

GUIDE TECHNIQUE POUR L'OBTURATION DE PUIES ARTÉSIENS JAILLISSANTS

Avril 2019

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction de l'eau potable et des eaux souterraines du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez communiquer avec le Centre d'information.

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 646-5974

Formulaire :

www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Pour obtenir un exemplaire du document

Visitez notre site Web :

<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>

Référence à citer

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Obturation de puits artésiens jaillissants*, 27 pages. [En ligne].

<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/puits/artesiens-jaillissants/guide-technique.pdf> (page consultée le année-mois-jour).

Dépôt légal – 2019

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN 978-2-550-83835-7 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec - 2019

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	iv
Liste des annexes	iv
Remerciements	v
1. Introduction	1
2. À qui s'adresse le guide?	1
3. Qu'est-ce qu'un puits artésien jaillissant?	1
4. Exigences réglementaires	2
5. Pourquoi arrêter ou contrôler le jaillissement?	4
6. Procédure d'obturation	5
6.1 Préparation	5
6.2 Niveau piézométrique et pression au niveau du sol	5
6.2.1 Méthode de calcul par l'ajout d'un tubage d'appoint	6
6.2.2 Méthode de mesure à l'aide d'un manomètre	9
6.3 Pression hydrostatique au toit de l'aquifère	11
6.4 Sélection du coulis	11
6.5 Remplissage de la section du puits ouverte à l'aquifère	12
6.6 Mise en place du coulis	12
6.7 Retrait du tubage et des composantes	12
7. Rapport de travaux d'obturation	15
8. Références bibliographiques	16
Annexe A	17
Annexe B	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Pression hydrostatique de différents types de coulis _____11

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Conditions géologiques entraînant la création de puits jaillissants _____2

Figure 2 – Schéma d'aménagement d'un puits jaillissant pour la mesure de la surface piézométrique _____6

Figure 3 – Obturateur pneumatique avec by-pass pouvant être muni d'un tubage central pour la mesure de la surface piézométrique _____7

Figure 4 – Obturateur mécanique avec by-pass pouvant être muni d'un tubage central pour la mesure de la surface piézométrique _____8

Figure 5 – Tête de puits munie d'un obturateur équipé d'un manomètre __9

Figure 6 – Calcul du niveau piézométrique à l'aide d'un manomètre ____10

Figure 7 – Séquence d'obturation d'un puits artésien jaillissant terminé dans le socle rocheux _____14

LISTE DES ANNEXES

Annexe A - Processus décisionnel menant à l'obturation d'un puits jaillissant

Annexe B – Graphiques de conversion de la hauteur d'une colonne d'eau en valeur de pression

REMERCIEMENTS

La Direction de l'eau potable et des eaux souterraines tient à souligner l'apport de ses différents collaborateurs lors de la rédaction du guide, pour leurs lectures critiques et leurs commentaires constructifs.

M. Jean Poisson

Groupe Puitbec inc.
15, rue de l'Artisan
Victoriaville (Québec)
G6P 9S9
819 758-6468
www.puitbec.com

M. Denis Samson

Samson et frères inc.
896, rue Principale
Saint-Pierre-de-la-Rivière-du-Sud (Québec)
G0R 4B0
418 248-0749
www.foragesamson.com

M. Gilles Lapointe

Forage Technic-eau inc.
5055, boul. Industriel
Sherbrooke (Québec)
J1R 0P4
819 564-0531
www.foragefte.com

M. Yves Leblanc

Richelieu Hydrogéologie inc.
219, 15^e Avenue
Richelieu (Québec)
J3L 3V7
450 658-3233
www.richelieu-hydro.com

M. Sylvain Beaudoin

Forages Villemaire Inc.
146 Rue Lesarbeault
Saint-Alexis, (Québec)
J0K 1T0
(450) 839-7770
www.pompesvillemaire.ca

Association des entrepreneurs en forage du Québec

(AEFQ)
2750, chemin Sainte-Foy, bureau 259
Québec (Québec)
418 650-1877
www.aefq-forage.com

1. INTRODUCTION

Au Québec, une importante proportion de l'eau potable consommée est issue de prélèvements d'eau réalisés dans des sols perméables souterrains appelés « aquifères ». Pour prélever l'eau, on fore habituellement un puits dans les dépôts meubles ou le socle rocheux, à des profondeurs variables. Selon le contexte hydrogéologique, l'aquifère exploité par un prélèvement d'eau souterraine peut être intercepté à grande profondeur ou près de la surface. À l'occasion, certains puits montrent un comportement jaillissant, c'est-à-dire que le niveau d'eau dans le puits excède la surface du sol.

Le Guide technique pour l'obturation de puits artésiens jaillissants dresse des lignes directrices permettant d'encadrer les travaux d'obturation de puits jaillissants.

2. À QUI S'ADRESSE LE GUIDE?

Le *Guide technique pour l'obturation de puits artésiens jaillissants* s'adresse à tout entrepreneur puisatier agissant dans le domaine de l'eau souterraine et qui pourrait être appelé à réaliser des travaux d'obturation d'un puits jaillissant. Il s'adresse aussi à toute firme ou à tout professionnel du milieu de l'eau souterraine qui aurait à superviser des travaux d'obturation de puits.

3. QU'EST-CE QU'UN PUIS ARTÉSIEN JAILLISSANT?

Pour bien saisir ce qu'est un puits jaillissant, il faut comprendre les divers contextes hydrogéologiques dans lesquels des puits peuvent être aménagés. On parle ici d'un **aquifère**, soit une formation géologique perméable, poreuse, permettant l'écoulement de l'eau souterraine et son prélèvement. Il peut s'agir d'une formation géologique constituée de matériaux granulaires non consolidés (sable, gravier) ou encore du socle rocheux (certaines roches sédimentaires ou des roches fracturées). Les aquifères se subdivisent en deux catégories¹ : 1) les aquifères à « **nappe libre** »; et 2) les aquifères à « **nappe captive** ». Dans un aquifère à **nappe libre**, l'eau s'écoule à travers un sol perméable (granulaire) ou dans le socle rocheux et aucun recouvrement peu perméable (argile, till) n'y protège l'eau souterraine d'une possible percolation en profondeur des eaux de surface ou d'autres substances. On peut penser ici à un esker, à des alluvions fluviales ou au socle rocheux affleurant. Pour sa part, l'aquifère à **nappe captive** comporte un recouvrement peu perméable (argile, till) assurant une protection contre la percolation des eaux de surface ou contre toute source de contamination superficielle des eaux souterraines. La base de ce recouvrement peu perméable correspond au **toit de l'aquifère**. Mentionnons que l'eau qui s'écoule au sein d'une nappe captive se trouve habituellement pressurisée, c'est-à-dire que la **surface piézométrique** (le niveau atteint par l'eau dans un puits ouvert à l'atmosphère) est habituellement plus élevée que le toit de l'aquifère. La figure 1 schématise ces deux concepts.

Selon le type d'aquifère intercepté, un puits tubulaire pourra être classé dans l'une des trois situations illustrées à la figure 1. On qualifiera de **puits captant une nappe libre** tout puits aménagé dans un aquifère qui n'est pas recouvert d'un horizon imperméable. On qualifiera de **puits artésien** tout puits aménagé dans un aquifère où la pression est suffisante pour que l'eau remonte dans le tubage au-dessus du toit de l'aquifère sans excéder la surface du sol. Finalement, un **puits artésien jaillissant**

¹ Il existe aussi des nappes « perchées » dont l'extension spatiale est limitée. Ces nappes se situent au-dessus de la nappe phréatique et en sont séparées par une couche de sol peu perméable et non saturé. Leur faible extension spatiale limite leur potentiel pour le prélèvement d'eau à long terme.

correspond à un puits aménagé dans un aquifère où la pression est telle que l'eau remonte dans le tubage jusqu'à excéder la surface du sol.

