

Revue de l'encadrement applicable par les juridictions au Canada et dans d'autres pays pour la protection de la source des puits en filtration sur berge

Revue de littérature

Dernière révision : Juin 2022



Titre du projet : Revue de l'encadrement applicable par les juridictions au Canada et dans d'autres pays pour la protection de la source des puits en filtration sur berge

Équipe de réalisation :

- Paul Baudron
Département des génies civil, géologique et des mines (Polytechnique Montréal)
- Laurence Labelle
Département des génies civil, géologique et des mines (Polytechnique Montréal)
- José Luis García Aróstegui
IGME-CSIC (Murcia, Espagne) et Universidad de Murcia (Espagne)

Dernière révision : Juin 2022

Financement : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)

Remerciements

Les auteurs et autrice tiennent à remercier le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) pour le financement accordé à ce projet.

Merci à nos collaborateurs de la Direction de l'eau potable et des eaux souterraines du MELCC pour vos commentaires pertinents: Marie-Catherine Talbot-Poulin, Donald Ellis, Martin Stapinsky, Mélanie Pettigrew, Asma Chemingui ainsi que l'ensemble de l'équipe.

Nous tenons également à souligner la contribution de la professeure Janie Masse-Dufresne du Département de génie de la construction de l'École de Technologie Supérieure pour la relecture du rapport.

Notations

- *RCA* : Recharge contrôlée des aquifères
- *FSB* : Filtration sur berge
- *RPEP* : Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection
- *RQEP* : Règlement sur la qualité de l'eau potable
- *ESSIDES* : Eau souterraine sous influence directe d'une eau de surface
- *GUDI* ou *GWUDI*: Groundwater under the direct influence of surface water
- *GARP* : Groundwater at risk of containing pathogens
- *ÉQRM* : Évaluation quantitative du risque microbien

Abréviations

- Alb. : Alberta
- C.-B. : Colombie-Britannique
- Î.-P.-É. : Île-du-Prince-Édouard
- Man. : Manitoba
- N.-B. : Nouveau-Brunswick
- N.-É. : Nouvelle-Écosse
- Nt : Nunavut
- Ont. : Ontario
- Qc : Québec
- Sask. : Saskatchewan
- T.-N.-L. : Terre-Neuve-et-Labrador
- T.N.-O. : Territoires du Nord-Ouest
- Yn : Yukon
- É.-U. : États-Unis
- N.-Z. : Nouvelle-Zélande

Table des matières

1	Contexte.....	7
1.1	LA FILTRATION SUR BERGE	7
1.2	ENCADREMENT DES SOURCES D'EAU POTABLE AU QUÉBEC : L'APPROCHE À BARRIÈRES MULTIPLES.....	8
1.3	OBJECTIFS	11
1.4	PORTÉE ET LIMITATIONS	11
2	Identification des sites de FSB.....	13
2.1	DIRECTE.....	13
2.2	INDIRECTE	13
3	Type de source et aires de protection applicables	16
3.1	QUÉBEC.....	17
3.2	ESPAGNE	17
3.3	FRANCE	17
3.4	SUISSE, ALLEMAGNE, AUTRICHE, ITALIE	18
3.5	PAYS-BAS	18
3.6	ONTARIO	19
3.7	ALBERTA, COLOMBIE BRITANNIQUE, NOUVELLE-ÉCOSSE	20
3.8	ÉTATS-UNIS.....	20
3.9	NOUVELLE-ZÉLANDE	22
4	Reconnaissance du prétraitement naturel de la FSB.....	24
4.1	CANADA	24
4.2	COLOMBIE BRITANNIQUE	25
4.3	NOUVELLE ÉCOSSE.....	25
4.4	ONTARIO	25
4.5	NOUVELLE-ZÉLANDE	25
4.6	ÉTATS-UNIS.....	25
5	Conclusion	27
6	Références.....	29

Table des illustrations

TABLEAU 1 : DESCRIPTION DES PHASES DE DÉTERMINATION D'UNE EAU SOUS INFLUENCE DIRECTE POUR DIFFÉRENTES JURIDICTIONS. CHACUNE PROCÈDE EN SUIVANT PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE LES DIFFÉRENTES ÉTAPES ICI RÉSUMÉES.	15
TABLEAU 2 : TYPE DE SOURCE ET D'AIRES DE PROTECTION APPLICABLES AUX PRÉLÈVEMENTS FSB. L'ASTÉRISQUE INDIQUE QUE CES RÈGLES SONT LIÉES À L'APPLICATION PRÉALABLE D'UNE CLASSIFICATION DE TYPE ESSIDES, GUDI OU ASSIMILÉ.	16
TABLEAU 3 : AIRES DE PROTECTION EAU SOUTERRAINE ET GUDI - ONTARIO	19
TABLEAU 4 : CRITÈRES POUR L'OBTENTION DE CRÉDITS D'ENLÈVEMENT À L'AIDE DE FILTRATION NATURELLE	24
TABLEAU 5 : CRÉDITS D'ENLÈVEMENT DE LA « MICROBIAL TOOLBOX » AUX ÉTATS-UNIS [43]	26
FIGURE 1 : SCHÉMA CONCEPTUEL DE LA FILTRATION SUR BERGE	8
FIGURE 3-1 : EXEMPLE D'AIRES DE PROTECTION D'UN Puits GUDI EN ONTARIO [35].	20
FIGURE 2 : EXEMPLE DE DÉLIMITATION CONJONCTIVE D'AIRES DE PROTECTION AUTOUR D'UN CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE (POINT VERT) POUR LES EAUX DE SURFACE (EN ROUGE) ET LES EAUX SOUTERRAINES (EN VERT) DANS LE CAS DE LA VIRGINIE OCCIDENTALE [38] ..	22
FIGURE 3 : ILLUSTRATION DES AIRES DE PROTECTION APPLICABLES DANS LE CAS DE CAPTAGE DE FSB EN NOUVELLE-ZÉLANDE, TIRÉ DE [23]. LA ZONE 1 EST ASSIMILABLE À L'AIRES DE PROTECTION IMMÉDIATE AU QUÉBEC, LA ZONE 2 (TEMPS DE SÉJOUR DE 1 AN JUSQU'AU PUITS) EST ASSIMILABLE À L'AIRES DE PROTECTION INTERMÉDIAIRE BACTÉRIOLOGIQUE DU RPEP ET LA ZONE 3 EST ASSIMILABLE À L'AIRES D'ALIMENTATION DU Puits.....	23

1 Contexte

1.1 La filtration sur berge

Le terme filtration sur berge (FSB) se réfère à l'exploitation de l'eau souterraine par des installations de prélèvement localisées dans des matériaux géologiques perméables à proximité des lacs et rivières. L'eau pompée est alors un mélange entre l'eau souterraine régionale et l'eau de surface infiltrée (Figure 1). Certains utilisent le terme "filtration sur berge induite", car le processus d'infiltration depuis les eaux de surface peut également se produire naturellement. Par souci de simplicité, le terme « filtration sur berge » sera cependant utilisé dans ce document, bien qu'il se réfère à un pompage délibéré. De même, le terme « puits » sera utilisé pour se référer aux installations de prélèvement, bien que ces dernières pourraient également être des drains, par exemple.

Durant la FSB, l'eau de surface s'infiltré à travers la zone hyporhéique [1], interface biogéochimique active entre l'eau de surface et l'eau souterraine, puis s'écoule au travers des berges vers l'installation de prélèvement. Durant ce passage souterrain, la FSB met à profit la capacité naturelle des sédiments à épurer les eaux de surface, réduisant les traitements de potabilisation par rapport à un prélèvement direct d'une eau de surface, tout en maximisant les volumes exploitables. La FSB cumule ainsi les avantages de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Ce prétraitement naturel repose sur un large éventail de processus de purification physiques et biogéochimiques naturels.

Une fois extraite du puits, l'eau peut au besoin être traitée par des systèmes techniques pour atteindre la qualité d'eau requise pour l'utilisation finale. Les sites de FSB consistent généralement en une galerie de puits ou une ligne de puits parallèle à la rive du plan d'eau de surface. La proportion d'eau de surface captée est variable selon la proximité avec le plan d'eau, le gradient hydraulique régional ou l'hydrostratigraphie : elle sera moins forte dans le cas d'un gradient hydraulique fort, que l'on retrouverait dans une vallée étroite par exemple, ou en présence d'une couche semi-perméable entre les puits et le cours d'eau.

