qualité de l'eau à la source devrait être effectué dans tous les puits d'alimentation en eau potable. Les résultats des analyses de qualité de l'eau ne sont valides que pour le puits et le moment où l'échantillon a été récolté. Il est donc possible qu'une contamination ait lieu dans d'autres puits n'ayant pas été échantillonnés, même s'ils sont à proximité. De plus, les valeurs des paramètres pourraient varier dans le temps (jours, saisons ou années). Finalement, l'étude du PACES-CMQ ne s'est pas intéressée aux problématiques locales reliées par exemple aux contaminations bactériologiques, de pesticides ou d'hydrocarbures qui peuvent affecter la santé humaine.*

## Qualité de l'eau – critères esthétiques

### Qualité de l'eau – critères esthétiques

		Vrai	Faux
F	Un seul dépassement d'OE est observé par puits.		X
F	Tous les échantillons récoltés présentent un dépassement d'OE.		X
F	Les dépassements d'OE proviennent tous du milieu aquifère de roc fracturé.		X
F	Les problématiques reliées au pH semblent affecter de manière plus fréquente les aquifères de dépôts meubles.	X	
F	Les nombreux dépassements du critère du pH présentent un danger pour la santé humaine.		X
F	L'aluminium n'est pas un paramètre problématique dans le secteur XXXX.	X	
F	La Mer de Champlain serait la source la plus probable des dépassements en sodium et en chlorures.	X	
F	Le secteur présente au moins un dépassement de température.	X	

F	Les activités humaines sont responsables des dépassements en fer en manganèse.		X
M	Les aquifères granulaires semblent présenter nettement plus de problématiques d'OE que les aquifères de roc fracturé.		X
M	Les dépassements en fer en manganèse proviennent souvent des mêmes puits.	X	
M	L'eau souterraine présente rarement une odeur d'œufs pourris.	X	
M	Les dépassements en salinité sont très rares.		X
M	Le faible nombre de dépassements de critères de qualité de l'eau indique que l'eau est fortement évoluée et minéralisée, typique d'une eau récemment infiltrée.		X
M	Pour les Basses-terres, les analyses de la qualité de l'eau souterraine suggèrent une eau de recharge ayant résidé peu longtemps dans les aquifères.		X
M	Des vestiges de l'eau salée de la mer de Champlain peuvent être à l'origine des nombreux dépassements de la matière dissoute totale.	X	
M	Les conditions de nappe captive présentes dans les Basses-terres sont en partie responsables du long temps de résidence de l'eau souterraine dans les aquifères, et ainsi de la moins bonne qualité de l'eau comparativement aux Hautes-terres.	X	

M Quel est le nombre maximal de dépassements d'OE pour un seul échantillon parmi tous ceux récoltés?

*L'échantillon récolté le long de la route 170 dans la municipalité de Rivière-Éternité présente le nombre maximal de 7 OE dépassés (MDT, sodium, chlorures, dureté, pH, fer et manganèse).*

M Pourquoi les dépassements en dureté sont-ils problématiques?

*Santé Canada (2014) informe que l'eau douce (dureté faible) peut entraîner un problème de corrosion des canalisations et en conséquence, certains métaux lourds comme le cuivre, le zinc, le plomb et le cadmium peuvent se retrouver dans l'eau du réseau de distribution. Inversement, l'eau dure (dureté élevée) peut causer l'entartrage et le colmatage des canalisations domestiques. L'entartrage des ustensiles de cuisine peut aussi contribuer à augmenter la consommation de savon. L'eau dure est donc à la fois un désagrément et un fardeau économique pour le consommateur. La dureté acceptable par le public varie selon les villes; elle est souvent liée au degré de dureté auquel le consommateur est habitué : dans de nombreuses villes, on tolère une dureté supérieure à 200 mg/L. On prétend qu'une dureté comprise entre 80 et 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub> assure un équilibre acceptable entre la corrosion et l'entartrage.*

M Quels sont les effets sur la santé et les désagréments esthétiques reliés à l'eau du puits situé le plus à XXXX?