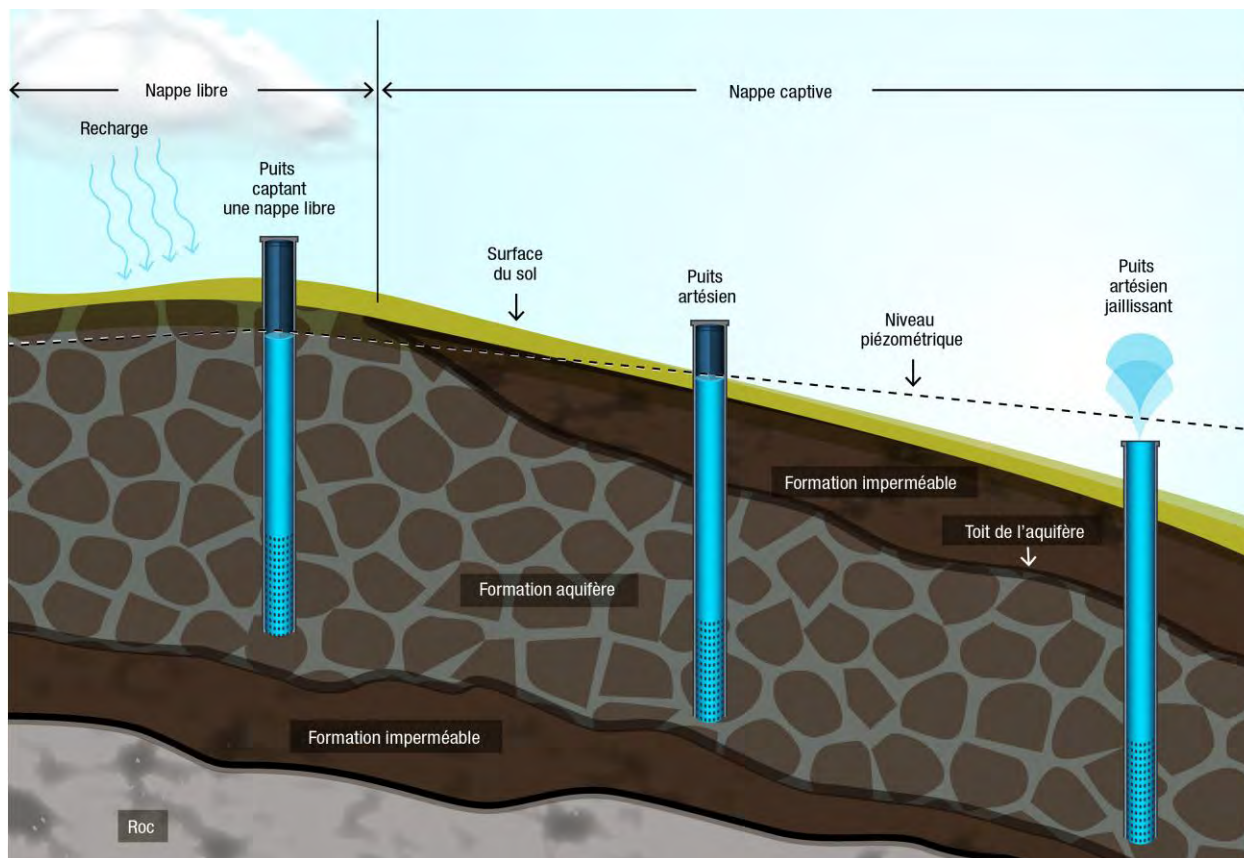


Figure 1 – Conditions géologiques entraînant la création de puits jaillissants

Dans un puits jaillissant, l'eau s'écoulera continuellement du puits jusqu'à ce que :

- la surface piézométrique s'abaisse jusqu'à ce que la pression artésienne atteigne un état d'équilibre avec la pression atmosphérique mesurée au niveau du sol (ou à l'embouchure du tubage);
- le tubage du puits soit allongé de manière à excéder la surface piézométrique;
- le puits soit obturé de manière à empêcher la remontée piézométrique.

4. EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Selon l'article 31.74 de la [Loi sur la qualité de l'environnement](#) (LQE), un prélèvement d'eau correspond à « toute action de prendre de l'eau de surface ou de l'eau souterraine par quelque moyen que ce soit ». Ainsi, bien que la vocation initiale d'un puits ne soit pas toujours le prélèvement d'eau (par exemple, dans le cas d'un puits d'observation), le comportement jaillissant d'un puits fera en sorte qu'il sera considéré comme un site prélèvement au sens de la LQE. Dans ce contexte, l'article 20 du [Règlement sur le](#)

[prélèvement des eaux et leur protection](#) (RPEP)² souligne que, à moins qu'une installation de prélèvement d'eau souterraine (ou un puits d'observation jaillissant) ne soit obturée conformément à la réglementation applicable, elle doit en tout temps être exploitée selon les conditions décrites dans le règlement. Il va sans dire que, parvenues en fin de vie utile, ou pour toute autre raison, les installations de prélèvement et les puits d'observation doivent être obturés. Dans le cas des puits de surface ou des puits tubulaires en conditions artésiennes non jaillissantes, l'obturation de l'ouvrage demeure simple, et le recours à un entrepreneur puisatier spécialisé ou à un professionnel n'est pas systématiquement requis. Toutefois, en conditions artésiennes jaillissantes, la procédure décrite à l'article 20 du RPEP doit être ajustée en fonction des conditions du terrain. D'autres types de prélèvements sont parfois aménagés pour capter de l'eau souterraine, tels les drains horizontaux ou les résurgences, mais ces derniers ne seront pas considérés dans le présent guide.

Si, au cours des travaux de forage, l'aquifère intercepté montre un comportement jaillissant, le puits doit être aménagé de manière à en contrôler le débit jaillissant. Pour que le débit soit considéré comme « contrôlé », les dispositions suivantes de l'article 26 du RPEP doivent être respectées :

Une installation de prélèvement d'eau souterraine en condition artésienne doit comprendre un système de contrôle de l'écoulement des eaux qui permet :

- 1° de confiner l'écoulement à l'intérieur du tubage;*
- 2° de contrôler les débordements de manière à ce que l'écoulement n'occasionne pas de dommages aux propriétés voisines.*

Le premier paragraphe souligne qu'il est requis de restreindre l'écoulement de l'eau à un seul chemin préférentiel, soit l'intérieur du tubage. Par exemple, tout signe de remontée de l'aquifère le long de la surface externe du tubage, au contact des formations géologiques encaissantes, indique que l'écoulement artésien n'est pas contrôlé. Le deuxième paragraphe encadre la gestion des eaux jaillissantes de manière à éviter tout impact sur les propriétés avoisinantes. Pour ce faire, il peut être requis de munir le puits, par exemple, d'un dispositif permettant de canaliser les eaux jaillissantes du puits dans un fossé avoisinant.

Si un puits jaillissant ne peut être contrôlé comme l'exige l'article 26 du RPEP, l'ouvrage doit être abandonné. Le RPEP impose des exigences pour l'abandon d'une installation de prélèvement d'eau souterraine et d'un puits d'observation dans des conditions hydrauliques normales, c'est-à-dire des ouvrages aménagés dans un aquifère de nappe libre ou dans un aquifère captif non jaillissant. En effet, conformément à l'article 20 :

Lorsqu'une installation de prélèvement d'eau souterraine est obturée, elle doit l'être conformément aux conditions suivantes :

- 1° un matériau non susceptible de dégrader la qualité de l'eau souterraine doit être utilisé;*
- 2° le tubage du puits doit être dégagé sur une profondeur minimale de 1 m depuis la surface du sol;*
- 3° le tubage doit être sectionné à la base de l'excavation;*
- 4° la portion du tubage ouverte à l'aquifère doit être comblée avec un sable propre;*

² Pour toute question sur l'application du RPEP, il est recommandé de communiquer avec la [direction régionale](#) desservant le secteur où ont lieu les travaux.

5° la portion restante du tubage doit être comblée avec de la bentonite ou un mélange de ciment-bentonite;

6° une plaque de béton doit être apposée au sommet du tubage;

7° l'excavation doit être remplie en remettant en place le sol excavé initialement.

En présence d'un puits jaillissant, les conditions 2 à 5 du règlement ne peuvent être respectées en raison de la présence constante d'eau. Ces conditions ne pourront être remplies que lorsque le jaillissement sera freiné et que l'eau sera confinée en profondeur. Pour ce faire, il faut envisager des travaux préliminaires pour pallier la pression hydrostatique de l'aquifère, qui rehausse la surface piézométrique au-dessus du niveau du sol ou du tubage d'acier. Dans ce contexte, il est recommandé de faire appel à un entrepreneur puisatier pour la réalisation des travaux d'obturation et à un professionnel pour en assurer la supervision.

Rappelons qu'il est de la responsabilité du propriétaire de l'installation de prélèvement d'eau souterraine d'assurer le contrôle du jaillissement.

5. POURQUOI ARRÊTER OU CONTRÔLER LE JAILLISSEMENT?

Plusieurs raisons justifient l'arrêt ou le contrôle de l'eau jaillissante d'un puits :

- L'écoulement non contrôlé du puits artésien peut induire une dépressurisation de l'aquifère, laquelle entraînera une perte potentielle de capacité des puits avoisinants;
- L'écoulement continu d'un puits à l'embouchure de son tubage ou au contact de ce dernier avec le sol encaissant peut engendrer une inondation locale, du ravinement, une subsidence du sol, la formation de gouffres et causer des dommages aux infrastructures situées à proximité;
- L'eau provenant de l'aquifère artésien pourrait migrer vers un milieu récepteur en surface ou un aquifère en nappe libre, tout en transportant des particules en suspension, des fluides de forage ou des contaminants rencontrés sur son parcours. Le milieu récepteur de ces eaux pourrait alors être affecté par un apport d'eau turbide ou de contaminants divers;
- L'écoulement non contrôlé constitue un gaspillage de la ressource. Par exemple, un puits dont le débit jaillissant serait de l'ordre de 15 m³/jour (\pm 10 L/min) entrainerait une perte de 5 475 m³ d'eau annuellement, soit l'équivalent de l'approvisionnement de cinq résidences (en considérant une consommation de 250 L/jour par personne et une moyenne de trois personnes par résidence);
- L'eau provenant de l'aquifère artésien qui atteindrait les eaux de surface pourrait altérer l'équilibre thermique et chimique d'un habitat aquatique;
- L'objectif recherché dans le cadre de travaux d'obturation d'un puits est de retrouver les conditions hydrogéologiques de l'aquifère original, c'est-à-dire les conditions inhérentes à l'aquifère préalablement aux travaux de forage, de manière à éviter les nuisances potentielles du jaillissement. L'organigramme présenté à l'annexe A permet de suivre le processus décisionnel menant à l'obturation d'un puits jaillissant.