La capacité d'un site de FSB à atténuer les contaminants présents dans l'eau de surface est directement liée au taux de mélange de l'eau souterraine régionale avec l'eau de surface infiltrée, ainsi qu'au temps de séjour de cette dernière dans le sol et aux conditions biogéochimiques dans l'aquifère. Ces paramètres peuvent varier au cours du temps, en fonction de la période de l'année (recharge, étiage), des schémas de pompage, mais surtout des conditions climatiques. Bien que la qualité de l'eau brute soit considérée satisfaisante dans la grande majorité des cas, un certain nombre d'enjeux de qualité spécifiques aux sites de FSB ont été mis en évidence, illustrés par des évolutions tant à long terme que rapides de la qualité. Les contaminants présents dans l'eau

peuvent être d'origine microbologique (bactéries [2], cyanobactéries [3]), en lien avec le Fe ou le Mn dissous [4], d'origine industrielle ou pharmaceutique [5].

Dans un contexte de changements climatiques, l'augmentation des inondations ainsi que des étiages dans les rivières aura un impact sur cette capacité d'atténuation [6]. La pérennité de la capacité d'atténuation de contaminants des sites de FSB soulève donc des enjeux d'importance fondamentale en lien avec l'évaluation de la vulnérabilité des sources et leur protection.

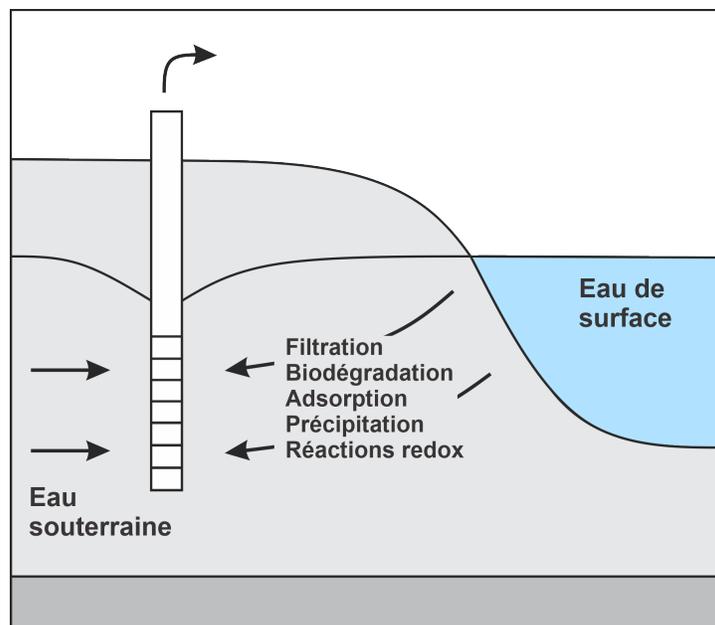


Figure 1 : Schéma conceptuel de la filtration sur berge

1.2 Encadrement des sources d'eau potable au Québec : l'approche à barrières multiples

Cette section introductive reprend notamment des éléments du rapport « *Identification des sites de prélèvement d'eau souterraine en situation de filtration sur berge et exploration d'indicateurs de leur vulnérabilité face aux changements climatiques par un suivi temporel géochimique et isotopique* » préparé pour le MELCC par l'équipe du Professeur Baudron.

Au Québec, l'approche à barrières multiples est utilisée pour identifier les menaces et assurer la qualité de l'eau du réseau d'approvisionnement, de la source au robinet [7]. La première barrière, soit la protection des sources d'eau, est encadrée par le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (RPEP). Elle est mise en place grâce à l'analyse de vulnérabilité de la source et l'élaboration du plan de protection. La deuxième barrière, le traitement de l'eau, encadrée par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP), permet de s'assurer que les traitements effectués sur l'eau brute à l'usine de production soient adaptés pour faire face à la variabilité de la qualité associée à l'origine de l'eau pompée. La troisième barrière est centrée sur le réseau de

distribution de l'eau et ne sera pas abordée dans ce rapport. Si une de ces barrières fait défaut, les deux autres permettront malgré tout d'assurer la qualité de l'eau potable.

1.2.1 Mise en œuvre de la barrière 1

Dans le RPEP, la protection des sources d'eau potable est assurée en encadrant l'aménagement des installations de prélèvement d'eau ainsi que certaines activités susceptibles de porter atteinte à la qualité de l'eau. Plus précisément, le règlement vise à prescrire des normes pour l'aménagement des installations de prélèvement d'eau et à délimiter leurs aires de protection. Trois catégories de prélèvement (applicables à la fois aux eaux souterraines et aux eaux de surface) sont définies (art. 51 RPEP):

- Catégorie 1 :
 - Système d'aqueduc d'une municipalité alimentant plus de 500 personnes et au moins une résidence
- Catégorie 2 :
 - Système d'aqueduc d'une municipalité alimentant de 21 à 500 personnes
 - Autre système d'aqueduc alimentant 21 personnes et plus et au moins
 - Une résidence
 - Un établissement d'enseignement, de détention ou de santé/services sociaux
- Catégorie 3 :
 - Établissement à des fins de transformation alimentaire
 - Entreprises ou établissement touristique (saisonnier ou non)
 - Tout autre système desservant 20 personnes et moins (incluant les résidences isolées).

Le Guide de détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC (MELCC, 2019) et le Guide de réalisation des analyses de vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec [9], sont des outils de mise en œuvre du RPEP, dans lequel les deux types de sources d'eau sont traités séparément (eaux souterraines: articles 53 à 68; eaux de surface : articles 69 à 75).

Aires de protection

Quatre aires de protections sont définies autour d'un prélèvement d'eau souterraine, soit l'aire de protection immédiate, l'aire de protection intermédiaire bactériologique, l'aire de protection intermédiaire virologique et l'aire de protection éloignée. Les aires de protection immédiates sont délimitées selon un cercle autour du puits, dont le rayon dépend de la catégorie de prélèvement. Les limites des aires de protection intermédiaires (virologiques et bactériologiques), sont définies

selon la catégorie de prélèvement, soit par le temps de migration de l'eau souterraine (catégorie 1), soit par une distance donnée par rapport au puits (catégories 2 et 3). La limite des aires de protection éloignées consiste en l'ensemble de l'aire d'alimentation du puits pour les puits de catégorie 1 et à 2km en amont hydraulique pour les puits de catégorie 2. La détermination de l'aire de protection éloignée n'est pas requise pour les puits de catégorie 3.

Dans le cas des eaux de surface, les aires de protection sont délimitées uniquement pour les prélèvements de catégorie 1 et 2 et dépendent du milieu où est situé le prélèvement (lac, cours d'eau, fleuve avec inversion de courant et fleuve sans inversion de courant). Les aires de protection immédiate et intermédiaire comprennent la surface des cours d'eau et des plans d'eau se trouvant à une distance donnée (ou différente en amont et en aval) de la prise d'eau et incluent une bande de terre à partir de la ligne des hautes eaux. L'aire de protection éloignée, délimitée uniquement pour les prélèvements de catégorie 1, correspond au bassin versant en amont du site de prélèvement, incluant la partie aval de l'aire intermédiaire.

1.2.2 Mise en œuvre de la barrière 2

Le RQEP établit des objectifs de traitements à l'eau brute applicables à toute installation de production d'eau destinée à la consommation. Ce règlement prescrit, entre autres, que la désinfection et la filtration de l'eau soient nécessaires si elle provient d'une eau de surface, d'une eau souterraine qui démontre une contamination, ou d'une eau souterraine sous influence directe d'une eau de surface (ESSIDES). Dans ce dernier cas, la définition du terme « eau de surface » n'est pas dédiée aux lacs et rivières, qu'elle n'englobe pas nécessairement, mais réfère à toute eau apportant une contamination à la suite d'une infiltration rapide depuis la surface. Cela inclut particulièrement des processus de pollutions locales liés à des sites de prélèvement très peu profonds, en mauvais état, ou mal conçus, qui permettent une infiltration directe de l'eau de pluie le long du tubage. Au Québec, la classification ESSIDES permet de statuer sur les risques de contamination d'une eau souterraine lorsqu'on fait face à une situation où le classement de cette eau est complexe, principalement lorsqu'il y a risque de contamination directe à partir de la surface. Les critères utilisés dans cette classification se réfèrent principalement à la qualité bactériologique de l'eau brute et, dans une moindre mesure, à des facteurs morphologiques comme les contextes hydrogéologiques ou la distance entre l'eau de surface et l'installation de prélèvement.

Prélèvements hybrides

Pour les sites prélevant à la fois une eau de surface et une eau souterraine, comme dans le cas de la FSB, le *RPEP* ne spécifie pas si la détermination des aires de protection et de la vulnérabilité doit être faite en considérant qu'il s'agit de sources d'eau potables hybrides. Ils sont donc

considérés comme prélevant des eaux souterraines uniquement. Lorsqu'ils sont identifiés comme présentant un risque microbiologique pour la santé humaine, les sites de FSB sont indirectement couverts par le classement *ESSIDES*, qui requiert alors un traitement similaire à une eau de surface (barrière 2). Ce dernier n'est cependant pas dédié spécifiquement au cas de la FSB. Surtout, le prélèvement reste considéré comme une eau souterraine quant à la protection de la source (barrière 1). En conséquence, leurs aires de protection ne prennent pas en compte les enjeux particuliers de vulnérabilité de la FSB, caractérisée par des conditions biogéochimiques qui évoluent en fonction des conditions climatiques et des séquences de pompage.

