

**RÉPONSES D'HYDRO-QUÉBEC DISTRIBUTION  
À LA DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS N° 1  
DU ROÉÉ  
(VERSION CAVIARDÉE)**



DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS N° 1 DU ROÉÉ À HYDRO-QUÉBEC

i) Hydro-Québec — Demande d'approbation du plan d'approvisionnement 2020-2029 d'Hydro-Québec

RÉGIE DE L'ÉNERGIE — DOSSIER R-4110-2019

---

PRÉVISION DE LA DEMANDE : CONTEXTE ÉCONOMIQUE

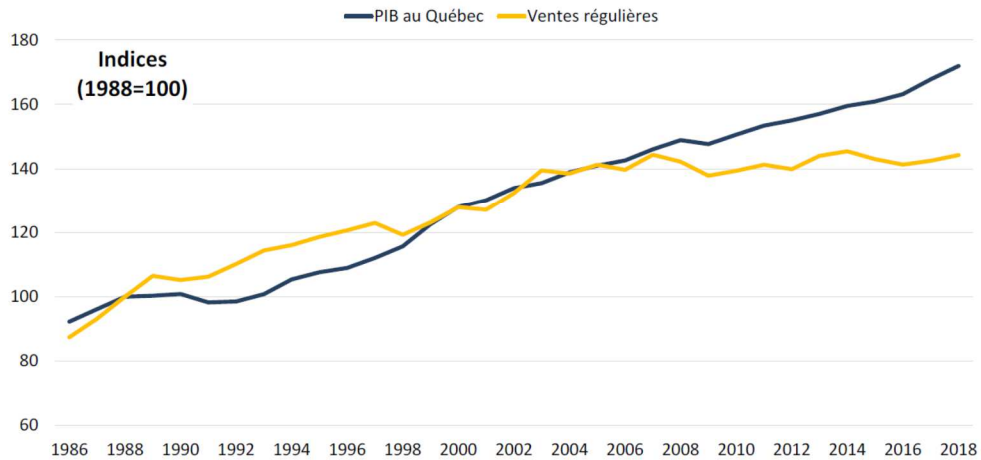
1. Références

- i) B-0007, HQD-2, Document 2, page 9, figure 1.2, Complément d'information du plan d'approvisionnement 2020-2029 : prévision de la demande,
- ii) B-0024, HQD-5, Document 1, page 3 à 6, question 1, demande de renseignements no 1 de la Régie de l'énergie (**la Régie**) relative à la demande d'approbation du plan d'approvisionnement 2020-2029 du distributeur18, Bilan en puissance 2020-2029.
- iii) Agence France-Presse, Coronavirus : la récession mondiale pourrait être pire que pendant la crise financière, La Presse, 23 mars 2020, en ligne, <https://www.lapresse.ca/affaires/economie/202003/23/01-5266044-coronavirus-la-recession-mondiale-pourrait-etre-pire-que-pendant-la-crise-financiere.php>
- iv) Lavoie, Jonathan, Assurance-emploi : 500 000 demandes en une semaine, ici. Radio-Canada, 20 mars 2020 en ligne, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1678611/assurance-emploi-demandes-ottawa-trudeau-chomage-quebec>

Préambule

Réf. i) : La figure 1.2 présente l'évolution relative des ventes d'électricité et du PIB du Québec. On remarque qu'entre 1998 et 2008 les deux courbes sont plutôt corrélées, mais se distancent ensuite. Entre 2015 et 2018, les deux courbes continuent de se distancer de manière plus prononcée.

FIGURE 1.2 :  
ÉVOLUTION RELATIVE DES VENTES D'ÉLECTRICITÉ ET DU PIB



«

Réf ii) : En référence ii), la Régie questionne Hydro-Québec sur les perspectives de la croissance économique du Québec. Le distributeur présente une réponse dont nous reproduisons ici des extraits.

- « [...] Bien que ces éléments, pris isolément, soient positifs pour les perspectives économiques mondiales, d'autres nouveaux éléments de risque viennent assombrir le tableau, notamment l'impact du coronavirus en Chine. Ainsi, même en tenant compte des éléments mentionnés en référence (iv), le Fonds monétaire international a récemment diminué sa prévision de croissance économique mondiale pour 2020 et 2021 [...] »

Somme toute, le Distributeur est d'avis que le contexte économique mondial ne s'est pas amélioré et que la forte croissance économique québécoise des trois premiers trimestres de 2019 ne change pas les perspectives pour 2020 à 2029. En effet, les principaux éléments qui expliquent la baisse attendue du PIB à court et moyen termes sont toujours les mêmes, soit le ralentissement du commerce extérieur, la pénurie de travailleurs au Québec et à plus long terme, les changements démographiques causés par le vieillissement de la population. » (Nos soulignés)

Réf iii) : En référence iii), on explique que la Directrice du FMI lors d'une conférence du G20 estimait qu'il est possible que les impacts économiques suite à la pandémie mondiale du coronavirus soit pires que la crise financière de 2008.

Réf iv) : La référence iv) présente l'effet des fermetures suite à la pandémie du coronavirus. L'article laisse supposer que le marché de l'emploi suite à cette situation sera radicalement différent.

**Demandes**

1.1 Veuillez indiquer ce qui explique la distanciation des deux courbes en référence i) à partir de 2008 en prenant soin d’indiquer ce qui explique la distanciation plus marquée à partir de 2014.

**Réponse :**

1        **Le graphique présenté au préambule fait référence au décrochage entre les**  
 2        **ventes d’électricité et les variables économiques usuelles représentées par le**  
 3        **PIB au Québec. C’est cette détérioration de l’adéquation entre ces variables et**  
 4        **les ventes d’électricité qui a poussé le Distributeur à adopter les modèles**  
 5        **statistiques à usages finaux pour ses prévisions. Plusieurs raisons peuvent**  
 6        **être invoquées pour expliquer ce décrochage, notamment la baisse de**  
 7        **l’intensité énergétique des équipements et procédés industriels ainsi que la**  
 8        **modification de la répartition de la demande par secteur de consommation. Par**  
 9        **ailleurs, ce phénomène est également observé dans d’autres juridictions,**  
 10       **notamment sur les ventes d’électricité aux États-Unis.**

11       **Quant à la baisse enregistrée entre 2014 et 2016, elle est principalement**  
 12       **attribuable à la baisse généralisée de la consommation unitaire qui faisait suite**  
 13       **à deux périodes hivernales particulièrement froides.**

1.2 Veuillez indiquer quel a été l’impact de la crise financière de 2008 sur les ventes d’électricité d’Hydro-Québec.

**Réponse :**

14       **Le Distributeur n’est pas en mesure d’isoler spécifiquement l’impact de la crise**  
 15       **financière de 2008 des autres facteurs tels que la baisse d’intensité énergétique**  
 16       **ou la décroissance naturelle du secteur industriel sur les ventes d’électricité.**  
 17       **Le tableau R-1.2 fournit les variations des ventes d’électricité normalisées pour**  
 18       **les conditions climatiques sur la période de 2007 à 2010.**

**TABLEAU R-1.2 :**  
**VENTES D’ÉLECTRICITÉ NORMALISÉES**

<i>En TWh</i>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
<i>Résidentiel</i>	59,5	60,9	62,7	62,2
<i>Commercial</i>	39,7	40,6	39,6	39,9
<i>Industriel</i>	73,0	69,2	63,4	68,5
<b>Ventes totales</b>	<b>172,1</b>	<b>170,6</b>	<b>165,6</b>	<b>170,6</b>

1.3 Veuillez indiquer si, selon le distributeur, la pandémie actuelle aura des répercussions similaires ou même plus prononcées sur la demande que la crise mondiale de 2008.

**Réponse :**

1 **Voir la réponse à la question 1.1 du RNCREQ à la pièce HQD-5, document 7.**

1.4 En référence ii) le distributeur dresse un portrait de la situation économique des prochaines années plus pessimiste que d'autres analystes. À la lecture des références iii) et iv), tout porte à croire que le scénario du distributeur était optimiste. Veuillez indiquer comment, selon Hydro-Québec la nouvelle réalité suite à la pandémie affectera la demande.

**Réponse :**

2 **Voir réponse à la question 1.1 de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

## **PRÉVISION DE LA DEMANDE : PRÉVISION DES VENTES RÉGULIÈRES**

### **2. Références**

- i) B-0007, HQD-2, Document 2, page 12, Complément d'information du plan d'approvisionnement 2020-2029 : prévision de la demande,
- ii) B-0007, HQD-2, Document 2, page 13-14, Complément d'information du plan d'approvisionnement 2020-2029 : prévision de la demande,
- iii) B-0024, HQD-5, Document 1, page 3 à 6, question 1, demande de renseignements no 1 de la Régie relative à la demande d'approbation du plan d'approvisionnement 2020-2029 du distributeur, Bilan en puissance 2020-2029, question 5,1
- iv) Budget de dépenses 2020-2021, Plan québécois des infrastructures 2020-2030, Québec, p.. B50 et B51, en ligne,  
[https://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/budget\\_depenses/20-21/7-Plan\\_quebecois\\_des\\_infrastructures.pdf](https://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/budget_depenses/20-21/7-Plan_quebecois_des_infrastructures.pdf)
- v) B-0007, HQD-2, Document 2, page 43, Complément d'information du plan d'approvisionnement 2020-2029 : prévision de la demande,

- vi) B-0007, HQD-2, Document 2, page 14, Complément d'information du plan d'approvisionnement 2020-2029 : prévision de la demande,
- vii) Québec, Bâtir une économie verte : Électrification et lutte contre les changements climatiques, Budget du Québec, p. 27 à 29 et 40
- viii) Orphali, Philippe, Québecor va électrifier son parc de véhicule d'ici 10 ans, Journal de Montréal, 15 janvier 2020, en ligne, <https://www.journaldemontreal.com/2020/01/15/quebecor-souhaite-electrifier-la-quasi-totalite-de-son-parc-automobile>

## Préambule

Réf. i) : En référence i) le distributeur indique que la croissance des ventes est atténuée par l'amélioration de l'efficacité énergétique et dans une moindre mesure par l'impact des changements climatiques.

Réf ii) : En référence i), le distributeur indique que : « Le nombre de véhicules électriques en circulation en 2029 est évalué à 635 000, dont environ 80 % seraient entièrement électriques ».

Réf ii) : En référence ii) le distributeur présente les estimations de demande en électricité pour les autobus électriques et pour le REM.

Réf iii) En référence iii), le distributeur indique que l'ensemble des activités liées à l'électrification des transports occasionnera la croissance de ses ventes de 2,3 TWh. De cette croissance totale, les véhicules électriques compteront pour 1,8 TWh et le reste des ventes sera lié aux autobus électriques et au REM.

Réf iv) En référence iv), le gouvernement indique dans son PQI produit suite à la demande du distributeur qu'il se met en mode planification ou à l'étude les projets suivants : un réseau structurant de transport en commun de la ville de Québec, un prolongement de la ligne bleue à Montréal, un projet électrique structurant pour reliée différentes parts de la ville de Montréal, un projet structurant de transport électrique entre l'ouest de Gatineau et le centre-ville d'Ottawa, un projet de prolongation du REM vers Laval ou vers la Rive-Sud de Montréal et un projet de transport électrique sur le boulevard Taschereau.

Réf v) « la prévision intègre l'impact attribuable aux autobus électriques. En 2029, la consommation des autobus électriques atteindra 0,1 TWh »

Réf vi) : En référence iv) le distributeur indique qu'il : « estime que 70 % de la production photovoltaïque proviendra des systèmes résidentiels contre 30 % pour les systèmes commerciaux ». Cela entraînerait une baisse des ventes de 1,3 TWh d'ici 2029.

Réf vii) Le budget du Québec 2020-2021 annonce la poursuite du programme « Roulez vert » jusqu'au 31 mars 2026. Le budget ne spécifie pas si les modalités du programme vont changer après le 31 mars 2021. De plus, à la page 40, le gouvernement du Québec indique que « les impacts financiers des mesures financées par les crédits budgétaires pour le premier plan de

mise en œuvre de la Politique-cadre » pour « l'électrification la flotte automobile gouvernementale » sont de l'ordre de 13,4 M\$

Réf viii) L'entreprise Quebecor annonce qu'elle compte électrifier 1100 véhicules d'ici 2030, dont 200 d'ici 2024.

### **Demandes**

2.1. Veuillez indiquer la part de l'atténuation des ventes qui est attribuée au changement climatique annuellement entre 2020 et 2029.

### **Réponse :**

1 **Voir la réponse à question 10.1 de l'AHQ ARQ à la pièce HQD-5, document 2.**

2.2. Veuillez déposer les références utilisées pour déterminer la demande en électricité des véhicules électriques en 2029.

### **Réponse :**

2 **En plus des éléments mentionnés à la réponse à la question 1.1 de l'UC à la**  
3 **pièce HQD-5, document 11, le positionnement de l'impact des véhicules**  
4 **électriques sur la demande d'électricité du Distributeur s'appuie sur les**  
5 **références suivantes :**

- 6 • **rapport *Charge the North* de Fleet Carma ;**
- 7 • ***Energy Outlook* de l'U.S. Energy Information Administration (EIA) ;**
- 8 • **site Web de l'AVEQ (<https://www.aveq.ca/>) ;**
- 9 • **données de consommation du Circuit électrique et d'un échantillon de**  
10 **bornes résidentielles.**

2.3. Veuillez indiquer si le budget du gouvernement du Québec à la référence vii) ou celui de Québecor à la Référence viii) modifie vos prévisions des ventes de véhicules électriques ou de demande en électricité entre 2020 et 2029.

### **Réponse :**

11 **Le budget du gouvernement du Québec ainsi que celui de Québecor cités aux**  
12 **références vii) et viii) ne modifient pas les prévisions du Distributeur telles**  
13 **qu'elles sont présentées dans le Plan. Par ailleurs, le Distributeur reste à l'affût**  
14 **des nouvelles cibles ou intentions concernant l'électrification des transports.**

2.3.1 Sinon, pourquoi



**Réponse :**

1            **Les prévisions du Distributeur tiennent compte des aides financières octroyées**  
2            **par les différents paliers de gouvernements afin de rendre le prix des véhicules**  
3            **électriques compétitif par rapport aux véhicules à combustion interne, et ce,**  
4            **autant pour les véhicules vendus à des particuliers que ceux vendus aux**  
5            **entreprises. La référence vii) réitère l'engagement du gouvernement du Québec**  
6            **à octroyer les rabais nécessaires pour atteindre cet objectif de parité de prix.**  
7            **De surcroît, la référence viii) confirme l'intérêt des entreprises à utiliser ces**  
8            **rabais.**

2.4. Veuillez indiquer si les ajouts en transport en commun électrique présentés dans le PQI 2020-2029 peuvent modifier les prévisions de vente du distributeur entre 2020-2029.

2.4.1 Si oui, comment ?

**Réponse :**

9            **Non. Les investissements dans le transport en commun électrique du *Plan***  
10           ***Québécois des infrastructures 2020-2030* sont cohérents avec les objectifs**  
11           **d'électrification du transport du gouvernement ainsi qu'avec la prévision du**  
12           **Distributeur.**

2.4.2 Sinon, veuillez indiquer quelles sont les conditions requises pour que ces projets se répercutent dans vos prévisions de ventes.

**Réponse :**

13           **Les projets devraient se rattacher à de nouveaux objectifs d'électrification du**  
14           **transport en commun du gouvernement afin qu'ils se répercutent dans les**  
15           **prévisions de ventes du Distributeur.**

2.5. Veuillez présenter annuellement la part de l'augmentation des ventes liées au REM.

**Réponse :**

16           **Voir la réponse à la question 5.1 du RNCREQ à la pièce HQD-5, document 7.**

2.6. Veuillez déposer les hypothèses de calcul permettant de déterminer l'impact attribuable aux autobus électriques sur la demande.

**Réponse :**

1            **L’impact attribuable aux autobus électriques sur la demande varie selon le type**  
 2            **d’autobus.**

3            **Le Distributeur estime qu’il y aura environ, à l’horizon 2029, 2 800 autobus**  
 4            **électriques scolaires, pour une consommation de 39 GWh, et 1 500 autobus**  
 5            **électriques de transport public, pour une consommation de 77 GWh. L’impact**  
 6            **total attribuable aux autobus électriques sur les ventes est donc de 116 GWh.**

2.7. Veuillez indiquer les références ou les méthodologies utilisées vous permettant de déterminer la part commerciale et résidentielle de la production photovoltaïque.

**Réponse :**

7            **Voir la réponse à la question 3.1 de l’UC à la pièce HQD-5, document 11 ainsi**  
 8            **que les réponses aux questions 25.3 et 25.4 de l’ACEF de Québec dans le cadre**  
 9            **du dossier R-4057-2018 phase 1, à la pièce HQD-14, document 2 (B-0066).**

2.8. Veuillez indiquer la base de calcul vous permettant de calculer l’impact de l’énergie photovoltaïque à 1,3 TWH d’ici 2029.

**Réponse :**

10           **Sur la base de la méthodologie expliquée en référence à la question 2.7, le**  
 11           **tableau R-2.8 illustre le calcul de la réduction des ventes de 1,3 TWh attribuable**  
 12           **à la production distribuée.**

**TABLEAU R-2.8 :**  
**CALCUL DE LA RÉDUCTION DES VENTES ATTRIBUABLE**  
**À LA PRODUCTION DISTRIBUÉE – ANNÉE 2029**

Nombre d’installations moyennes	Capacité moyenne (kW)	Capacité installée (MW)	Facteur d’utilisation	Production (TWh)
A	B	C = A × B	D	C × D × 8760 h/année
125000	8	1000	14%	1,3

## PROGRAMME HILO — CHOIX DE L'AGRÉGATEUR

### 3. Références

- i) B-0017, HQD-4, document 1 - Complément de preuve, page 6
- ii) B-0024, HQD-5, document 1, page 27-30, Réponses d'Hydro-Québec aux questions 9.1.1 et 9.1.2 de la Demande de renseignements no.1 de la Régie de l'énergie
- iii) B-0009, HQD-2, document 3, page 18, [Complément d'information du Plan d'approvisionnement - Approvisionnements](#), Tableau 3.2 : Bilan de puissance 2020-2029
- iv) R-3864-2013, B-0005, HQD-1, document 1, page 28, Plan d'approvisionnement 2014-2023 - Réseau intégré, Tableau 4-3 : Bilan en puissance 2014-2023
- v) [Loi favorisant la surveillance des contrats des organismes publics et instituant l'Autorité des marchés publics](#), L.Q. 2017, c. 27, page 3 (Notes explicatives), art. 38, 67, 19, 26, 34,

### Préambule

Réf. i) :

« En prenant en considération les limites de son périmètre d'activités réglementées et l'effort requis pour un déploiement de masse, il a choisi de mandater l'agrégateur Hilo, une filiale non réglementée en propriété exclusive d'Hydro-Québec, active dans le marché de la Maison intelligente pour développer le marché de la GDP résidentielle au Québec et contribuer à l'équilibre de son bilan de puissance.

Constitué de spécialistes d'expérience en développement de nouveaux produits et d'entreprises technologiques, Hilo détient l'expertise commerciale et technologique pour déployer à grande échelle un service d'installation et de programmation de produits de domotique à la clientèle. La filiale a, de plus, pu bénéficier d'un transfert des connaissances acquises par le Distributeur, par le biais notamment des projets pilotes et des travaux réalisés pour le compte de ce dernier par les chercheurs de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ). Le recours à cet affilié, dédié au déploiement de ce nouveau moyen, permet un développement coordonné de services énergétiques parfaitement adaptés aux besoins du Distributeur afin d'assurer la fiabilité du réseau ainsi que la sécurité et la confidentialité des données. » (nous soulignons)

Réf : ii)

**« Demande :**

9.1 Le Distributeur a choisi de conclure un contrat de gré à gré avec l'agrégateur Hilo, une filiale non réglementée en propriété exclusive d'Hydro-Québec (références [ii] et [iii]), pour déployer le nouveau moyen de gestion de la puissance décrit en référence (iii) comme mesure d'efficacité énergétique (référence [i]).

La Régie comprend que le Distributeur a choisi de conclure un contrat de gré à gré avec l'agrégateur Hilo et que ce choix a été effectué sans recours préalable à la procédure d'appel d'offres prévue à l'article 74.2 de la Loi sur la Régie de l'énergie. Veuillez commenter la compréhension de la Régie.

**Réponse :**

La compréhension de la Régie est exacte.

9.1.1 Veuillez notamment justifier pourquoi, le cas échéant, le Distributeur considère que ce moyen de gestion de la puissance ne constitue pas un approvisionnement assujéti à ladite procédure. Veuillez élaborer.

**Réponse :**

Le Distributeur rappelle que l'obligation de procéder à un appel d'offres conformément à la procédure prévue à l'article 74.1 de la LRÉ s'applique pour les contrats d'approvisionnement en électricité requis afin de satisfaire les besoins des marchés québécois qui excèdent l'électricité patrimoniale. Or, tel n'est pas le cas avec Hilo. Le service offert par cette dernière vise au contraire une économie dans l'utilisation des ressources énergétiques présentement disponible chez les clients du Distributeur, permettant ainsi de repousser un appel d'offres pour l'acquisition d'approvisionnements de long terme. Il ne peut donc s'agir d'un "contrat d'approvisionnement en électricité" au sens de la LRÉ.

Les arguments énoncés par la Régie au paragraphe 173 de sa décision D-2019-164 s'appliquent *mutatis mutandis* :

[173] De plus, aux fins de son interprétation, la Régie juge déterminant le fait que le Programme soit, d'une part, un produit de puissance résultant de l'effacement ou de l'interruption à la pointe des participants et, d'autre part, qu'il soit extrait des ressources déjà disponibles. Cette dernière caractéristique suffit

pour justifier l'exemption du Programme de la procédure d'appel d'offres visant l'acquisition de nouvelles ressources afin de fournir la puissance requise pour combler les besoins des marchés québécois. » (nous soulignons)

Réf iii) :

**TABLEAU 3.2 :  
BILAN DE PUISSANCE**

Hiver (1 <sup>er</sup> décembre au 31 mars) En MW	2019- 2020	2020- 2021	2021- 2022	2022- 2023	2023- 2024	2024- 2025	2025- 2026	2026- 2027	2027- 2028	2028- 2029
<b>BESOINS À LA POINTE</b>	<b>38 783</b>	<b>39 489</b>	<b>40 196</b>	<b>40 550</b>	<b>40 815</b>	<b>41 056</b>	<b>41 139</b>	<b>41 064</b>	<b>41 287</b>	<b>41 522</b>
Réserve pour respecter le critère de fiabilité	3 661	3 745	3 817	3 915	3 997	4 051	4 086	4 088	4 115	4 143
<b>BESOINS À LA POINTE - INCLUANT LA RÉSERVE</b>	<b>42 445</b>	<b>43 234</b>	<b>44 013</b>	<b>44 464</b>	<b>44 812</b>	<b>45 106</b>	<b>45 225</b>	<b>45 152</b>	<b>45 402</b>	<b>45 666</b>
<b>APPROVISIONNEMENTS</b>										
<b>Approvisionnements planifiés</b>										
Électricité patrimoniale	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442
Contrats avec HQP	1 100	1 450	1 500	1 500	1 500	1 500	1 100	1 100	500	500
Autres contrats de long terme	1 827	1 925	1 935	1 954	1 945	1 967	1 970	1 926	1 844	1 746
* Éolien <sup>(1)</sup>	1 467	1 477	1 486	1 486	1 486	1 486	1 489	1 445	1 405	1 361
* Biomasse	257	345	345	345	337	337	337	337	295	241
* Petite hydraulique	103	103	103	122	122	144	144	144	144	144
Gestion de la demande en puissance	1 315	1 779	2 217	2 491	2 838	2 983	3 004	2 751	2 781	2 815
* Électricité interrompible	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
* Interventions en gestion de la demande en puissance	315	779	1 217	1 411	1 658	1 683	1 584	1 331	1 361	1 395
- Programme GDP Affaires	280	330	385	420	505	510	515	515	515	515
- Interruption chaînes de blocs	25	375	682	682	682	636	479	173	173	173
- Tarification dynamique	9	17	26	34	43	52	60	69	77	86
- Hilo	2	57	124	275	428	486	529	574	596	621
* Moyens additionnels potentiels	0	0	0	80	180	300	420	420	420	420
Abaissement de tension	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
<b>Puissance additionnelle requise</b>										
Contribution des marchés de court terme	500	400	650	850	850	950	1 100	1 100	1 100	1 100
Approvisionnement de long terme	0	0	0	0	0	0	350	600	1 500	1 800

Note (1) : Contribution équivalente à 40 % de la puissance contractuelle, en vertu du service d'intégration éolienne.

Réf iv) :

**TABLEAU 4-3  
BILAN EN PUISSANCE**

En MW	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	2016- 2017	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2020- 2021	2021- 2022	2022- 2023
<b>Besoins à la pointe visés par le Plan</b>	<b>37 374</b>	<b>37 268</b>	<b>37 607</b>	<b>37 954</b>	<b>38 337</b>	<b>39 031</b>	<b>39 397</b>	<b>39 726</b>	<b>40 036</b>	<b>40 340</b>
+ Réserve pour respecter le critère de fiabilité	3 562	3 647	3 922	4 125	4 167	4 242	4 372	4 408	4 441	4 474
- Électricité patrimoniale	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442	37 442
<b>= Approvisionnements non patrimoniaux <sup>(1)</sup></b>	<b>2 844</b>	<b>3 114</b>	<b>3 338</b>	<b>3 588</b>	<b>3 769</b>	<b>4 298</b>	<b>4 498</b>	<b>4 618</b>	<b>4 668</b>	<b>4 668</b>
* TransCanada Energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
* HQP - Base et cyclable	600	600	600	600	600	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
* Autres contrats de long terme <sup>(1)</sup>	994	1 254	1 488	1 538	1 669	1 748	1 748	1 818	1 818	1 818
* Biomasse (incluant Tembec)	181	265	326	376	376	376	376	376	376	376
* Éolien : 4 000 MW <sup>(2)</sup>	766	935	1 098	1 098	1 229	1 308	1 308	1 378	1 378	1 378
* Petite hydraulique : 150 MW	48	64	64	64	64	64	64	64	64	64
* Gestion de la demande en puissance	1 000	1 000	1 000	1 200	1 250	1 300	1 500	1 550	1 600	1 600
* Électricité interrompible	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
* Contrats d'interromptible avec Alouette	150	150	150	300	300	300	450	450	450	450
* Autres interventions en gestion de la demande en puissance	0	0	0	50	100	150	200	250	300	300
* Abaissement de tension	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
<b>= Puissance additionnelle requise</b>	<b>650</b>	<b>360</b>	<b>750</b>	<b>1 050</b>	<b>1 290</b>	<b>1 530</b>	<b>1 830</b>	<b>2 070</b>	<b>2 370</b>	<b>2 700</b>
* Contribution des marchés de court terme	650	360	750	1 050	1 290	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
<b>= Puissance additionnelle requise</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>330</b>	<b>570</b>	<b>870</b>	<b>1 200</b>

Note (1) : La puissance associée aux approvisionnements éoliens tient compte du raffermissement en puissance associé au service d'intégration qui établit une contribution totale garantie équivalente à 35 % de la puissance contractuelle.