6. PROCÉDURE D'OBTURATION

Dans un contexte où le jaillissement est confiné à l'intérieur du tubage, la méthode recommandée pour contrer le jaillissement consiste à injecter un **coulis dense** de la base du puits jusqu'à la surface en utilisant une conduite d'injection (trémie) dont la sortie est positionnée au fond du puits.

Préalablement aux travaux d'injection, la **pression hydrostatique** à pallier doit être évaluée. Pour ce faire, la hauteur de la colonne d'eau entre le **toit de l'aquifère** (L) et le **niveau piézométrique** (H) doit être connue (figure 3). La longueur totale de cette colonne d'eau permettra d'obtenir la pression hydrostatique à combattre lors de la sélection du coulis. Cette longueur totale peut être obtenue de différentes façons, mais les méthodes les plus répandues requièrent l'aménagement d'un tubage d'appoint ou l'installation d'un manomètre à la tête du puits.

Les sections 6.1 à 6.7 présentent les étapes recommandées par le Ministère pour l'obturation d'un puits dont le jaillissement est contrôlé, qui est construit selon les règles de l'art et conformément à l'article 26 du RPEP, c'est-à-dire un puits au pourtour duquel aucun écoulement n'est observé.

Dans les cas où le jaillissement de l'eau est observé sur le pourtour du puits, soit entre le tubage et le sol encaissant, le pourtour du puits devrait être scellé préalablement aux travaux d'obturation. Pour ce faire, plusieurs approches peuvent être envisagées. Elles devront être étudiées par l'entrepreneur puisatier ou par le professionnel supervisant les travaux en fonction des conditions inhérentes au site. Ces méthodes consistent notamment en l'excavation ou en l'alésage de l'extérieur du puits, suivi du remplissage de cette excavation par un matériau peu perméable (bentonite en granules, coulis de ciment-bentonite, etc.). Selon le contexte, il pourrait être justifié d'éviter les travaux de scellement de l'extérieur du tubage et de procéder directement à l'injection de **coulis dense** (agent d'obturation) à l'intérieur du puits. Par exemple, si la composition des sols encaissants est en partie très lâche, si elle montre essentiellement la présence de granulats de gros diamètres ou si le débit jaillissant à l'extérieur du tubage est important, les travaux de scellement recommandés risquent d'aggraver la situation. Dans ce contexte, l'entrepreneur puisatier ou le professionnel devrait étudier différentes solutions de recharge, notamment :

- Injecter du **coulis dense** à l'intérieur du puits tout en relevant partiellement ou totalement le tubage de manière à permettre l'écoulement du coulis à l'extérieur de ce dernier;
- Limiter le remplissage de la section du puits ouverte à l'aquifère (à l'aide d'un matériau inerte) de manière à permettre au coulis de combler les chemins préférentiels empruntés par les eaux jaillissantes;
- Aménager des perforations à même le tubage de manière à permettre au coulis dense de s'immiscer le long de sa paroi externe.

Ces différentes approches visent à assurer le scellement du contact entre le tubage et les sols encaissants.

6.1 Préparation

Si un dispositif de contrôle du jaillissement a été installé, avant de le retirer, l'entrepreneur puisatier devrait s'assurer d'avoir en sa possession le matériel nécessaire pour contenir le débit jaillissant du puits et la remontée potentielle de matériel de scellement.

6.2 Niveau piézométrique et pression au niveau du sol

Dans un premier temps, le niveau piézométrique du puits doit être déterminé (figure 2). Le niveau piézométrique représente la hauteur au-dessus de la surface du sol à laquelle le niveau d'eau serait

stabilisé (en équilibre avec la pression atmosphérique). Pour déterminer ce niveau, il suffit de mesurer la hauteur du niveau d'eau stabilisé par rapport à la surface du sol (H).

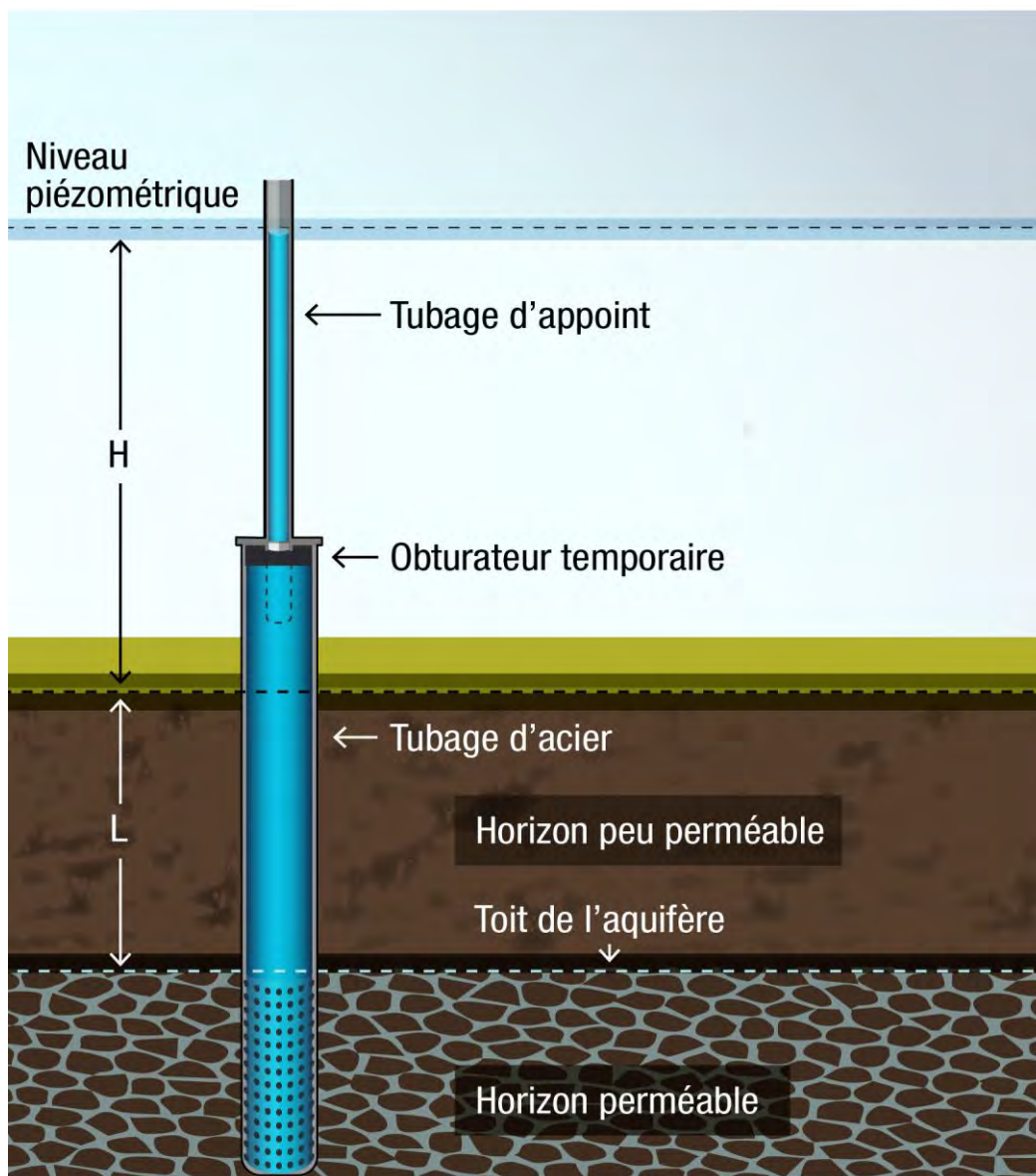


Figure 2 – Schéma d'aménagement d'un puits jaillissant pour la mesure de la surface piézométrique

Pour obtenir la valeur du niveau piézométrique, les méthodes préconisées consistent à : 1) allonger le tubage jusqu'à ce que le niveau d'eau se stabilise dans le tubage; ou 2) munir la tête du puits d'un manomètre. Cette deuxième option permet de mesurer la pression hydrostatique au niveau de l'extrémité du tubage alors que l'écoulement est bloqué.

6.2.1 Méthode de calcul par l'ajout d'un tubage d'appoint

L'allongement du tubage peut être réalisé en ajoutant des sections de tuyau d'acier jusqu'à ce que la tête du tubage excède le niveau piézométrique. Toutefois, considérant le caractère jaillissant du puits, il peut s'avérer plus simple d'équiper le puits d'un **obturateur pneumatique** avec conduite de déviation (*by-pass*) tel que montré à la figure 3, ou d'un **obturateur mécanique** avec *by-pass* (figure 4) et de munir

ces derniers d'un tubage d'appoint en guise d'extension au tubage existant. La longueur de ce tubage d'appoint doit excéder le niveau de la surface piézométrique (figure 2).