1.3 Objectifs

Dans un contexte de changement climatique, des mesures de protection dédiées pourraient être un atout de poids pour anticiper l'évolution de la vulnérabilité des sites de FSB. La présente revue de littérature a pour objectif général d'effectuer une revue des informations existantes au Canada et dans d'autres juridictions qui s'appliquent à la protection des sources dans le cas de sources hybrides. Plus spécifiquement, elle vise à :

1. Déterminer les critères permettant l'identification des sites de FSB, que ce soit de manière directe et à vocation exhaustive (catégorie spécifiquement dédiée à la FSB) ou indirecte et non exhaustive (via l'inclusion au sein d'une autre catégorie);
2. Distinguer les juridictions qui considèrent un prélèvement de FSB comme eau de surface ou eau souterraine vis-à-vis de la protection de la source;
3. D'évaluer si les aires de protection de ces captages incluent la protection de l'eau de surface et le cas échéant, d'en illustrer certains critères;
4. D'explorer certains aspects spécifiques liés au traitement de l'eau en FSB.

1.4 Portée et limitations

Cette revue de législations non exhaustive couvre des provinces canadiennes (Québec, Alberta, Colombie-Britannique, Nouvelle Écosse et Ontario), des états américains (Virginie Occidentale, Maine, Maryland et Californie), des pays européens (France, Espagne, Pays-Bas, Allemagne, Italie, Suisse) ainsi que l'Australie et la Nouvelle Zélande. Elle est centrée sur les prélèvements semblables à la catégorie 1 du *RPEP* (desservant l'équivalent de 500 personnes ou plus et au moins une résidence). En l'absence d'articles scientifiques portant spécifiquement sur le sujet, les références consultées ont essentiellement consisté en des normes, des manuels techniques et des documents gouvernementaux. Des experts de plusieurs pays européens (Espagne, France, Allemagne, Pays-Bas, Suisse, Italie) ont également été directement consultés.

Le cadre juridique et le vocabulaire étant variable d'un pays à un autre, cette étude a comparé entre eux des guides techniques, lois, normes et recommandations à la portée distincte.

Typiquement, la vision conceptuelle de la séparation entre eaux de surface et souterraine est variable, à l'exemple de la classification ESSIDES au Québec. Le protocole pour déterminer si le prélèvement est ESSIDES ou non se fait sur l'eau brute, mais la classification qui s'en suit a des implications sur le suivi et le traitement de l'eau (voir sections 3 et 4). Aussi, comme les différentes juridictions emploient des terminologies variées, ce sont autant que possible celles du Québec qui seront utilisées comme référence. Tous les thèmes d'intérêt ne sont pas nécessairement traités ni réunis dans un même règlement, tandis que la complexité des énoncés réglementaires rend parfois difficile la compréhension de leur portée. Finalement, le caractère obligatoire varie d'une juridiction à une autre. En conséquence, la comparaison entre les différentes législations a requis de fréquentes prises de décision. En cas de divergence avec les énoncés réglementaires, ceux-ci ont naturellement préséance.

2 Identification des sites de FSB

2.1 Directe

2.1.1 Pays-Bas

Aux Pays-Bas, les sites de FSB sont identifiés par la méthode de classification ABIKOU [10], qui distingue les différentes sources d'approvisionnement [11]. La lettre A correspond aux eaux souterraines d'un aquifère à nappe libre dans des sols sableux, la lettre B à celles d'un aquifère à nappe semi-captive, la lettre I à des eaux de surface infiltrées artificiellement, la lettre O aux eaux de surface et la lettre U aux « eaux souterraines de berges ». Cette dernière concerne les eaux souterraines composées d'un mélange d'eau de surface infiltrée avec 10-90% d'eau souterraine locale. Lorsque le temps de séjour des eaux de surface dans les berges est inférieur à 250 jours, on parle de FSB, lorsqu'il est supérieur, on parle de « eaux souterraines de berges ». Pour la détermination de ces paramètres, des méthodes géochimiques et isotopiques sont recommandées [12]. Nous n'avons pas trouvé de critères plus explicites, notamment en termes de distance à l'eau de surface, de contexte hydrogéologique ou de profondeur des puits.

2.1.2 Allemagne

L'Allemagne présente un inventaire spécifique à ses sites de FSB [13], qui sépare notamment les sites de FSB des eaux de surface et des eaux souterraines. Il est mentionné que pour les sites de FSB, il est nécessaire de déterminer la proportion d'eau de surface et d'eau souterraine. Pour autant, des critères de détermination précis n'ont pas pu être identifiés dans le cadre de cette revue de littérature.

2.2 Indirecte

2.2.1 Canada, Australie, États-Unis, Nouvelle-Zélande

Dans certains pays (Australie, États-Unis, Nouvelle-Zélande) et provinces canadiennes (Ontario, Alberta, Saskatchewan, Colombie-Britannique, Nouvelle-Écosse, Terre-Neuve-et-Labrador, Yukon) on utilise un concept tiré des normes états-uniennes [14] et baptisé « Groundwater under direct influence of surface water » (*GUDI*, ou *GWUDI*) ou « Groundwater at risk of containing pathogens » (*GARP*). Ce concept décrit les protocoles et normes semblables à l'identification des prélèvements *ESSIDES*. Afin de simplifier la lecture, ce document regroupe *GUDI*, *GWUDI* et *GARP* dans l'acronyme unique *GUDI*. Noter que la mention « eau de surface » n'est pas spécifique aux lacs et rivières. Elle se réfère plus généralement à toute eau s'infiltrant depuis la surface du sol, que ce soit par infiltration de long du tubage du puits, par infiltration à partir de la surface (fosses

septiques, rejets d'usines ou autres), ou latéralement à partir d'un plan ou cours d'eau à proximité (comme dans le cas de la FSB).

Ces protocoles *GUDI* ne visent pas à identifier et agir spécifiquement sur les sites de filtration sur berge. Cependant, ils incluent des critères quantitatifs de localisation par rapport à l'eau de surface (distance typique de 60 à 100 mètres entre les puits et l'eau de surface) et de type de puits (p. ex. puits rayonnant, puits de faible profondeur). Dans la classification *ESSIDES* du Québec, ces deux types de critères sont également considérés, mais de manière moins formelle et laissées à l'appréciation du concepteur professionnel. **Soient-ils qualitatifs (ESSIDES) ou quantitatifs (GUDI), les critères d'application sont donc une reconnaissance implicite de l'existence de la FSB, via la prise en considération du lien hydraulique avec l'eau de surface.** Au Yukon, le protocole de détermination *GUDI* se déclenche automatiquement lorsque l'aire de protection immédiate d'un prélèvement d'eau souterraine intersecte une rivière ou un lac.

Un autre paramètre utilisé comme critère d'identification dans certains protocoles *GUDI* est le temps de séjour dans les berges (p. ex. 50 jours entre l'eau de surface et le puits en Saskatchewan). Il est mentionné dans tous les protocoles sauf celui du Québec et de l'Ontario. Dans le cas de l'Ontario, le nouveau protocole *GUDI* développe une nuance sur la représentativité d'un temps de séjour moyen, qui ne sera pas nécessairement révélateurs de la survie et du transport des agents pathogènes dans le sous-sol.

Les protocoles *GUDI* ont en commun d'être constitués de phases de caractérisation successives, dont une synthèse interprétative est proposée dans le Tableau 1. Chaque phase est composée de critères à atteindre pour être exempté de l'appellation *GUDI*. Un puits qui passe tous les critères de la phase 1 du protocole ne sera pas considéré *GUDI* et aura un statut de puits d'eau souterraine. S'il ne respecte pas un critère de la phase 1, il doit se soumettre à une caractérisation selon la phase 2. Si le puits respecte tous les critères de la phase 2, il est considéré comme eau souterraine. Sinon, il doit passer à la phase 3. À une fin de simplification et de comparaison, une quatrième étape est indiquée dans le tableau (p.ex. Saskatchewan), bien que la dénomination officielle soit légèrement différente. À tout moment en cours de route, un responsable de prélèvement peut également décider de le déclarer directement *GUDI*, et d'en assumer les conséquences en termes de protection de la source (section 3) et de traitement (section 4). Tel qu'illustré pour certaines d'entre elles par le Tableau 1, **la multitude de différences dans l'ordre et le poids attribué à chaque critère de classification entre les législations est un signe de la diversité des approches quant à l'utilisation des protocoles *GUDI* pour identifier la connexion surface/souterrain.**

Tableau 1 : Description des phases de détermination d'une eau sous influence directe pour différentes juridictions. Chacune procède en suivant par ordre chronologique les différentes étapes ici résumées.