Réf v) :

« NOTES EXPLICATIVES

[...]

Par ailleurs, la loi modifie la Loi sur les contrats des organismes publics et les lois régissant les organismes municipaux afin d'obliger les organismes à publier un avis d'intention avant de conclure certains contrats de gré à gré et à se doter d'une procédure portant sur la réception et l'examen des plaintes qui leur sont formulées dans le cadre de l'adjudication ou de l'attribution d'un contrat. » (page 3) (nous soulignons)

« §2. Processus d'attribution

38. Toute personne ou société de personnes intéressée, ainsi que la personne qui la représente, peut porter plainte à l'Autorité relativement à un processus d'attribution d'un contrat public lorsque, après avoir manifesté son intérêt à réaliser le contrat auprès de l'organisme public ayant publié l'avis d'intention requis par la loi, elle est en désaccord avec la décision de l'organisme public. La plainte doit être reçue par l'Autorité au plus tard trois jours suivant la réception par le plaignant de la décision de l'organisme public. Lorsque ce délai expire un jour férié, il est prolongé au premier jour ouvrable suivant. Aux fins du présent alinéa, le samedi est assimilé à un jour férié, de même que le 2 janvier et le 26 décembre. » (page 19) (nous soulignons)

« CHAPITRE VII

RÉSILIATION DE PLEIN DROIT

67. Tout contrat public conclu à la suite d'un processus d'adjudication ou d'attribution continué par un organisme public soit avant que l'Autorité ait rendu sa décision à l'égard d'une plainte portée en vertu de l'une ou l'autre des sections I et II du chapitre IV, soit, sous réserve de l'article 25.0.1 de la Loi sur les contrats des organismes publics, en contravention d'une ordonnance rendue par l'Autorité en vertu de l'un ou l'autre des paragraphes 1° et 2° du premier alinéa de l'article 29, est résilié de plein droit à compter de la réception par l'organisme et son contractant d'une notification de l'Autorité à cet effet.

De plus, un contrat conclu de gré à gré par un organisme public sans avoir fait l'objet de la publication de l'avis d'intention prévue par la loi est résilié de plein droit à compter de la réception par l'organisme et son contractant d'une notification de l'Autorité à cet effet.

Le présent article ne s'applique pas à un contrat d'un organisme municipal. » (page 26) (nous soulignons)



« 94. Cette loi [la *Loi sur les contrats des organismes publics* (L.Q., ch. C-65.1)] est modifiée par l'insertion, après l'article 13, des suivants :

« 13,1. L'organisme public doit, au moins 15 jours avant de conclure de gré à gré un contrat en vertu du paragraphe 4° du premier alinéa de l'article 13, publier dans le système électronique d'appel d'offres un avis d'intention permettant à toute entreprise de manifester son intérêt à réaliser ce contrat.

## Demandes

3.1. En rapport à la référence i), veuillez préciser si les limites du périmètre d'activités réglementées obligent ou permettent que le mandat soit accordé à une entité non réglementée ? En d'autres termes, s'agit-il d'une obligation ou bien d'un choix d'affaires de la part d'Hydro-Québec dans ses activités de distribution ?

### Réponse :

1 **Il s'agit d'un choix de la part du Distributeur.**

3.2. Veuillez expliquer quelles sont les limites du périmètre d'activités réglementées dont Hydro-Québec a tenu compte aux fins de sa prise de décision de mandater Hilo ou une autre entreprise non-réglementée?

### Réponse :

2 **Dans sa décision de mandater une entreprise non réglementée, le Distributeur**  
3 **a considéré différents éléments, dont l'importance de pouvoir offrir une**  
4 **expérience enrichie au client, laquelle se traduit par le déploiement d'une**  
5 **infrastructure technologique en aval du compteur. Également, une entreprise**  
6 **non réglementée pourra éventuellement plus facilement bonifier l'offre de**  
7 **produits ou services complémentaires auprès des clients.**

3.3. Veuillez expliquer l'effort requis pour un déploiement de masse dont il est question en référence i) et qui empêche Hydro-Québec de réaliser les services d'agrégation présentés pour Hilo.

**Réponse :**

1           **Sur l'horizon du plan d'approvisionnement, les services offerts par Hilo**  
2           **viseront plusieurs centaines de milliers de participants. Or, le Distributeur n'a**  
3           **pas la structure pour assurer la commercialisation et l'exploitation de tels**  
4           **services auprès d'un si grand nombre de clients.**

3.4. Quelle est, selon vous, la valeur pratique et pécuniaire du transfert des connaissances acquises par le Distributeur en référence i) dont Hilo a pu bénéficier ?

**Réponse :**

5           **Voir la réponse à la question 2.6 de la demande de renseignements n° 1 de**  
6           **l'AQCIE-CIFQ à la pièce HQD-5, document 3.**

3.5. Veuillez indiquer si selon vous la fiabilité du réseau de distribution ainsi que la sécurité et la confidentialité des données dont il est question en référence i) ne peuvent être assurées que par Hilo et aucune autre entreprise existante.

**Réponse :**

7           **Ce n'est pas l'opinion du Distributeur.**  
8           **Toutefois, il s'agit d'une première mise en place de ce type d'approche de**  
9           **gestion de la demande chez la clientèle résidentielle d'Hydro-Québec. Pour**  
10          **cette raison, l'entreprise jugeait plus prudent et plus simple de mandater une**  
11          **filiale pour ce faire.**

3.6. Veuillez préciser et déposer la garantie fournie par Hilo quant à la fiabilité du réseau ainsi que la sécurité et la confidentialité des données.

**Réponse :**

12          **Ces dispositions sont prévues à la convention-cadre entre Hilo et le**  
13          **Distributeur, laquelle est déposée à l'annexe A de la pièce HQD-5, document 3.**

3.7. En réponse à la question 9.1.1 de la Régie (référence ii)), Hydro-Québec fait valoir qu'elle n'avait pas l'obligation de procéder à un appel d'offres conformément à la procédure prévue à l'article 74.1 de la LRÉ parce que la puissance acquise par des moyens de gestion de la demande en puissance ne constitue pas un approvisionnement post-patrimonial. En quoi la Régie et le ROÉÉ ne seraient pas justifiés de conclure qu'il y a contradiction entre cette affirmation et le fait que la contribution en puissance des



moyens de gestion en puissance est inscrite dans le bilan en puissance indiqués en référence iv) dans la catégorie des approvisionnements non patrimoniaux ?

**Réponse :**

- 1            **L'article 74.1 de la LRÉ prévoit dans quelles circonstances le Distributeur doit**  
2            **procéder à un appel d'offres. Il ne vient pas établir les règles applicables au**  
3            **bilan de puissance.**
- 4            **Voir également les réponses aux questions 2.1 à 2.3 de la FCEI à la pièce HQD-5,**  
5            **document 6.**

3.8. En réponse à la question 9.1.1 de la Régie (référence ii)), Hydro-Québec se réfère aux arguments énoncés par la Régie au paragraphe 173 de sa décision D-2019-164 relativement au Programme GDP Affaires à l'effet qu'il s'agit d'un produit de puissance résultant de l'effacement ou de l'interruption à la pointe des participants et, d'autre part, qu'il soit retiré des ressources déjà disponibles. Veuillez justifier cette position alors que la décision de la Régie relativement à l'appel d'offres dans le cadre du programme GDP Affaires visait l'acquisition directe de puissance auprès de la clientèle tandis que dans le cas de Hilo, il s'agit plutôt de l'acquisition indirecte de puissance via un service d'agrégation auprès d'un tiers.

**Réponse :**

- 6            **Dans un cas comme dans l'autre, il s'agit d'une mesure visant une économie**  
7            **dans l'utilisation des ressources énergétiques disponibles chez les clients du**  
8            **Distributeur.**

3.9. Tel qu'indiqué en référence v), veuillez indiquer si Hydro-Québec a publié un avis d'intention de conclure une entente de gré à gré avec Hilo tel que le stipule la *Loi sur l'Autorité des marchés publics* ? Dans l'affirmative, veuillez le déposer. Dans le cas contraire, est-ce qu'Hydro-Québec a examiné l'application de cette loi ? Veuillez justifier votre décision de ne pas publier un tel avis.

**Réponse :**

- 9            **La question dépasse le cadre d'examen du présent dossier.**

3.10. Veuillez confirmer ou infirmer la compréhension du ROÉÉ. L'agrégation des charges que pratiquerait Hilo serait impossible à réaliser sans recours aux compteurs communicants chez la clientèle d'Hydro-Québec.

**Réponse :**

1

**Le Distributeur le confirme.**

## **PROGRAMME HILO — VALEUR DE L'EFFACEMENT**

### **4. Références**

- i) B-0024, HQD-5, document 1, page 48, Réponse d'Hydro-Québec à la question 10.19 de la demande de renseignements no.1 de la Régie de l'énergie
- ii) B-0032, HQD-4, Document 4, pages 6, 8 et 9, Complément de preuve — Mise à jour des coûts évités

### **Préambule**

Réf. i) :

« **10,19** Veuillez fournir le coût global prévu pour le Distributeur, pour les 3 premières années du programme Hilo, par kW effacé.

#### **Réponse :**

Le déploiement d'une gamme de services centrés sur la maison intelligente fait partie des actions prioritaires par Hydro-Québec dans son Plan stratégique 2020-2024 pour accroître son offre auprès de sa clientèle et augmenter sa satisfaction. Hydro-Québec considère le service offert par Hilo comme une activité structurante dans son offre de services en permettant aux clients participants de contribuer de façon concrète à la transition énergétique en ayant accès à divers services de domotique leur permettant de participer à l'effort collectif de réduction de la consommation énergétique. Ce service permet en outre de répondre à la demande des clients qui souhaitent qu'Hydro-Québec aille plus loin dans son offre et les accompagne dans l'introduction des nouvelles technologies et dans la gestion de leur consommation énergétique, et ce, en maintenant de hauts standards en matière de confidentialité des données personnelles.

Pour le Distributeur, dont les besoins en puissance à approvisionner sont en croissance, Hilo donne accès à un nouveau moyen d'approvisionnement flexible, sûr et parfaitement adapté à ses besoins, auprès d'un bassin de clients non encore exploité par les moyens actuellement disponibles.

Conscient des coûts importants liés au développement d'un tel service, le Distributeur souligne que son lancement coïncide avec le début d'un cycle de plafonnement des tarifs pour les quatre prochaines années, ce qui implique que la clientèle ne sera pas affectée

par les coûts du service pendant cette période. En fait, ces coûts ne seront intégrés aux revenus requis du Distributeur qu'en 2025, soit lorsque le service d'Hilo aura atteint une certaine maturité et que le Distributeur pourra en tirer le maximum de bénéfices.

Dans l'intervalle, le Distributeur s'est appliqué à obtenir un prix représentatif des coûts évités de long terme et travaille à estimer les bénéfices pour le réseau et environnementaux plus difficilement quantifiables à ce stade mais rendus possibles par les technologies mises en place par Hilo. Le déploiement de cette infrastructure technologique pérenne en aval du compteur par Hilo permettra d'élargir graduellement la gamme de services selon les besoins du réseau d'Hydro-Québec. Cette infrastructure permettra en outre d'accueillir davantage de ressources énergétiques distribuées auprès de sa clientèle sans mettre à risque le réseau et la fiabilité du service d'Hydro-Québec, le tout, dans le respect de hauts standards de sécurité.

Le Distributeur est d'avis que le prix payé pour un tel service doit demeurer confidentiel, puisque commercialement sensible, particulièrement dans le contexte où il existe peu de joueurs dans ce marché en émergence. » (nous soulignons)

**Réf. ii) :**

**« 2,2 Signal de coût évité de la puissance**

Le bilan de puissance du Distributeur prévoit le besoin pour un approvisionnement de long terme à compter de l'hiver 2025-2026, et ce, considérant une contribution des marchés de court terme de 1 100 MW, comme mentionné au Plan.

- Pour les hivers 2019-2020 à 2024-2025, le signal de coût évité est de 20 \$/kW-hiver (\$ 2019, indexé à l'inflation) et reflète le coût d'approvisionnement sur les marchés de court terme pour un approvisionnement en puissance de type UCAP ;
- À compter de l'hiver 2025-2026, le signal de coût évité est de 115 \$/kW-an (\$ 2019, indexé à l'inflation). Ce signal est basé sur le coût moyen de la puissance des soumissions retenues dans le cadre de l'appel d'offres de long terme A/O 2015-01. » (page 6)

**« 3. COÛTS ÉVITÉS DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION**

**Méthodologie de calcul**

Comme l'a mentionné le Distributeur au dossier R-4057-2018, une mise à jour de la méthodologie d'établissement des coûts évités de transport et de distribution a été initiée en 2019. Grâce à cet exercice, le Distributeur a validé avec toutes les parties prenantes

la méthodologie utilisée jusqu'à présent et s'est assuré de sa pertinence. Elle a donc été maintenue et reconduite pour l'année en cours.

Par ailleurs, à la suite de la révision de la durée de vie des équipements sur les réseaux de transport et de distribution, le calcul de l'annuité se base désormais sur la durée de vie pondérée des équipements. Cette dernière a été révisée à 57 ans pour les équipements de transport et à 45 ans pour ceux de distribution.

Le Distributeur a décidé de déterminer la valeur des coûts évités annuellement et de retenir une moyenne mobile afin d'assurer une stabilité dans le signal utilisé dans les analyses économiques. Pour l'année 2019, les coûts évités sont respectivement de 16,70 \$/kW pour la distribution et 48,21 \$/kW pour le transport (\$ 2019). » (page 8)

#### p.9 « **3,2 Application des coûts évités**

Aux fins des analyses économiques, les coûts évités sont sollicités pour aider à la prise de décision. L'application des coûts évités aux différents programmes de gestion de la puissance se base sur le service rendu par ces derniers. Contrairement aux programmes en efficacité énergétique, qui assurent un effacement permanent de la charge, les différents programmes de gestion de la demande en puissance n'assurent pas automatiquement un report des investissements en croissance sur les réseaux de transport et de distribution.

Pour être en mesure de s'appuyer sur un signal pertinent, certains critères doivent être considérés pour attribuer les coûts évités de transport et de distribution. Ces critères ont été déterminés avec les planificateurs des réseaux de transport et de distribution dans le cadre du comité technique<sup>4</sup>. » (nous soulignons)

## Demandes

- 4.1. Veuillez confirmer ou infirmer la compréhension du ROEE : la valeur de l'effacement contrôlé par Hilo reflète la somme de l'ensemble des coûts évités de fourniture, de transport et de distribution, soit près de 180 \$/kW (115 \$/kW-an + 16,70 \$/kW + 48,21 \$/kW=179,91 \$/kW) à partir de 2025-2026 tandis que la valeur de l'effacement par la tarification dynamique se résume au coût évité de fourniture.

### Réponse :

- 1            **En ce qui a trait à la valeur de l'effacement par la tarification dynamique, voir la**  
2            **réponse à la question 14.3 de l'UC à la pièce HQD-5, document 11.**

1 **Concernant Hilo, les coûts évités à considérer doivent tenir compte,**  
2 **notamment, des différents éléments mentionnés à la section 3.2 de la pièce**  
3 **HQD-4, document 4 (B-0032).**

4 [Redacted]  
5 [Redacted]  
6 [Redacted]  
7 [Redacted]  
8 [Redacted]  
9 [Redacted]  
10 [Redacted]  
11 [Redacted]  
12 [Redacted]  
13 [Redacted]  
14 [Redacted]  
15 [Redacted]

16 **Voir également les réponses aux questions 1.1 et 4.1 de la demande de**  
17 **renseignements n° 1 de l'AQCIE-CIFQ à la pièce HQD-5, document 3.**

4.1.1 Dans le cas où le ROEE est dans l'erreur, veuillez fournir les détails du calcul.

**Réponse :**

18 **Voir la réponse à la question 4.1.**

4.2. Veuillez indiquer quels sont les critères qui doivent être considérés pour attribuer les coûts évités de transport et de distribution dont il est question vers la fin de la référence ii).

**Réponse :**

19 **Il s'agit des critères énoncés aux sous-sections 3.2.1 et 3.2.2 de cette pièce.**

4.3. Hydro-Québec mentionne au dernier paragraphe de la référence i) ce qui suit : « Le Distributeur est d'avis que le prix payé pour un tel service doit demeurer confidentiel, puisque commercialement sensible, particulièrement dans le contexte où il existe peu de joueurs dans ce marché en émergence. » Est-ce que cela indique qu'Hydro-Québec que d'autres entreprises que sa filiale Hilo auraient l'opportunité de fournir de la puissance de manière similaire ?

**Réponse :**

- 1           **Voir la réponse à la question 9.1.2 de la demande de renseignements n° 1 de la**  
2           **Régie à la pièce HQD-5, document 1 (B-0024).**

**GESTION DE LA DEMANDE EN PUISSANCE, LÉGIONELLOSE ET CHAUFFE-  
EAU**

**5. Références**

- ii) B-0024, HQD-5, Document 1, page 48, Réponse d'Hydro-Québec à la question 10.21 de la demande de renseignements no.1 de la Régie de l'énergie
- iii) [Suivi administratif de la décision D-2018-15](#), 15 mars 2019

**Préambule**

Réf. i) :

« **10,21** Considérant qu'un avis favorable du Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) a été émis en mai 2019, veuillez préciser l'horizon approximatif de la disponibilité commerciale d'un chauffe-eau répondant au critère anti-légionelle et l'ajout des charges de chauffage de l'eau à l'offre d'Hilo. Veuillez élaborer.

**Réponse :**

Comme mentionné dans le complément de preuve à la pièce HQD-4, document 1 (B-0017), Hilo doit effectuer elle-même ses choix technologiques et déterminer le rythme de déploiement des mesures. Le Distributeur n'a pas fait de prévisions quant à l'horizon d'ajout de mesures spécifiques.

Toutefois, le Distributeur estime que des chauffe-eau répondant aux critères antilégionelles devraient être disponibles commercialement en 2021.» (nous soulignons)

Réf. ii) :

« Le rapport technique rédigé par l'équipe de chercheurs responsable des essais cherchant à mieux documenter l'inactivation de la légionnelle par la température a été reçu le 2 février dernier. Ce rapport précise les conditions requises (température et durée de maintien de cette température) pour éviter la contamination par les légionnelles. Sur la base de ces conditions, un critère de maintien de température a été établi par Hydro-Québec pour éviter la prolifération de légionnelles au fond du réservoir, ainsi que permettre d'inactiver à plus de 99 % celles qui peuvent être introduites en faible quantité

par les réseaux d'alimentation en eau potable (critère anti-légionnelle). Une demande d'avis a été soumise par Hydro-Québec au Ministère de la Santé et des services sociaux (MSSS) le 5 février pour le déploiement d'un programme de délestage de chauffe-eau électriques dans la mesure où le délestage ne s'appliquerait qu'aux chauffe-eau démontrant le respect du critère anti-légionnelle développé et proposé par Hydro-Québec et qui sont munis d'un dispositif automatisé permettant de valider le respect de ce critère.

Le Distributeur fera le point sur les suites de cette demande dans le cadre de son prochain dossier tarifaire et, advenant un avis favorable du MSSS, sur la mise en place d'un éventuel programme de délestage applicable à ce type de chauffe-eau électriques. » (nous soulignons)

### **Demandes**

5.1. Veuillez indiquer quel(s) fabricant(s) devrai(en)t commercialiser des chauffe-eau répondant aux critères antilégionnelles en 2021. Veuillez aussi préciser le coût de ces chauffe-eau et leur durée de vie utile. Veuillez aussi indiquer si Hilo en aura l'exclusivité.

### **Réponse :**

1 **Voir la réponse à la question 45.1 du RNCREQ à la pièce HQD-5, document 7.**

5.2. Veuillez déposer l'avis du Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) qui a été émis en mai 2019 dont il est question en i).

### **Réponse :**

2 **Le document demandé est à l'annexe A.**

5.3. Veuillez déposer le rapport technique rédigé par l'équipe de chercheurs responsable des essais cherchant à mieux documenter l'inactivation de la légionnelle en fonction de la température qui a été reçu le 2 février 2019.

### **Réponse :**

3 **Le document demandé est à l'annexe B, laquelle comporte certaines**  
4 **informations déposées sous pli confidentiel.**

5.4. Veuillez déposer le critère de maintien de température qui a été établi par Hydro-Québec.

**Réponse :**

1            **Le critère antilégionelle développé par Hydro-Québec consiste à maintenir une**  
2            **température de 55° C au point le plus bas du réservoir pendant une période**  
3            **cumulée d'au moins 4 heures par jour. Voir le document à l'annexe C, laquelle**  
4            **comporte certaines informations déposées sous pli confidentiel.**

5.5.Veuillez déposer la demande d'avis qui a été soumise par Hydro-Québec au Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) le 5 février 2019 et la réponse reçue du MSSS par la suite.

**Réponse :**

5            **Le document demandé est à l'annexe D, laquelle comporte certaines**  
6            **informations déposées sous pli confidentiel.**

5.6.Est-ce qu'Hydro-Québec et le comité technique ont étudié aussi les risques de la légionellose dans les chauffe-eau associés aux pannes du courant ? Si oui, veuillez fournir cette information, y compris le pourcentage des chauffe-eau affecté. Sinon, pourquoi.

**Réponse :**

7            **L'effet des pannes ne faisait pas partie de l'étude.**

5.7.De même, est-ce que les avis demandés et reçus de la Santé publique et du MSSS ont porté également sur cet aspect ? Si oui, veuillez fournir l'information reçus de ces sources.

**Réponse :**

8            **Non.**

## **DÉLESTAGE DES CHAUFFE-EAU**

### **6. Références**

- i) B-0009, HQD-2, Document 3, page 30, Conciliation des bilans en puissance
- ii) B-0024, HQD-5, Document 1, page 44, Réponse d'Hydro-Québec à la question 10.14 de la Demande de renseignements no.1 de la Régie de l'énergie
- iii) [The Value of Demand Response in a Hydro-Dominated Power Grid – The Example of Quebec, Canada](#), Vincent Dufresne, Université Carleton, page i)



- iv) Demand Response Spinning Reserve Demonstration, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Mai 2007, page i

Réf. i) :

« 4.6. Conciliation des bilans de puissance

Contexte

La North American Electric Reliability Corporation (NERC) a comme mission d'améliorer la fiabilité et la sécurité des réseaux électriques dans l'ensemble de l'Amérique du Nord, divisée en huit régions. La zone de réglage du Québec fait partie du Nord-Est américain, région de la NERC couverte par le Northeast Power Coordinating Council (NPCC).

Les exercices de fiabilité en puissance réalisés pour le NPCC et la NERC ont le même objectif, soit d'évaluer si les ressources de chacune des zones de réglage sont suffisantes pour répondre aux besoins en électricité avec une fiabilité adéquate.

Les taux de réserve pour le Distributeur et pour la zone de réglage sont établis en fonction du critère de fiabilité en puissance du NPCC, lequel exige que l'espérance de délestage dans une zone de réglage n'excède pas 0,1 jour par année. Le respect de ce critère est testé à l'aide de modèles stochastiques. Les résultats des tests sont mis à jour une fois par année, lors des revues d'adéquation des ressources du NPCC (triennales ou intérimaires) pour la zone de réglage et lors du dépôt des plans d'approvisionnement ou des états d'avancement pour le Distributeur.

Cependant, et comme présentés ci-dessous, les taux de réserve pour le Distributeur et pour la zone de réglage se distinguent sur le plan du traitement de la demande et des ressources.

Besoins et ressources considérés dans le bilan de puissance

Pour le bilan de puissance présenté au plan d'approvisionnement, seuls les besoins et ressources du Distributeur sont considérés. Dans le cas de l'électricité patrimoniale et de la réserve qui s'y rattache, un sous-ensemble des ressources du Producteur est pris en compte.

Pour les analyses déposées au NPCC, qui couvre la zone de réglage du Québec, l'ensemble des engagements et des ressources du Producteur est considérée, ainsi que les autres ressources du Distributeur. » (nous soulignons)

Réf : ii)

« Les services d'Hilo ainsi que la tarification dynamique font partie du portefeuille des moyens de gestion disponibles pour répondre à la demande. Ainsi, en fonction de la

charge à alimenter, des contraintes sur le réseau du Transporteur, des caractéristiques intrinsèques des différents moyens (plage d'utilisation, délais avant appel, prix du moyen) et, le tout, dans le souci d'optimiser l'utilisation de l'électricité patrimoniale, le Distributeur utilise les moyens qui permettent d'assurer la fiabilité du réseau et l'équilibre offre — demande à moindre coût. Dans cette optique, aucun de ces moyens n'est privilégié par rapport à un autre, ceux-ci faisant partie d'une stratégie globale. » (nous soulignons)

Réf : iii)

« Demand response (DR) entails programs that allow utilities to shift when electricity is being used. DR is of great interest in Quebec, as DR would increase the ability of the provincial utility to manage its domestic load. DR would also allow the provincial utility to improve the level of service to its export clients in neighbouring jurisdictions, such as New York.