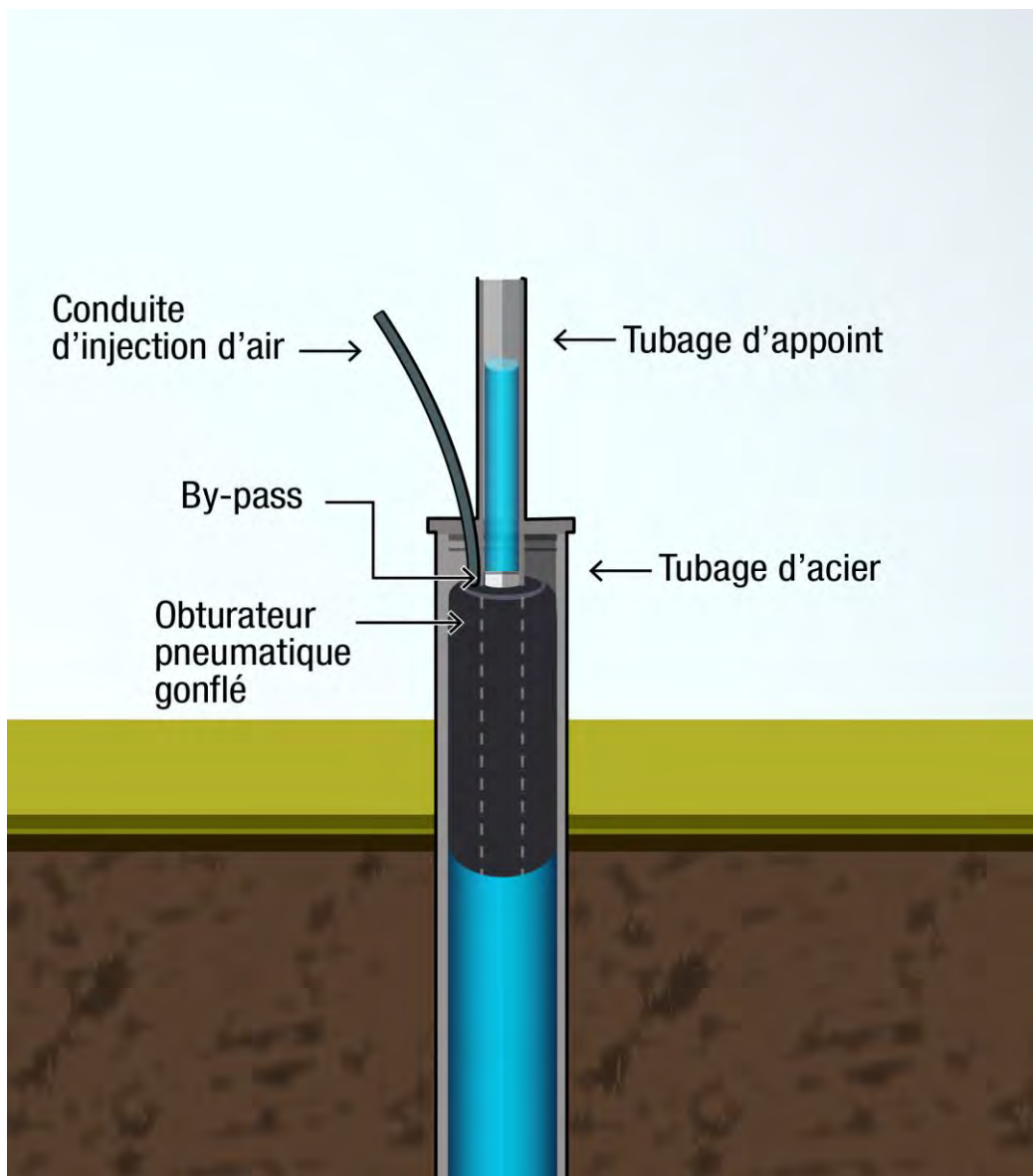


Figure 3 – Obturateur pneumatique avec by-pass pouvant être muni d'un tubage central pour la mesure de la surface piézométrique

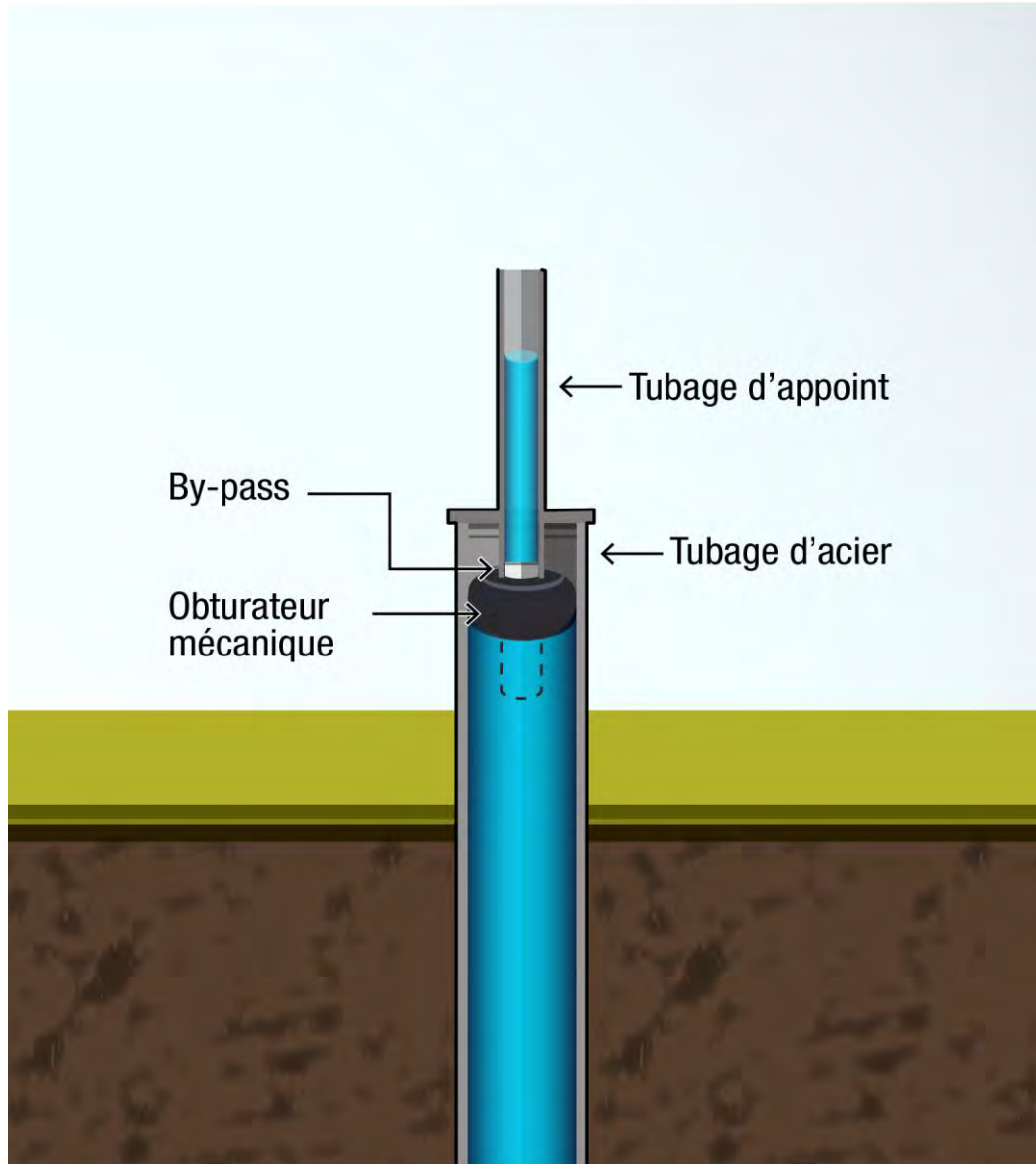


Figure 4 – Obturbateur mécanique avec by-pass pouvant être muni d'un tubage central pour la mesure de la surface piézométrique

Mentionnons que le diamètre du tubage d'appoint n'a aucun impact sur la mesure du niveau piézométrique puisque la pression hydrostatique (p) qui entraîne la remontée de l'eau dans le tubage est le produit de la densité du liquide ($\rho_{liquide}$), de la force gravitationnelle (g) et de la hauteur de la colonne d'eau au-dessus du point de mesure (h).

$$p = \rho_{liquide} \times g \times h$$

Une fois la surface piézométrique stabilisée dans le tubage d'appoint (arrêt de l'écoulement), on peut mesurer la hauteur (H) entre la surface piézométrique et le niveau du sol (figure 2). Cette colonne d'eau excédant le niveau du sol est communément appelée « tête d'eau artésienne ». La tête d'eau artésienne peut ensuite être convertie en pression équivalente pour obtenir la pression d'eau qui serait mesurée au niveau du sol. La conversion peut se faire de la manière suivante :

(Formule 1) : $1 \text{ m d'eau} = 1,42 \text{ psi} (9,8 \text{ kPa})$

ou

(Formule 2) : $1 \text{ pi d'eau} = 0,433 \text{ psi} (2,99 \text{ kPa})$

Les graphiques 1 et 2 de l'**annexe B** permettent respectivement de convertir la hauteur d'une colonne d'eau (en mètres ou en pieds) en une valeur de pression du système international ou du système impérial.