		Ont. (2001)	Ont. (2019, en révision)	Qc.	Sask.	Alb.	C.-B.	N.-É.	T.- N.-L.	N.-Z.	Yukon
Nom du protocole		GWUDI	GWUDI	ESSIDES	GUDI	GWUDI	GWUDI- GARP	GUDI	GUDI	GWUDI	GUDI
Phase I: Critères de vulnérabilité	I-1 Critère d'historique de qualité de l'eau brute										
	I-2 Critère de construction du puits										
	I-3 Critère de localisation										
Phase II: Étude hydrogéologique	II-1 Preuve lien hydraulique										
	II-2 Identification temps de séjour										
	II-3 Caractérisation de l'eau brute (suivi)										
Phase III: Analyse microscopique des particules (MPA)											
Référence		[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]
	Étape 1										
	Étape 2										
	Étape 3										
	Étape 4										

3 Type de source et aires de protection applicables

Cette section vise à identifier le type de source (de surface ou souterraine) qui est directement ou indirectement attribué aux sites de FSB dans différentes juridictions. Elle vise également à décrire le type d'aire de protection considérée (eau souterraine uniquement, eau de surface uniquement, ou combinaison eau souterraine et eau de surface) qui s'applique. **Dans un certain nombre de cas, cette identification passe par l'attribution du prélèvement à la catégorie GUDI, qui permet d'identifier indirectement une partie des puits de FSB.** Ces cas sont identifiés par un astérisque dans le Tableau 2, et décrits dans la section 2. Hormis pour de rares cas (Pays-Bas, Allemagne), **lorsque cette section fait référence aux puits FSB, il s'agit donc d'une prise en considération non exhaustive** car non dédiée.

Tableau 2 : Type de source et d'aires de protection applicables aux prélèvements FSB. L'astérisque indique que ces règles sont liées à l'application préalable d'une classification de type ESSIDES, GUDI ou assimilé.

Juridiction	Type de source considéré		Type d'aire de protection		Référence
	Eau souterraine	Eau de surface	Eau souterraine	Eau de surface	
Québec	X		X		[17]
France	X		X	<i>Suggéré</i>	[25]
Espagne	X		X		[26]
Pays-Bas	X	<i>Via ÉQRM, voir 3.5</i>	X		[27] [28]
Allemagne	X		X		[27]
Italie	X		X		[27]
Suisse	X		X		[27]
Autriche	X		X		[27]
Ontario*	X	X	X	X	[29]
Alberta*	X	X	X	X	[30]
Colombie Britannique*	X	X	X	X	[20]
Nouvelle Écosse*	X	X	X	X	[21]
US-EPA* et États étudiés	X	X	X	X	[31] [32]
Nouvelle-Zélande	X	X	<i>Sauf exceptions</i>	X	[23]

3.1 Québec

Au Québec, même s'il est avéré qu'une partie de l'eau prélevée par un captage d'eau souterraine provient d'un plan d'eau de surface ou que le puits est de type *ESSIDES*, la réglementation ne prescrit pas de disposition spécifique quant à la protection de la source [33]. **Un captage *ESSIDES* est ainsi considéré comme eau souterraine au regard de la barrière 1, bien qu'il le soit comme une eau de surface au regard de la barrière 2.**

Noter qu'il existe une recommandation de considérer le cours d'eau ou plan d'eau dans la protection de la source lorsqu'une évidence de contribution à l'eau souterraine est présente [34]. Ainsi, « le professionnel qui délimite des aires de protection pour un prélèvement d'eau souterraine qui capte de l'eau de surface (*ESSIDES* ou non) devrait recommander au responsable du prélèvement et au professionnel qui réalisera l'analyse quinquennale de vulnérabilité de surveiller les activités potentiellement polluantes pouvant survenir dans l'eau de surface, car certains contaminants persistants pourraient migrer jusqu'au prélèvement d'eau souterraine ». Il est fait référence à de la contamination qui n'est pas nécessairement microbiologique, ce qui distingue cette recommandation de l'évaluation *ESSIDES*. Dans le même sens, le guide mentionne « qu'il importe d'inventorier les cours d'eau et plans d'eau à proximité du site de prélèvement, car les eaux de surface pourraient constituer un vecteur de contaminants pour les eaux souterraines si elles sont sous leur influence directe, c'est-à-dire si le pompage de l'eau souterraine induit un appel d'eau de surface vers le puits ». Toutefois, le guide nuance en expliquant que « une installation de prélèvement d'eau souterraine peut parfois capter en partie de l'eau de surface, mais sans effet sur la qualité microbiologique de l'eau et donc sans que l'eau de l'installation soit considérée comme *ESSIDES* ».

3.2 Espagne

En Espagne, **toute eau prélevée par un puits est considérée comme de l'eau souterraine** [26]. Il n'existe pas de norme particulière permettant de prendre en compte un lien hydraulique avec un lac ou une rivière à proximité, ni une possible contamination microbiologique qui lui serait liée. D'une manière générale, la législation espagnole quant à la protection de la source est surtout focalisée sur des problématiques de disponibilité de la ressource, plus que de qualité, étant données les régulières sécheresses et le déficit hydrique récurrent d'une partie importante du territoire.

3.3 France

En France, **il n'y a pas de protection particulière pour les puits qui seraient en conditions de FSB, car tous les puits sont considérés capter de l'eau souterraine.** Lorsqu'une connexion est

supposée entre la nappe et les cours d'eau présents au voisinage du captage, le guide méthodologique [25] indique d'attacher une importance particulière à identifier le sens de ces échanges. Il suggère fortement de les quantifier à l'aide d'une modélisation numérique, dont les résultats seront typiquement confirmés par une estimation de l'origine des eaux pompées à l'aide d'un traceur hydrogéochimique ou par analyses isotopiques. Aussi, une fois qu'une alimentation partielle d'un puits de captage d'eau souterraine par un cours d'eau est confirmée, l'aire de protection éloignée devra donc au minimum inclure les limites du bassin versant de ce cours d'eau (voir section 5.2.3 du document [25]). S'il ne décrit pas de méthodologie à cet effet, le guide mentionne l'importance de développer une approche qui serait commune à tous les bureaux d'étude afin de rendre compatibles les aires de protection définies, sous peine d'en remettre en cause l'acceptation. Notamment, le guide souligne le caractère peu réaliste de l'intégration de la totalité du bassin versant d'un grand cours d'eau, citant l'exemple de la Seine (18% du territoire français) et proposant alors une délimitation délibérément inférieure.

3.4 Suisse, Allemagne, Autriche, Italie

En Suisse, en Allemagne, en Autriche et en Italie, on considère **qu'une eau de surface devient de l'eau souterraine à partir du moment où elle s'infiltré. Il n'y a donc pas de distinction particulière pour les puits qui seraient en conditions de FSB quant à la protection de la source.** Des aires de protection intermédiaire des eaux souterraines, basées sur des temps de résidence de 10 jours en Suisse, 50 jours en Allemagne et 60 jours en Autriche [27], ont démontré, par l'usage, être suffisantes pour éviter que les bactéries, protozoaires et virus n'atteignent les puits de pompage.

3.5 Pays-Bas

Aux Pays-Bas, **bien que les sites de FSB soient spécifiquement définis comme des sources hybrides eau souterraine/eau de surface, ils sont considérés comme des prélèvements d'eau souterraine pour la protection de la source** [27]. Une aire de protection intermédiaire de 60 jours, identique pour tout prélèvement d'eau souterraine, s'applique autant pour l'eau souterraine locale que pour l'eau de surface infiltrée. Une nuance importante réside cependant dans la réalisation obligatoire, indépendamment de la définition des aires de protection et requise pour tout prélèvement d'eau potable aux Pays-Bas, d'une évaluation quantitative du risque microbien [28]. Pour les prélèvements d'eau souterraine de type A, B, ou d'eau souterraine provenant de berges (définis dans la section 2.1), un modèle de calcul d'*ÉQRM* simplifié est suffisant. Dans le cas des sites de FSB, c'est l'eau de surface qui doit être considérée dans le modèle *ÉQRM* comme la source pour ce qui est de la concentration en pathogènes. **L'eau de surface est alors incluse de facto, via l'*ÉQRM*, dans la protection de la source du prélèvement.**