*L'eau de ce puits contient une concentration élevée en fer et en manganèse entraînant un mauvais goût à l'eau et de taches couleur rouille (pour le fer) et brune (pour le manganèse) sur la lessive et les appareils de plomberie. Santé Canada (2014) ne reconnaît aucun effet néfaste reconnu sur la santé humaine de ces paramètres lorsqu'ils sont ingérés via l'eau de consommation. Toutefois, une récente étude suggère que l'exposition au manganèse dans l'eau souterraine de consommation pourrait causer des désordres moteurs et des déficits cognitifs chez les enfants d'âge scolaire (Bouchard et coll., 2011). Les auteurs prônent une réglementation plus stricte des taux de manganèse dans l'eau.*

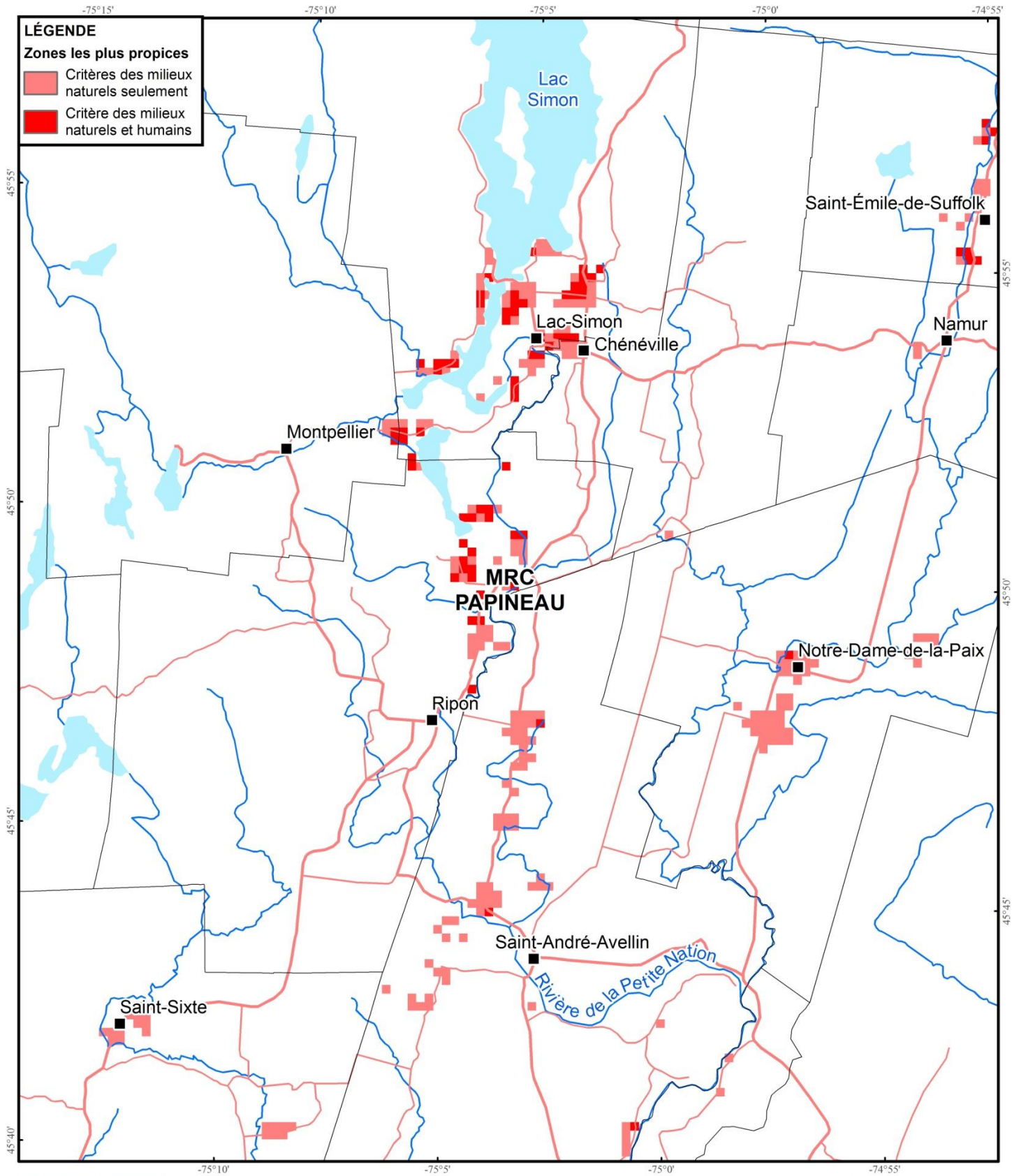
D Le XX des échantillons d'eau analysés au XXXX présentent un dépassement en manganèse. Quel(s) problème(s) cela représente-t-il pour la consommation en eau potable?