6.2.2 Méthode de mesure à l'aide d'un manomètre

La méthode de mesure à l'aide d'un manomètre consiste à équiper la tête du puits d'un manomètre et à y lire la mesure de pression directement. Il existe plusieurs options pour aménager une tête de puits de manière à y installer un manomètre. La figure 5 présente un type de dispositif permettant d'obturer le puits tout en mesurant la pression au niveau de l'extrémité du tubage.

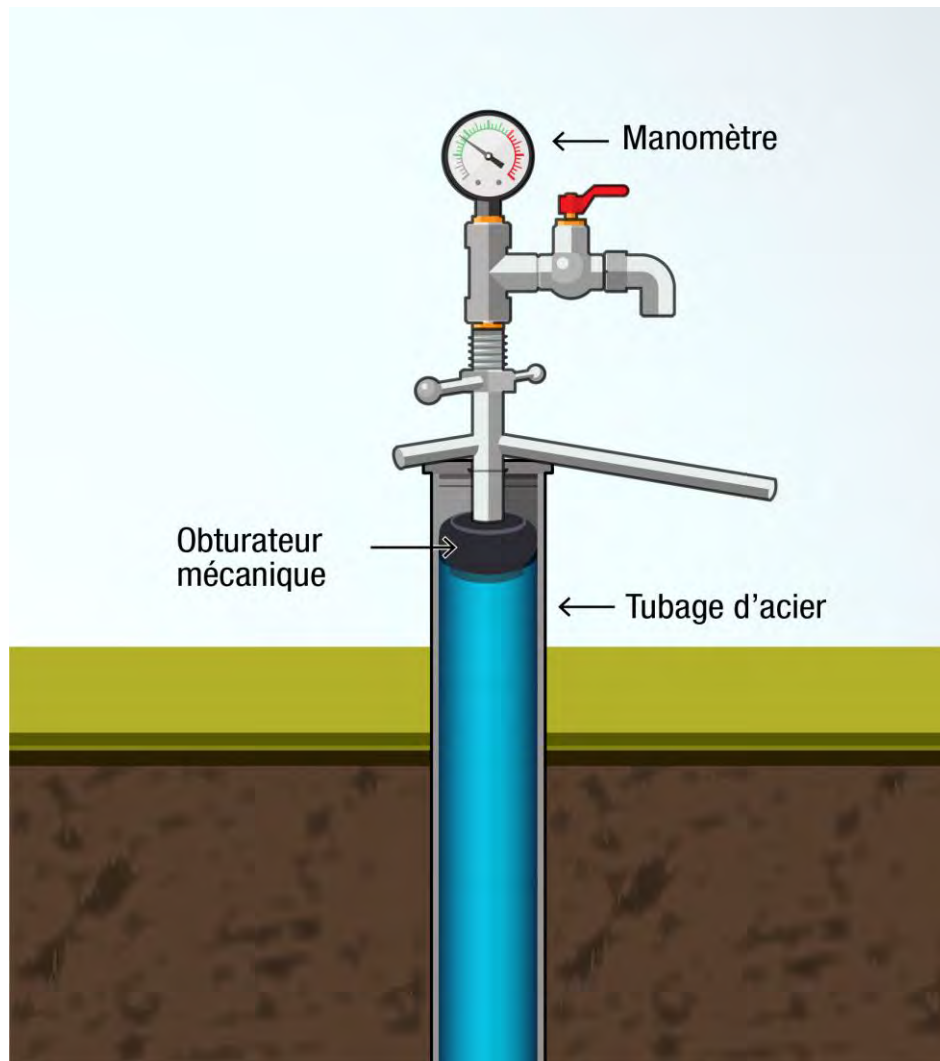


Figure 5 – Tête de puits munie d'un obturateur équipé d'un manomètre

La pression lue sur le manomètre (P_m) représente la pression qui serait lue à la base de la colonne d'eau entre le niveau piézométrique et le manomètre (figure 6). Pour obtenir la valeur de la pression au niveau du sol, il s'agit : 1) de mesurer la hauteur du manomètre (H_m) par rapport au sol; 2) de convertir cette hauteur (H_m) en pression par les formules 1 ou 2 présentées à la section 6.2.1; et 3) d'additionner cette valeur à la mesure de pression lue sur le manomètre (P_m) pour obtenir la pression totale au niveau du sol. Au besoin, cette valeur peut être reconvertie en tête d'eau artésienne par les formules 1 ou 2 (voir précédemment), de manière à obtenir la hauteur de la surface piézométrique par rapport au sol. Cette information sera requise dans le processus de sélection du coulis à injecter dans le puits. La section 6.4 présente un exemple de calcul pour en arriver à la sélection du coulis dense.

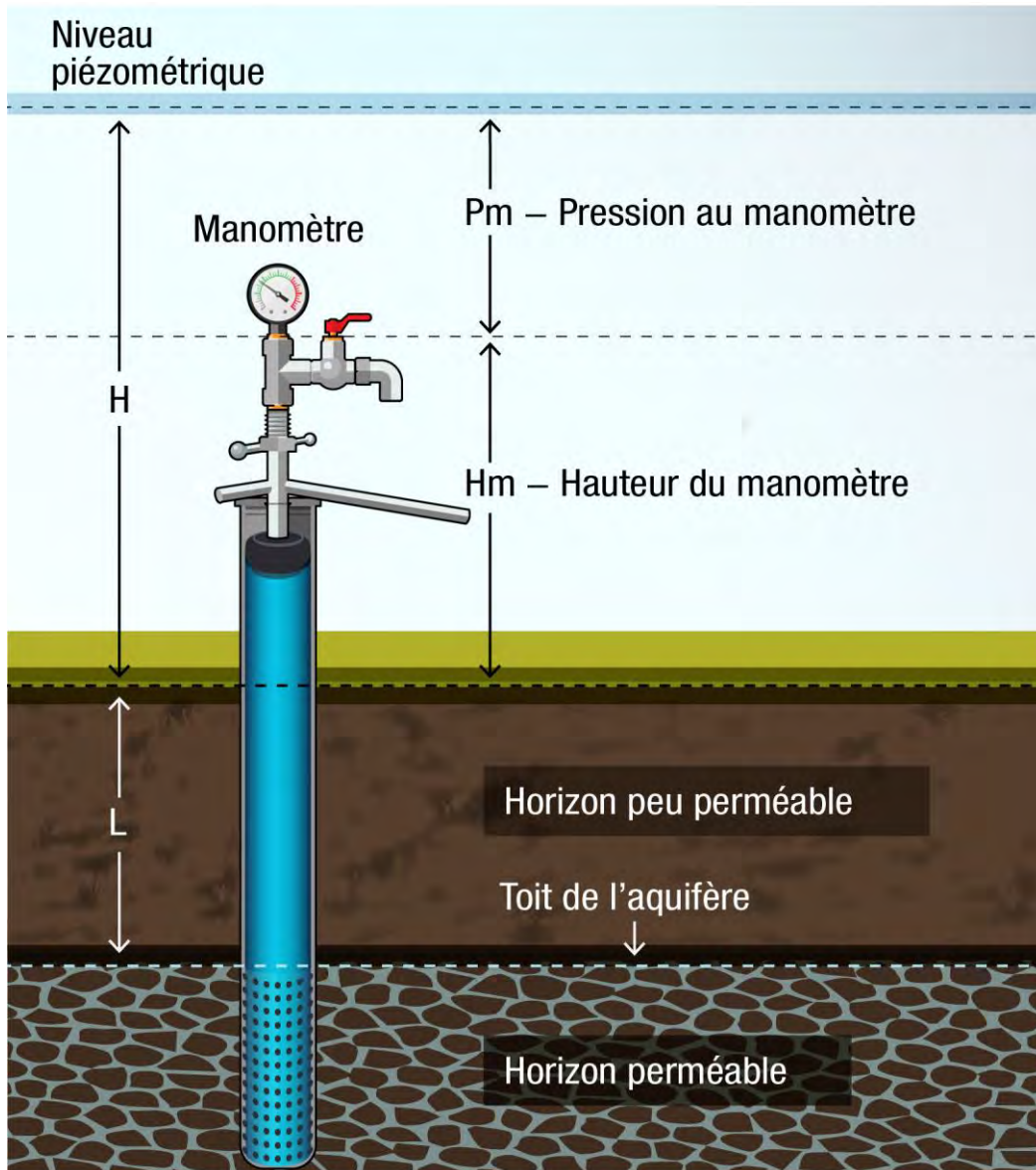


Figure 6 – Calcul du niveau piézométrique à l'aide d'un manomètre

6.3 Pression hydrostatique au toit de l'aquifère

Pour obtenir la pression hydrostatique au toit de l'aquifère, c'est-à-dire la pression hydrostatique à combattre, il faut additionner la profondeur (L) correspondant à l'écart entre le toit de l'aquifère et la surface du sol (figure 6), à la distance entre la surface du sol et le niveau piézométrique (H). Par la suite, cette somme ($H + L$) pourra être convertie en pression par les formules 1 ou 2 de la section 6.2.1. La profondeur (L) est mesurée au cours du forage et l'information est habituellement disponible dans le rapport de forage exigé en vertu de l'article 21 du RPEP pour toute installation de prélèvement d'eau.