This thesis explores a promising form of DR, namely direct load control of residential electric water heaters (EWH). EWH are ubiquitous in Quebec representing 94% of all domestic water heating appliances. I analysed the benefits that could be accrued by deploying a DR program, and contribute to the Public Policy literature by assessing the incremental revenues that can be achieved through the use of DR for price arbitrage between Quebec and New York. I estimated that up to 170,000 households would potentially participate, which would add 144.5 MW of capacity to the province's system, and would yield a net benefit of \$35.9 million. » (page i) (nous soulignons)

«The planning reserve margin (PRM) is the capacity required in addition to the capacity needed to supply highest net peak demand of the system. The PRM may be needed to make up for a gap between production and demand due to unexpected outage that may coincide with peak time. » (page 66) (nous soulignons)

Réf: iv)

«“The Demand Response Spinning Reserve project is a pioneering demonstration of how using existing utility load-management assets can provide an important electricity system reliability resource known as spinning reserve. Providing spinning reserve with aggregated demand-side resources such as those illustrated in this report will give grid operators at California Independent System Operator (CA ISO) and Southern California Edison (SCE) a powerful, new tool to improve system reliability, prevent rolling blackouts, and lower system operating costs.”» (nous soulignons)

**Demandes :**

6.1.Hydro-Québec envisage-t-elle l'utilisation du contrôle des charges en tant que réserve tournante aux bénéficiaires du Distributeur mais aussi du Transporteur et du Producteur ?

**Réponse :**

1            **Le service rendu par Hilo vise à offrir au Distributeur de la puissance. Pour les**  
2            **plages horaires utilisées par le Distributeur, Hilo ne pourra pas commercialiser**  
3            **un service de réserve tournante à moins de disposer d'une capacité**  
4            **excédentaire à celle nécessaire aux fins de fournir la puissance prévue au**  
5            **contrat. Pour toutes les autres heures où le Distributeur n'utilise pas son**  
6            **contrat, Hilo pourra commercialiser le service s'il y voit un avantage**  
7            **économique. Le Distributeur ne prévoit pas faire un appel d'offres pour des**  
8            **services complémentaires.**

6.2.Hydro-Québec pourrait-elle élaborer sur la stratégie globale dont il est question à la réf ii), dernière ligne.

**Réponse :**

9            **La stratégie globale du Distributeur est d'assurer l'alimentation électrique de**  
10           **sa clientèle à moindre coût, d'éviter le recours à l'entente globale cadre et de**  
11           **maintenir l'intégrité du réseau de transport. Selon les circonstances, il choisira**  
12           **le ou les moyens à déployer.**

6.3.Qui du Transporteur, du Distributeur ou de Hilo aura le contrôle effectif des charges ?

**Réponse :**

13           **Hilo a le contrôle des charges.**

6.4.Le Transporteur, en tant qu'opérateur du réseau, pourrait-il contrôler directement ou indirectement certaines charges afin d'assurer la fiabilité du réseau, ou est-ce que ce service serait rendu par le distributeur ou Hilo ?

**Réponse :**

14           **Tout comme les moyens de gestion déjà à la disposition du Distributeur, Hilo**  
15           **s'ajoute à la liste du Transporteur pour gérer les événements réseaux.**  
16           **Toutefois, le Transporteur n'aura pas un contrôle direct sur les charges. Il devra**

1 **communiquer avec Hilo pour l'effacement, et ce, en respectant les clauses**  
2 **contractuelles.**

6.5. Le Producteur pourrait-il se servir du contrôle de certaines charges dans son bilan de la Marge de Réserve Planifiée et ainsi libérer de la puissance effective de production ?

**Réponse :**

3 **Voir la réponse à la question 6.1.**

6.6. En diminuant la demande de fine pointe (100 heures) par le contrôle des charges, les pertes sont alors réduites sur le réseau de Transport, ce qui diminue et la demande de puissance et d'énergie au niveau du Producteur. Hydro-Québec a-t-elle évalué ces gains et leur valeur ?

**Réponse :**

4 **Non.**

6.7. Puisque le Producteur et le Transporteur semblent tirer avantage de la gestion des charges, est-ce que le Transporteur et le Producteur participent au financement des projets de GDP avec le Distributeur ?

**Réponse :**

5 **Non. Le Distributeur rappelle que la mise en place des moyens de GDP vise à**  
6 **répondre à ses besoins.**

7 **Voir également la réponse à la question 6.1.**

6.8. Puisque les chauffe-eau représentent une charge dont le profil horaire est quasi-constant annuellement, et en quelque sorte « synchrone », ne serait-il pas plus rentable de réserver le contrôle des chauffe-eau à titre réserve tournante ou marge de réserve planifiée, plutôt qu'à titre de moyen de réduction de la pointe critique de 100 heures.

**Réponse :**

8 **Voir la réponse à la question 6.1.**

## POTENTIEL TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE GESTION DE LA DEMANDE EN PUISSANCE

### Potentiel du délestage des chauffe-eau

#### 7. Références

- i) B-0033, HQD-4, Document 5, Complément de preuve — Potentiel technico-économique de gestion de la demande en puissance en réseau intégré, pages 25 et 26 (Tableaux 7, 8 et 9)
- ii) B-0033, HQD-4, Document 5, Complément de preuve — Potentiel technico-économique de gestion de la demande en puissance en réseau intégré, pages 29, 30 et 31 (Tableaux 10, 11 et 12)
- iii) [The Value of Demand Response in a Hydro-Dominated Power Grid – The Example of Quebec](#), Canada, Vincent Dufresne, Université Carleton, page 96

#### Préambule

##### Réf. i) :

La mesure Chauffe-eau résidentiel – Contrôlé par le Distributeur affiche un potentiel technique de 701,3 MW en 2020, 684,1 MW en 2025, et 1349,1 MW en 2030.

##### Réf : ii)

Les tableaux 10, 11 et 12 présentent les potentiels technico-économiques pour chaque sous-segment de la mesure Chauffe-eau résidentiel — Contrôlé par le Distributeur.

##### Réf : iii)

« The technical and economic potential is thereby 1,450 MW including T&D losses if 1.5 million participants were to enroll, as was shown in Illustration 23. »

#### Demandes

7.1. Veuillez justifier l'évolution irrégulière du potentiel technique de la mesure Chauffe-eau résidentiel — Contrôlé par le Distributeur entre les périodes 2020, 2025 et 2030.

#### Réponse :

1            **Le potentiel en puissance des mesures évolue selon le profil de demande en**  
2            **puissance du Distributeur. Le potentiel entre 2020 et 2025 est en pratique**  
3            **identique en raison d'un profil de demande en puissance similaire pour ces**  
4            **deux années. Le PTÉ s'accroît en 2030 puisque le profil du Distributeur offre**  
5            **plus de possibilités d'exploiter des mesures de GDP.**

7.2. Veuillez justifier l’inversion des potentiels technico-économiques de sous-segments de la mesure Chauffe-eau résidentiel — Contrôlé par le Distributeur en 2030 comparativement aux années 2020 et 2025.

**Réponse :**

1 **Voir la réponse à la question 7.1 et celle à la question 35.1 du RNCREQ à la**  
2 **pièce HQD-5, document 7.**

7.3. Veuillez commenter l’évaluation du potentiel technique et technico-économique mentionné en référence iii).

**Réponse :**

3 **La question dépasse le cadre d’examen du présent dossier.**

## **POTENTIEL DES CHAUFFE-EAU RÉSIDENTIEL À TROIS ÉLÉMENTS**

### **8. Références**

- i) B-0033, HQD-4, Document 5, Complément de preuve — Potentiel technico-économique de gestion de la demande en puissance en réseau intégré, pages 25 et 26 (Tableaux 7, 8 et 9)
- ii) B-0033, HQD-4, Document 5, Complément de preuve — Potentiel technico-économique de gestion de la demande en puissance en réseau intégré, pages 29, 30 et 31 (Tableaux 10, 11 et 12)
- iii) B-0033, HQD-4, Document 5, Complément de preuve — Potentiel technico-économique de gestion de la demande en puissance en réseau intégré, page 36
- iv) [D—2011— 162 — État d’avancement 2012 du Plan d’approvisionnement 2011-2020, Potentiel technico-économique de gestion de la demande en puissance — réseau intégré, \(en liasse\)](#), page 9, Tableau 3 — Potentiel des mesures de gestion de la demande en puissance au secteur résidentiel.

**Préambule :**

Réf. i) : La mesure Chauffe-eau résidentiel à trois éléments n’affiche aucun potentiel technique en 2020, 237,4 MW en 2025, et 240,9 MW en 2030.

Réf. iv) :

La mesure Chauffe-eau résidentiel à trois éléments n'affiche aucun potentiel technico-économique en 2020, un cumulatif de près de 100 MW en 2025, et de près de 200 MW en 2030.

Réf. iii) :

« Chauffe-eau à trois éléments : Cette mesure entre dans le potentiel sur la base de son coût marginal, soit l'écart entre le coût d'un chauffe-eau standard et celui à trois éléments. Aucun élément de contrôle additionnel n'est requis et la mesure n'est pas limitée par une reprise. Il est important de noter que la mesure n'est pas dans le potentiel pour l'année 2020 puisque la mesure est alors évaluée à son coût total étant donné qu'aucun marché de remplacement n'est applicable lors de l'année de base 2020. La mesure entre dans le potentiel en 2025 et 2030 alors que des chauffe-eau standards peuvent alors être remplacés, au coût marginal, par des chauffe-eau à trois éléments. » (nous soulignons)

Réf. iv) :

La mesure Chauffe-eau à trois éléments affiche un potentiel de 80 MW. [Aucune mention du coût total ou du coût marginal.]

#### **Demandes :**

8.1. Veuillez confirmer que la disparition du potentiel technique et technico-économique de la mesure Chauffe-eau résidentiel à trois éléments n'affiche aucun potentiel en 2020 suite à un changement méthodologique. Veuillez justifier la pertinence d'un tel changement.

#### **Réponse :**

1 **Voir la réponse à la question 35.1 du RNCREQ à la pièce HQD-5, document 7.**

### **ÉCONOMIES D'ÉLECTRICITÉ**

#### **9. Références**

- i) B-0007, HQD-2, doc. 2, page 25
- ii) [Bulletin canadien des politiques provinciales en matière d'efficacité énergétique — Québec](#)

Réf. i) :

« L'ensemble des efforts en efficacité énergétique, à l'horizon du Plan, contribue à une réduction des ventes résidentielles de près de 4 TWh, et ce, tous usages confondus. Cette

réduction de la consommation unitaire se reflète de façon plus marquée dans les nouvelles constructions. » (nous soulignons)

Réf. ii) :

« POINTS POUVANT ÊTRE AMÉLIORÉS

Codes de l'énergie pour les bâtiments : la plus récente mise à jour du code pour les bâtiments commerciaux et institutionnels du Québec remonte à 1983. Les consultations lancées à l'été 2019 offrent l'occasion d'adopter un code pour les bâtiments à haut rendement énergétique.

Économies d'électricité : la réalisation des ambitions du gouvernement en matière de transport et d'électrification des bâtiments pourrait nécessiter entre 125 et 185 TWh d'énergie supplémentaires d'ici 2050.3 Une accélération des économies d'électricité à court terme permettra d'éviter la construction d'infrastructures plus coûteuses à l'avenir. » (nous soulignons)

#### **Demandes :**

9.1. Veuillez indiquer si la réduction des ventes résidentielles de près de 4 TWh est nette d'effet tendanciel.

#### **Réponse :**

1            **Non, dans le cadre de l'établissement de sa prévision de la demande, le**  
2            **Distributeur traite l'efficacité énergétique dans son ensemble, incluant l'effet**  
3            **tendanciel.**

9.2. Veuillez confirmer qu'Hydro-Québec n'a présentement aucune initiative portant sur l'énergie et sur la puissance visant la nouvelle construction résidentielle, et qu'aucune telle initiative n'est prévue sur l'horizon du Plan.

#### **Réponse :**

4            **Le Distributeur ne peut confirmer l'affirmation de l'intervenant. Les initiatives**  
5            **en efficacité énergétique et en gestion de la puissance sous-jacentes aux**  
6            **prévisions intégrées au Plan d'approvisionnement sont, pour l'essentiel, les**  
7            **mêmes que celles inscrites au Plan directeur en transition, innovation et**  
8            **efficacité énergétiques du Québec 2018-2023 (« Plan directeur »). Celles-ci**  
9            **couvrent tant le bâtiment existant que la nouvelle construction, sans toutefois**  
10           **cibler spécifiquement ce dernier segment. Pour plus de détails, voir les**  
11           **compléments de preuve déposés dans le cadre du dossier du Plan directeur**  
12           **(dossier R-4043-2018), soit les pièces B-0104 pour les initiatives au résidentiel**



1 et B-0068 pour les initiatives au marché affaires (commercial, institutionnel et  
2 industriel) qui couvrent notamment les logements multi-étages.

9.2.1. Sinon, veuillez présenter vos initiatives.

Réponse :

3 Voir la réponse à la question 9.2.

9.3. Veuillez indiquer si Hydro-Québec entend accroître les économies d'électricité proportionnellement aux futurs efforts d'électrification à venir du gouvernement du Québec qui n'ont pas encore été annoncés, tel que suggéré par Efficacité Canada.

Réponse :

4 Le Distributeur a l'intention d'accroître ses cibles d'économies d'électricité en  
5 relation avec les futurs efforts d'électrification du gouvernement du Québec.

9.3.1. Sinon, pourquoi ?

Réponse :

6 Sans objet.

9.4. Veuillez différencier dans vos réponses l'avant et avec COVID-19.

Réponse :

7 Le Distributeur est d'avis que l'impact lié à la COVID-19 a une portée limitée et  
8 que sa prévision pour les besoins du Plan d'approvisionnement est encore  
9 valide. À ce titre, il n'entend pas faire de distinction entre l'avant et avec  
10 COVID-19.

## RÉSEAUX AUTONOMES

### 10. Références

- i) [D—2017— 140 et autres - Plan d'approvisionnement 2017-2026, État d'avancement 2018 du Plan d'approvisionnement 2017-2026](#), page 21
- ii) [D—2017— 140 et autres - Plan d'approvisionnement 2017-2026, État d'avancement 2017 du Plan d'approvisionnement 2017-2026](#), page 19

### Préambule

Réf. i) :

R-4110-2019

Original : 2020-05-01

HQD-5, document 8

Page 33 de 48

### « 6.2.2. Conversion des réseaux autonomes

Le Distributeur a entrepris de convertir de façon partielle ou totale la production d'électricité des réseaux autonomes vers des sources d'énergie plus propres. Initiées dans plusieurs réseaux, les démarches toucheront l'ensemble de ceux-ci d'ici 2020, comme prévu au Plan d'approvisionnement 2017-2026. Pour y parvenir, le Distributeur juge toutefois nécessaire de bonifier sa stratégie d'appels de propositions au marché. En effet, l'expérience acquise par le Distributeur montre qu'une approche partenariale ou de gré à gré peut s'avérer mieux adaptée au contexte d'affaires particulier de certaines communautés et à la complexité que pose l'intégration d'énergie renouvelable dans ses installations. Par ailleurs, que les projets de conversion soient issus d'un appel de propositions, d'un raccordement au réseau principal d'Hydro-Québec, d'une entente de gré à gré ou de partenariats avec les communautés, ils devront tous respecter les quatre critères établis :

1. Fiabilité de l'approvisionnement en électricité
2. Acceptabilité sociale
3. Réduction des coûts d'approvisionnement
4. Réduction de l'empreinte environnementale

Le respect de ces quatre critères pourrait amener le Distributeur à retenir un projet qui réduit ses coûts d'approvisionnement mais qui ne présente pas le meilleur coût parmi l'ensemble des solutions envisageables sur le plan technique. » (Nous soulignons)

Réf. ii) :

#### « Îles-de-la-Madeleine

Un appel de propositions pour l'acquisition d'un contrat d'approvisionnement d'énergie éolienne a été lancé en 2015 et l'ouverture des propositions a eu lieu en octobre 2017. Trois projets ont été soumis et leur évaluation est en cours.

En parallèle, deux processus sont entamés pour compléter la conversion de ce réseau, soit une étude d'avant-projet pour le raccordement des Îles-de-la-Madeleine au réseau intégré d'Hydro-Québec et des travaux en vue du lancement, en 2018, d'un appel de propositions afin d'évaluer si une solution alternative au projet de raccordement serait plus avantageuse. Dans ce contexte, une table d'échange sur l'avenir énergétique des Îles-de-la-Madeleine a été mise en place avec des acteurs de la municipalité. Six rencontres ont eu lieu depuis novembre 2016 et une dernière est prévue en novembre 2017. Les sujets abordés touchaient notamment la transition énergétique, les conditions du milieu relativement à l'appel de propositions et les emplois advenant le raccordement. »

10.1. Veuillez infirmer ou confirmer la compréhension du ROEE. La recherche du projet le plus avantageux sur le plan économique dont il est question dans *l'État d'avancement 2017 du Plan d'approvisionnement 2017-2026* a été abandonnée au profit du projet qui ne serait pas nécessairement pas le plus avantageux, mais qui serait à tout le moins plus avantageux que la situation actuelle lors du dépôt de *l'État d'avancement 2018 du Plan d'approvisionnement 2017-2026*.

**Réponse :**

1            **La compréhension de l'intervenant est inexacte. Le Distributeur a toujours**  
2            **l'objectif de respecter les quatre critères qu'il s'est donné afin de réaliser la**  
3            **conversion des réseaux autonomes. Outre la réduction des coûts**  
4            **d'approvisionnement, l'acceptabilité sociale du projet, la fiabilité de**  
5            **l'alimentation et son empreinte environnementale peuvent aussi influencer le**  
6            **choix de la solution.**

10.2. Veuillez expliquer ce qui a amené ce changement d'attitude de la part d'Hydro-Québec.

**Réponse :**

7            **Sans objet. Voir la réponse à la question 10.1.**

## 11. Références

- i) [Innergex et Hydro-Québec annoncent une alliance stratégique et un placement privé](#)
- ii) B-0024, HQD-5, Document 1, page 64

## Préambule

Réf. i) :

« L'alliance stratégique entre Innergex et Hydro-Québec ciblera des investissements stratégiques qui sont avantageux pour l'une et l'autre. Les domaines d'investissement ciblés incluent des projets éoliens et solaires comprenant des volets de stockage par batteries ou de transport, des projets relatifs à la production décentralisée ou des réseaux autonomes d'énergie renouvelable et à d'autres projets touchant des secteurs dont les deux entreprises conviendront. » (Nous soulignons)

Réf. ii) :

« 16,1 Veuillez fournir la liste des six réseaux (référence [iii]) où le Distributeur envisage l'intégration d'énergie renouvelable et la possibilité d'ajouter des systèmes de stockage. Veuillez expliquer le choix de ces réseaux. Veuillez notamment préciser si des scénarios de production centralisée d'énergie renouvelable permettant de couvrir les besoins d'électricité de ces réseaux ont été envisagés pour ces réseaux.

Réponse :

Les six réseaux à l'étude pour l'intégration d'énergie renouvelable et l'ajout de systèmes de stockage sont ceux où la modernisation des automatismes de centrales est terminée ou sur le point de l'être. Il s'agit des réseaux d'Akulivik, Puvirnituaq, Kangiqsuallujuaq, Kangiqsujuaq, Kuujjuarapik-Whapmagoostui et Kuujjuaq. Les projets d'énergie renouvelable envisagés sont effectivement des projets de production d'énergie éolienne centralisés. » (Nous soulignons)

**Demandes** Est-ce qu'Hydro-Québec envisage la possibilité de conclure des ententes de gré à gré avec Innergex pour réaliser les projets d'énergie éolienne dans les réseaux à l'étude pour l'intégration d'énergie renouvelable et l'ajout de systèmes de stockage ?

11.1.2 Sinon, pourquoi ?

Réponse :

1 **Non. Le Distributeur envisage de conclure des ententes de gré à gré ou des**  
2 **partenariats avec des compagnies qui appartiennent en partie au milieu local**  
3 **et/ou régional. Voir aussi la réponse à la question 11.2.**

11.1.3 Si oui, quelles sont les conditions nécessaires à une entente de ce type pour Hydro-Québec ?

Réponse :

4 **Voir la réponse à la question 11.1.2.**

11.2. Hydro-Québec dans ses activités de distribution a la responsabilité de tous les aspects de la production et de la distribution dans les réseaux autonomes. Quels sont les critères qu'Hydro-Québec utilise pour choisir de procéder par appel de propositions ou encore de gré à gré ?

Réponse :

- 1           **Le Distributeur réitère ce qu'il a mentionné concernant le choix de sa stratégie**  
2           **de conversion à la section 6.2 de la pièce HQD-3, document 1 (B-0010) :**  
3           **Comme mentionné dans l'État d'avancement 2018 du Plan**  
4           **d'approvisionnement 2017-2026, le Distributeur a adapté sa stratégie de**  
5           **conversion des réseaux autonomes au contexte d'affaires des différentes**  
6           **communautés qu'il dessert. Cette conversion vers des énergies plus**  
7           **propres et moins chères pourra ainsi prendre différentes formes :**  
8                   • entente de gré à gré avec les communautés ;  
9                   • partenariats avec les communautés ;  
10                  • raccordement au réseau principal d'Hydro-Québec ;  
11                  • production et stockage chez le client.

## 12. Références

- i) Forcione, A. & al. « Bilan de l'intégration de l'éolien au système électrique québécois à la fin 2015 » IREQ-2016-0059, mai 2016, p. vi et vii. <http://www.hydroquebec.com/data/loi-sur-acces/pdf/c-5448-document.pdf>, consulté le 30 mars 2020
- ii) R-4110-2019, B-0010, p.26
- iii) R-4110-2019, B-0031, page 4, 6
- iv) R-4110-2019, B-0010, p.37
- v) R-4046-2018, Demande d'approbation du contrat d'approvisionnement en électricité d'un bloc de 6 MW dans le cadre d'un projet de production d'énergie éolienne aux Îles-de-la-Madeleine, B-0009, 2018\_08\_22., p.8 et 9
- vi) R-4046-2018, Demande d'approbation du contrat d'approvisionnement en électricité d'un bloc de 6 MW dans le cadre d'un projet de production d'énergie éolienne aux Îles-de-la-Madeleine, D-2018-148, A-0011, 2018\_10\_22.pdf, p. 11 à 14
- vii) Gélinas, Geneviève, Un câble sous-marin de 220 km vers les Îles-de-la-Madeleine, Le Droit, 13 juin 2018, en ligne, <https://www.ledroit.com/affaires/un-cable-sous-marin-de-220-km-vers-les-iles-de-la-madeleine-2dc12346fb761d7e5c21b3dbd75476a6>, page consultée le 30 mars 2020
- viii) R-4110-2019, B-0031, p. 62

## Préambule

Réf. i) : « Enfin, bien que l'emphase soit largement mise sur l'intégration de l'éolien au réseau intégré d'Hydro-Québec, le potentiel de déploiement en réseaux autonomes est également important. Le rôle que l'éolien peut y jouer à titre "d'économiseur de carburant" est donc examiné de près. Après plus de 25 ans de R ET D et de développement d'une grande expertise technique à l'IREQ, et après quelques itérations et raffinements des études préliminaires et l'identification d'un modèle d'affaires devant permettre le déploiement du jumelage éolien-diesel dans ses réseaux autonomes, le Distributeur a lancé en 2015 un appel de propositions visant l'achat d'un bloc de 6 MW d'énergie éolienne à partir d'une centrale située aux Îles-de-la-Madeleine. Les résultats de cet exercice orienteront la suite de cet aspect particulier du programme éolien québécois et/ou de l'intégration d'un portefeuille varié d'énergie renouvelable dans les réseaux autonomes québécois. »

Réf ii) : « Une fois les réseaux autonomes raccordés au réseau intégré, ceux-ci sont exclus des calculs [...] »

Réf iii) : p. 4 : « Une démonstration complète du respect des quatre critères sera effectuée au moment où Hydro-Québec TransÉnergie (le Transporteur) soumettra à la Régie sa demande d'autorisation du Projet. À ce stade-ci du Projet, le Distributeur est en mesure de faire une démonstration préliminaire que trois des quatre critères sont respectés. Le Distributeur pourra se prononcer davantage sur le critère de réduction des coûts au terme de l'avant-projet actuellement en cours. En effet, compte tenu de la période qui s'écoulera d'ici le dépôt de la demande d'autorisation, diverses spécificités techniques pourraient évoluer. » (nos soulignés)

p.6, « Au terme de l'étude d'avant-projet, le Distributeur disposera d'une estimation plus précise des coûts de raccordement et donc de la réduction attendue des coûts d'approvisionnement aux IDLM. Il aura également une meilleure appréciation des risques inhérents au Projet. ».

Réf iv) : « En ce qui concerne les réseaux des IDLM et d'Inukjuak, le PUEÉ et la tarification dissuasive perdront leur pertinence étant donné le raccordement au réseau intégré pour les IDLM et le recours à une source d'énergie renouvelable par l'entremise de la nouvelle centrale hydroélectrique pour Inukjuak.

Dans le contexte, pour les IDLM, le Distributeur a mis en place un plan de transition pour le PUEÉ qui permettra de prendre un virage énergétique harmonieux en effectuant le remplacement graduel des systèmes de chauffage de combustible des clients participant au programme par des équipements à l'électricité. Pour le moment, le Distributeur vise la rétention de la clientèle inscrite au PUEÉ d'ici le raccordement afin d'éviter de surcharger la centrale thermique » (nos soulignés)

Réf v) : Le tableau R.2.8.1 de la page 9 montre que le résultat de l'analyse économique du Contrat éolien de 6 MW aux Îles-de-la-Madeleine (parc Éolien de la Dune-du-Nord) représente pour le Distributeur des coûts d'approvisionnements en électricité éolienne de 51,4 M\$ actualisés à l'année 2018 et des réductions correspondantes de coûts à la centrale de 78 M\$, soit

un gain de 26,6 M\$ (VAN, en Millions de \$ actualisés à l'année 2018) attribuable au Contrat éolien sur les 20 années prévues au contrat. Ce gain est constitué par la réduction des coûts de combustible, des paiements de droits d'émissions du SPEDE, de maintenance, et des pertes électriques.

Puisque les livraisons annuelles d'électricité éolienne du Contrat éolien remplacent environ 15 % de la production de la centrale (ref vii, [48]) « estimée à 199 GWh/an en 2025 », il est permis d'anticiper qu'une production éolienne annuelle équivalente à 7 fois celle du Contrat du Parc éolien de la Dune-du-Nord (soit 42 MW de capacité éolienne et 210 GWh/an) réduirait la consommation de carburant de la centrale actuelle à un niveau comparable aux besoins annuels de la centrale froide du scénario de raccordement évoqué par le Distributeur.