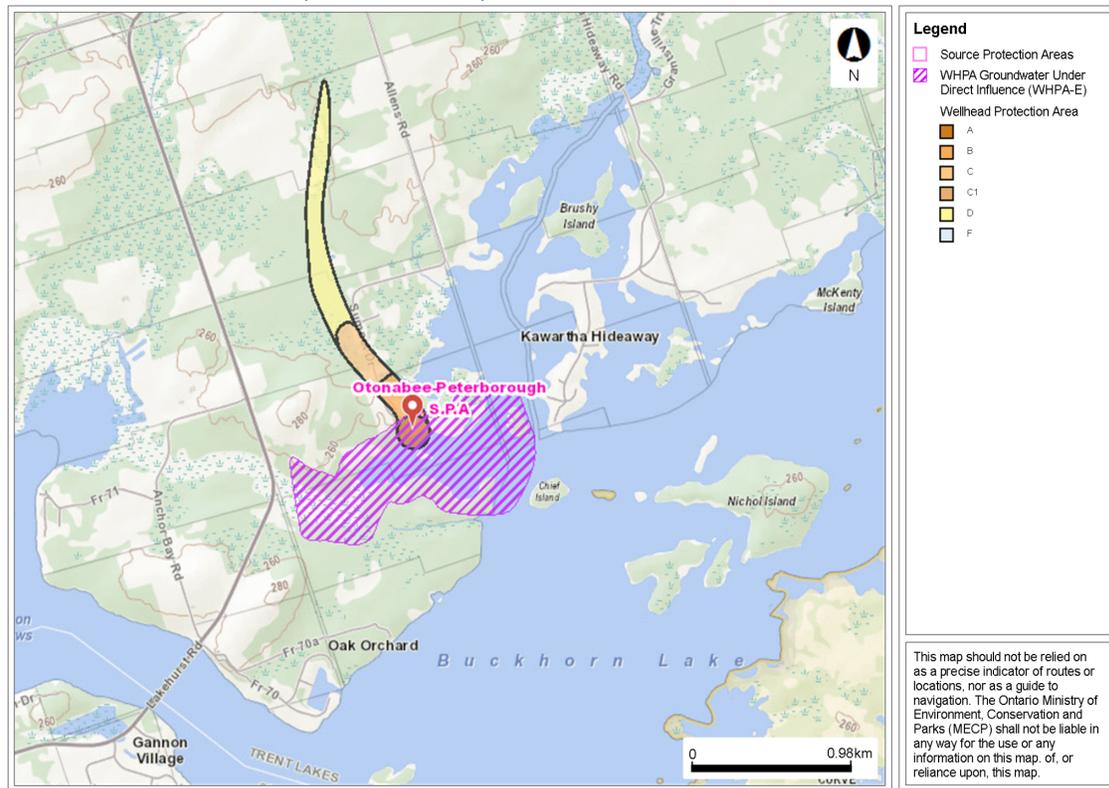
3.6 Ontario

En Ontario, les plans de protection des sources sont établis par régions (appelés les *Sources Protection Region*), à partir des *Technical rules under the Clean Water Act* [29]. Ces règlements permettent d'identifier les aires de protection entourant tous les types de captage d'eau potable. Les aires de protection entourant les puits d'eau souterraine sont appelées WHPA (WellHead Protection Area), avec différentes zones de protections indiquées au Tableau 3. Tout captage d'eau souterraine doit appliquer les aires de protection de A à D, incluant **les puits GUDI qui doivent en plus appliquer l'aire de protection IPZ-2 correspondant à la catégorie WHPA-E.**

Tableau 3 : Aires de protection eau souterraine et GUDI - Ontario

	Surface et "subsurface" dans un rayon :
WHPA-A	De 100 mètres
WHPA-B	De 2 ans de temps de séjours
WHPA-C	Entre 2 ans et 5 ans de temps de séjours
WHPA-D	Entre 5 ans et 25 ans de temps de séjour
WHPA-E	Appliquer une aire de protection IPZ-2

L'aire de protection IPZ-2 (Intake Protection Zone) est une aire de protection associée aux captages d'eau de surface, comme si le point de captage était situé à l'interface entre l'eau souterraine et l'eau de surface, soit au niveau de la berge. L'aire de protection IPZ-2 est définie comme l'aire d'eau de surface qui correspond au temps de séjour minimal qui permettrait à un opérateur de faire face à un changement de qualité dans l'eau de surface, **soit 2 heures en amont du point de prélèvement.** Au niveau des berges qui sont en contact avec l'eau de surface, l'aire de protection des eaux de surface doit s'étendre à 120 mètres à partir de la ligne de hautes eaux. L'application de ces règlements peut être visuellement identifiée à l'aide du *Source Protection Information Atlas du Ministry of the Environment, Conservation and Parks de l'Ontario* [35], dont un exemple est donné à la Figure 3-1. On y constate clairement que les **aires de protection des puits GUDI incluent à la fois les aires de protection associées aux prélèvements d'eau de surface et celles associés aux prélèvements d'eau souterraines** [15].



Ontario © Queen's Printer for Ontario, 2021

Figure 3-1 : Exemple d'aire de protection d'un puits GUDI en Ontario [35].

3.7 Alberta, Colombie Britannique, Nouvelle-Écosse

En Alberta [30], Colombie-Britannique [20] et Nouvelle-Écosse [21], les **captages GUDI sont considérés comme eau de surface et souterraine pour la protection de la source**. Les aires de protections doivent être effectuées en considérant à la fois l'aire de protection des eaux souterraines et l'aire de protection des eaux de surface, sans toutefois que des méthodes ou des distances spécifiques soient systématiquement proposées.

3.8 États-Unis

Les normes de l'*United States Environmental Protection Agency* encadrent la création des *Source Water Assessment Program*, obligatoires dans chaque état américain, à partir du *Safe Drinking Water Act* [31]. Pour les systèmes alimentés par des eaux souterraines, il est reconnu qu'une composante d'eau de surface peut exister, avec une qualité d'eau contrastée qui pourrait compromettre la qualité de l'eau du prélèvement. Dans certaines conditions saisonnières ou de demande, la contribution des eaux de surface peut varier, entraînant un changement de la qualité de l'eau souterraine. Les prélèvements situés à côté ou à proximité de masses d'eau de surface

(par exemple, galeries, unités d'infiltration des berges) auront des caractéristiques de qualité d'eau de surface prédominantes avec un apport d'eau souterraine mineur. Par conséquent, la délimitation des zones de protection autour de ces types de prélèvements doit tenir compte de la qualité des eaux de surface ainsi que de la qualité des eaux combinées. On parle de « conjunctive delineation » des aires de protection [32]. Elles seront nommées *délimitations conjonctives* pour la suite du document. **Les captages identifiés comme GUDI sont naturellement concernés.** Les captages assimilés informellement à de l'eau souterraine directement connectée aux eaux de surface, mais sans évidence de contamination microbiologique, sont également concernés.

Un fort degré de liberté est laissé aux États, tant pour décider d'appliquer ces recommandations, que pour déterminer la méthode d'identification des connexions surface/souterrain et définir des critères de définition des aires de protection. À titre d'exemples :

- Au Maryland [36], les *délimitations conjonctives* sont utilisées si la modélisation d'un puits dans un système aquifère non confiné ou semi-confiné montre une quantité significative de recharge d'un cours d'eau vers le puits. Dans ce cas, une partie du bassin versant du cours d'eau peut être délimitée comme faisant partie de la zone contributive. L'utilisation d'outils de traçage pour délimiter ces zones est suggérée.
- Au New Jersey [37], les *délimitations conjonctives* sont restreintes aux puits *GUDI*. La limite amont de l'aire de protection associée aux eaux de surface est déterminée par l'intersection d'une aire correspondant à un temps de parcours de l'eau souterraine au puits de deux ans (soit, légèrement supérieure à l'aire de protection virologique au Québec) et le cours d'eau.
- En Virginie occidentale [38] ou en Californie [39], lorsqu'une partie de l'alimentation du puits provient d'une rivière ou lac, mais que la source n'a pas été classée comme *GUDI*, il convient d'inclure une aire de protection pour l'eau de surface correspondant à une bande de terrain en amont du ruisseau.