Dans l'éventualité où la profondeur du toit de l'aquifère (L) n'est pas connue pour un puits terminé dans le socle rocheux, une inspection du puits par caméra permettra de positionner la première fracture productrice. Ce repère pourra être retenu comme référence pour le calcul de la profondeur du toit de l'aquifère. Si la position de la première fracture productrice ne peut être déterminée, l'extrémité du tubage pourra être retenue, à laquelle 3 mètres devront être ajoutés au minimum. La valeur ainsi obtenue pourra être considérée comme profondeur du toit de l'aquifère (L). Toutefois, cette approche pourrait sous-estimer la valeur de L qui, une fois transformée en pression, proposerait un coulis de densité insuffisante (section 6.4). Il reviendra donc à l'entrepreneur puisatier ou au professionnel de sélectionner un type de coulis dense en considération de cette incertitude.

Pour un puits terminé dans les dépôts meubles, l'absence d'information relative à la profondeur du toit de l'aquifère (L) pourrait être remplacée par la profondeur du haut de la crépine. Le passage d'une caméra dans le puits permet de positionner ce repère.

6.4 Sélection du coulis

Pour sélectionner le type de coulis qui sera versé dans le puits pour combattre la pression hydrostatique et obturer définitivement le puits, la valeur de pression hydrostatique obtenue à la section 6.3 doit être répartie sur la profondeur (L). Ainsi, on obtient une pression par unité de longueur à laquelle il est possible d'associer différents types de coulis. Le tableau 1 dresse une liste non exhaustive de produits recommandés dans la littérature.

Tableau 1 – Pression hydrostatique de différents types de coulis³

Coulis	Densité		P° par unité de longueur	
	(kg/L)	(lbs/gus)	(kPa/m)	(psi/pi)
Ciment thixotrope	1,98	16,5	19,45	0,86
Ciment pur (5,2 gus eau/sac)	1,87	15,6	18,32	0,81
Ciment pur (6,0 gus eau/sac)	1,80	15,0	17,64	0,78
Coulis de bentonite (30 % solides)	1,25	10,4	12,22	0,54
Coulis de bentonite (20 % solides)	1,14	9,5	11,08	0,49
Bentonite granulaire/pâte de polymère (15 % solides)	1,10	9,2	10,86	0,48
Fluide de forage de bentonite (viscosité 38 sec)	1,08	9,0	10,63	0,47
Eau	1,00	8,3	9,73	0,43

³ Tiré de M.S. Gaber, 2005.

À titre d'exemple, un puits dont la surface piézométrique (H) se trouve à 3 mètres de la surface du sol a intercepté le toit de l'aquifère à une profondeur de 20 mètres (L) par rapport au sol. La hauteur d'eau au toit de l'aquifère ($H + L$) est donc de 23 mètres, ce qui équivaut à une pression calculée de 225,4 kPa (en utilisant la formule 1). Ensuite, pour connaître la pression par unité de longueur à retenir dans la sélection du coulis, la pression hydrostatique calculée au toit de l'aquifère (225,4 kPa) doit être divisée par la longueur de la colonne d'eau séparant cette dernière de la surface du sol ($L = 20$ m). Ainsi, on obtient une valeur de 11,27 kPa/m. Il s'agit par la suite de sélectionner un coulis dont la densité permettra de contrer une pression hydrostatique équivalente ou supérieure, comme le montre le tableau 1. Ici, un coulis de bentonite comportant 30 % de solides serait acceptable.

6.5 Remplissage de la section du puits ouverte à l'aquifère

Comme le souligne l'article 20 du RPEP, « la portion du tubage ouverte à l'aquifère doit être comblée avec un sable propre ». Selon la pression hydrostatique à combattre, l'utilisation d'un gravier inerte en remplacement du sable propre pourrait être justifiée. Toutefois, avant d'entamer tout remplissage, il est impératif de confirmer la profondeur du puits par une mesure *in situ*. Cette mesure permettra de confirmer la position du fond du puits et surtout l'absence d'objet ou de résidus obstruant le puits. Dans l'éventualité où la profondeur mesurée sur le site est inférieure aux données recueillies avant les travaux (profondeur totale disponible dans le rapport de forage - article 21 du RPEP), il est recommandé de procéder à l'inspection du puits à l'aide d'une caméra de manière à déterminer la source de l'obstruction, et à statuer sur la possibilité que cette obstruction n'interfère avec les travaux d'obturation du puits, notamment avec la mise en place du coulis.

Ce n'est qu'une fois le remplissage de la section ouverte à l'aquifère achevé que peut s'amorcer l'obturation du puits. Sans égard au type d'aquifère exploité, le remplissage doit être réalisé à l'aide d'un matériau inerte (sable de silice, gravier propre, etc.) de manière à combler, au minimum, la totalité de la section du puits ouverte à l'aquifère jusqu'au toit de l'aquifère et à réduire au maximum la perte de coulis dans l'aquifère (figures 7a et 7b).

6.6 Mise en place du coulis

La mise en place du coulis dans le puits doit se faire du bas vers le haut par l'entremise d'une conduite d'injection (trémie) dont l'extrémité sera positionnée légèrement au-dessus du matériau de remplissage, comme l'illustre la figure 7b. Lorsque la pression dans la conduite d'injection sera telle que l'efficacité de la mise en place du coulis sera affectée ou que la consistance du coulis débordant à la surface ne montrera plus de signe de dilution, la conduite pourra être remontée progressivement. L'injection doit être maintenue en place jusqu'à ce que la consistance du coulis débordant en surface soit identique à la consistance du coulis injecté (figure 7c).

Le diamètre retenu pour la conduite d'injection devrait être le plus grand possible pour faciliter la mise en place du coulis et limiter la pression d'injection.

Dans le contexte où de la bentonite granulaire serait retenue (tableau 1), celle-ci serait lentement déversée de la surface, simultanément au retrait du tubage, de manière à ne combler que la partie du forage exposée sous le tubage après la remontée de ce dernier.

6.7 Retrait du tubage et des composantes

Considérant la probabilité que les pressions artésiennes entraînent la création de chemins préférentiels le long de la surface extérieure du tubage d'acier, il est recommandé d'étanchéiser la zone située entre la paroi extérieure du tubage et les dépôts meubles encaissants. Deux solutions permettent d'arriver à ce résultat, selon que le tubage peut être retiré ou non. Dans le cas où le tubage peut être retiré, il faut le faire durant l'injection du coulis ou immédiatement après sa mise en place, avant que la prise de ce dernier ne s'amorce (figure 7d). À la suite du retrait du tubage, il est possible que le niveau du coulis dans

le puits diminue. Dans ce cas, il est requis de combler cette diminution en ajoutant un volume supplémentaire de coulis de manière à ce que le niveau final se trouve à un mètre de la surface du sol.

Dans un contexte où le tubage ne peut être retiré (par exemple, si le sabot d'enfoncement est solidement ancré dans le socle rocheux), il est recommandé de perforer le tubage de manière à permettre l'injection de coulis au contact du tubage et des dépôts meubles, et ce, sur la totalité du contact. La norme ASTM D-5299 recommande de percer le tubage afin de permettre au coulis de s'introduire le long du contact entre les dépôts meubles encaissants et la surface externe du tubage (figure 7e). Cette norme propose l'aménagement d'un minimum de quatre perforations de quelques centimètres de longueur réparties sur un même niveau du pourtour du tubage. Cette configuration des perforations doit être répétée verticalement à raison de cinq rangées de perforations par section de $\pm 0,3$ mètre (1 pied) de tubage. Une solution de rechange à cette approche serait de sectionner le tubage directement au-dessus du sabot d'enfoncement (pour un puits terminé dans le socle rocheux) ou au-dessus de la crépine (pour des puits de type « pipesize » aménagés dans les dépôts meubles) et de retirer le tubage par la suite.

Dans le contexte où aucune indication de venue d'eau au contact du tubage et des dépôts meubles encaissants n'est observée en surface, et que la stratigraphie interceptée indique la présence d'un important horizon de matériau peu perméable (argile), il pourrait être préférable de laisser le tubage en place. Cette solution devra être étudiée par l'entrepreneur puisatier spécialisé ou par le professionnel dont les services sont retenus dans le cadre des travaux. Dans ce contexte, il sera pertinent de confirmer l'absence de venues d'eau après la mise en place du manomètre ou l'ajout du tubage d'appoint requis pour le calcul du niveau piézométrique (section 6.2). Dans le cas où le tubage serait laissé en place, une fois la prise du coulis achevée, la partie sommitale du tubage devra être sectionnée selon les dispositions de l'article 20 du RPEP.