En première approximation, le coût actualisé 2018 du scénario éolien avancé ici serait d'environ 359 M\$ sur 20 ans (soit 7 fois les 51,4 M\$2018 actualisés indiqués au Tableau R.2.8.1 [ref vi, p.9]. Ce montant constitue selon le ROÉÉ un premier point de référence documenté pour initier l'examen du coût actualisé des scénarios de réduction de la consommation actuelle de carburant de la centrale thermique de Cap-aux-Meules.

À la question 2.8 de la Régie [ref vi, p.8] : « Veuillez fournir une analyse économique détaillée de la rentabilité du Contrat en distinguant notamment : 2.8.1 Le total des coûts et des gains entre la mise en service des éoliennes et celle du Projet de raccordement ; », le Distributeur répond : « Le Distributeur rappelle que l'analyse de rentabilité du Contrat est basée sur la comparaison de la valeur actualisée du Contrat par rapport à l'utilisation de la centrale thermique, sur l'ensemble de sa durée de vie. Les gains du Contrat proviennent de la réduction des coûts de combustibles, de maintenance, de SPEDE et des pertes électriques. [...] Afin d'avoir une vision complète de l'évolution des flux monétaires de la valeur actualisée du Contrat par rapport à l'utilisation de la centrale thermique sur la période d'analyse de 20 ans, le Distributeur présente le tableau R-2.8.1. ». Au bas Tableau R-2.8.1, le Distributeur écrit ceci : [p.10] « Le Distributeur comprend que la question de la Régie porte sur la rentabilité du Contrat dans l'hypothèse où le raccordement au réseau intégré se réalise pendant sa durée de vie. Comme mentionné en réponse à la question 2.6, les coûts du Projet n'étant pas finalisés, le Distributeur ne peut fournir une analyse qui tient compte de l'ensemble de ceux-ci. Cette analyse devrait présenter notamment les coûts permettant le respect du critère de fiabilité, soit ceux associés au maintien de la centrale thermique en réserve froide, et les coûts d'investissements requis pour le raccordement. » [nos soulignés]

La Régie écrit ceci dans sa décision finale [ref vii, [47]] : « Le Contrat, dont le coût total est équivalent à 14 148 ¢/kWh [dollars actualisés 2018] 21, est avantageux du seul fait qu'il est inférieur aux coûts évités en énergie approuvée par la Régie pour les Îles-de-la-Madeleine de 22,01 ¢/kWh. ».

Le Coût global actualisé des achats par le Distributeur de la production d'électricité du parc Éolien de la Dune-du-Nord fournira donc aux IDLM de l'électricité propre à un coût de 36 % inférieur au coût évité de la centrale thermique actuelle. Le parc éolien de la Dune-du-Nord constitue selon le ROÉÉ un point de balisage économique solidement documenté pour évaluer les options d'approvisionnement énergétique futur aux IDLM. Ce Contrat permet de baliser



notamment l'estimation du coût du raccordement en mettant sur la table un premier point de comparaison économique commercial de scénarios d'approvisionnements en électricité conduisant à une réduction importante de la production d'électricité de la centrale thermique aux Îles-de-la-Madeleine.

Réf vi) : p. 11 à 14)

« [46] Le Distributeur indique que le Contrat permettra de générer des économies estimées à 26,6 M\$ (dollars actualisés 2018) sur sa durée de 20 ans, attribuables principalement à la réduction des quantités prévues de combustible utilisé par la Centrale thermique de Cap-aux-Meules. Il précise que la proposition retenue permettra d'éviter l'utilisation d'environ cinq millions de litres de combustible annuellement et, par le fait même, de réduire l'émission de gaz à effet de serre d'environ 13 % par année, soit quelque 17 000 t éq.CO<sub>2</sub>. Il ajoute qu'outre le combustible, l'évaluation des économies considère la réduction du coût de maintenance, des droits d'émission de gaz à effet de serre et des pertes de transport sur le réseau.

[47] Le Contrat, dont le coût total est équivalent à 14 148 ¢/kWh (dollars actualisés 2018) 21, est avantageux du seul fait qu'il est inférieur aux coûts évités en énergie approuvés par la Régie pour les Îles-de-la-Madeleine de 22,01 ¢/kWh.

[48] La Régie constate également que, selon les prévisions du Distributeur, le Contrat, avec ses livraisons de l'ordre de 30 GWh/an, viendra réduire d'environ 15 % la production annuelle de la centrale, estimée à 199 GWh/an en 2025. »

[...]

[53] La Régie constate de la preuve au dossier que le Contrat est rentable si le projet de raccordement ne se réalise pas. [...] Il est possible que sa rentabilité soit affectée si le projet de raccordement se réalise plus rapidement [...]

[...]

[54] [...] le Distributeur doit encore franchir plusieurs étapes avant que le projet de raccordement puisse être réalisé, dont le dépôt d'une demande d'autorisation à la Régie en vertu de l'article 73 de la Loi. [...]

Réf vii) : « La société d'État affirme quand même que le câble sous-marin lui fera économiser 20 % à 25 % des coûts d'exploitation, évalués sur 40 ans, par rapport à la centrale thermique. »

Réf viii) : « L'alimentation des IDLM par câbles reliés au réseau intégré permettra de réduire de 94 % les 2 émissions de GES liées à la production d'électricité »

## **Demandes**

- 12.1. Veuillez indiquer en quoi un scénario de jumelage éolien diesel à haute pénétration constituerait une solution technique moins sûre ou moins fiable qu'un scénario de raccordement électrique de plus de 220 kms pour l'approvisionnement des IDLM?



**Réponse :**

1            **Le Distributeur considère qu'il est prématuré de se prononcer sur le respect**  
2            **des quatre critères de solutions alternatives ou de faire des comparaisons de**  
3            **solutions alternatives par rapport au scénario de raccordement au réseau**  
4            **intégré, notamment sur le plan des quatre critères. À ce titre, voir la réponse à**  
5            **la question 24.2 de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

12.2.        Veuillez indiquer en quoi selon Hydro-Québec un montant de 359 M\$ pour une infrastructure de «raccordement» électrique de plus de 200 kms entre les IDLM et le réseau intégré un coût d'investissement compatible avec une durée d'exploitation prévue de 40 ans aux IDLM, surtout compte tenu des risques auxquels une telle infrastructure est exposée ?

**Réponse :**

6            **Le Distributeur ne comprend pas la question posée. Ceci étant, il n'est pas en**  
7            **accord avec les éléments énoncés dans le libellé de la question, notamment**  
8            **concernant les risques potentiels liés au choix de la solution envisagée et le**  
9            **montant estimé de 359 M\$ avancé par l'intervenant pour une infrastructure de**  
10           **raccordement. Le Distributeur est d'avis qu'une extrapolation des coûts du**  
11           **projet envisagé ne peut être faite à partir des coûts du contrat du projet éolien**  
12           **de 6 MW. Voir aussi la réponse à la question 12.1.**

12.10.1      Le cas échéant, fournir des exemples de projets d'envergure comparable qui en attesteraient.

**Réponse :**

13            **Sans objet.**

12.3.        Veuillez indiquer s'il existe des aléas susceptibles de rendre inopérant de manière temporaire ou prolongée le service de raccordement et qui pourraient à terme avoir des impacts sur les coûts et la rentabilité d'un projet de raccordement.

**Réponse :**

14            **Cet aspect sera intégré à la demande d'autorisation du Projet.**

12.10.1      Veuillez, décrire leur impact sur la consommation annuelle de carburant de la centrale froide et la période de temps nécessaire au rétablissement du service.

**Réponse :**

15            **La demande de l'intervenant est prématurée. Voir la réponse à la question 12.3.**

12.10.2 Veuillez indiquer quelle pourrait être la durée de rétablissement d'un bris majeur rendant indisponible le service de raccordement. Veuillez préciser l'impact sur les coûts du projet si un tel événement se produisait dans la saison hivernale ?

Réponse :

1 **La demande de l'intervenant est prématurée. Voir la réponse à la question 12.3.**

12.4. Pour faciliter l'appréciation des délais concrets d'une mise en service à la fin 2025 pour le scénario de raccordement, veuillez fournir un échéancier du cheminement des étapes critiques (incluant l'obtention des autorisations règlementaires fédérales et provinciales) menant à la mise en service d'une infrastructure d'approvisionnement en électricité par raccordement comme celle que considère Hydro-Québec pour les IDLM.

Réponse :

2 **Le Distributeur prévoit actuellement que l'avant-projet se terminera au premier**  
3 **trimestre de 2022. Le Transporteur pourrait alors déposer une demande**  
4 **d'autorisation du projet à la Régie au plus tôt en 2022.**

12.5. Veuillez indiquer les raisons pour lesquelles aucun rapport technico-économique ne permet d'éclairer minimalement les intervenants et la Régie quant aux hypothèses supportant une perspective de rentabilité raisonnable d'un projet de raccordement majeur qui entrerait en service en 2025 ?

Réponse :

5 **Voir la réponse à la question 24.1 de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

12.6. Selon notre lecture de la référence ii, advenant la mise en service d'un raccordement du réseau électrique de Cap-aux-Meules au Poste de Val-d'Espoir à Percé, les besoins en électricité des IDLM couramment desservis par la centrale thermique de Cap-aux-Meules s'ajouteraient à la demande en énergie et en puissance actuellement desservie par le Distributeur pour sa clientèle de la péninsule gaspésienne. Veuillez confirmer que la compréhension du ROEE décrit correctement ce qui adviendrait de la demande gaspésienne du Distributeur dans l'éventualité d'un raccordement du réseau de Cap-aux-Meules au réseau gaspésien. Sinon veuillez rectifier l'interprétation.

**Réponse :**

1           **Le Distributeur le confirme. Cette nouvelle charge s'ajoute au transit du réseau**  
2           **de Transport de la Gaspésie. Elle a été intégrée à la demande du réseau intégré**  
3           **du Distributeur à partir de l'année du raccordement.**

12.7.       En considérant la désignation «raccordement» comme étant le regroupement fonctionnel des câbles de puissance, du lien de communication et des postes convertisseurs à chaque extrémité du lien, veuillez décrire comment se partagent les responsabilités du Distributeur, du Transporteur, et d'autres divisions d'HQ le cas échéant, dans les différentes phases de 1-la conception, 2 — l'autorisation, 3 — la construction et 4 — l'exploitation du scénario de raccordement aux IDLM ?

**Réponse :**

4           **Le Transporteur sera propriétaire de l'actif et en sera l'exploitant. Comme**  
5           **propriétaire, il a la responsabilité de piloter toutes les phases de réalisation du**  
6           **Projet. Le Transporteur déposera la demande d'autorisation du Projet à la**  
7           **Régie. Le Transporteur et le Distributeur travailleront conjointement afin de**  
8           **faire la démonstration que le Projet respecte les 4 critères de conversion.**

12.8.       Veuillez indiquer si la comptabilité de la centrale froide dans le scénario de raccordement des IDLM ferait partie du bilan des Réseaux autonomes ou de celle du Réseau intégré ?

**Réponse :**

9           **La demande de l'intervenant est prématurée. Voir la réponse à la question 12.3.**

12.9.       Veuillez indiquer quelle serait la consommation annuelle de carburant de la « centrale froide » en condition normale?

**Réponse :**

10           **La demande de l'intervenant est prématurée. Voir la réponse à la question 24.1**  
11           **de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

12.10.      Les livraisons d'électricité provenant du réseau principal advenant la mise en service d'un raccordement prévoient-elles de confier à la centrale froide une partie de l'alimentation de la demande des Îles-de-la-Madeleine ? Le cas échéant, veuillez préciser la production et la consommation en base et cyclable qui seraient associés à cette répartition de la charge des IDLM entre le réseau principal et la centrale froide

**Réponse :**

1 **La demande de l'intervenant est prématurée. Voir la réponse à la question 24.1**  
2 **de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

12.10.1 Si c'était avéré, veuillez indiquer si cela serait applicable à certaines situations ou en permanence ?

**Réponse :**

3 **La demande de l'intervenant est prématurée. Voir la réponse à la question 24.1**  
4 **de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

12.11. En ce qui concerne l'appréciation du gain environnemental escompté pour le raccordement, est-ce qu'Hydro-Québec a fait une évaluation complète de cycle de vie de l'apport en termes de GES du raccordement (ex. pour la fabrication des métaux et des autres matériaux) et du maintien de la centrale thermique par rapport au jumelage éolien-diésél ? Veuillez fournir la documentation concernant cette comparaison.

**Réponse :**

5 **Non. Le Distributeur n'a pas effectué une telle analyse. Voir la réponse à la**  
6 **question 21.2 de l'AQPER à la pièce HQD-5, document 4.**

**PUEÉ, AUX IDLM 2020-2025**

**13. Références**

- i) R-4110-2019, B-0010, HQD-3, document 1, section 7.4, p 64-65 de 83, 01 nov 2019
- ii) R-4110-2019-B-0010-Demande-Appr. RA\_HQD-3 doc-1 \_Compl-2019\_11\_01.pdf, « Ventes d'énergie (en GWh) » du Tableau 7.4.1, p. 65 de 83
- iii) R-4110-2019, B-0010, HQD-3, document 1, 01 nov 2019, section 6.1.1, p 37 de 83, Lignes 18 à 27.

**Préambule**

Les ventes d'énergie aux IDLM indiquées (réf ii) dans le Plan 2020-2029 pour la période 2017-2025 montrent une hausse de 20,2 GWh soit cinq fois le volume de 3,93 GWh prévu pour la même période dans le Plan 2017-2026. Cette hausse représente un volume de ventes additionnelles d'énergie (électrique) quatre fois plus important en valeur absolue que tous les gains du PUEÉ de la période 2020-2025 aux IDLM.

Réf. i) : p. 64, « Pour la période de 2016 à 2018, les ventes pour l’ensemble des réseaux autonomes se sont situées assez près de celles prévues dans le Plan d’approvisionnement 2017-2026 avec une erreur de prévision inférieure à 1 % pour ces trois années. [...] Sur la période prévisionnelle de 2019 à 2026, les écarts découlent en grande partie des éléments suivant : 1 — le raccordement des IDLM au réseau intégré ainsi que la conversion graduelle des systèmes de chauffage au mazout vers des systèmes à l’électricité pour les années précédant le raccordement ; 2— la mise en service d’une centrale hydroélectrique à Inukjuak et la conversion à l’électricité des systèmes pour le chauffage de l’eau et des espaces résidentiels ; 3-le raccordement du réseau de la Romaine au réseau intégré  
[...]

p, 65, “Aux IDLM, les écarts positifs observés à partir de 2019, par rapport au Plan d’approvisionnement 2017-2026, sont rarement dus à la conversion graduelle des systèmes de chauffage au mazout en fin de vie utile vers des systèmes électriques en vue du raccordement au réseau intégré des clients approvisionnés par la centrale de Cap-aux-Meules. Ces conversions n’étaient pas prises en compte dans le plan d’approvisionnements précédent puisqu’en l’absence de raccordement, celles-ci auraient été à l’encontre des objectifs du PUEÉ. Les écarts négatifs de près de 177 GWh en 2026 et de 42 MW à l’hiver 2025-26 s’expliquent essentiellement par le raccordement de la centrale de Cap-aux-Meules au réseau intégré” (nos soulignés)

Réf. ii) : “En ce qui concerne les réseaux des IDLM et d’Inukjuak, le PUEÉ et la tarification dissuasive perdront leur pertinence étant donné le raccordement au réseau intégré pour les IDLM et le recours à une source d’énergie renouvelable par l’entremise de la nouvelle centrale hydroélectrique pour Inukjuak. Dans le contexte, pour les IDLM, le Distributeur a mis en place un plan de transition pour le PUEÉ qui permettra de prendre un virage énergétique harmonieux en effectuant le remplacement graduel des systèmes de chauffage de combustible des clients participant au programme par des équipements à l’électricité. Pour le moment, le Distributeur vise la rétention de la clientèle inscrite au PUEÉ d’ici le raccordement afin d’éviter de surcharger la centrale thermique” (nos soulignés)

## **Demandes**

- 13.1. Si “les écarts positifs observés à partir de 2019, par rapport au Plan d’approvisionnement 2017-2026, sont rarement dus à la conversion graduelle des systèmes de chauffage au mazout en fin de vie utile vers des systèmes électriques en vue du raccordement au réseau intégré des clients approvisionnés par la centrale de Cap-aux-Meules” et que “(c) es conversions n’étaient pas prises en compte dans le plan d’approvisionnements précédent puisqu’en l’absence de raccordement, celles-ci auraient été à l’encontre des objectifs du PUEÉ” veuillez expliquer l’origine du vecteur d’électrification responsable de la hausse des ventes d’énergie indiquée pour les IDLM dans le Plan 2020-2029 pour la période 2017-2025.

**Réponse :**

1            **Le Distributeur constate que la citation de l'intervenant dans le libellé de la**  
2            **question est erronée. Le Distributeur reproduit le texte de la pièce HQD-3,**  
3            **document 1 (B-0010), page 65, lignes 1 à 3 :**

4                       **[...] les écarts positifs observés à partir de 2019, par rapport au Plan**  
5                       **d'approvisionnement 2017-2026, sont notamment dus à la conversion**  
6                       **graduelle des systèmes de chauffage au mazout [...] Nous soulignons**

7            **Ainsi, comme déjà mentionné, l'augmentation observée du niveau des ventes**  
8            **est en bonne partie liée à la conversion des systèmes de chauffage qui découle**  
9            **du raccordement au réseau intégré.**

13.1.1 Veuillez indiquer si, le cas échéant, les nouveaux besoins associés à cette hausse prévue dans la période 2017-2025 du Plan 2020-2029 peuvent être approvisionnés par une autre source d'énergie locale que la centrale thermique. Justifiez votre réponse.

13.1.1.1 Sinon, pourquoi

**Réponse :**

10            **Les nouveaux besoins seront approvisionnés par la centrale thermique et le**  
11            **parc éolien. Aucune nouvelle source d'approvisionnement n'est prévue avant**  
12            **2025.**

**COÛTS ÉVITÉS, APPLICABILITÉ AUX IDLM DANS L'ÉVENTUALITÉ D'UN RACCORDEMENT**

**14. Références**

i) B-0032, section 2.1, p.5 de 11, lignes 13 à 23

**Préambule**

Étant donné la mise en service d'éoliennes aux IDLM en 2020, le ROÉÉ cherche à préciser l'usage des coûts évités pour la période 2020-2026 avec ceux qui s'appliqueraient après 2027 dans l'éventualité d'un raccordement. En référence i) le distributeur indique que :

“De 2000 à 2026 inclusivement,

— le signal de coût évité (de l'énergie) pour la période hivernale (décembre à mars) est de 4,8 ¢/kWh (\$ 2019), indexé à l'inflation

– période estivale (avril à novembre) est de 2,8 ¢/kWh (\$ 2019), indexé à l'inflation

À compter de 2027 :

le signal de prix est de 8,2 ¢/kWh (\$ 2019) indexé à l'inflation, soit 6,1 ¢/kWh (\$ 2019) pour la fourniture, à laquelle s'ajoute les coûts de transport et d'équilibrage de 2,1 ¢/kWh (\$ 2019). Ce signal de prix reflète le prix de référence de l'électricité des contrats issus du quatrième appel d'offres d'énergie éolienne A/O 2013-01, incluant les ajustements indiqués au dossier R-4057-2018 (B-0015, p. 8 et 9 [sous-section Coût évité de long terme]). »

## Demandes

14.1. Veuillez indiquer pour les années 2020 à 2026 le signal de coût évité annuel résultant de la pondération des volumes de fourniture associés aux coûts évités respectifs de la période estivale et de la période hivernale. Veuillez indiquer quelle est la part du coût évité pondéré sur la base annuelle demandée qui correspond, pour la période 2020-2026, aux coûts de transport et d'équilibrage de 2,1 ¢/kWh [\$ 2019]' de l'après 227.

## Réponse :

1 **Le Distributeur précise tout d'abord que, jusqu'à son raccordement au réseau**  
2 **intégré, le réseau des Îles-de-la-Madeleine est un réseau autonome et que le**  
3 **coût évité qui s'applique n'est pas celui calculé pour le réseau intégré. Par**  
4 **conséquent, uniquement pour les années 2020 à 2025, soit la période avant le**  
5 **raccordement, le signal de coût évité pour le réseau des Îles-de-la-Madeleine,**  
6 **exprimé en ¢/kWh, est constitué plus spécifiquement des variables suivantes,**  
7 **lesquelles sont mises à jour chaque année :**  
8 **• le coût de combustible (incluant le transport et la distribution) ;**  
9 **• le taux de rendement moyen de la centrale (exprimé en kWh/litre) ;**  
10 **• les coûts variables d'exploitation et d'entretien ;**  
11 **• les pertes sur le réseau ;**  
12 **• les coûts liés aux émissions de gaz à effet de serre.**

14.2. Veuillez indiquer pour quelle raison le distributeur ne distingue plus entre la période estivale et la période hivernale après 2027 dans sa mise à jour des coûts évités.

## Réponse :

13 **Le coût évité de long terme s'applique à partir du moment où un**  
14 **approvisionnement de long terme est requis, soit à partir de 2027 dans le bilan**  
15 **d'énergie du Plan. Dans l'établissement du coût évité pour un**  
16 **approvisionnement de long terme, il est supposé que le nouvel**  
17 **approvisionnement nécessitera un engagement annuel. Pour cette raison, le**  
18 **signal de prix à partir de 2027 s'applique à tous les achats de l'année. Le**  
19 **Distributeur réfère l'intervenant également à la présentation de la séance de**

1 travail du 26 septembre 2018, à la pièce HQD-4, document 3.1 (B-0051) du  
2 dossier R-4057-2018.

14.3. Veuillez fournir la répartition entre les coûts de transport et les coûts d'équilibrage qui forment les 'coûts de transport et d'équilibrage de 2,1 ¢/kWh [\$ 2019]' du coût évité du Distributeur après 2027.

**Réponse :**

3 **Les coûts de transport sont de 1,4 ¢ /KWh (en \$ 2019) et les coûts d'équilibrage**  
4 **sont de 0,7 ¢/kWh (en \$ 2019).**

14.4. Veuillez fournir le volume annuel de fourniture associé à la contribution 'équilibrage' de la partie 'transport et coûts d'équilibrage' du coût évité à partir de 2027.

**Réponse :**

5 **Le Distributeur souligne que les coûts évités, incluant la partie coûts de**  
6 **transport et d'équilibrage, constituent uniquement un signal de prix prospectif.**  
7 **À cet égard, aucun volume annuel de fourniture n'est associé à la partie**  
8 **« équilibrage » du coût évité en énergie de long terme.**

14.5. Veuillez indiquer si la contribution 'équilibrage' de la partie 'transport et coûts d'équilibrage' du coût évité à partir de 2027 est attribuable en tout ou en partie à la production éolienne actuellement en service sur le réseau intégré. S'il s'agit d'une contribution partielle, veuillez préciser la proportion du volume annuel de fourniture de type 'équilibrage' applicable à la production éolienne après 2027.

**Réponse :**

9 **Voir la réponse à la question 14.4.**



**ANNEXE A :**  
**RÉPONSE À LA QUESTION 5.2**



Direction générale  
de la santé publique

PAR COURRIER ÉLECTRONIQUE

Québec, le 22 mai 2019

Madame Lucie Dandois  
Directrice  
Direction Santé et sécurité  
Hydro-Québec  
75, boulevard René-Lévesque Ouest, 7<sup>e</sup> étage  
Montréal (Québec) H2Z 1A4

Madame la Directrice,

Nous avons pris connaissance de votre lettre du 5 février 2019 concernant les avancements dans votre démarche scientifique pour mettre en place un programme de débranchement à distance des chauffe-eau ainsi que de l'impact potentiel de ce projet sur la santé publique au regard de la contamination par la légionelle.

Nous avons demandé aux experts de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) d'échanger avec les vôtres sur le document *Critère de protection contre la prolifération de légionelles dans le chauffe-eau électrique pour fins de délestage proposé par Hydro-Québec* (Plante, Moreau et Laperrière, 2019) et par la suite de rédiger une opinion scientifique portant sur le risque de contamination des chauffe-eau électriques par les légionelles.

Cette opinion se base sur les données scientifiques disponibles ainsi que sur l'analyse des documents soumis par Hydro-Québec, soit le document de critère de protection et l'étude, commandée par Hydro-Québec, *Rapport d'évaluation de l'efficacité du chauffe-eau à haute température pour le contrôle de Legionella pneumophila* (Prévost et Bédard, CICEP, 2019) contenant les précisions supplémentaires permettant de mieux comprendre l'effet de la chaleur sur les populations bactériennes de *Legionella pneumophila* se trouvant dans les chauffe-eau électriques.

En bref, l'INSPQ recommande la mise en place du programme de délestage, tant que le programme est réalisé exclusivement avec des chauffe-eau électriques respectant le critère de température de 55 °C durant au moins quatre heures au fond du chauffe-eau électrique. Le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) appuie cette recommandation.

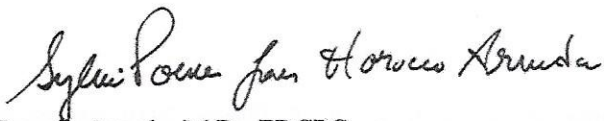
... 2

Finalement, il importe de rappeler que les participants au futur programme devront avoir accès à toute information pertinente afin d'être bien informés, qu'ils seront avertis avant les débranchements et surtout qu'ils seront sensibilisés à l'importance d'éviter les déficits en eau chaude durant les débranchements.

Pour toute information concernant le suivi de ce dossier, vous pouvez joindre monsieur Christian Roy, conseiller en santé environnementale à la Direction générale adjointe de la protection de la santé publique du MSSS, au 418 266-6735.

Nous vous remercions de votre collaboration et vous prions d'agréer, Madame la Directrice, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le directeur national de santé publique  
et sous-ministre adjoint,

A handwritten signature in black ink, reading "Sympa pour Jean Horacio Arruda". The signature is fluid and cursive.