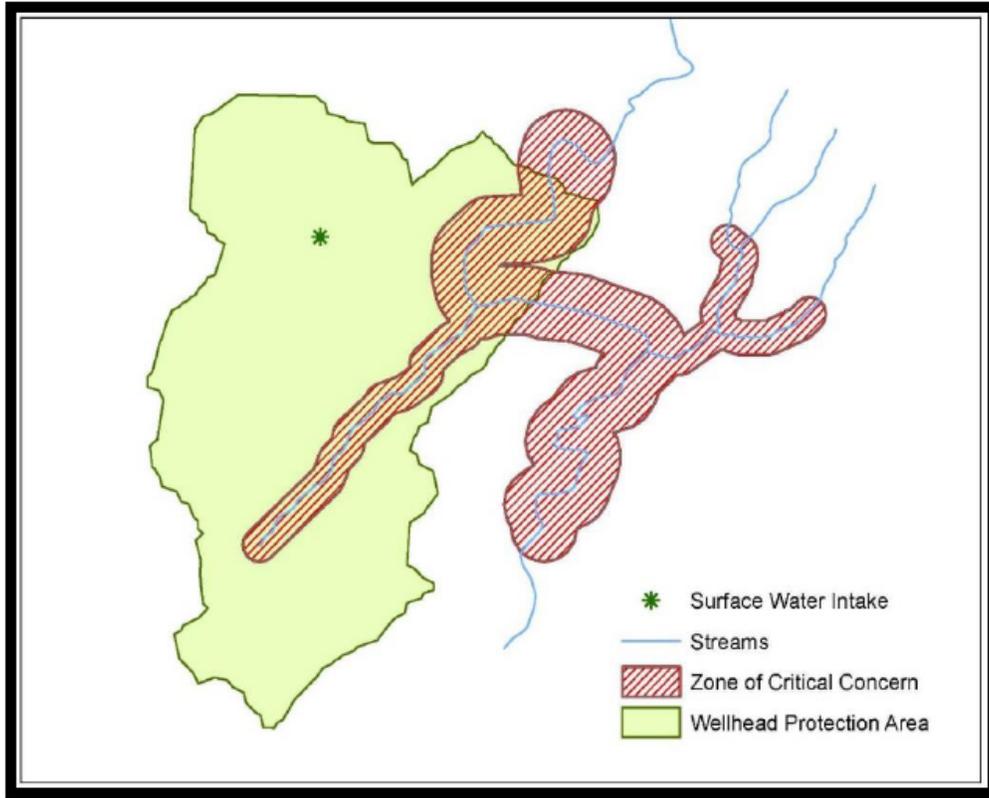


Figure 2 : Exemple de délimitation conjointe d'aires de protection autour d'un captage d'eau souterraine (point vert) pour les eaux de surface (en rouge) et les eaux souterraines (en vert) dans le cas de la Virginie Occidentale [38]

3.9 Nouvelle-Zélande

La réglementation de Nouvelle Zélande reprend le concept de *délimitation conjointe* [23]. Lorsque les limites de l'aire de protection intermédiaire d'un puits intersectent une eau de surface, l'aire de protection intermédiaire correspondant aux eaux de surface doit être ajoutée (Figure 3). Pour la partie de surface, l'aire de protection éloignée doit intégrer toute la surface du bassin versant. Mentionner que **lorsque le prélèvement provient d'un puits ou de galeries installés à proximité immédiate du lit de la rivière (par exemple, captage par drains), l'aire de protection immédiate est uniquement celle de l'eau de surface** (voir le Tableau 4 de cette référence).

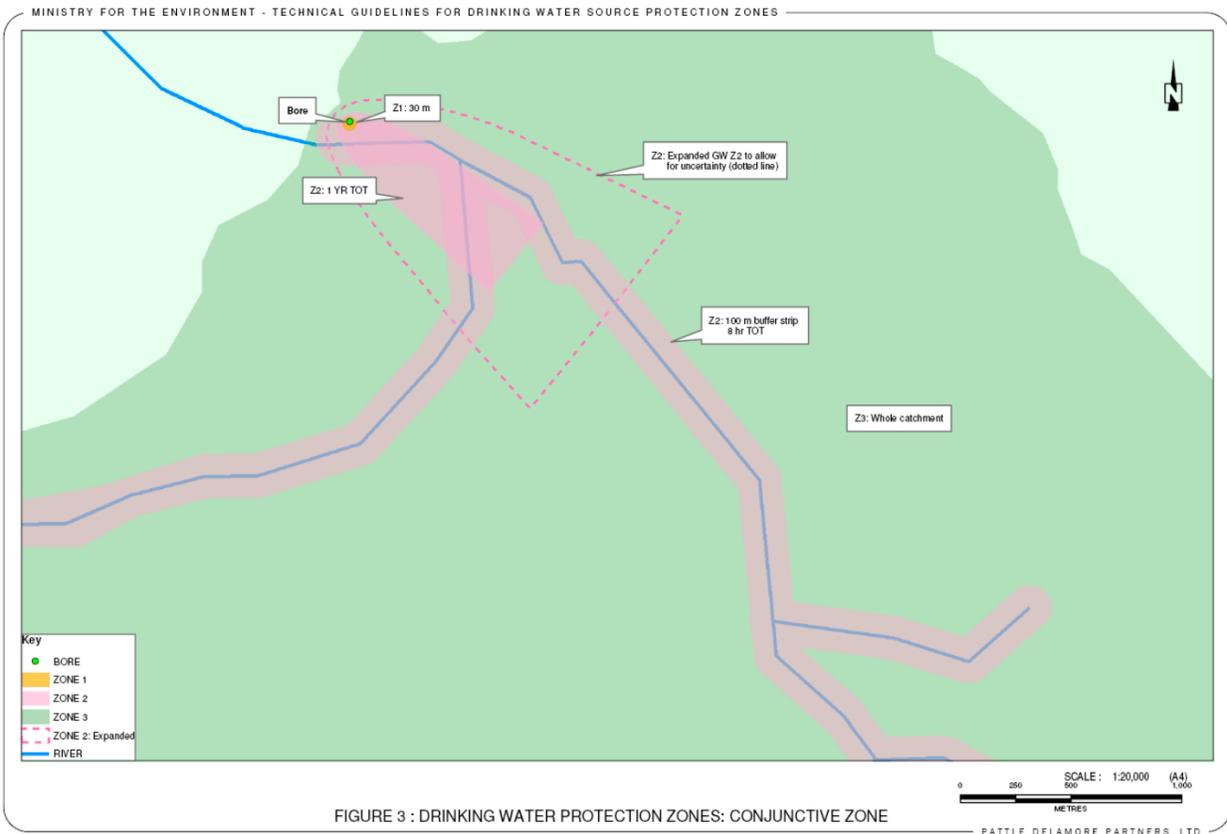


Figure 3 : Illustration des aires de protection applicables dans le cas de captage de FSB en Nouvelle-Zélande, tiré de [23]. La zone 1 est assimilable à l'aire de protection immédiate au Québec, la zone 2 (temps de séjour de 1 an jusqu'au puits) est assimilable à l'aire de protection intermédiaire bactériologique du RPEP et la zone 3 est assimilable à l'aire d'alimentation du puits.

4 Reconnaissance du prétraitement naturel de la FSB

Cette section décrit brièvement comment certaines juridictions valorisent la FSB comme une partie du traitement de l'eau de surface, visant typiquement à enlever les particules en suspension ou la turbidité. Ce faisant, elles intègrent la FSB comme un prétraitement de potabilisation de l'eau de surface à part entière, à l'instar d'autres technologies admissibles pour le traitement des virus et protozoaires (sable lent, ozonation...). En d'autres termes, la FSB peut être reconnue comme une option d'ingénierie pouvant apporter de précieux crédits d'enlèvement lors de la conception d'un système de potabilisation d'eau de surface. Le Tableau 4 résume les critères d'attribution et les crédits d'enlèvement qui peuvent être atteints.

Tableau 4 : Critères pour l'obtention de crédits d'enlèvement à l'aide de filtration naturelle

		C.-B.		N.-É.	Ont.		N.-Z.		É.-U.	
Nom du traitement		<i>Subsurface filtration</i>		<i>Natural in-situ attenuation</i>	NA		NA		Préfiltration, bank filtration	
Critères d'attribution	Distance minimale (m)	15		60	NA		7.5	15	7.5	15
	Crédit-log	3	4	1	2.5	2	0.5	1	0.5	1
	Type de pathogène	<i>Giardia et Crypto.</i>	Virus	<i>Giardia et Crypto.</i>	<i>Giardia</i>	Virus	<i>Crypto.</i>		<i>Crypto.</i>	
	Exemptions	Zone inondable		Aquifère karstique, zone inondable (100 ans)	NA	NA	Zone inondable (100 ans)		NA	NA
	Type de sédiments	Sable d<1,6mm		NA	Mort-terrain		Sable, non-confiné		NA	NA
Références		[40]		[41]	[42]		[23]		[43]	

4.1 Canada

Au Canada, malgré qu'aucune réglementation ne fait mention directement de la FSB comme méthode de gestion de la qualité et de la quantité de l'eau, des crédits d'enlèvement peuvent s'appliquer si un site *GUDI* respecte certaines caractéristiques. L'eau prélevée est ainsi considérée filtrée naturellement par le sous-sol, au même titre que le serait une eau traitée par des méthodes de filtration mises en place dans l'usine. Cela signifie que si le responsable peut prouver que le site est assez efficace pour filtrer les pathogènes, il pourra utiliser cette filtration naturelle pour l'aider à atteindre les exigences de traitement. Les critères d'obtention de ces crédits d'enlèvement, ainsi que le nom du traitement, sont résumés dans le Tableau 4.