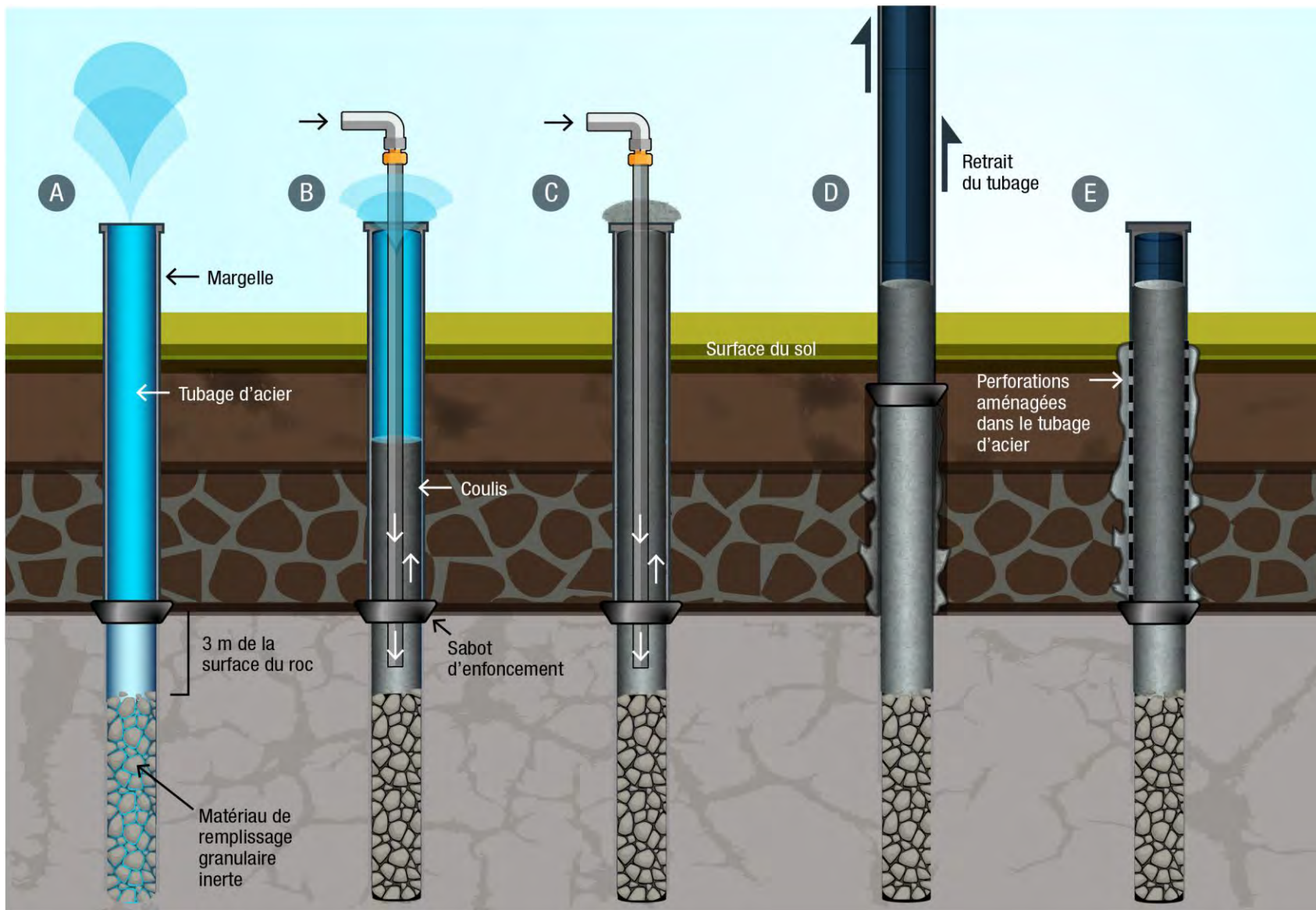


Figure 7 – Séquence d'obturation d'un puits artésien jaillissant terminé dans le socle rocheux

7. RAPPORT DE TRAVAUX D'OBTURATION

Au terme des travaux d'obturation, il est recommandé de remettre, au propriétaire de l'ouvrage, un rapport faisant état des travaux réalisés. Au minimum, le rapport résumant les travaux d'obturation de l'ouvrage devra comprendre, lorsque disponibles, les informations suivantes :

- l'identification du puits;
- la localisation du puits (plan de localisation ou coordonnées géographiques);
- la profondeur du puits telle que mesurée préalablement à l'obturation (section 6.1);
- une description des matériaux laissés en place (tubage, crépine, etc.) selon leur profondeur, leur composition et leur dimension;
- une copie du rapport de forage;
- la justification de l'abandon du puits;
- la description et la quantité totale de coulis utilisé;
- la description et les volumes journaliers de coulis utilisés pour compenser le tassement;
- les dates et la durée des travaux;
- le niveau piézométrique mesuré avant les travaux et la date de la mesure.

Dans le rapport de travaux d'obturation, toute référence de profondeur doit être faite en fonction du niveau du sol.

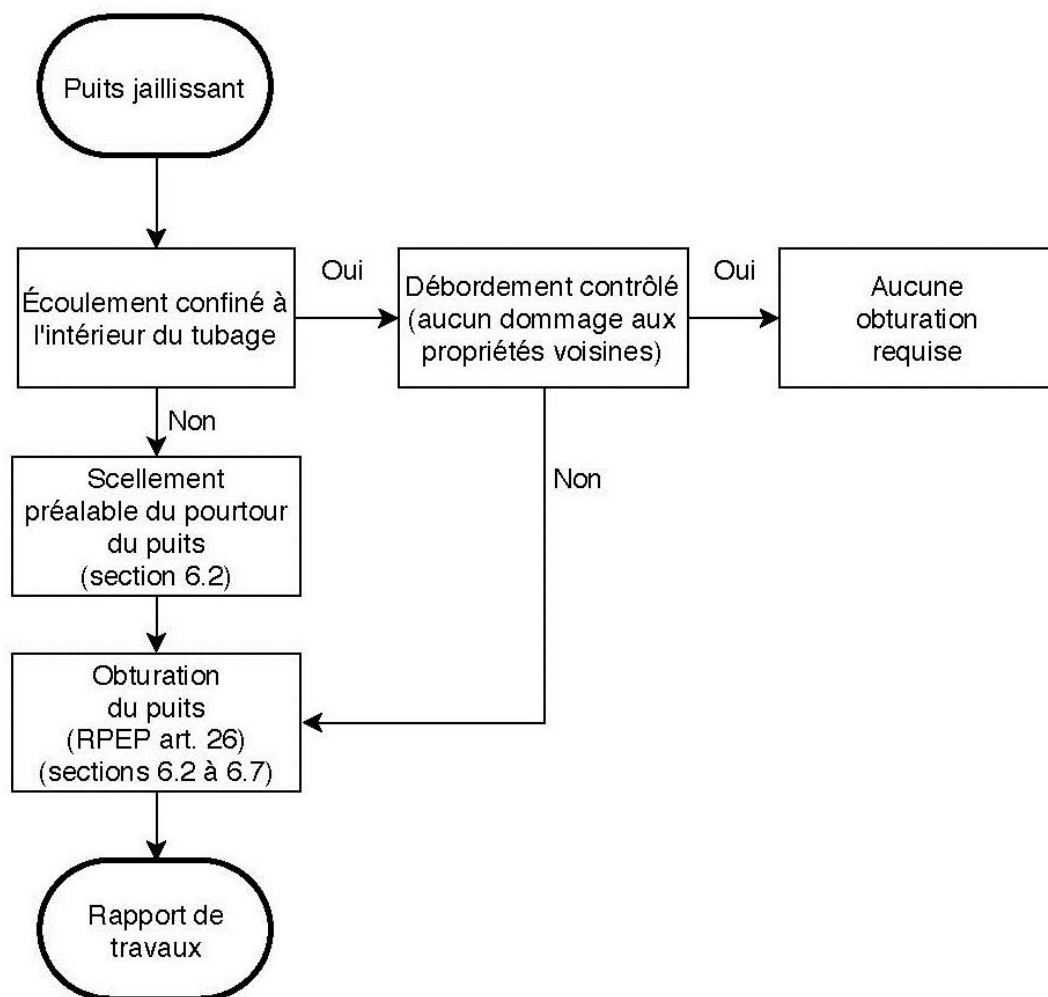
8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- S, GABER, Michael. *Flowing Well Handbook*, Michigan, Michigan Department of Environmental Quality, 2005, 51 p.
- G, DRISCOLL, FLETCHER. *Groundwater and wells*, troisième édition, Minnesota, Johnson Filtration Systems Inc., 1986, 1089 p.
- ASTM D5299-92. *Standard Guide for Decommissioning of Groundwater Wells, Vadose Zone Monitoring Devices, Boreholes, and Other Devices for Environmental Activities*, Pennsylvania, American Society for Testing Materials, 1992, 15 p.
- GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA. *Flowing Artesian Wells – Water Stewardship Information Series*, Ministry of Environment, 9 p.
- GOVERNMENT OF ONTARIO. *Water Supply Wells – Requirements and Best Management Practices*, 670 p.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS - Engineering and Design. *Monitoring Well Design, Installation, and Documentation at Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Sites – Engineer Manual*, Manual No°1110-1-4000, 1998, 69 p.