*Santé Canada (2014) informe qu'à des concentrations supérieures à 0,15 mg/L, le manganèse tache les éléments de plomberie (bains, lavabos, cuvettes de toilettes) et les tissus. De plus, en fortes concentrations, il donne mauvais goût aux boissons. Comme le fer, il peut causer des problèmes dans les réseaux de distribution en y favorisant la croissance de microorganismes. Même à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L, le manganèse peut former dans la tuyauterie des dépôts qui peuvent se présenter sous la forme de précipités noirs. L'ensemble de ces problèmes est d'ordre esthétique et organoleptique. Toutefois, une récente étude suggère que l'exposition au manganèse dans l'eau souterraine de consommation pourrait causer des désordres moteurs et des déficits cognitifs chez les enfants d'âge scolaire (Bouchard et coll., 2011). Les auteurs prônent une réglementation plus stricte des taux de manganèse dans l'eau.*

**Exercice de synthèse 1 : Si demain une municipalité du secteur XXXX devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice?**

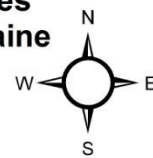
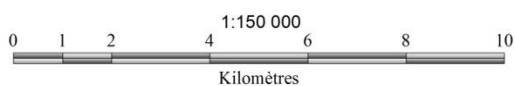
Exemple d'un cheminement d'expert :

Cartographie	Critère
<b>Milieu naturel</b> (voir p. XX à XX)	
Aquifère de roc fracturé	
Épaisseur des dépôts meubles	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 5 m d'épaisseur</li> </ul>
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 5 m d'épaisseur</li> </ul>
Contextes hydrogéologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sédiments fins sur sédiments indifférenciés sur roc</li> <li>Sédiments indifférenciés sur roc</li> <li>Sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur roc</li> <li>Sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur till sur roc</li> </ul>
Conditions de confinement	
Piézométrie	
Recharge et résurgence	
Vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>« Faible » : indice DRASTIC de 100 ou moins</li> <li>« Moyen » : indice de plus de 100 et de moins de 180</li> </ul>
Qualité de l'eau – Critères de santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 500 m de distance d'un puits avec 1 dépassement de CMA ou plus</li> <li>Eau de qualité acceptable</li> <li>Eau de qualité passable</li> </ul>
Qualité de l'eau – Critères esthétiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 500 m de distance d'un puits avec 5 dépassements d'OE ou plus</li> </ul>
<b>Milieu humain</b> (voir p. XX et XX)	
Occupation du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zone forestière</li> <li>Zone arbustive</li> <li>Zone humide</li> <li>Zone découverte</li> </ul>
Affectation du territoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agro-forestières</li> <li>Conservation</li> <li>Forestière</li> <li>Publique</li> <li>Récréative</li> </ul>