4.2 Colombie Britannique

La Colombie-Britannique offre jusqu'à la totalité des crédits d'enlèvement exigés comme traitement de l'eau, soit 3-log pour les protozoaires et 4-log pour les virus pour les captages *GUDI* situés à plus de 15 mètres d'une eau de surface [40].

4.3 Nouvelle Écosse

La Nouvelle-Écosse propose des crédits d'enlèvement entre 1-log et 2.5-log, ce qui ne permet pas d'atteindre la totalité des réductions exigées, pour les captages *GUDI* situés à plus de 60 mètres d'une eau de surface [41].

4.4 Ontario

En Ontario, un captage *GUDI* situé dans du mort-terrain et identifié par un hydrogéologue comme ayant la capacité de filtrer efficacement le sol pourrait normalement permettre d'atteindre 2.5 crédits-log sur 3 pour les protozoaires et 2 crédit-logs sur 4 pour les virus [42].

4.5 Nouvelle-Zélande

En Nouvelle-Zélande, un site peut appliquer pour des crédits d'enlèvement uniquement si le système est échantillonné de façon suffisante depuis au moins deux ans. Un suivi spécifique est ensuite exigé pour la turbidité; soit un suivi en continu pour les puits distribuant l'eau à plus de 5000 personnes et un suivi journalier pour ceux de moins de 5000 personnes [23].

4.6 États-Unis

Les États-Unis sont la seule juridiction couverte par cette révision où la FSB est littéralement nommée comme une méthode de filtration acceptée pour aider à atteindre les exigences de réduction logarithmique associées aux oocystes de *Cryptosporidium*, au même titre que les bassins de pré-sédimentation et de coagulation [43]. Le Tableau 5 présente les différentes méthodes de traitement acceptées pour obtenir des crédits d'enlèvement aux États-Unis. Si un site *GUDI* applique pour des crédits d'enlèvement, un suivi semblable à celui demandé pour une eau de surface est exigé afin de s'assurer que les crédits attribués sont efficaces. De plus, 0.5-log de crédit d'enlèvement additionnel peut être envisagé si le bassin versant est dans un programme de gestion de la qualité. Ce demi-crédit est combinable avec les crédits pour la FSB uniquement si le site de filtration sur berge inclus une usine de filtration « classique ».

Tableau 5 : Crédits d'enlèvement de la « Microbial Toolbox » aux États-Unis [43]

Toolbox Option	<i>Cryptosporidium</i> treatment credit with design and implementation criteria
Source Protection and Management Toolbox Components	
(1) Watershed control program	0.5-log credit for State-approved program comprising EPA specified elements. Unfiltered systems are not eligible.
(2) Alternative source/intake management	Bin classification based on simultaneous <i>Cryptosporidium</i> monitoring at alternate source or under alternate intake management strategies.
Pre Filtration Toolbox Components	
(3) Presedimentation basin with coagulation	0.5-log credit during any month the basin achieves at least 0.5-log turbidity reduction or alternate State-approved performance criteria. Basin must be operated continuously with coagulant addition.
(4) Two-stage lime softening	0.5-log credit for two-stage softening with coagulant addition.
(5) Bank filtration	0.5-log credit for 25 foot setback; 1.0-log credit for 50 foot setback.
Treatment Performance Toolbox Components	
(6) Combined filter performance	0.5-log credit for combined filter effluent turbidity ≤ 0.15 NTU in 95% of samples each month.
(7) Individual filter performance	0.5-log credit (in addition to 0.5-log combined filter performance credit) for individual filter effluent turbidity ≤ 0.15 NTU in 95% of samples each month and no filter >0.3 NTU in two consecutive measurements.
(8) Demonstration of performance	Credit awarded to a unit process or treatment train based on a demonstration to the State through State-approved protocol.
Additional Filtration Toolbox Components	
(9) Bag or Cartridge filters (individual filters)	Up to 2-log credit based on a demonstration of removal efficiency in challenge testing with a 1-log factor of safety.
(10) Bag or Cartridge filters (in series)	Up to 2.5-log credit based on a demonstration of removal efficiency in challenge testing with a 0.5-log factor of safety.
(11) Membrane filtration	Log removal credit up to the lower value of the removal efficiency demonstrated during the challenge test or verified by the direct integrity test applied to the system.
(12) Second stage filtration	0.5-log credit for a second separate filtration stage in treatment process following coagulation.
(13) Slow sand filters	2.5-log credit for second separate filtration process.
Inactivation Toolbox Components	
(14) Chlorine dioxide	Log credit based on monthly demonstration of compliance with CT table.
(15) Ozone	Log credit based on monthly demonstration of compliance with CT table.
(16) UV	Log credit based on validated UV dose in relation to UV dose table; reactor validation testing required to establish UV dose and associated operating conditions.

5 Conclusion

Cette revue de littérature visait à effectuer une revue des normes existantes au Canada et dans d'autres juridictions et de résumer celles qui s'appliquent directement ou indirectement à la protection de la source en filtration sur berge (FSB).

Parmi les législations étudiées, seuls les Pays-Bas et l'Allemagne utilisent des critères d'identification spécifique aux sites de FSB, avec une vocation directe et exhaustive. Dans les autres législations, le terme FSB apparaît parfois, sous forme d'une brève mention, mais n'est pas repris par la suite ni inclus dans les législations. Au Canada, aux États-Unis, en Australie et en Nouvelle-Zélande, les protocoles assimilables à la classification ESSIDES du Québec et réunis dans ce document sous l'acronyme *GUDI*, définissent des critères de localisation incluant des seuils de distance à l'eau de surface, de profondeur et de lithologie permettant l'identification indirecte de certains sites de FSB. Les classifications *GUDI* ont alors des conséquences sur la protection des sources, ce qui est une différence importante avec le Québec, où cette classification est dédiée uniquement au suivi et au traitement de l'eau. Les approches utilisant les protocoles *GUDI* pour identifier la connexion surface/souterrain de manière indirecte et non-exhaustive sont très diversifiées. En effet, une multitude de critères de classifications sont utilisés selon les législations.

Les prélèvements de FSB sont considérés comme de l'eau souterraine pour la protection de la source dans tous les pays européens étudiés (France, Espagne, Pays-Bas, Allemagne, Italie, Autriche) ainsi qu'au Québec. En France et au Québec, il est certes recommandé de considérer, lorsqu'une connexion hydraulique est mise en évidence, le cours d'eau ou le plan d'eau adjacent à un captage d'eau souterraine dans la protection de la source. Ces recommandations n'ont cependant pas de caractère normatif et ne sont pas accompagnées de critères précis. Aux États-Unis, en Nouvelle-Zélande ainsi que dans les autres provinces canadiennes étudiées, la classification *GUDI* reconnaît qu'une composante d'eau de surface peut exister, avec une qualité d'eau contrastée qui pourrait compromettre la qualité de l'eau du prélèvement. La délimitation des aires de protection doit tenir compte à la fois des eaux de surface et des eaux souterraines. Les critères de définition des aires de protection associées aux eaux de surface pour les captages *GUDI* varient toutefois grandement d'une juridiction à l'autre. Aux Pays-Bas, la protection de la source des captages identifiés FSB fait appel aux mêmes aires de protection que pour tout autre captage d'eau souterraine, mais elle est complétée de l'application d'une évaluation quantitative du risque microbien (*ÉQRM*) qui inclut *de facto* l'eau de surface dans la protection de la source du prélèvement.

Plusieurs juridictions au Canada, en Nouvelle Zélande ou aux États-Unis, valorisent le passage souterrain de l'eau de surface aux sites *GUDI* comme un élément du traitement de potabilisation de l'eau de surface, à l'instar d'autres technologies utilisées pour la filtration ou le traitement des

virus et protozoaires. L'eau prélevée est considérée filtrée naturellement par le sous-sol, au même titre que le serait une eau traitée par des méthodes de filtration mises en place dans l'usine. La FSB est alors indirectement, voire directement dans le cas des États-Unis, reconnue comme une option d'ingénierie pouvant apporter des crédits d'enlèvement lors de la conception d'un système de potabilisation d'eau de surface. Il serait intéressant d'analyser si ces sites ont été mis en place spécifiquement pour se prévaloir de ces crédits ou si les législations ont adapté leurs réglementations pour accommoder des sites *GUDI* qui ont prouvé avec le temps qu'ils devraient pouvoir se substituer aux normes de traitement.

Cette revue de littérature a donc permis d'illustrer la diversité des approches pour la prise en considération des sites de FSB dans le cadre d'une approche multi-barrière. Un certain nombre de juridictions ont révélé considérer ces captages comme eau de surface et eau souterraine pour la protection de la source. Deux stratégies distinctes pour l'inclusion des eaux de surface dans la protection de la source des captages d'eau souterraines en situation de FSB ont été illustrées, le protocole *GUDI* et l'approche *ÉQRM*. Cependant, un enjeu majeur subsiste : identifier les sites de FSB, qui ne le sont généralement que de manière indirecte et non exhaustive. Aussi, il semble important de bien identifier les risques de contamination dans l'eau de surface en amont.