ANNEXE A

PROCESSUS DÉCISIONNEL MENANT À L'OBTURATION D'UN Puits JAILLISSANT

PROCESSUS DÉCISIONNEL MENANT À L'OBTURATION D'UN Puits JAILLISSANT

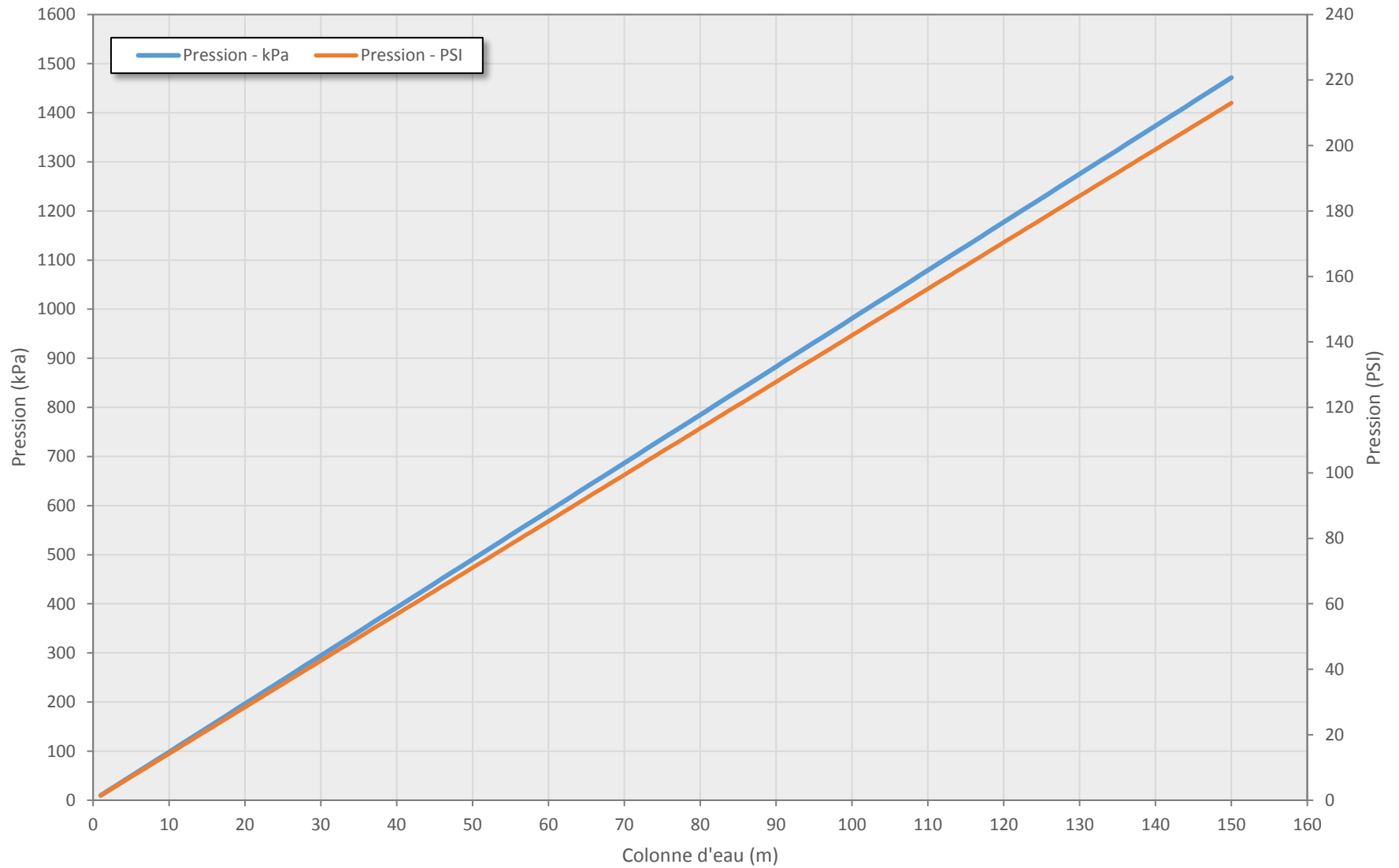


ANNEXE B

GRAPHIQUES DE CONVERSION DE LA HAUTEUR D'UNE COLONNE D'EAU EN VALEUR DE PRESSION

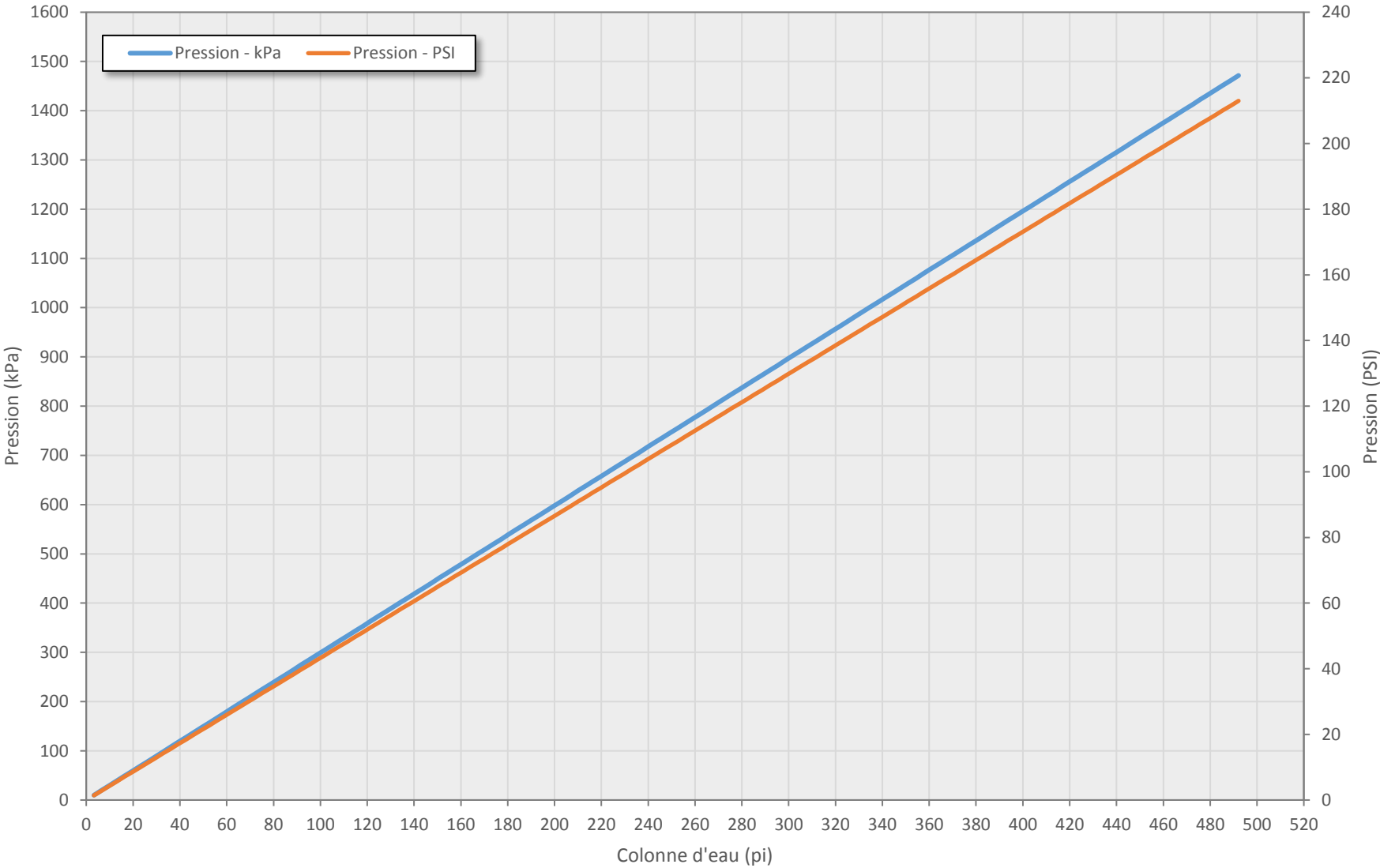
GRAPHIQUE 1

CHARTRE D'ÉQUIVALENCE DE PRESSION EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DE LA COLONNE D'EAU



GRAPHIQUE 2

CHARTRE D'ÉQUIVALENCE DE PRESSION EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DE LA COLONNE D'EAU





**Environnement
et Lutte contre
les changements
climatiques**

Québec 