**Exercice de synthèse 1 - Zones les plus propices pour une nouvelle source d'eau potable souterraine**

*Les Hautes-terres - secteur Papineau*

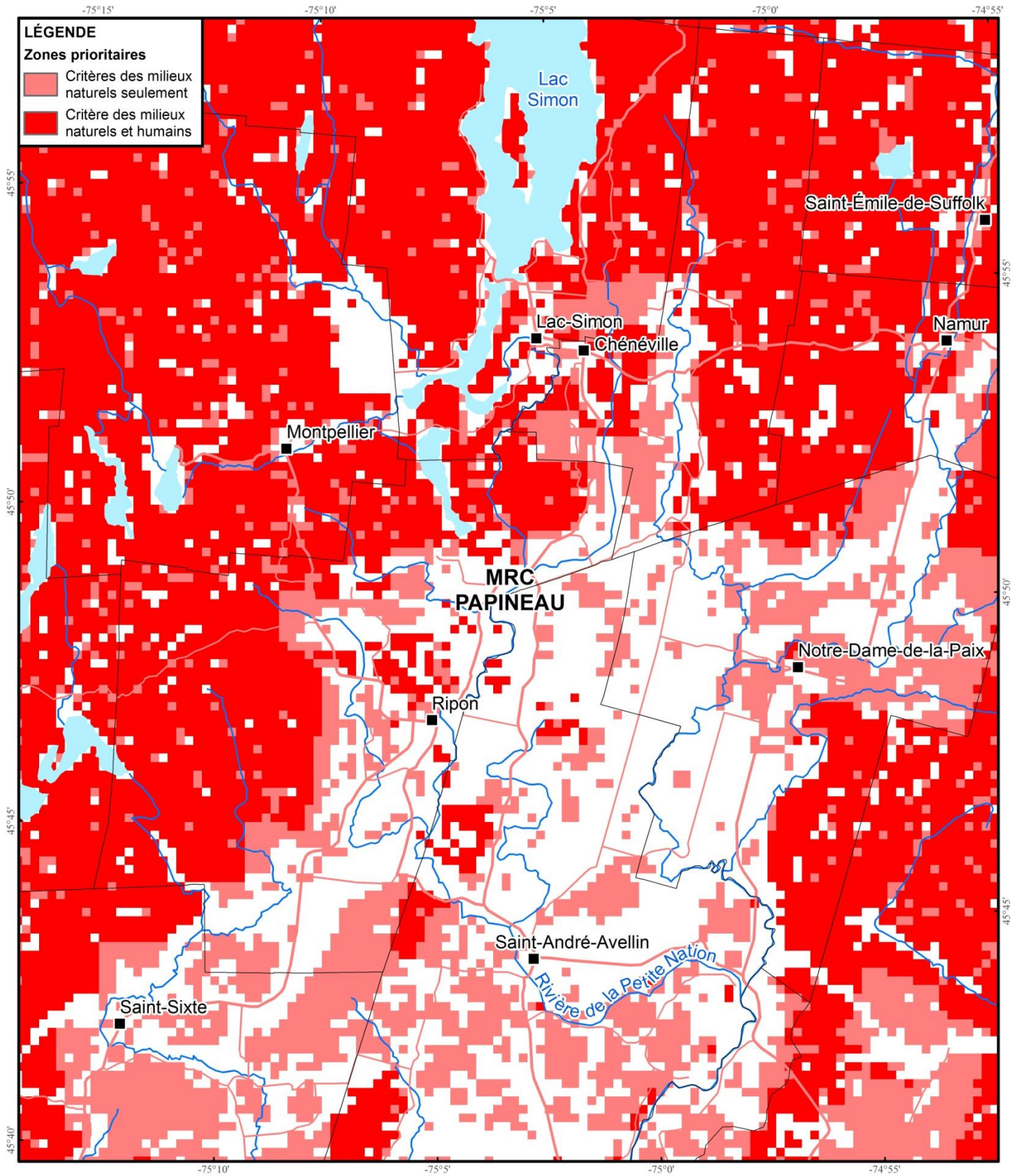


**Exercice de synthèse 2 : Dans le secteur XXXX, quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge?**

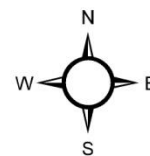
Exemple d'un cheminement d'expert :

Cartographie	Critère
<b>Milieu naturel</b> (voir p. XX à XX)	
Aquifère de roc fracturé	
Épaisseur des dépôts meubles	
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	
Contextes hydrogéologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roc</li> <li>• Sédiments indifférenciés sur roc</li> </ul>
Conditions de confinement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non confiné</li> <li>• Discontinu</li> </ul>
Piézométrie	
Recharge et résurgence	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; 300 mm/an</li> <li>• À l'intérieur des limites des zones de recharge préférentielle</li> </ul>
Vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• « Moyen » : indice de plus de 100 et de moins de 180</li> <li>• « Élevé » : indice de 180 ou plus</li> </ul>
Qualité de l'eau – Critères de santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau de qualité acceptable</li> <li>• Eau de qualité passable</li> </ul>
Qualité de l'eau – Critères esthétiques	
<b>Milieu humain</b> (voir p. XX et XX)	
Occupation du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zone forestière</li> <li>• Zone arbustive</li> <li>• Zone humide</li> <li>• Zone découverte</li> </ul>
Affectation du territoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agro-forestières</li> <li>• Conservation</li> <li>• Forestière</li> <li>• Publique</li> <li>• Récréative</li> </ul>