Horacio Arruda, M.D., FRCPC

p. j. Commentaires INSPQ

c. c. M. André Gravel, RBQ  
Mme Christiane Thibault, INSPQ

N/Réf. : 19-SP-00103

**ANNEXE B :**  
**RÉPONSE À LA QUESTION 5.3**



**DATE :** Le 2 février 2010

**A :** Dr Michel Plante et Dr. Geneviève Ostiguy, Hydro Québec

**DE :** Michèle Prévost, Professeur titulaire et Chercheur Principal, CICEP,  
Polytechnique Montréal

Émilie Bédard, Associée de recherche, CICEP, Polytechnique Montréal

**Objet :** Rapport d'évaluation de l'efficacité du chauffe-eau à haute température pour le  
contrôle de *Legionella pneumophila*

Numéro de référence: 33029-18003

Numéro de contrat-cadre : 4600028613

Veillez trouver ci-joint le rapport final des essais d'évaluation de l'efficacité du chauffe-eau à haute température pour le contrôle de *Legionella pneumophila* effectués par Polytechnique Montréal conformément au contrat 4600028613.

Cette version tient compte des commentaires émis en décembre 2019. Un article scientifique est en préparation et vous sera transmis pour commentaires dans l'objectif de le soumettre pour publication en mars 2019.

Cordialement

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Luis', with a long horizontal stroke extending to the right.



**Évaluation de l'efficacité du chauffe-eau à  
haute température pour le contrôle de  
*Legionella pneumophila***



**CHAIRE  
INDUSTRIELLE CRSNG  
EN EAU POTABLE**



**POLYTECHNIQUE  
MONTREAL**



# Évaluation de l'efficacité du chauffe-eau à haute température pour le contrôle de *Legionella pneumophila*

Préparé par :



---

Émilie Bédard, Ing., Ph.D.  
Associée de recherche CICEP



---

Michèle Prévost, Ph.D.  
Professeur Titulaire et Chercheur Principal, CICEP

Le 30 novembre 2018  
*version éditée le 2 février 2019*

## Table des matières

1.	Mise en contexte .....	1
2.	Conditions d'essais au laboratoire .....	2
2.1	Approche d'investigation.....	2
2.2	Prélèvement, concentration et caractérisation des boues .....	2
2.3	Préparation des légionelles .....	3
2.4	Détection de <i>Legionella pneumophila</i> ( <i>Lp</i> ).....	4
2.5	Protocole des essais d'inactivation thermique de laboratoire - Étape 1 .....	5
2.6	Protocole d'évaluation du transfert de <i>L. pneumophila</i> de les boues vers l'eau en situation de remplissage du chauffe-eau – Étape 2 .....	6
2.7	Protocole de cycles de chauffage répétés - Étape 3.....	6
2.8	Évaluation de la capacité de <i>L. pneumophila</i> à ressusciter et à croître en absence et en présence d'amibes.....	6
3.	Résultats expérimentaux.....	8
3.1	Caractérisation des deux boues testées.....	8
3.2	Inactivation thermique des boues – Étape 1.....	11
3.2.1	Observations générales des niveaux d'inactivation .....	11
3.2.2	Prédiction des niveaux d'inactivation.....	17
3.3	Transfert de <i>L. pneumophila</i> de les boues vers l'eau en situation de remplissage du chauffe-eau – Étape 2.....	21
3.4	Inactivation de <i>L. pneumophila</i> après des cycles de chauffe répétés – Étape 3 .....	24
3.5	Essais additionnels : Évaluation de la capacité de <i>L. pneumophila</i> à ressusciter et à croître en absence et en présence d'amibes .....	25
4.	Estimation du risque de prolifération de légionelles .....	28
4.1	Revue critique de l'indice de risque proposé par Hydro Québec.....	28
4.2	Conditions nécessaires à a prolifération de légionelles dans le chauffe-eau .....	30
4.3	Proposition d'indice de risque de prolifération de <i>L. pneumophila</i> dans les boues de chauffe-eau.....	31
4.3.1	Définition des temps de chauffe minimaux quotidiens .....	31
4.3.2	Choix des niveaux de risques associés aux concentrations de <i>L. pneumophila</i> dans le chauffe-eau.....	32
4.3.3	Choix des scénarios de contamination microbiologique à l'entrée du chauffe-eau	32
4.3.4	Résultats des évaluations des niveaux de risque pour les scénarios considérés..	32
5.	Conclusions et recommandations .....	34
6.	Bibliographie.....	36

**Liste des figures**

Figure 2-1 : Montage utilisé pour récupérer les sédiments lors de la vidange des chauffe-eau .....3

Figure 2-2 : Exemple d'un test Legiolert positif après incubation montrant les puits positifs pour *Legionella pneumophila* (*Lp*) .....5

Figure 3-1 : Apparence des boues A et B après suspension, décantation partielle et après décantation complète .....9

Figure 3-2 : Courbes d'inactivation de *Legionella pneumophila* dans les boues A (symboles pleins) et B (symboles vides) en fonction du temps de contact pour différentes températures (panneau A) ..... 12

Figure 3-3 : Inactivation de souches de *Lspp.* et de *Lp* en fonction de la température et du temps de contact. Tiré de Stout et al. (1986)..... 18

Figure 3-4 : Inactivation de souches de *Lp* sg. 1 en fonction de la température et du temps de contact. Tiré de Sanden et al. (1989) ..... 19

Figure 3-5 : Application de la méthode graphique proposée par Kormendy and Kormendy (1997) ..... 21

Figure 3-6. Transport de *L. pneumophila* des boues vers l'eau lors du remplissage avec une eau non-contaminée. Ajout d'un volume égal d'eau stérile aux boues après traitement thermique de 4 heures à 45 et 55°C. A) détection dans l'eau et dans les boues séparément 1h et 20h après l'ajout de l'eau – incubé à 40°C entre les mesures (n=2, duplicata pour chacune des boues). \*Pour les boues A, les valeurs dans les boues 1 heure et 20 heures après l'ajout de l'eau étaient au-dessus de la limite de détection, qui est représentée sur le graphique. Pour les boues B, un seul échantillon était au-dessus de la limite de détection après 1 heure et les 2 après 20 heures. B) Résultats combinés des boues A et B (n=4, boues A et B en duplicata) ..... 23

Figure 3-7 : Efficacité d'un chauffage quotidien à 55°C pendant 4 heures. Boues chauffées 4 heures à 55°C à t=0, mesure de *L. pneumophila* (*Lp*) après chauffage. Par la suite, chauffage de 4 heures à 55°C tous les jours et mesure de *Lp* avant le cycle de chauffage (n=4, boues A et B en duplicata)..... 24

Figure 3-8 : Concentration de *L. pneumophila* mesurée immédiatement après un traitement thermique de 4 heures à différentes températures, 4 jours après incubation à 40°C avec et sans amibes, et 7 jours après incubation à 37°C avec amibes, pour les conditions 55 et 60°C (n=4, boues A et B en duplicata). La ligne pointillée représente la valeur moyenne présente au temps 0, avant le traitement thermique..... 26

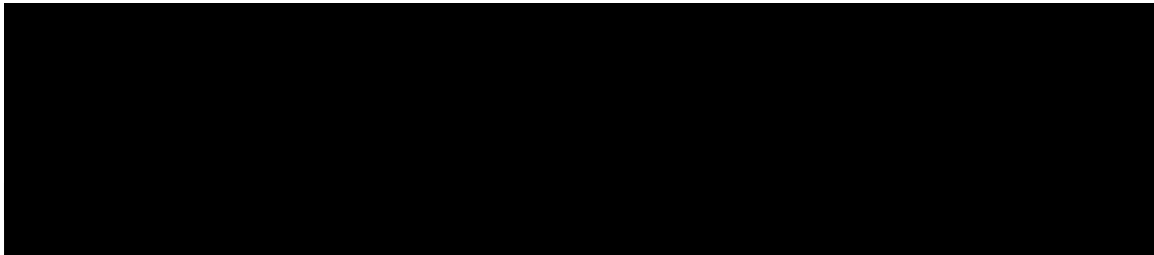
Figure 3-9 : Concentrations de *L. pneumophila* mesurées dans les boues stérilisées inoculées. Valeurs mesurées au moment de l'inoculation et après une semaine à 40°C (n=4, boues A et B en duplicata)..... 27

## Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Résultats de duplicata pour deux dilutions différentes pour le test de Legiolert.....	6
Tableau 3-1: Caractéristiques de l'eau et des boues des chauffe-eaux A et B .....	8
Tableau 3-2: Valeurs des concentrations en métaux dans les boues normalisées par gramme de matières en suspension (MES) .....	10
Tableau 3-3 : Logs totaux d'inactivation de <i>Lp</i> dans les boues après 4 heures d'exposition continue à différentes températures – Mesures par culture enzymatique.....	13
Tableau 3-4. Log d'enlèvement de <i>L. pneumophila</i> dans les boues chauffe-eau résidentiels en fonction de la température et du temps d'exposition consécutif. Rouge : $\leq 0$ ; Orange : $0 < x < 1$ Log; Jaune : $1 \leq x < 3$ Logs ; Vert pâle : $3 \leq x < 5$ Logs ; Vert : $\geq 5$ Logs.....	13
Tableau 3-5. Constantes d'inactivation de Chick pour de température et de temps de contact .	20
Tableau 4-1. Concentrations de <i>L. pneumophila</i> correspondant à des niveaux de risque .....	32
Tableau 4-2. Niveau estimé de <i>L. pneumophila</i> (UFC/L) selon le profil d'opération et la température en fond de chauffe-eau. Les valeurs d'inactivation moyennes attendues dans les conditions de températures spécifiées sont présentées en première ligne (tiré de tableau 3-4 et figure 3-7) .....	33

## 1. MISE EN CONTEXTE

Il existe un consensus scientifique sur le rôle prépondérant du contrôle thermique pour la prévention de la prolifération de *Legionella pneumophila* dans les chauffe-eau résidentiels et les réseaux d'eau chaude de grands bâtiments. Le maintien d'une barrière thermique est considéré comme une approche efficace et indispensable ne pouvant être remplacée par des mesures de contrôle chimique.



En effet, étant donné que le prototype de chauffe-eau mis de l'avant est de même architecture que celle d'un chauffe-eau classique en termes de mode d'alimentation, de chauffage et de matériaux, un gradient de température entre la température de consigne et le bas du chauffe-eau est attendu.

Dans ce type de chauffe-eau, le risque de prolifération de légionelles se situe principalement au fond du chauffe-eau en raison du maintien de températures moins élevées, de la présence de boues et de la forme concave du fond qui offre une aire de décantation en forme d'anneau autour de sa base. L'accumulation de boues et de dépôts meubles offre un environnement propice à la survie et la croissance de *L. pneumophila*. Cette accumulation de boues est variable en quantité et composition selon la qualité de l'eau. La production et le type de boues dans les chauffe-eau dépendent à la fois de la qualité de l'eau l'alimentant en termes de minéralisation (dureté calcique et magnésienne), du flux de particules de corrosion et de dépôts meubles provenant du réseau municipal et de la présence de corrosion et de biofilm dans le chauffe-eau.

Ce rapport fait état des résultats obtenus dans le cadre du mandat qui visait à valider de l'inactivation de *Legionella pneumophila* dans des boues de chauffe-eau aux laboratoires CREDEAU à Polytechnique Montréal. Au terme de ces essais, un indice de risque de prolifération de légionelle a pu être formulé en tenant compte de l'inactivation de *L. pneumophila* dans l'eau et les boues.

## 2. CONDITIONS D'ESSAIS AU LABORATOIRE

### 2.1 Approche d'investigation

La désinfection des boues et dépôts meubles accumulés au fond des chauffe-eau est considérée le point critique de contrôle de la légionelle dans ce type de chauffe-eau.

Les essais réalisés par l'équipe d'Hydro-Québec (Essai 3 Moreau A. *et coll.*, 2018 présenté en réunion) montrent que, pour le scénario d'utilisation testé :

- 1) Les profils de température dans les chauffe-eau expérimentaux sont beaucoup plus élevés que dans des chauffe-eau classiques. Les températures varient entre 70-74°C dans la partie supérieure du chauffe-eau, et de 55-60°C dans la partie inférieure du chauffe-eau lorsque l'eau du chauffe-eau est chaude et à l'équilibre;
- 2) Les pertes de température sont progressives et faibles entre les cycles de chauffe selon le scénario de soutirage présenté;
- 3) Le temps de remise à l'équilibre thermique après un soutirage majeur prend environ 2,3 heures selon le scénario de soutirage présenté;
- 4) Les mesures (10,465) de durée sans soutirage effectuées par Hydro Québec montrent que quasiment tous les chauffe-eau résidentiels (99,8%) disposent d'une période d'au moins 4 heures consécutives par jour pendant lesquelles le chauffe-eau n'est pas utilisé. Environ 97% des profils indiquent une période consécutive de non utilisation de six heures consécutives.

Les conditions d'inactivation thermique de *L. pneumophila* dans les boues ont été évaluées pour établir l'efficacité des températures en fonction des températures d'exploitation considérées pour le nouveau prototype de chauffe-eau. Afin d'évaluer l'effet des différentes températures et du temps de contact, les boues ont été inoculées avec une souche environnementales de *L. pneumophila* isolée d'un réseau d'eau chaude d'un établissement de santé au Québec. Les températures et les durées d'exposition ont été choisies de manière à produire des résultats dans la gamme de températures variant de 40 à 65°C.

### 2.2 Prélèvement, concentration et caractérisation des boues

Pour représenter différents types d'eau pouvant alimenter le chauffe-eau, les essais de désinfection ont été effectués sur des échantillons de boues provenant du fond des réservoirs de chauffe-eau existants. Des boues provenant de chauffe-eaux alimentés par deux types d'eau ont été étudiées. La première boue (Boue A) provient d'un chauffe-eau Giant modèle 152B-3F7M de 7 ans (181 L), alimenté par l'eau de l'usine de traitement des eaux potables Pont-Viau de Laval. Cette eau possède une faible minéralisation et est considérée comme corrosive envers les métaux. La température de consigne du chauffe-eau était de 58,6°C et la température mesurée en sortie au robinet le plus proche était de 57,5°C. La deuxième boue (Boue B) a été prélevée dans un chauffe-eau Marque Giant modèle 1123C-3-1 de 6 ans (455L avec anodes de magnésium), alimenté par l'eau municipale de Sainte-Marthe-sur-le-Lac. Cette eau est fortement minéralisée en termes de dureté calcique, ce qui favorise un entartrage rapide des surfaces. Le prélèvement des boues s'est effectué entre le 20 juin et le 5 juillet, au moyen d'un système de trappe à sédiments (Figure 2-1). L'objectif était de récupérer le plus de sédiments possible. Pour se faire, le chauffe-eau a été vidé entièrement, puis rempli à nouveau partiellement, afin de remettre en suspension les boues accumulées dans le fond. Le chauffe-eau étant relié au système de trappe à

sédiments, une proportion importante des boues a pu être récupérée. Au final, entre 30 et 40L d'un mélange de sédiments et d'eau ont été récoltés.



Figure 2-1 : Montage utilisé pour récupérer les sédiments lors de la vidange des chauffe-eau

Une étape de concentration des dépôts/sédiments a ensuite été nécessaire. Un protocole de centrifugation utilisé en eaux usées a été adapté pour les boues A, afin de récupérer le maximum de sédiments. L'ensemble de l'eau récupérée lors de la vidange a été centrifugée à 1 500g pendant 15 minutes par volumes successifs de 250 mL. Un volume final d'environ 400 mL de sédiments a été récupéré puis distribué également (par poids) dans 10 bouteilles de 500mL. Les boues ont ensuite été remises en suspension dans un volume final de 500 mL, en utilisant l'eau filtrée du chauffe-eau. Pour les boues B, il a été nécessaire d'utiliser une filtration sur une membrane 0,45 µm en plus de la centrifugation en raison de la présence de sédiments très légers demeurant en suspension dans l'eau.

La caractérisation des boues s'est faite à deux niveaux. Tout d'abord, les paramètres physico-chimiques de l'eau lors de la vidange du chauffe-eau ont été mesurés (pH, chlore, température et oxygène dissous). Ensuite, la conductivité, la turbidité, les matières en suspension et volatiles et les métaux (calcium, magnésium, manganèse, fer, cuivre et aluminium) ont été mesurés pour les boues concentrées. Les résultats de caractérisation des eaux et boues de chauffe-eau sont présentés à la section 3.1. La présence de *L. pneumophila* n'a pas été détectée dans les deux boues testées. Les échantillons ont donc été inoculés à des concentrations prédéfinies de *L. pneumophila* afin de vérifier l'effet des températures en présence de la bactérie.

### 2.3 Préparation des légionelles

Une souche environnementale de *L. pneumophila* isolée du biofilm d'un réseau d'eau chaude d'un établissement de santé au Québec a été utilisée. Étant donné que la résistance à la température est hautement variable d'une souche à l'autre (Allegra et al., 2011; Brazeau & Edwards, 2013; Epalle et al., 2015; Moreau & Laperrière, 2018; Prévost, Doberva, Allegra, Faucher, & Bédard, 2017), il était important d'effectuer les essais sur une souche environnementale provenant d'un réseau d'eau chaude. La tolérance de cette souche face à des températures élevées a été testée et comparée à d'autres souches de *L. pneumophila* lors d'essais effectués dans l'eau en absence

de boues (Prévost et al., 2017). Ces essais ont été menés en 2017, dans le cadre du programme de recherche de la CICEP. Après une heure d'exposition à une température de 55°C, une inactivation de 2,6 Log avait été mesurée en culture.

Il a été démontré que l'acclimatation préalable de souches à des conditions oligotrophes typiques de l'eau potable augmente considérablement la résistance aux stress environnementaux. Dans un chauffe-eau, les conditions sont oligotrophes. En effet, les courbes d'inactivation obtenues avec des souches de référence cultivées en milieu riche ne sont pas représentatives des courbes d'inactivations de souches environnementales acclimatées. Ainsi, nos essais ont été réalisés après une acclimatation de la souche à l'eau du chauffe-eau pour une période de 5 à 10 jours dans de l'eau faible en nutriments, processus appelé '*starving*'. L'eau récupérée lors de la concentration des boues A et B a été filtrée sur membrane (0,22 µm) et utilisée pour l'acclimatation des souches et les dilutions. Une suspension de *L. pneumophila* a été préparée afin d'inoculer les boues, pour une concentration finale de 10<sup>6</sup> UFC/mL.

#### **2.4 Détection de *Legionella pneumophila* (Lp)**

Les dénombrements de *L. pneumophila* (Lp) ont été effectués au moyen d'un test enzymatique mesurant les bactéries cultivables (Legiolert, Idexx). Cette méthode est analogue au test Colilert qui est maintenant la méthode de détection adoptée pour le contrôle de la contamination de l'eau potable. L'estimation de la concentration est fondée sur le principe d'estimation probabiliste de positifs dans des dilutions successives et les valeurs obtenues sont exprimées en NPP, soit le nombre plus probable par volume. Ce nouveau test enzymatique a récemment été validé par des études comparatives avec les méthodes ISO 13843:2017 et ISO 11731-2:2004 (Idexx, 2018; Idexx technical bulletin, 2017) et plusieurs inter-calibrations (Petrisek & Hall, 2017; Rech, Swalla, & Dobranic, 2018; Sartory, Spies, Lange, Schneider, & Langer, 2017; Spies et al., 2018). Il offre l'avantage d'une réponse plus rapide, plus sensible et plus spécifique. Deux versions de ce test sont disponibles, une première pour les eaux potables et une deuxième pour les eaux non potables. Étant donné la turbidité élevée des échantillons de suspensions de boues, le protocole pour les eaux non-potables a été utilisé.

Dans un premier temps, des dilutions des échantillons de boues ont été effectuées pour que la concentration résultante se situe dans les limites de détection de la méthode, soient entre 1 et 2 272 NPP/100mL. Une gamme de dilutions a été définie en tenant compte de l'inactivation anticipée en fonction de la température. Ensuite, un prétraitement de l'échantillon a été fait afin de réduire la flore interférente qui pourrait être présente dans les échantillons ayant une grande charge bactérienne. Au final, un volume équivalent à 1 mL d'échantillon (ou de la dilution appropriée) a été analysé après traitement. Une fois inoculées, les plaques étaient incubées à 37°C pendant 7 jours. Le nombre de légionelles dans l'échantillon est ensuite estimé selon une méthode du nombre le plus probable, en fonction du nombre de puits positifs (présence de turbidité ou de couleur brune) tel que montré à la Figure 2-2.



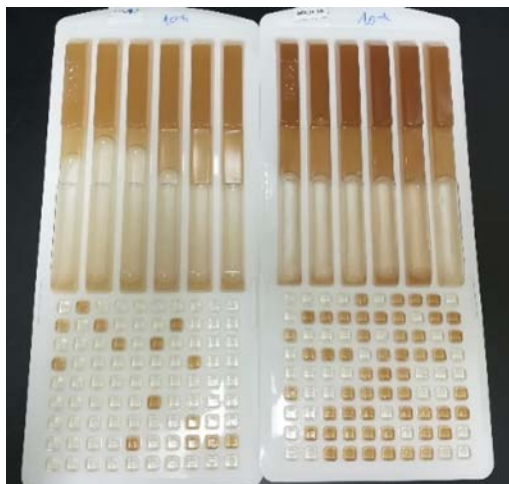


Figure 2-2 : Exemple d'un test Legiolert positif après incubation montrant les puits positifs pour *Legionella pneumophila* (Lp)

## 2.5 Protocole des essais d'inactivation thermique de laboratoire - Étape 1

Pour chacune des deux boues, l'exposition à six températures (40, 45, 50, 55, 60 et 65 °C) pour une durée entre 1h et 24h (1, 2, 4, 6 et 24 heures) a été réalisée. Les essais ont été réalisés dans des tubes de 50 mL en verre contenant un volume de boue final de 20 mL. Chaque condition de température et de temps d'exposition a été testée dans des tubes séparés et en duplicata. À titre d'exemple, 10 tubes de boues ont été préparés pour tester les boues A à 40°C, après 1h, 2h, 4h, 6h et 24h de temps de contact.

Pour chaque température testée, 18 mL de boues homogénéisées étaient préchauffés (40, 45, 50, 55, 60 ou 65°C). Une fois la température atteinte, 2 mL de la suspension fille ont été ajoutés dans chacun des tubes (t=0). Les tubes étaient ensuite retirés en fonction du temps de contact alloué, en duplicata. Un contrôle sans légionelles a été fait à t=0 et t=24h pour chaque boue et chaque température testée. Un témoin positif à température ambiante a aussi été fait pour chacune des boues aux temps 0 et 24h, afin de vérifier que la concentration en *L. pneumophila* demeurerait stable en absence de stress thermique.

Les résultats expérimentaux étaient très reproductibles, la différence entre chaque duplicata étant inférieure à 10%. À titre d'exemple, les résultats de les boues A sont présentés au tableau 3, pour la température de 40°C après 24h. Deux dilutions ont été faites pour cette condition spécifique. On voit que les résultats sont très similaires et qu'il y a une bonne correspondance pour chaque duplicata et pour les différentes dilutions.

Tableau 2-1 : Résultats de duplicata pour deux dilutions différentes pour le test de Legiolert

BOUE A	Lp/mL	Dilution	Résultats	Moyenne
24h (1)	134,2	1,00E-04	1,34E+06	1,78E+06
24h (2)	221,9	1,00E-04	2,22E+06	
24h (1)	14,1	1,00E-05	1,41E+06	1,41E+06
24h (2)	22,3	1,00E-05	2,23E+06	

Un seul échantillon avait une différence supérieure à 1 Log entre les duplicatas. Dans ce cas particulier, les résultats étaient à la limite de détection du test Legiolert, ce qui a probablement entraîné une plus grande variabilité entre les répliques. Nous considérons donc nos essais comme très répétables, en accord avec les validations récentes de ce test enzymatique sur d'autres types d'échantillons.

## 2.6 Protocole d'évaluation du transfert de *L. pneumophila* de les boues vers l'eau en situation de remplissage du chauffe-eau – Étape 2

Les essais ont été réalisés en duplicata pour les boues A et B dans des bouteilles stériles en verre de 250mL en utilisant un volume de boues initial de 100 mL. Après inoculation des boues à une concentration d'environ  $1 \times 10^6$  bact/mL (section 2.3), les boues ont été laissées à 40°C pour 72 heures, afin de laisser un temps d'adaptation aux bactéries et la possibilité d'adhérer aux sédiments présents. Un volume de 100 mL d'eau de chauffe-eau stérile à température pièce a ensuite été ajouté à chaque échantillon de boue, puis les bouteilles ont été agitées pour simuler une remise en suspension des sédiments pouvant se produire lors d'un remplissage. Des prélèvements ont ensuite été effectués dans l'eau et dans les boues séparément après 1 heure et 20 heures de temps de contact. Le prélèvement d'eau est fait au centre de la bouteille. Des contrôles négatifs ont été faits pour les deux boues aux deux températures.

## 2.7 Protocole de cycles de chauffage répétés - Étape 3

Pour chacune des deux boues, une exposition répétée de 4 heures à 55°C a été testée. Les essais ont été réalisés dans des bouteilles stériles en verre de 125mL, sur un volume de 100 mL de boue, en duplicata pour les boues A et B. Les boues ont d'abord été inoculées à une concentration d'environ  $1 \times 10^6$  bact/mL par une suspension de *L. pneumophila* tel que décrit à la section précédente (2.3). Après une incubation de 72 heures à 40°C, les échantillons ont été chauffés à 55°C pendant 4 heures. Les échantillons ont ensuite été laissés pendant 20 heures à 40°C. Ensuite, un chauffage de 4 heures à 55°C a été appliqué quotidiennement pour un total de 5 cycles de chauffage. Des prélèvements ont été faits avant le cycle de chauffage quotidien. À la fin de la semaine, les échantillons ont été incubés à 40°C pour 72 heures, puis des prélèvements ont été faits à nouveau. Des contrôles négatifs (sans *L. pneumophila*) ont été faits en parallèle.