6 Références

- [1] J. Lewandowski *et al.*, « Is the Hyporheic Zone Relevant beyond the Scientific Community? », *Water*, vol. 11, n° 11, Art. n° 11, nov. 2019, doi: 10.3390/w11112230.
- [2] R. Dash, *et al* « River bank filtration in Haridwar, India: Removal of turbidity, organics and bacteria », *Hydrogeol. J.*, vol. 18, p. 973-983, juin 2010, doi: 10.1007/s10040-010-0574-4.
- [3] P. Pazouki *et al.*, « Breakthrough of cyanobacteria in bank filtration », *Water Res.*, vol. 102, p. 170-179, oct. 2016, doi: 10.1016/j.watres.2016.06.037.
- [4] T. Grischek et S. Paufler, « Prediction of Iron Release during Riverbank Filtration », *Water*, vol. 9, p. 317, avr. 2017, doi: 10.3390/w9050317.
- [5] M. J. Benotti, *et al.*, « Removal of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds through pilot- and full-scale riverbank filtration », *Water Supply*, vol. 12, n° 1, p. 11-23, févr. 2012, doi: 10.2166/ws.2011.068.
- [6] C. Sprenger, *et al.*, « Vulnerability of bank filtration systems to climate change », *Sci. Total Environ.*, vol. 409, n° 4, p. 655-663, janv. 2011, doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.11.002.
- [7] CCME, *De la source au robinet: guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine*. Winnipeg, 2004.
- [8] MELCC, « Détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC – Guide technique », 2019. Consulté le: 19 décembre 2020. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/drastic/>
- [9] MELCC, « Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec », p. 189, 2018.
- [10] P.J. Stuyfzand , « Salinization of drinking water in the Netherlands: anamnesis, diagnosis and remediation. SGU Rapport och Meddelanden 87, Proc. 14th SWIM, 16-21 June 1996, Malmö, Geol. Survey Sweden, Uppsala, 168-177. », 1996.
- [11] Wuijts, S. *et al* « Drinking-water aspects and the Water Framework Directive: protection of drinking-water from surface water », Bilthoven, The Netherlands., RIVM report 734301028, 2007.
- [12] P. J. Stuyfzand, « Multitracing of artificially recharged Rhine River water in the coastal dune aquifer system of the Western Netherlands », *Proceedings of the ISMAR-7 Conference, Abu Dhabi, 9-13 Oct 2010*, 2010.

- [13] FSA, « Approvisionnement public en eau et assainissement public (en Allemand) », 2013. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/wasser-oeffentlich-2190211169004.html>, consulté le 15 novembre 2021 (en allemand)
- [14] EPA, « SOURCE WATER MONITORING GUIDANCE MANUAL FOR PUBLIC WATER SYSTEMS FOR THE FINAL LONG TERM 2 ENHANCED SURFACE WATER TREATMENT RULE », Office of Water (4601M) EPA 815-R06-005 February 2006, 2006. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.epa.gov/dwreginfo/long-term-2-enhanced-surface-water-treatment-rule-documents>
- [15] Ontario, « Safe Drinking Water Act », 2002.
- [16] Gouvernement de l'Ontario, « GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO, Règl. de l'Ont. 170/03 : RÉSEAUX D'EAU POTABLE. 2014. Consulté le: févr. 17, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ontario.ca/fr/lois/view> ».
- [17] MELCC, « Guide de conception des installations de production d'eau potable », p. 297, 2019. Consulté le: 19 décembre 2020. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/>
- [18] Government of Saskatchewan, « Groundwater Under the Direct Influence of Surface Water », 2007.
- [19] Government of Alberta, « Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems - Part 1 Standards for Municipal Waterworks », Alberta's Queen Printer, 2012.
- [20] Ministry of Health - British Columbia, « GUIDANCE DOCUMENT FOR DETERMINING GROUNDWATER AT RISK OF CONTAINING PATHOGENS (GARP) - VERSION 3 », sept. 2017.
- [21] Nova Scotia Environment, « Groundwater », 2009. [En ligne]. Disponible sur: <https://novascotia.ca/nse/groundwater/> (consulté le juin 17, 2020).
- [22] Government of Newfoundland and Labrador, « Groundwater Under Direct Influence of Surface Water (GUDI) –an Evaluation for Public Water Supplies in Newfoundland and Labrador », 2013.
- [23] Ministry of Health - New-Zealand, « « Guidelines for Drinking-water Quality Management for New Zealand », Ministry of Health NZ.<https://www.health.govt.nz/publication/guidelines-drinking-water-quality-management-new-zealand> (consulté le déc. 01, 2020). »
- [24] Government of Yukon, « Assessment Guideline for Well Water or Groundwater Under the Direct Influence of Surface Water (GUDI) », p. 3, 2006.

- [25] J. F. Vernoux, *et al.*, « Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses - Rapport final », févr. 2014, doi: 10.13140/RG.2.2.14073.31845.
- [26] C. M. Navarrete et Á. G. García, « *Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano: metodología y aplicación al territorio.* » 2003. Consulté le: 13 décembre 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=21972>
- [27] Office International de l'Eau, « Protection des aires d'alimentation des captages en eau potable. Etude de pratiques en Europe », 2015.
- [28] F. Bichai et P. W. M. H. Smeets, « Using QMRA-based regulation as a water quality management tool in the water security challenge: experience from the Netherlands and Australia », *Water Res.*, vol. 47, n° 20, p. 7315-7326, déc. 2013, doi: 10.1016/j.watres.2013.09.062.
- [29] Government of Ontario, « 2017 technical rules under the Clean Water Act », *Ontario.ca*, 30 mai 2017. <https://www.ontario.ca/page/2017-technical-rules-under-clean-water-act> (consulté le 22 avril 2021).
- [30] Alberta Water Council, « Protecting Sources of Drinking Water in Alberta: Guide to Source Water Protection Planning ». 2020. Consulté le: 21 avril 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.awchome.ca/projects/protecting-sources-drinking-water-alberta-2/>
- [31] « Code of Federal Regulations (Annual Edition) ». <https%3A%2F%2Fwww.govinfo.gov%2Fapp%2Fcollection%2Fcf%2F2019%2Ftitle40%2Fchapter%2FsubchapterD%2Fpart141> (consulté le 22 avril 2021).
- [32] U.S. Environmental Protection Agency, « State Source Water Assessment and Protection Programs—Final Guidance. », EPA 816-R-97-009. Office of Water, 1997.
- [33] MELCC, « Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection », 2014.
- [34] MELCC, « Détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité DRASTIC-Guide technique », 2019. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/drastic/>
- [35] Ministry of the Environment, Conservation and Parks, « Source Protection Information Atlas of Ontario », [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lioapplications.lrc.gov.on.ca/SourceWaterProtection/index.html?viewer=SourceWaterProtection.SWPViewer&locale=en-CA>.
- [36] Maryland Department of the Environment, « MARYLAND'S SOURCE WATER ASSESSMENT PROGRAM », 1999. [En ligne]. Disponible sur:

https://mde.maryland.gov/programs/water/water_supply/source_water_assessment_program/pages/index.aspx

- [37] New Jersey Department of environmental protection, « New Jersey Source Water Assessment Program - Surface Water Delineation Methodology », [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nj.gov/dep/swap/resources.htm>.
- [38] West Virginia « West Virginia Source Water Assessment and Wellhead Protection Program - Instructions. [En ligne]. Disponible sur: http://www.wvdhhr.org/oehs/eed/swap/Draft_Template.asp (consulté le mai 01, 2021). »
- [39] Drinking Water and Environmental Management et California Department of Health Services, « Drinking Water Source Assessment and Protection (DWSAP) Program [En ligne]. Disponible sur: https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/DWSAP.html (consulté le mai 01, 2021). »,
- [40] Health Protection Branch, Ministry of Health, British Columbia, «A Drinking water treatment objectives (microbiological) for groundwater supplies in British-Columbia», 2015.
- [41] Nova Scotia Environment, « Nova Scotia Treatment Standards for Municipal Drinking Water Systems », 2012.
- [42] Professional Geoscientists Ontario, « The Complete Draft GUDI Terms of Reference: Guidance Document to Determine Minimum Treatmentfor Municipal Residential Drinking Water SystemsUsing Subsurface Raw Water Supplies », 2019.
- [43] US-EPA, « LONG TERM 2 ENHANCED SURFACE WATER TREATMENT RULE TOOLBOX GUIDANCE MANUAL », [En ligne]. Disponible sur: <https://www.epa.gov/dwreginfo/long-term-2-enhanced-surface-water-treatment-rule-documents>, 2010.