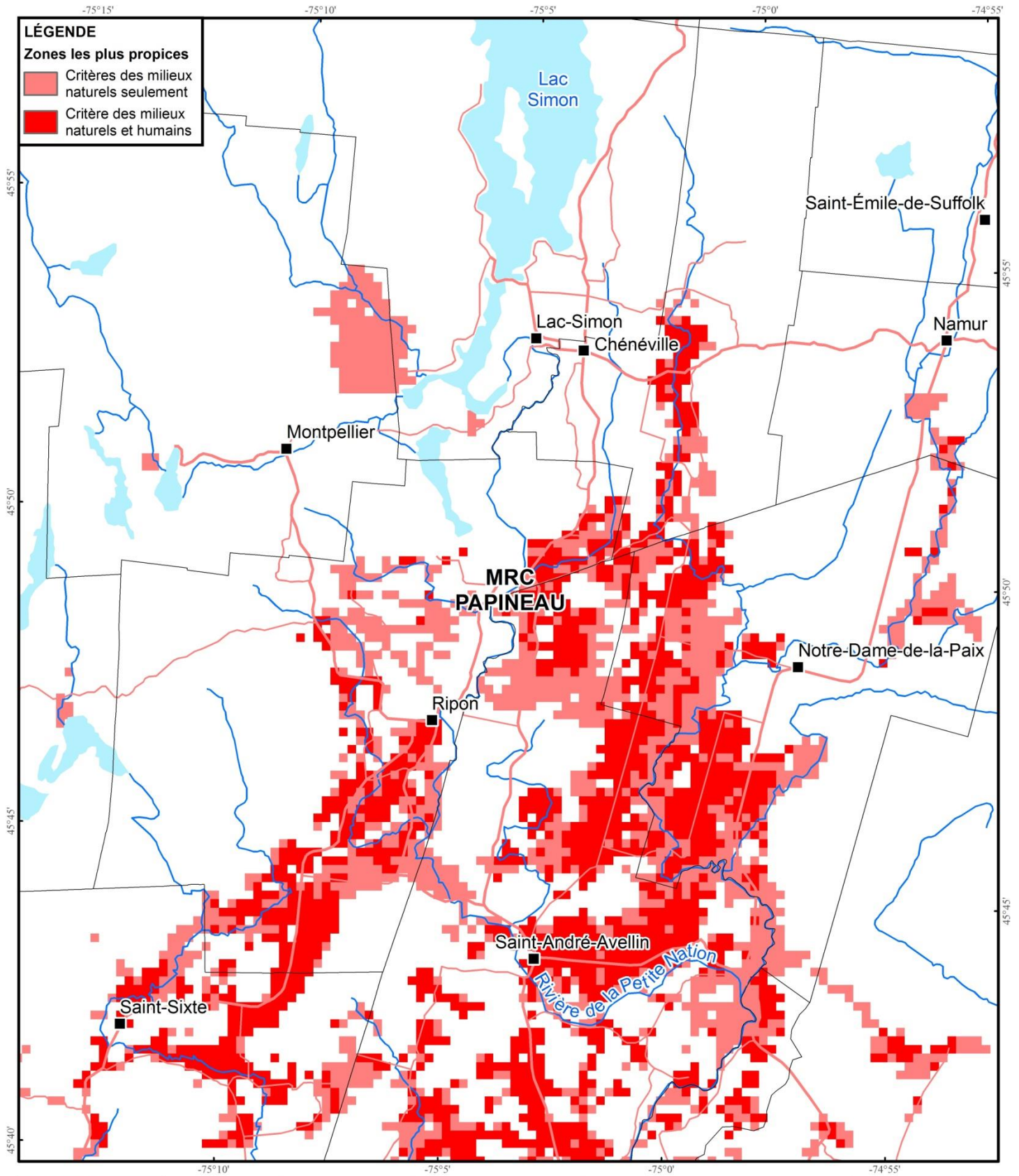
**Exercice de synthèse 2 - Zones prioritaires pour la protection de la recharge**  
**Les Hautes-terres - secteur Papineau**



**Exercice de synthèse 3 : Dans le secteur XXXX, où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?**

Exemple d'un cheminement d'expert :

Cartographie	Critère
<b>Milieu naturel</b> (voir p. XX à XX)	
Aquifère de roc fracturé	
Épaisseur des dépôts meubles	
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 5 m</li> </ul>
Contextes hydrogéologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sédiments fins sur sédiments indifférenciés sur roc</li> <li>• Sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur roc</li> <li>• Sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur till sur roc</li> </ul>
Conditions de confinement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confiné</li> </ul>
Piézométrie	
Recharge et résurgence	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 50 mm/an</li> <li>• À l'extérieur des limites des zones de recharge préférentielle</li> </ul>
Vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• « Faible » : indice DRASTIC de 100 ou moins</li> </ul>
Qualité de l'eau – Critères de santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau de qualité non potable</li> <li>• Eau de qualité passable</li> </ul>
Qualité de l'eau – Critères esthétiques	
<b>Milieu humain</b> (voir p. XX et XX)	
Occupation du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zone urbaine</li> <li>• Zone agricole</li> </ul>
Affectation du territoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricole</li> <li>• Industrielle</li> <li>• Commerciale</li> <li>• Résidentielle</li> <li>• Urbaine</li> </ul>



**Ex. 3 - Zones où implanter une activité polluante afin de minimiser son impact sur les eaux souterraines**

**Les Hautes-terres - secteur Papineau**

0 1 2 4 6 8 10  
1:150 000  
Kilomètres