## 2.8 Évaluation de la capacité de *L. pneumophila* à ressusciter et à croître en absence et en présence d'amibes

La ressuscitation de *L. pneumophila* en présence d'amibes a été testée après exposition de 4 heures à 40, 55 et 60°C. Le traitement thermique a été appliqué sur 100 mL de boues dans des

bouteilles en verre stériles. Après traitement, des échantillons de 2 mL ont été prélevés et déposés dans des tubes stériles de 5 mL. Une première série de 12 tubes (3 température, 2 boues, en duplicata) a servi de contrôle sans amibes. Une deuxième série de tubes a été inoculée avec une suspension de *Vermamoeba vermiformis*. Les amibes avaient au préalable été lavées 3 fois afin de retirer le milieu de culture. L'équivalent de  $1 \times 10^6$  amibes a été ajouté dans l'échantillon de 2 mL. Les tubes ont ensuite été incubés à 37°C pendant 4 jours, puis la concentration en *L. pneumophila* cultivables a été évaluée pour l'ensemble des échantillons.

Finalement, un essai sur des échantillons de boues préalablement traitées à 100°C pendant 1 heure a été fait pour vérifier la capacité de croissance de *L. pneumophila* en absence de cellules hôtes telles que les amibes. Pour cet essai, 100 mL de boues traitées ont été inoculées avec *L. pneumophila* à une concentration de  $1 \times 10^6$  bact/mL. Les échantillons de boues inoculées ont ensuite été laissés à 40°C pendant une semaine, et la concentration en *L. pneumophila* a été à nouveau mesurée. Les essais ont été faits en duplicata pour les boues A et B.

### 3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

#### 3.1 Caractérisation des deux boues testées

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau récupérée lors de la vidange des chauffe-eau (pH, chlore, température et oxygène dissous) sont présentées au Tableau 3-1. Ensuite, la conductivité, la turbidité, les matières en suspension et volatiles et les métaux (calcium, magnésium, fer, cuivre et aluminium) ont été quantifiés dans les boues concentrées (Tableau 3-1).

Tableau 3-1: Caractéristiques de l'eau et des boues des chauffe-eaux A et B

<b>CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU DES CHAUFFE-EAU</b>		
	<b>CHAUFFE-EAU A</b>	<b>CHAUFFE-EAU B</b>
Chlore résiduel (mg Cl <sub>2</sub> /L) <sup>1</sup>	≤LD	≤LD
Chlore total (mg Cl <sub>2</sub> /L)	≤LD	≤LD
pH	8,0	8,2
Alcalinité (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	27	180
Calcium (mg/L CaCO <sub>3</sub> )*	47	131
Dureté totale (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	53	239
Température (°C) de l'eau dans le fond du chauffe-eau au moment du prélèvement	33,8	37,5
Matières totales dissoutes (mg/L)	96	376
O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	10	2
Conductivité (µS/cm <sup>2</sup> )*	150	587
<b>CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES BOUES</b>		
	<b>BOUE A</b>	<b>BOUE B</b>
Turbidité (NTU)	142	342
Matières en suspension, MES (mg/L)	1344	2275
Matières volatiles en suspension, MVES (mg/L)	367	189
% matières volatiles	25	8
<b>CONCENTRATIONS DE MÉTAUX DANS LES BOUES</b>		
Magnésium (mg/L)	5,9	15,6
Aluminium (µg/L)	4,0	3,5
Calcium (mg/L)	13,5	30,1
Fer (µg/L)	249,9	558,7
Manganèse (µg/L)	18,2	148,6
Cuivre (µg/L)	4,0	1196
<b>CARACTÉRISTIQUES MICROBIOLOGIQUES DES BOUES</b>		
Bactéries hétérotrophes aérobies (BHA (UFC/mL))	415 000	40 000
<i>Legionella pneumophila</i> (MPN/mL)	Non-déecté	Non-déecté

<sup>1</sup>LD = 0,05 mg Cl<sub>2</sub>/L; \* mesuré à l'eau traitée municipale.

Tel qu'attendu, il y avait absence de chlore libre ou total dans l'eau du chauffe-eau. Les valeurs de pH sont comparables. La température de l'eau au fond du chauffe-eau était comparable pour les deux chauffe-eaux. L'eau du chauffe-eau A avait une concentration en oxygène dissous (OD) en sursaturation, ce qui reflète le niveau d'OD de l'eau d'alimentation. En effet, le chauffe-eau A est alimenté par une eau de surface traitée et ozonée généralement proche de la sursaturation toute l'année dans le réseau de distribution. Le chauffe-eau B est alimenté par une combinaison d'eau de surface et d'eau passant à travers une filtration sur berge, dont la teneur en oxygène dissous est typiquement moins élevée (environ 2 mg/L O<sub>2</sub> selon Pazouki et al. (2016)). On note aussi une présence plus importante de bactéries cultivables (bactéries hétérotrophes aérobies) dans les boues reconstituées du chauffe-eau A, avec des concentrations 10 fois plus élevées que pour les boues B (Tableau 3-1). Cette présence plus importante dans les boues A est attribuable à la plus grande concentration en matières organiques. En effet, les boues reconstituées du chauffe-eau B étaient plus élevées en matières en suspension mais avec une fraction volatile plus faible (8%), ce qui correspond à la plus forte minéralisation des eaux de la source de Ste Marthe sur le Lac. Pour des températures de 60°C le potentiel de précipitation de l'eau de Laval est évalué à environ -3,2 mg/L, alors que celui de l'eau de l'eau de Ste-Marthe est estimé à 0,4 mg/L.

L'apparence des sédiments des deux boues est aussi différente (Figure 3-1). Les sédiments de les boues A semblaient plus grossiers et de couleur marron, typique des dépôts de fer. Ce type de dépôts est présent dans des réseaux avec une présence importante de conduites de fonte ductile, comme celui de Ville Laval. Les sédiments des boues B étaient constitués de particules très fines et légères et de particules de plus grande taille, qui décantaient plus rapidement. Leur couleur noire est typique de précipités de manganèse ou de fer.



Figure 3-1 : Apparence des boues A et B après suspension, décantation partielle et après décantation complète

Le Tableau 3-2 montre les résultats de caractérisation des métaux normalisés pour tenir compte de la teneur en matières solides. L'ensemble des résultats confirment que les boues testées représentent deux qualités de boues différentes : une plus inorganique (MVES de 8%) typique des eaux à fort potentiel de précipitation de dureté et de fer (boues B), et l'autre plus organique (MVES de 25%) typique de réseaux d'eaux de surface avec conduites en fonte (boues A). La présence de magnésium est expliquée par la contribution des anodes.

Tableau 3-2: Valeurs des concentrations en métaux dans les boues normalisées par gramme de matières en suspension (MES)

<b>Métaux totaux</b>	<b>BOUE A</b>	<b>BOUE B</b>
Magnésium (mg/g MES)	4,4	6,9
Aluminium (µg/g MES)	3,0	1,5
Calcium (mg/g MES)	10,0	13,2
Fer (µg/g MES)	186,0	245,6
Manganèse (µg/g MES)	13,5	65,3
Cuivre (µg/g MES)	3,0	525,7

## 3.2 Inactivation thermique des boues – Étape 1

Les questions de recherche posées sont:

- **Quelle est la cinétique de désinfection d'une souche environnementale de *L. pneumophila* dans des boues de chauffe-eau?**
- **La nature des boues influence-t-elle l'inactivation thermique de *L. pneumophila*?**

### 3.2.1 Observations générales des niveaux d'inactivation

Les courbes d'inactivation de *L. pneumophila* dans les boues A et B en fonction de la température et du temps d'exposition (1-24 heures) pour les deux boues testées sont présentées à la Figure 3-2. Le panneau A résume les résultats sur la durée complète des essais. Le panneau B offre une meilleure vue de l'inactivation durant les deux premières heures de temps de contact. La limite de détection de *L. pneumophila* de 1 NPP/mL est indiquée par une ligne pointillée noire. Lorsque *L. pneumophila* n'était pas détecté, le résultat est représenté graphiquement par une valeur équivalente à 50% de la limite de détection.

Dans un premier temps, on note des résultats similaires entre les deux boues, malgré les différentes caractéristiques de ces dernières. Les résultats confirment que *L. pneumophila* maintient sa cultivabilité et peut même se reproduire lorsque les températures se situent dans la plage entre 25 et 42°C (Yee & Wadowsky, 1982). Aucune baisse significative n'est notée à ces températures. Une légère hausse a été même observée après 24 heures dans les boues A et B lorsque la température est maintenue à 40°C. Des essais complémentaires ont été effectués à cet égard et sont présentés à la section 3.7.

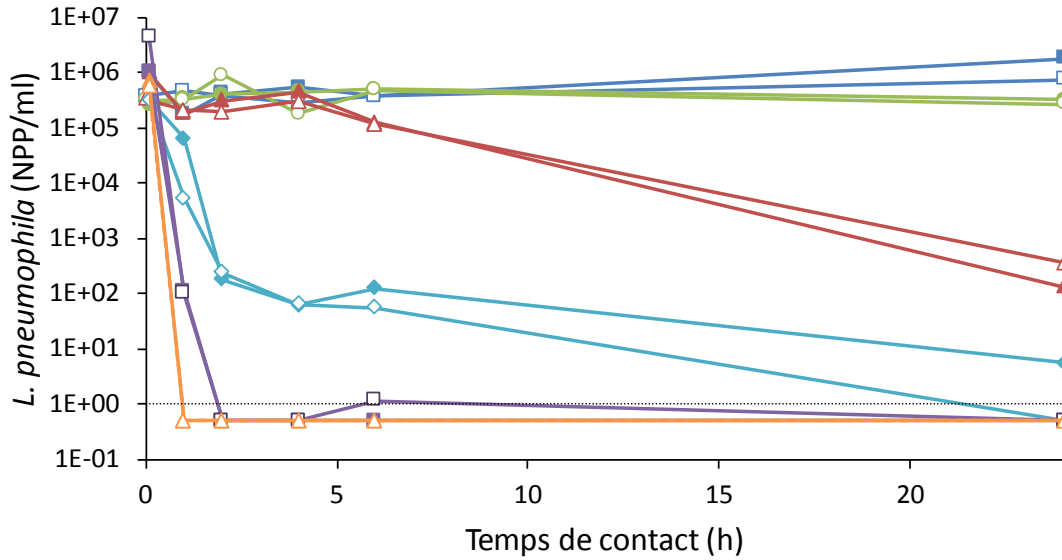
Le maintien prolongé d'une température de 50°C permet de réduire de >2,5 Log la concentration cultivable de *L. pneumophila*. Cependant, les résultats obtenus montrent que des périodes de chauffages à 50°C de 6 heures et moins sont insuffisantes pour réduire la présence de *L. pneumophila* cultivables. De plus, il est important de noter qu'une fraction de la population reste cultivable après 24h à 50°C. Une croissance demeure possible si des baisses de températures sont observées et encore plus si des amibes sont présentes (section 3.7). Cependant, les résultats obtenus à la section 3.7 suggèrent l'absence d'amibes dans les boues des deux chauffe-eaux échantillonnés.

À une température de 55°C, une réduction des niveaux des *L. pneumophila* cultivables est déjà observable après 1 heure de temps de contact. Une perte complète de cultivabilité plus rapide est observée après 2 heures à 60°C et 1 heure à 65°C. Il est toutefois important de noter un résultat faiblement positif observé dans les boues B après 6 heures à 60°C. Bien que ce résultat soit faible, il soulève le fait qu'une faible concentration de bactéries cultivables inférieure à la limite de détection demeure présente.

Le Tableau 3-3 résume les inactivations observées après 4 heures consécutives d'exposition à chaque température testée, ce qui représente le temps d'exposition de référence correspondant au minimum de durée sans soutirage dans 97% des profils de consommation (en tenant compte du 2 heures de remise à l'équilibre du chauffe-eau après soutirage majeur). Les résultats confirment qu'à une température de 55°C, le temps d'exposition cumulé à une température cible est un facteur déterminant pour le maintien de *L. pneumophila* détecté par culture. Ils montrent une perte majeure de cultivabilité de 3,7 Logs causée par une exposition cumulée de 4 heures. **Ces résultats indiquent aussi que la température de 55°C est une condition de transition entre une inactivation limitée et avec délai à 50°C et une inactivation thermique rapide et complète**

des bactéries cultivables à plus de 60°C pour la souche testée. Ces observations soulignent l'importance de maintenir les températures en fond de chauffe-eau de façon fiable et soutenue à 55°C ou plus.

**A**



**B**

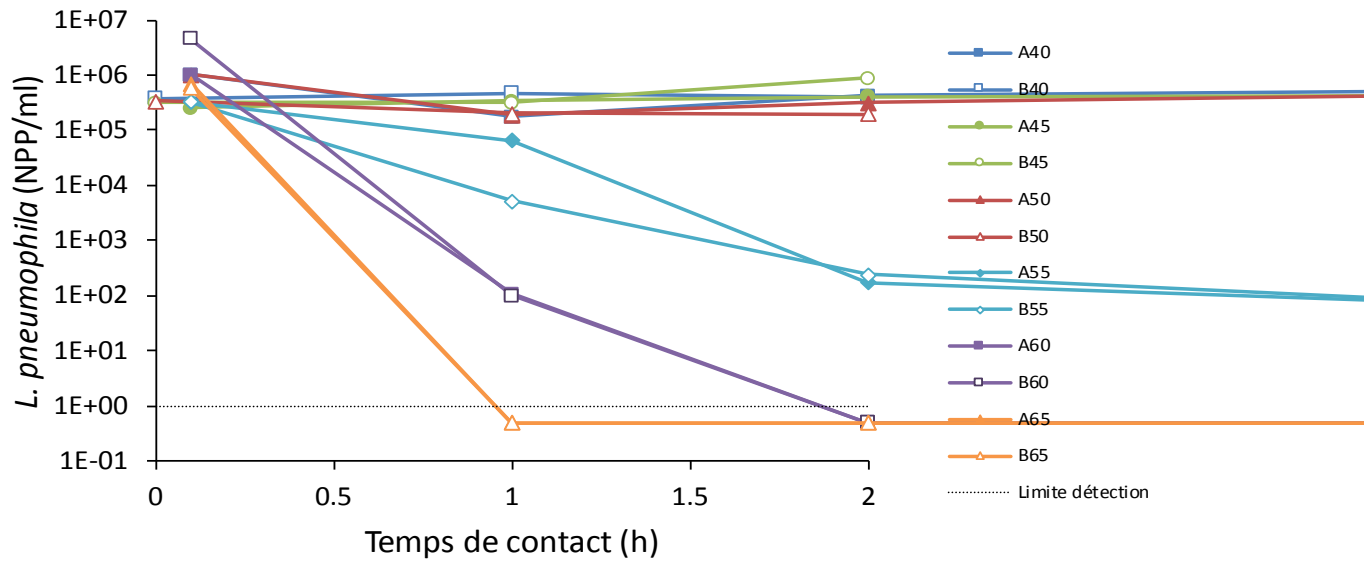


Figure 3-2 : Courbes d'inactivation de *Legionella pneumophila* dans les boues A (symboles pleins) et B (symboles vides) en fonction du temps de contact pour différentes températures (panneau A)



Tableau 3-3 : Logs totaux d'inactivation de *Lp* dans les boues après 4 heures d'exposition continue à différentes températures – Mesures par culture enzymatique

Température (°C)	Logs d'inactivation après 4 heures d'exposition	
	Boue A	Boue B
40	0.3	0.1
45	-0.3	0.3
50	0.3	0.0
<b>55</b>	<b>3.7</b>	<b>3.7</b>
60	> 6.0	> 6.0
65	> 6.0	> 6.0

Les résultats obtenus aux différentes températures et temps de contact peuvent aussi être visualisés à l'aide d'un 'heat map' des Logs totaux d'enlèvement de *L. pneumophila* cultivables dans les boues (Tableau 3-4). Cette représentation des résultats illustre bien la zone de transition entre une longue exposition de 24 heures à 50°C et une courte exposition de 1 heure à 60°C.

Tableau 3-4. Log d'enlèvement de *L. pneumophila* dans les boues chauffe-eau résidentiels en fonction de la température et du temps d'exposition consécutif. Rouge :  $\leq 0$ ; Orange :  $0 < x < 1$  Log; Jaune :  $1 \leq x < 3$  Logs ; Vert pâle :  $3 \leq x < 5$  Logs ; Vert :  $\geq 5$  Logs

		Temps de contact en heures				
		1	2	4	6	24
Température (°C)	40	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.6
	45	0.0	-0.3	0.0	-0.2	0.0
	50	0.2	0.1	-0.1	0.4	3.1
	55	1.0	3.2	3.7	3.6	5.0
	60	3.5	5.8	5.8	5.6	5.8
	65	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8

Une seule souche de *Lp* ayant été testée pour cette étude, il est intéressant de considérer la résistance d'autres souches de *L. pneumophila* aussi estimée par culture. En comparaison, une étude récente menée sur des souches de laboratoire (3) et environnementales (2) rapporte des niveaux d'inactivation plus élevés de *L. pneumophila* dans l'eau en absence de boues (Cervero-Arago, Rodriguez-Martinez, Puertas-Bennasar, & Araujo, 2015). À 55°C, le temps d'inactivation requis pour atteindre 4 Logs était plus court variant entre 2 et 25 minutes selon les souches testées. Pour la souche démontrant le plus de résistance, une inactivation de plus de 2 Log est obtenue après seulement 15 minutes. Nous attribuons cette différence aux conditions des essais,

une période d'adaptation des cultures (*starving*) n'ayant été effectuée avant l'exposition à la température dans l'étude de Cervero-Arago (2015). Nos travaux ont été effectués avec une souche environnementale de *Lp* isolée d'un réseau d'eau chaude au Québec et starvée avant exposition aux élévations de température. Finalement, il est intéressant de noter que Cervero-Arago (2015) montrent aussi que la résistance des souches de *Lp* testées augmente par un facteur de 14-18X à 50°C et par un facteur de 5-6X à 55°C si une association avec *Acanthamoeba* est présente.

Quoique des essais de laboratoire offrent des résultats intéressants, il est indiqué d'identifier d'autres résultats d'études montrant les effets de la température d'exploitation sur la prévalence de *L. pneumophila* directement dans des chauffe-eau. Faute de détenir des données sur le prototype considéré, on peut consulter les résultats d'études sur la prévalence de *Legionella* spp. et *Lp* directement dans les réservoirs d'eau chaude, qu'ils soient résidentiel ou dans de grands bâtiments. Il y a relativement peu de données sur la prévalence de *L. pneumophila* dans les chauffe-eau en fonction du maintien des températures de consigne dans des chauffe-eau, la plupart des études rapportant la prévalence aux points d'usage avec quelques mesures dans le chauffe-eau et le réseau d'alimentation et de recirculation.

On note toutefois quelques études à retenir:

- L'étude d'Alary and Joly (1991) montre que 37% des 178 chauffe-eau électriques échantillonnés dans la région de Québec étaient positifs pour *L. pneumophila* avec une grande diversité de sérogroupes. Aucun des chauffe-eau au gaz ou au mazout exploités à une température plus élevée ( $61,5 \pm 1,1$ ) et avec une source de chaleur située sous le chauffe-eau n'étaient positifs. L'étude révèle l'effet dominant du type de chauffe-eau sur la contamination du chauffe-eau et des points distaux. Une faible température à la vanne de vidange au bas du chauffe-eau ( $30,3 \pm 0,6$ ), variable directement reliée au type de chauffe-eau, était associée à la positivité. Malgré une température en sortie de chauffe-eau relativement élevée ( $56,6 \pm 0,4$ ), ces auteurs rapportent aussi une importante positivité aux points distaux, soit 12% des robinets et 16% des douches. De plus, ces auteurs notent aussi que les chauffe-eau non-électriques sont négatifs aux points distaux. Finalement, la positivité aux sites distaux était moins associée à la température en sortie de chauffe-eau qu'à l'âge du réseau de distribution (district) ou du chauffe-eau, soulevant l'importance de la qualité de l'eau.
- L'étude de Stout et al. (1992) montre une faible positivité pour *L. pneumophila* (6% des résidences et 3% des chauffe-eau) dans 218 résidences équipées à 97% de chauffe-eau au gaz dans la ville de Pittsburgh. La faible positivité était toutefois fortement associée à la température dans le chauffe-eau et aux sites distaux. L'hypothèse de l'influence de la qualité de l'eau, particulièrement la teneur en fer est formulée pour expliquer la plus forte positivité (22%) d'un des secteurs étudiés pour une même gamme de température.
- L'étude de Mathys et al. (2008) montre l'impact de la température sur la prévalence de *Legionella* spp. (93,7% du *Lp*) mesurée par culture classique dans 343 chauffe-eau de résidences allemandes avec un réservoir d'eau et, dans certains cas, une recirculation. L'impact des éléments distaux de plomberie (robinets, douches) a été contrôlé en enlevant ces éléments, en désinfectant la conduite avant échantillonnage et en ne prélevant que des échantillons après rinçage. On conclut que le maintien de la température à plus de 60°C résulte en une élimination des sites positifs par culture, alors qu'une baisse de la prévalence est observée dès 55°C, malgré une persistance notable

entre 55-59°C (7,1% des sites positifs). Cette étude révèle aussi une absence de détection de *Legionella spp.* dans des résidences avec chauffe-eau instantané assurant des températures plus élevées. Comme plusieurs réseaux domestiques sont maintenant dotés de recirculation, cette étude apparaît pertinente.

- L'étude de Kruse, Wehner, and Wisplinghoff (2016) effectuée dans 718 bâtiments en Allemagne avec une positivité globale de 32,7% pour *Legionella spp.*, dont 94% était du *Lp*. Lors de l'échantillonnage, des prélèvements étaient effectués aux points d'utilisation et directement du chauffe-eau. Des 233 bâtiments positifs pour *Lp*, 84 (36.1%) ont eu des résultats positifs en sortie de chauffe-eau. La température du système d'eau chaude était le facteur de risque le plus important pour la contamination en *Legionella spp* et les niveaux mesurés. Cependant, il n'est pas mentionné si la température était mesurée directement en sortie de chauffe-eau.
- Une étude réalisée dans la région de Québec il y a plus de 25 ans révélait déjà une prévalence de *Legionella spp.* dans les sédiments de 255 chauffe-eaux de 33% (Dewailly & Joly, 1991). Le type de chauffe-eau et la température ont été identifiés comme des facteurs dominants pour la prédiction de la présence des *Legionella*. Tous les positifs ont été détectés dans des chauffe-eaux électriques (aucun positif dans les chauffe-eaux au gaz) et une positivité deux fois plus élevée était mesurée dans les sédiments dont la température était inférieure à 40°C. De plus, une contamination au point d'utilisation a été observée lorsque la température dans le réseau d'eau chaude était inférieure à 56°C. En tenant compte du gradient de température observé entre les sédiments au bas du chauffe-eau et la température en sortie de l'eau (15°C), les observations de positivité dans les sédiments et au point d'utilisation concordent.
- Marrie and al (1994) ont étudié la présence de *Legionella* et de *Lp* dans les réseaux d'eau chaude et froide de 48 hôpitaux et des chauffe-eaux résidentiels de 74 maisons unifamiliales et de 16 appartements dans la grande région de Halifax. Les résultats montrent une plus grande prévalence dans les réseaux d'hôpitaux (32%) et les appartements (25%) versus 8% pour les maisons unifamiliales. Ces auteurs notent l'importance de la qualité d'eau, les eaux minéralisées ayant un pH et une concentration plus élevée de calcium étant plus favorable à la présence de *Lp*. Ils rapportent aussi une relation inverse avec la concentration de fer quoique les concentrations mesurées soient très faibles.
- Finalement, une autre étude menée au Québec entre juin 1998 et juin 2009 suggère qu'une température de 57°C ou plus est nécessaire pour prévenir la colonisation des chauffe-eaux électriques par *L. pneumophila*. On soulève de plus l'important gradient de la température moyenne mesurée dans les sédiments au fond du chauffe-eau (31,4°C) et la température maximale mesurée dans le réseau d'eau chaude (56,7°C). Quoique cette étude soit très intéressante car elle tente de relier la prévalence au robinet à des cas sporadiques cliniques, on note les délais variables et parfois longs (1-85 jours) entre la déclaration des cas et l'échantillonnage des chauffe-eau (Dufresne et al., 2012).

Ces résultats montrent aussi que l'absence ou la faible prévalence de *L. pneumophila* cultivables dans le chauffe-eau ne correspond pas forcément à l'absence de *L. pneumophila* au point d'usage (robinet, douche). Toutefois, une combinaison de température élevée de l'eau au chauffe-eau et du maintien de la température jusqu'au point d'utilisation assure une réduction marquée, voir même une élimination de la prévalence de *Lp* cultivable dans des réseaux résidentiels.

Les observations au niveau des chauffe-eau dans des résidences sont clairement appuyées par plusieurs études, certaines de très grande envergure, montrant la diminution marquée de la prévalence de *Legionella pneumophila* au robinet pour les températures de 55°C et plus dans de grands bâtiments comme des hôpitaux (Arvand, Jungkind, & Hack, 2011; Boppe et al., 2016; Marchesi et al., 2016). Une étude allemande montre une réduction de 87% à 11% de la positivité lorsque la température est supérieure à 55°C (Arvand et al., 2011). En Italie, 90,5% des robinets ayant une température d'eau chaude entre 50 et 55°C étaient positifs en culture pour la légionelle, comparativement à 63% pour les températures entre 55 et 60°C, alors qu'aucun positif n'était observé pour les températures de 60°C et plus (Marchesi et al., 2016). Ces résultats sont similaires à ceux observés dans une étude menée par notre équipe dans un hôpital au Québec, où 100% des robinets ayant des températures d'eau chaude entre 40 et 50°C étaient positifs pour *L. pneumophila*, 83% entre 50 et 55°C et 56% entre 55 et 60°C (Boppe et al., 2016). L'absence de positivité observée par Marchesi et al. (2016) lorsque les températures d'eau chaude dans un hôpital étaient supérieures à 60°C correspond aux résultats obtenus en laboratoire lors de notre essai.

Le chauffe-eau détermine en grande partie la prévalence de *Lp* aux points distaux en termes d'ensemencement du réseau en aval et des conditions de température l'alimentant. La configuration du réseau, les conditions aux points distaux (matériaux, stagnation, usage, etc.) ainsi que l'utilisation de vannes thermostatés sont aussi des facteurs déterminant les risques de positivité aux points distaux.

Dans l'interprétation des données résidentielles, il est important de considérer que les observations des effets des hausses de températures dans résidences desservies par des chauffe-eau électriques sont le résultat d'une combinaison de deux phénomènes:

- 1) l'augmentation de la température dans le volume mort au-dessous des éléments chauffants ou, si possible son élimination;
- 2) le maintien de températures plus élevés dans le réseau aux points distaux d'utilisation.

L'importance d'éliminer la présence d'un volume mort avec des températures insuffisantes pour contrôler *Lp* est reconnue depuis longtemps. De nombreuses réglementations dans d'autres pays que le Canada prescrivent des mesures minimisant les risques de proliférations de *Lp* dans ce volume, comme par exemple, l'adoption d'une forme d'une base convexe minimisant le volume sous les éléments chauffants, éliminant l'espace annulaire à la jonction de la base et de la paroi verticale du chauffe-eau, et facilitant sa vidange (Health Facilities Scotland (HFS), 2012). L'importance de maintenir la température de contrôle dans l'ensemble du réservoir d'eau chaude fait partie de nombres de réglementation répertoriées à l'échelle internationale, incluant l'obligation de maintenir une température de consigne de 60°C dans l'ensemble du réservoir (Bédard et al., 2015). Par exemple, on recommande l'utilisation de pompes de recirculation pour assurer un mélange complet pendant les périodes de faible demande. Il est à noter qu'au Canada, la réglementation des températures en sortie de chauffe-eau se fait au niveau provincial. Il est toutefois mentionné à l'article 2.6.1.12 du code national de plomberie du Canada que : 'Le dispositif de contrôle du thermostat des chauffe-eaux à accumulation électriques doit être réglé à une température de 60°C' (Conseil National de Recherches Canada (CNRC), 2005). Au Québec, les températures de contrôle sont réglementées par la Régie du bâtiment du Québec, qui demande le maintien d'une température de 60°C et plus en sortie de chauffe-eau, et de 55°C dans le système en recirculation (Régie du bâtiment du Québec (RBQ), 2014).

En conclusion, nous avons déterminé la cinétique d'inactivation d'une souche environnementale de *Legionella pneumophila* dans deux types de boues de chauffe-eau pour des températures de 45 à 65°C et des temps d'exposition de 1-24 heures:

- La souche de *Lp* acclimatée aux conditions environnementales typiques dans un chauffe-eau possède une résistance complète ≤50°C, partielle à 55°C et minime à 60°C, mesurée par culture.
- La cinétique d'inactivation thermique est semblable pour les deux types de boues.
- Ces observations sont cohérentes avec celles d'études de terrain dans des chauffe-eau résidentiels et dans des systèmes d'eau chaude de grands bâtiments.
- La température de 55°C est une condition de transition correspondant à une perte de culturabilité progressive et importante en fonction du temps de contact.

### 3.2.2 Prédiction des niveaux d'inactivation

Pour prédire le niveau d'inactivation en fonction de la température et du temps de contact, on décrit la cinétique d'inactivation de *L. pneumophila* après avoir précisé dans quelles conditions les constantes d'inactivation peuvent s'appliquer. Avec des constantes cinétiques réalistes, il est ensuite possible de prédire les inactivations en fonction des temps de chauffe à diverses températures.

Pour faire cette démonstration, une approche simple est retenue pour décrire les inactivations prédites à partir des premières données d'inactivation thermique de *Legionella pneumophila* (Sanden, Fields, Barbaree, & Feeley, 1989; Stout, Best, & Yu, 1986). Ces premières données publiées il y a plus de 30 ans, sont souvent encore utilisées comme référence malgré le fait qu'elles aient été générées dans des conditions menant à une surestimation de la vulnérabilité de *Legionella pneumophila* à la température. Nous procédons ensuite à la comparaison de ces estimés avec les valeurs de constantes dérivées des essais complétés dans nos laboratoires avec des souches environnementales acclimatées à des conditions typiques présentes dans les chauffe-eau.

Les premières cinétiques d'inactivation proposées sont celles de Chick (Crittenden, Howe, Hand, Tchobanoglous, & Trussell, 2012) qui décrivent l'inactivation en fonction du temps de contact en posant comme constante les conditions de désinfection (Équation 1).

(Équation 1)

$$\text{Log } (N_t/N_0) = -k (t)$$

$N_t$	=	Concentration en <i>Lp</i> au temps $t$
$N_0$	=	Concentration en <i>Lp</i> au temps 0
$k$	=	Constante cinétique d'inactivation (heure <sup>-1</sup> )
$t$	=	Temps d'exposition (heures)

Le modèle de Chick est une formulation simplifiée permettant d'estimer la constante d'inactivation à partir de données expérimentales et en fonction du temps de contact. Cette approche a été proposée pour décrire l'inactivation de bactéries en présence d'une concentration constante de désinfectant. Plusieurs autres modèles ont été développés suite à celui de Chick, tel que le modèle de Chick Watson, reliant l'inactivation à une constante empirique et un produit de

concentration (C) et de temps de contact (t). Ce modèle sert de fondement à la définition aux obligations de désinfection en eau potable au Québec et ailleurs (Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2010). Plusieurs autres modèles ont été proposés depuis pour permettre l'intégration fine de la décroissance de la concentration du désinfectant (Ct effectif) et la prise en compte des phénomènes de délais et plafonnement (trainée) d'inactivation (B. Barbeau, Desjardins, Mysore, & Prévost, 2005; Rennecker, Marinas, Owens, & Rice, 1999). L'utilisation de ces modèles n'apparaît pas justifiée compte tenu des données disponibles pour la discussion de nos résultats et du fait que la température était maintenue constante.

La Figure 3-3 montre les résultats de Stout et al. (1986) décrivant l'inactivation d'isolats de *L. pneumophila* et *Lsp* en fonction du temps. Ces inactivations de plus de 7 Log ont été mesurées dans des cultures en phase stationnaire de souches de laboratoires cultivées en milieu riche (bouillon de culture). L'inactivation thermique rapide et considérable est observée en moins de 30 minutes et est décrite facilement par une équation linéaire de Chick. On note l'absence d'évaluation rigoureuse de la cinétique de désinfection (peu de points de mesure). Avec de tels résultats, on pourrait prédire une inactivation progressive et très rapide en fonction du temps de contact.

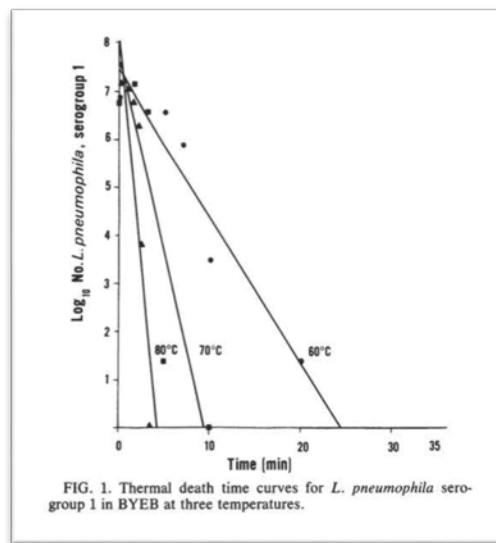


Figure 3-3 : Inactivation de souches de *Lsp*. et de *Lp* en fonction de la température et du temps de contact. Tiré de Stout et al. (1986)

Quelques années plus tard, une approche analogue au modèle de Chick est utilisée pour décrire les résultats d'inactivation obtenus par Sanden et al. (1989), définissant le temps requis pour une réduction d'un Log (Figure 3-4). Ici encore, une inactivation rapide est décrite sans toutefois présenter les données permettant de les déterminer ou l'incertitude sur ces estimés.

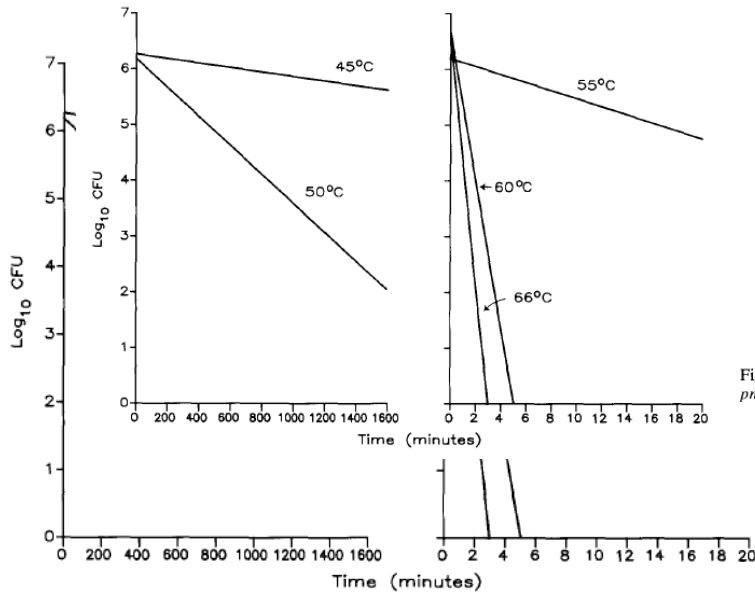


Fig. 1. Survivor curves for *Legionella pneumophila*, serogroup 1.

Fig. 1. Survivor curves for *Legionella pneumophila*, serogroup 1.

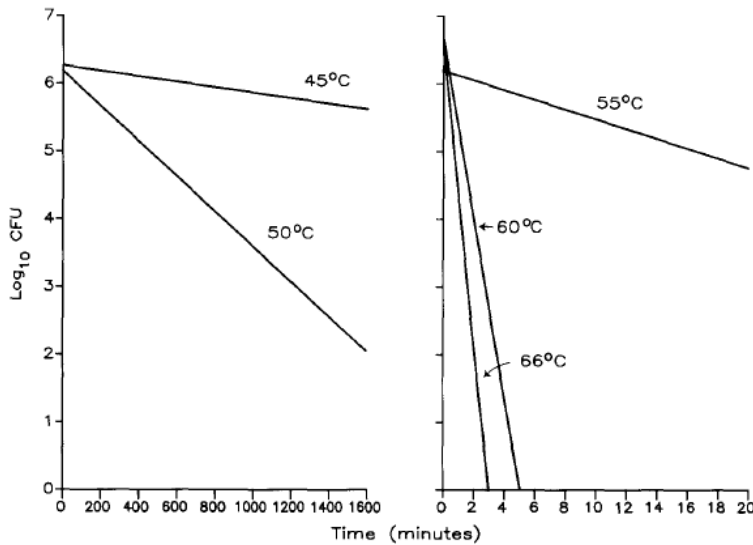


Fig. 1. Survivor curves for *Legionella pneumophila*, serogroup 1.

Figure 3-4 : Inactivation de souches de *Lp* sg. 1 en fonction de la température et du temps de contact. Tiré de Sanden et al. (1989)

L'inactivation bactérienne en eaux naturelles avec des souches environnementales suit rarement ce type de cinétique de premier ordre. En effet, les variations de l'inactivation bactérienne de désinfection en fonction du temps de contact sont communes, principalement des délais (courbes à épaule) et des plafonnements (courbes à trainée). De plus, la concentration de désinfectant ne demeure pas constante dans l'eau, contrairement aux températures constantes testées durant notre étude. Une cinétique mixte a été observée durant nos essais pour les températures de 50 et 55°C (Figure 3-2). En effet, on remarque la présence de délais dans la cinétique d'inactivation à 50°C et un ralentissement se rapprochant d'un plafonnement après 2 heures à 55°C.

Compte tenu des différences de cinétique majeures observées entre les températures, nous avons choisi de caractériser les constantes d'inactivation en considérant différentes gammes de température. Pour les températures auxquelles aucun délai ou plateau n'ont été observés, le modèle de premier ordre simplifié de Chick a été utilisé. Les constantes de cinétique d'inactivation selon l'équation simplifiée de Chick ont été définies pour des plages de temps d'exposition consécutives précises, pour chacune des températures testées (Tableau 3-5). Cette équation présuppose que pour une plage de temps donnée à une température donnée, une constante d'inactivation peut être utilisée. La cinétique d'inactivation est donc variable selon les températures testées et le temps consécutif d'exposition.

Il est important de souligner que l'inactivation à certaines des températures testées montre clairement soit un délai, soit une double cinétique. À 50°C, un délai de 4 heures est observé avant qu'une très faible inactivation se produise. À 55°C, la double cinétique est décrite par une équation à deux termes, où  $k_1$  est la constante cinétique pour les 2 premières heures de temps de contact et  $k_2$  est la constante cinétique pour le temps de contact après 2 heures. L'ajustement de cette réaction en fonction des délais et plateau d'inactivation permet de tenir compte des facteurs environnementaux et biologiques qui font dévier cette relation.

Il est révélateur de mettre en parallèle les valeurs de  $k$  obtenues dans cette étude avec les valeurs obtenues dans les études précédentes (Tableau 3-5). Les valeurs de constantes obtenues avec la souche environnementale starvée en présence de boues de chauffe-eau sont beaucoup plus faibles. Ces différences sont particulièrement importantes pour les températures de 55 et 60°C. La présence d'un plateau d'inactivation après 2 heures à 55°C est d'un intérêt majeur, car elle suggère les limites de l'inactivation à cette température de transition.

Tableau 3-5. Constantes d'inactivation de Chick pour de température et de temps de contact

Température (°C)	Plage de temps de contact (h)	Constante cinétique $k$ (h <sup>-1</sup> )		
		Cette étude (Lp sg5)	Stout et al. (1986) (Lp sg1)	Sanden et al. (1989) (Lp sg1)
40	0 – 24	0	Non-mesuré	Non-mesuré
45	0 – 24	0	Non-mesuré	0.02
50	0 – 4	0	Non-mesuré	0.16
	4 – 24	0,16	Non-mesuré	Non-mesuré
55	0 - 2	1,47 ( $k_1$ )	Non-mesuré	4.3*
	2 - 24	0,08 ( $k_2$ )	Non-mesuré	Non-mesuré
60	0 - 2	≥3,58	12	81

\* Mesuré sur 20 minutes

Une méthode graphique a aussi été proposée par Kormendy and Kormendy (1997) afin de confirmer que le temps de traitement thermique à température constante est fonction de la température et du nombre d'organismes survivants au traitement thermique. Selon ce modèle, la représentation graphique Log du temps de traitement thermique pour atteindre un nombre donné d'organismes survivants en fonction de la température peut être interprétée. Les courbes pour différents nombres d'organismes survivants devraient être parallèles si les cinétiques d'inactivation sont cohérentes à diverses températures. Cette méthode graphique a été appliquée à nos données et les résultats suggèrent que nos données suivent ce modèle proposé sauf à 55°C



et moins pour des inactivations de plus de 3 Logs (Figure 3-5). Cette observation confirme encore le statut de condition de transition de cette température.

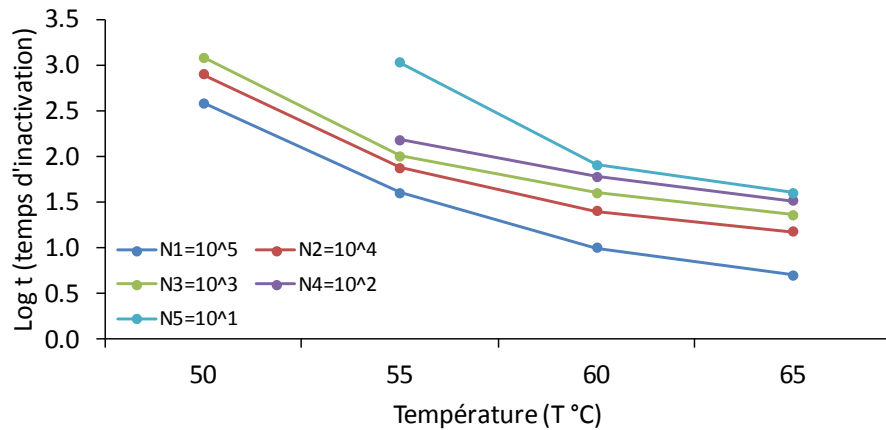


Figure 3-5 : Application de la méthode graphique proposée par Kormendy and Kormendy (1997)

### 3.3 Transfert de *L. pneumophila* de les boues vers l'eau en situation de remplissage du chauffe-eau – Étape 2

Les questions de recherche posées sont:

- *L'association à des dépôts meubles dans les boues augmente-t-elle la résistance de L. pneumophila à la température?*
- *Un transfert de L. pneumophila présentes dans les boues peut-il contaminer la masse d'eau advenant un mélange lors du remplissage?*

La deuxième étape des essais expérimentaux a été réalisée pour évaluer la contamination possible de l'eau de remplissage par les boues contaminées.

Dans un premier temps, un prétest a été effectué pour vérifier si la présence de boues augmentait la résistance de *L. pneumophila* au stress thermique.

Pour ce faire, des tubes d'eau synthétique stérile ont été inoculés avec la même suspension de *L. pneumophila* lavée et starvée. Un traitement de 55°C pendant 4 heures a été effectué et les résultats ont été comparés à ceux obtenus avec les boues lors des étapes 1, 2 et 3 pour un même traitement thermique.

Les valeurs moyennes de Logs d'enlèvement obtenus étaient comparables en présence de boues et dans l'eau synthétique (4,7 vs 4,5 respectivement). Lors d'essais antérieurs effectués en absence de boue, une inactivation thermique d'une heure à 55°C avait mené à 2,6 Logs d'inactivation comparativement à une moyenne de 1,2 Logs en présence de boues pour la même souche *L. pneumophila*. Cependant, les essais de l'an dernier avaient été effectués à de plus grandes concentrations initiales et dans des conditions différentes que la présente étude. Une étude par Stout, Yu, and Best (1985) rapportaient aussi un effet synergique des sédiments

(détritus et particules minérales) jouant un rôle nutritif pour la microflore environnementale qui favorisait à son tour la survie de *Legionella pneumophila*. Cependant, ses essais avaient été réalisés à des températures de 25, 37 et 42°C. À des températures plus élevées, il est probable que l'effet synergique soit moindre puisque la microflore environnementale ne résistera pas à ces températures. Nous concluons donc que la présence de boues n'augmente pas la résistance de cette souche à l'inactivation thermique.

Les essais ont ensuite été réalisés afin de déterminer si un relargage de *L. pneumophila* se produit des boues vers l'eau du chauffe-eau et si une migration des *L. pneumophila* vers les boues est observée après un certain temps de stagnation.

Les résultats obtenus montrent qu'aux deux températures testées, la concentration en *L. pneumophila* était similaire entre les boues et l'eau, bien que légèrement inférieure dans l'eau de façon générale (Figure 3-6). La Figure 3-6 montre que cette différence est plus importante après une période de repos de 24 heures à 40°C, particulièrement pour les boues ayant préalablement subi un traitement à 55°C. Bien que présente, cette différence est toutefois faible relativement à la concentration absolue présente dans l'eau 20 heures après l'ajout, soit entre 1,35 et 4 fois plus que dans les boues que dans l'eau. En conséquence, bien qu'une proportion des *Lp* demeure associée aux dépôts meubles, il apparaît qu'un transfert peut s'effectuer lors d'un ajout d'eau de renouvellement.

Il est intéressant de noter que dans le cas d'un traitement à 55°C, l'ajout d'eau à température pièce a entraîné une augmentation du nombre de *L. pneumophila* cultivables détectées dans l'eau et dans les boues par rapport à la concentration théorique après dilution (ligne pointillée, Figure 3-6). Cette augmentation peut être associée à la diminution du stress thermique par la baisse des températures lors de l'ajout de l'eau.

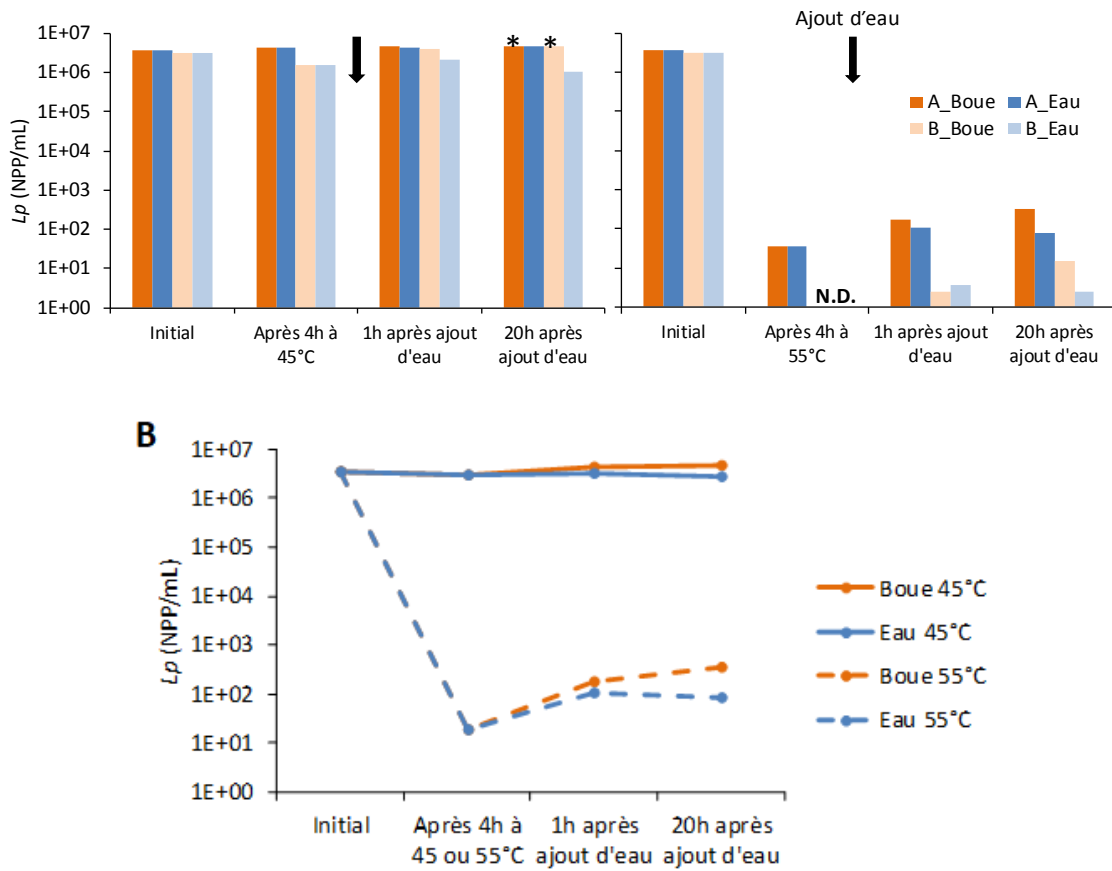


Figure 3-6. Transport de *L. pneumophila* des boues vers l'eau lors du remplissage avec une eau non-contaminée. Ajout d'un volume égal d'eau stérile aux boues après traitement thermique de 4 heures à 45 et 55°C. A) détection dans l'eau et dans les boues séparément 1h et 20h après l'ajout de l'eau – incubé à 40°C entre les mesures (n=2, duplicata pour chacune des boues). \*Pour les boues A, les valeurs dans les boues 1 heure et 20 heures après l'ajout de l'eau étaient au-dessus de la limite de détection, qui est représentée sur le graphique. Pour les boues B, un seul échantillon était au-dessus de la limite de détection après 1 heure et les 2 après 20 heures. B) Résultats combinés des boues A et B (n=4, boues A et B en duplicata)

### 3.4 Inactivation de *L. pneumophila* après des cycles de chauffe répétés – Étape 3

La question de recherche posée est:

***Est-ce la répétition des cycles de chauffe à 55°C pendant 4 heures au fond du chauffe-eau augmentent l'inactivation de *L. pneumophila*?***

Quoiqu'il apparaisse plus que probable que la réponse à cette question soit positive, nous avons effectué des essais au laboratoire pour vérifier l'effet cumulé des cycles de chauffe sur la culturabilité. Pour ce faire, des périodes de quatre heures de chauffage répétées quotidiennement pendant 5 jours ont été appliquées aux deux types de boues. Il est important de noter que les boues étaient maintenues à 40°C entre les périodes de chauffage, pour simuler les plus basses températures qui pourraient être présentes pendant l'arrêt du chauffage. Ces conditions représentent donc un scénario de pire cas en termes de potentiel de recroissance de *L. pneumophila* entre les chaufes.

Les résultats indiquent que l'application répétée de stress thermique à 55°C pendant 4 heures permet d'éroder graduellement la présence résiduelle de *L. pneumophila* cultivables dans les boues (Figure 3-7). On note qu'après 5 périodes quotidiennes, la présence de *L. pneumophila* cultivables n'est plus détectée.

Afin de vérifier si un arrêt prolongé de 72 heures permettrait aux bactéries de redevenir cultivables, les boues ont ensuite été incubées à 40°C pendant la fin de semaine. Aucun signal n'a été détecté au jour 7, après l'équivalent de 72 heures à 40°C.

**Ces résultats suggèrent que le maintien d'une température de 55°C pendant 4 heures de façon quotidienne permet de réduire de plus de 6 Logs la concentration en *L. pneumophila* cultivables dans les boues de chauffe-eau sur une période d'une semaine même si les températures entre les cycles de chauffe sont favorables à *Lp*.**

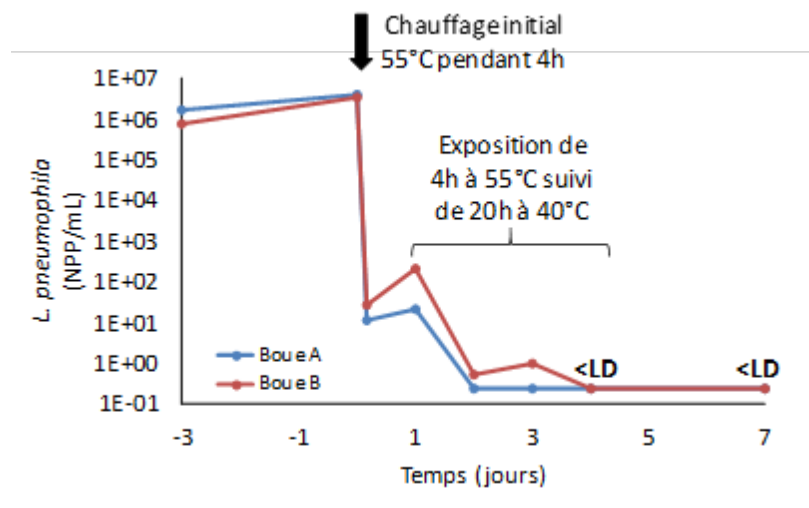


Figure 3-7 : Efficacité d'un chauffage quotidien à 55°C pendant 4 heures. Boues chauffées 4 heures à 55°C à t=0, mesure de *L. pneumophila* (*Lp*) après chauffage. Par la suite, chauffage de 4 heures à 55°C tous les jours et mesure de *Lp* avant le cycle de chauffage (n=4, boues A et B en duplicata)

### 3.5 Essais additionnels : Évaluation de la capacité de *L. pneumophila* à ressusciter et à croître en absence et en présence d'amibes

Les résultats obtenus quantifiant l'effet de la hausse de la température à 55°C au fond des nouveaux prototypes de chauffe-eau apparaissent très positifs et montre que le maintien chaque jour des températures envisagées pendant les périodes d'équilibre diminueront considérablement les concentrations de *Lp* cultivables.

Il faut toutefois rappeler que seules des mesures de *Legionella pneumophila* cultivables ont été effectuées durant cette étude. Il est important de rappeler que l'absence de détection en culture ne signifie pas l'absence de *L. pneumophila* et que la détection de la présence de *L. pneumophila* par culture sous-estime sa présence. Une importante fraction de la population non cultivable peut demeurer viable mais non-cultivable (VBNC), même à des températures atteignant 70°C maintenues pendant 60 minutes (Allegra et al., 2008; Prévost et al., 2017). On peut ainsi s'interroger à savoir si l'absence de valeurs détectables cultivables signifie que *Legionella pneumophila* n'est plus présente dans la boue. Afin de répondre en partie à cette question, des essais complémentaires ont été effectués.

Une vérification directe de la présence de *L. pneumophila* VBNC aurait requis des essais assez lourds en cytométrie de flux non prévus pour cette étude. Nous avons choisi d'effectuer des vérifications plus simples qui fournissent en plus des informations sur l'impact de la présence d'hôtes protozoaires comme les amibes dans les boues testées.

Les essais additionnels avaient comme objectif principal de démontrer la présence de *Lp* VBNC pouvant infecter des cellules hôtes. Les essais ne permettent pas de quantifier le potentiel d'amplification de *Lp* VBNC en présence d'hôtes dans des conditions environnementales moins favorables.

Afin d'évaluer la présence de *L. pneumophila* à l'état VBNC dans les boues après traitement thermique, des amibes (*Vermamoeba vermiformis*) ont été ajoutées aux échantillons de boues après 4 heures à 40, 55 et 60°C. Les échantillons ont ensuite été incubés à 37°C pendant 4 jours avant de mesurer la présence de *L. pneumophila* cultivable. Ce délai de 4 jours donne le temps aux amibes d'internaliser les bactéries et à *L. pneumophila* de se reproduire. La température de 37°C a été choisie car elle est favorable à la prolifération de *L. pneumophila* en présence de *V. vermiformis* (Buse & Ashbolt, 2011). Le choix de *V. vermiformis* est justifié à la fois par sa présence dans les réseaux de distribution au Québec et par sa tolérance à la température. Une récente revue de littérature rapporte que le *V. vermiformis* a été isolé dans plusieurs réseaux d'eau chaude et a été rapporté comme étant thermo-tolérant (Delafont, Rodier, Maisonneuve, & Cateau, 2018). D'ailleurs, une présence fréquente d'amibes à des concentrations importantes dans l'eau du réseau de distribution de Montréal dont *Hartmanella vermiformis*, maintenant renommée *Vermamoeba vermiformis* a été rapportée par J. Barbeau and Buhler (2001). Lors d'un échantillonnage en réseau d'eau chaude, des amibes ont été isolées à des températures allant jusqu'à plus de 55°C (Rohr, Weber, Michel, Selenka, & Wilhelm, 1998). *V. vermiformis* était l'espèce dominante dans les systèmes d'eau chaude échantillonnés. Les souches isolées des échantillons à des températures supérieures à 55°C ont réussi à croître à une température de 53°C lorsque mise en culture par la suite. Lors d'essais de désinfection thermique sur *V. vermiformis* à 55°C pendant 30 minutes, une réduction de moins de 2 Logs a été observée (Kuchta et al., 1993). Toutefois, lorsque traité à 60°C, une inactivation complète a été observée.

La forte croissance observée pour la condition 55°C en présence d'amibes par rapport au témoin sans amibes confirme la présence de *L. pneumophila* VBNC après un traitement à 55°C (Figure

3-8). On voit qu'en présence d'amibes, les niveaux de *L. pneumophila* sont les mêmes pour l'échantillon traité à 55°C vs non-traité (à 40°C). Il est aussi intéressant de noter qu'une croissance est aussi observée dans le témoin sans amibes 4 jours après un traitement à 55°C. Par contre, cette croissance est significativement moindre pour l'échantillon ayant été traité à 55°C avec amibes. Ces résultats suggèrent que *L. pneumophila* peut croître en absence d'amibes, mais n'a pas la capacité de retrouver sa cultivabilité sans la présence d'hôtes. Les résultats après un traitement à 60°C montrent bien l'absence de VBNC, et donc l'efficacité de cette température à désinfecter *L. pneumophila*, même dans les boues de chauffe-eau.

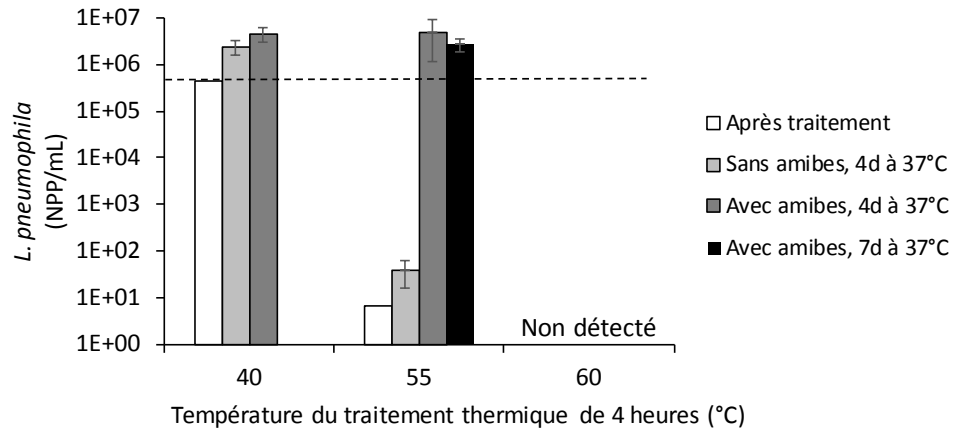


Figure 3-8 : Concentration de *L. pneumophila* mesurée immédiatement après un traitement thermique de 4 heures à différentes températures, 4 jours après incubation à 40°C avec et sans amibes, et 7 jours après incubation à 37°C avec amibes, pour les conditions 55 et 60°C (n=4, boues A et B en duplicata). La ligne pointillée représente la valeur moyenne présente au temps 0, avant le traitement thermique

**En conclusion, la souche de *Lp* sous forme viables mais non cultivable (VBNC) peuvent survivre, se reproduire et même proliférer dans le chauffe-eau à 55°C si deux conditions sont réunies: 1) la présence d'amibes et, 2) le maintien de températures de croissance favorables à *L. pneumophila* (37°C).**

La capacité de *L. pneumophila* à se multiplier en absence d'amibes est peu documentée. La majorité des experts concordent pour affirmer que la présence d'amibes est nécessaire pour permettre une prolifération de *L. pneumophila* dans l'environnement, qu'elles soient cultivables ou non (García, Jones, Pelaz, Millar, & Abu Kwaik, 2007; Kuiper, Wullings, Akkermans, Beumer, & van der Kooij, 2004; Molmeret, Horn, Wagner, Santic, & Abu Kwaik, 2005; Storey, Winiacka-Krusnell, Ashbolt, & Stenström, 2004), quoique d'autres auteurs affirment que le biofilm peut jouer ce rôle d'amplificateur (Rogers & Keevil, 1992).

Afin d'évaluer la capacité de *L. pneumophila* à se multiplier dans les boues de chauffe-eau en absence d'amibes, les boues A et B ont été stérilisées selon le protocole décrit à la section 2.8, avant d'ajouter un inoculum de *L. pneumophila*. Les boues ont ensuite été laissées pendant une semaine à 40°C. Les résultats obtenus montrent une croissance significative de *L. pneumophila* en absence d'amibes (Figure 3-9). En effet, une augmentation entre 2,6 et 4,3 fois a été observée dans les quatre échantillons testés. Ces résultats sont cohérents avec d'autres observations rapportés par Temmerman et al. (2006). Des chocs thermiques de 30 minutes à 60°C appliqués à des biofilms et des suspensions bactériennes peuvent avoir causé des croissances nécrotrophes

de 1,1 à 1,6 Log de *Legionella pneumophila* à 37°C, détectées par culture, qPCR et cytométrie de flux (VBNC), en absence d'amibes (Temmerman, Vervaeren, Nosedo, Boon, & Verstraete, 2006). On peut donc affirmer que, sans hôtes protozoaires, la survie de *Legionella pneumophila* est possible, mais une croissance importante ne l'est pas.

**Ces résultats montrent qu'en absence d'amibes et dans des conditions favorables à leur croissance, une croissance modeste de *L. pneumophila* cultivables présentes dans les boues est possible.**

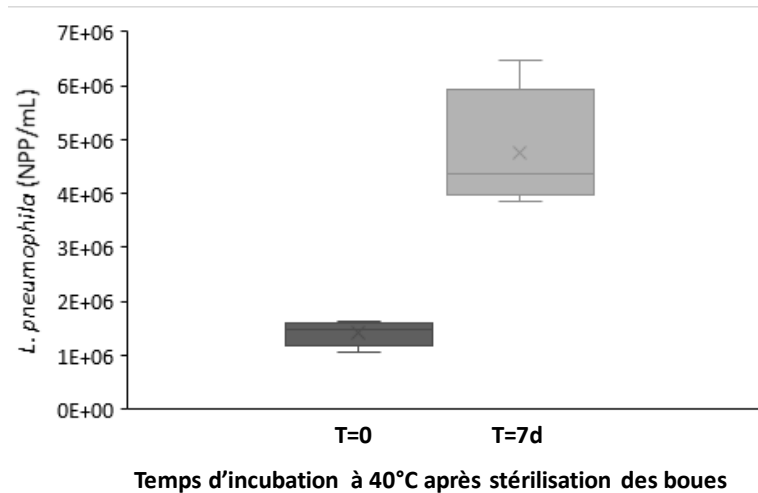


Figure 3-9 : Concentrations de *L. pneumophila* mesurées dans les boues stérilisées inoculées. Valeurs mesurées au moment de l'inoculation et après une semaine à 40°C (n=4, boues A et B en duplicata)

Quoique ces essais additionnels sur la présence après chauffage de *Lp* sous la forme VBNC soient limités, ils fournissent une information importante qui doit être considérée pour évaluer le risque de prolifération en présence d'hôtes dans le fond du chauffe-eau. Les concentrations de *Lp* et d'amibes utilisées au laboratoire étaient plus élevées que celles pouvant être présentes dans l'environnement. Toutefois, ces essais montrent que *Lp* sous la forme VBNC survit aux températures de transition et qu'un risque de prolifération demeure en présence d'hôtes protozoaires et de conditions environnementales favorables. Cette capacité d'infection des cellules hôtes, étape nécessaire à une prolifération importante de *Lp*, a été rapportée par plusieurs auteurs par la démonstration de taux variables d'infection d'amibes et, subséquemment au passage dans un hôte amibien, de macrophages humains (Dietersdorfer et al., 2018; Ducret, Chabalière, & Dukan, 2014; Epalle et al., 2015; Steinert, Emody, Amann, & Hacker, 1997). Plus récemment, il a été démontré que plusieurs souches de *Lp* peuvent directement infecter de 1 à 64,6% de différents types de macrophages humains (Dietersdorfer et al., 2018). Finalement, il est aussi important de souligner que la proportion de *Lp* VBNC capables d'infecter un hôte ou une cellule est encore mal connue, mais qu'elle sera vraisemblablement inférieure à la proportion de formes cultivables. Les premiers travaux d'estimation de cette proportion rapportent des estimés de 1-3 /10,000 cellules capables d'infecter certaines amibes pour certaines formes de VBNC starvées (Al-Bana, Haddad, & Garduno, 2014). D'autres travaux récents confirment qu'une très petite fraction (0,01-0,06%) des VBNC de plusieurs souches de *Lp* serait capable d'infecter certains macrophages. Toutefois, ces quelques résultats devront être confirmés (Dietersdorfer et al., 2018).

## 4. ESTIMATION DU RISQUE DE PROLIFÉRATION DE LÉGIONELLES

### 4.1 Revue critique de l'indice de risque proposé par Hydro Québec

L'indice de risque appelé Indice Composé de Légionelles (ICL) a été développé par l'IREQ en 1991. Cet indice est fondé sur les inactivations rapportées par Sanden et al. (1989). Il est calculé comme étant la somme des ratios entre le temps passé à une température spécifique et la valeur D associée à cette température. La valeur D est définie comme étant le temps requis pour obtenir une réduction décimale (1 Log) de *L. pneumophila* à une température donnée. L'étude publiée par Sanden et al. 1989 propose des valeurs de D obtenues expérimentalement à des températures de 45, 50, 53, 55, 60 et 66°C. Nous comprenons que les chercheurs de l'IREQ ont extrapolé de façon linéaire les valeurs de D pour des incréments de températures de 1 degré entre 52 et 60°C (3 valeurs expérimentales et 6 valeurs extrapolées).

À la lumière des résultats expérimentaux obtenus dans cette étude et des concentrations en *L. pneumophila* observées dans les réseaux d'eau chaude de bâtiment à différentes températures, il apparaît que l'indice ICL surestime l'inactivation de *L. pneumophila*. Tout d'abord, les valeurs de D sont très faibles comparativement aux valeurs que nous avons obtenues dans les boues (Tableau 3-5). En effet, le D étant le temps requis pour obtenir 1 Log d'inactivation, la constante d'inactivation k peut être calculée comme étant 1/D. D'après les valeurs de Sanden et al. (1989), il serait possible d'obtenir 1 Log d'enlèvement en 14 minutes à 55°C alors qu'une durée de 60 minutes a été nécessaire à 55°C pour obtenir 1 Log d'enlèvement dans les deux types de boues (Figure 3-2). À nouveau, cette différence peut s'expliquer par le type d'eau utilisée par Sanden et al. (eau déionisée non représentative de l'eau présente normalement dans les chauffe-eau), la remise en suspension de colonies prélevées sur milieu BCYE et l'absence d'une période d'adaptation ou de starvation des souches à l'environnement eau potable. Les phénomènes d'adaptation induits par la starvation sont importants et influencent la susceptibilité des souches à la désinfection

Dans un deuxième temps, il est important de souligner l'absence de points de données sur les figures publiées par Sanden et al. (1989), ce qui ne permet pas de déterminer à quel temps les mesures ont été prises et à quel moment l'extrapolation est faite. Si, comme observé à 55°C durant nos essais, une double cinétique d'inactivation est présente et que les mesures ont été prises dans la première partie, l'extrapolation va surestimer l'inactivation qui se produit dans la 2<sup>e</sup> partie de la courbe. Cette deuxième partie de la courbe, observée après 4 heures dans nos essais, n'est pas illustrée par Sanden et al. (1989), car les essais ont été complétés sur une courte période de 20 minutes pour les températures de 55°C et plus. La figure publiée par Stout et al. (1986) démontre bien la nécessité d'illustrer les résultats expérimentaux utilisés pour le calcul des valeurs D. En effet, la Figure 3-3 montre la présence d'une épaule et d'un plafonnement de la courbe à 60°C lorsqu'on considère les données.

Un troisième point à soulever est l'hypothèse que la cinétique d'inactivation évolue de façon linéaire en fonction de la température et que la valeur de D peut être extrapolée entre les données expérimentales obtenues à 50, 55 et 60°C. Or, il a été observé lors de nos essais qu'il n'y a pas de relation linéaire entre la température et le Log d'enlèvement pour un même temps d'exposition aux températures de moins de 60°C. Il serait donc plus prudent de faire l'hypothèse qu'entre 50 et 55°C par exemple, l'inactivation est celle mesurée pour 50°C, à défaut de données intermédiaires.



Finalement, l'indice ICL propose de cumuler les inactivations obtenues à chacune des températures pour le temps de contact à cette température. Ce type d'approche est commun en désinfection ou les inactivations chimiques ou par UV sont en effet additionnées pour calculer une inactivation globale cumulée. Cette approche n'est possible que dans les gammes de dosages ou les inactivations sont linéaires, les délais d'inactivation négligeables et en absence de plafonnement d'inactivation. Elle s'applique à une masse d'eau s'approchant de l'écoulement piston. Aussi, cette approche n'est valide que si la croissance de microorganismes cibles est considérée nulle ou négligeable pendant la période de traitement considérée.

Ce modèle additif simple ne peut être appliqué comme proposé par l'IREQ pour l'inactivation de *Legionella pneumophila* dans les boues, car il ne tient pas compte des délais observés à certaines températures ni des doubles cinétiques d'inactivation telles qu'observée à 55°C. De plus, le chauffe-eau est un réacteur en semi-continu, à mélange variable et bi-phasique.

D'après nos résultats expérimentaux, on pourrait considérer modifier l'indice d'inactivation de l'IREQ en considérant :

- Pour des températures de 60°C et plus, une cinétique d'inactivation linéaire de type indice ICL peut être considérée. Il faudrait cependant ajuster la valeur de D à 0,28 plutôt que la valeur de 0,74 proposée par Sanden et al. ou la valeur de 1 utilisée par l'IREQ;
- Pour des températures inférieures à 50°C, aucune inactivation n'est comptée.
- Pour des températures entre 50 et 60°C, la cinétique n'étant pas linéaire, il n'est pas possible d'utiliser un indice simplifié de type ICL. En absence de données entre 50 et 55°C, les données obtenues à 50°C pourraient être utilisées pour estimer l'inactivation obtenue à des températures entre 50 et 55°C. De même, les valeurs obtenues à 55°C pourront être utilisées pour calculer l'inactivation entre 55 et 60°C.

À titre d'exemple, reprenons le cas de figure présenté dans le rapport technique de mars 2018, qui calculait l'inactivation anticipée pour une exposition de 2 heures à 53°C et une heure à 54°C. L'indice ICL calculé était de 2,2. Selon la méthode révisée proposée, une exposition de 2 heures à 53°C et d'une heure à 54°C serait considérée comme une exposition de 3 heures entre 50 et 55°C. Il n'y aurait donc pas d'inactivation significative pendant cette période. Cependant, si l'exposition de 2 heures se fait à 55°C et une heure à 56°C, l'inactivation pourra être calculée sur 3 heures entre 55 et 60°C. Dans ce cas, la valeur de la constante  $k_1=1,47 \text{ h}^{-1}$  (entre 0-2 heures à 55°C) pourrait être utilisée pour les 2 premières heures, puis la valeur de la constante après 2 heures de  $k_2=0,08$  (entre 2-24 heures à 55°C) utilisée pour la 3<sup>e</sup> heure. Nous obtenons ainsi une valeur d'inactivation totale de 3 Logs.

## 4.2 Conditions nécessaires à la prolifération de légionelles dans le chauffe-eau

Les conditions de températures considérées pour le nouveau prototype de chauffe-eau ne sont pas favorables à la croissance de *Legionella* dans l'ensemble du chauffe-eau. Une croissance significative de *Legionella pneumophila* dépend de la capacité des *Lp* cultivables ou VBNC à infecter des hôtes permettant leur multiplication dans l'environnement

Pour qu'une croissance significative se produise dans le chauffe-eau, il faut que trois conditions soient réunies:

- 1) la présence de *Legionella pneumophila* dans l'eau entrant dans le chauffe-eau ou dans les boues du chauffe-eau,
- 2) la présence d'hôtes protozoaires dans l'eau et dans les boues du chauffe-eau et,
- 3) la capacité des souches environnementales de *Legionella pneumophila* à infecter les hôtes protozoaires.

**La présence de *Legionella pneumophila* dans l'eau des réseaux d'eau potable est bien établie.** Auparavant peu considérée, la présence de *L. pneumophila* dans l'eau du réseau, particulièrement son association avec les dépôts de corrosion du fer, suscite de sérieuses réflexions au niveau normatif. À noter qu'aux États-Unis, un rapport investiguant les déficiences ayant menées à des éclosions reliées à l'eau potable ont rapporté que la cause la plus importante (65,6%) était la présence de *Legionella* dans le système d'eau potable (Beer et al., 2015). Des travaux à la CICEP et un projet de recherche de l'AWWA sont en cours et montrent que *Lspp* et *Lp* sont présents dans les réseaux de distribution chlorés.

**Les hôtes protozoaires et des souches infectieuses de *Legionella pneumophila* sont fréquemment présents dans l'eau et les sédiments des réseaux et réservoirs d'eau potable de réseaux d'eau potable** en Amérique du Nord (Byrne et al., 2018; Lu et al., 2016; Thomas & Ashbolt, 2011). Les amibes colonisent le biofilm dans le réseau et les dépôts de réservoirs. J. Barbeau and Buhler (2001) ont même confirmé la présence d'amibes à des niveaux de 1-4 cellules/mL dans l'eau potable de Montréal avec des valeurs de plus de 200 cellules /mL dans l'eau des unités dentaires. *Acanthamoeba* et de *Naegleria* spp. étaient présents dans 40% des échantillons positifs. Des amibes sont donc probablement présentes dans l'eau de réseau alimentant les chauffe-eau résidentiels au Québec et très probablement dans les boues au fond des chauffe-eau.

**Les amibes sont généralement peu résistantes des températures de plus de 55°C lors d'essais d'inactivation en laboratoire** (Voir tableau résumé en Annexe A). Cependant, une récente revue de littérature rapporte que le *V. vermiformis* a été isolé dans plusieurs réseaux d'eau chaude et a été rapporté comme étant thermo-tolérant (Delafont et al., 2018). Lors d'un échantillonnage en réseau d'eau chaude, des amibes ont été isolées à des températures allant jusqu'à plus de 55°C (Rohr et al., 1998). *V. vermiformis* était l'espèce dominante dans les systèmes d'eau chaude échantillonnés. Les souches isolées des échantillons à des températures supérieures à 55°C ont réussi à croître à une température de 53°C lorsque mise en culture par la suite. Lors d'essais de désinfection thermique sur *V. vermiformis* à 55°C pendant 30 minutes, une réduction de moins de 2 Logs a été observée (Kuchta et al., 1993). Toutefois, lorsque traité à 60°C, une inactivation complète a été observée.

**Les souches environnementales de *Legionella pneumophila* sont aptes à infecter des hôtes dans leur forme cultivable et viable mais non cultivable (VBNC).** La capacité des VBNC à infecter des hôtes protozoaires et des cellules de type macrophages est établie (Epalle et al., 2015). De plus,

la présence d'amibes peut augmenter la résistance à l'inactivation thermique par un facteur de 3 à 4 Logs (Cervero-Arago et al., 2015). Des essais complémentaires en présence d'amibes résistantes à la chaleur et un suivi de l'efficacité de chauffages répétés dans les temps serait nécessaire pour vérifier qu'une tolérance à la température ne se développe pas dans le temps, tel qu'observé par Allegra et al. (2011).

### **4.3 Proposition d'indice de risque de prolifération de *L. pneumophila* dans les boues de chauffe-eau**

À la lumière des résultats expérimentaux obtenus, une analyse des risques de survie et de prolifération de *L. pneumophila* dans le fond des chauffe-eau a été complétée. Deux principaux scénarios ont été analysés en modulant le niveau de contamination de l'eau d'alimentation du chauffe-eau et en considérant l'impact d'un arrêt prolongé du chauffe-eau pour une période de 24 heures.

#### **4.3.1 Définition des temps de chauffe minimaux quotidiens**

Pour effectuer cette analyse, il fallait d'abord fixer les niveaux d'inactivation correspondant aux périodes d'équilibre thermique dans le fond du chauffe-eau. Cette durée fixe le temps minimal d'exposition à des températures de consigne dans le fond des nouveaux prototypes.

La durée minimale consécutive sans utilisation détermine la durée minimale d'exposition aux conditions de températures considérées comme moyen de contrôle de *L. pneumophila* dans le fond du chauffe-eau. Lorsque les conditions d'étude ont été fixées, une période de quatre heures sans soutirage a été retenue à partir de l'examen des profils de soutirage fournis par l'équipe d'Hydro Québec. Dans la mesure où cette période d'exposition est la principale barrière contre le développement de *Legionella pneumophila* dans le fond du réservoir, il est important de tenir compte du fait que la température après un soutirage important dans le fond du chauffe-eau augmentera progressivement jusqu'à atteindre la température d'équilibre. Cette observation est particulièrement critique à la lumière des résultats de type transition observés à une température de 55°C.

Les profils d'utilisation transmis par l'IREQ ont été obtenus dans 72 domiciles comprenant des ménages d'une à cinq personnes mesurés en 2006-2008 (*comm. pers.* par courriel A. Moreau). Cette période de quatre heures sans soutirage ne correspond toutefois pas au temps d'exposition à une température après remise à l'équilibre au fond du chauffe-eau. Dans le cas du scénario de soutirage présenté par Moreau et coll. (2018), une période d'un peu plus de 2 heures était nécessaire à l'atteint des températures d'équilibre. Il s'agissait d'un important soutirage d'eau chaude de sorte que l'eau chaude sortant du réservoir était à 45°C. Lorsque ce scénario est considéré tel quel, une période de non soutirage correspond à environ deux heures d'exposition aux températures d'équilibre au fond de chauffe-eau. Compte tenu de la réduction considérable des consommations d'eau (et d'eau chaude) depuis 2006, on pourrait poser qu'une période de 4 heures est probablement plus proche du temps minimal sans soutirage actuel. Malheureusement, nous ne disposons pas de ces informations.

L'indice de risque de prolifération de légionelles a donc été défini en considérant différents scénarios de contamination de l'eau alimentant le chauffe-eau et en fonction d'un temps d'un temps de contact conservateur de 2 heures à température ciblée.

#### 4.3.2 Choix des niveaux de risques associés aux concentrations de *L. pneumophila* dans le chauffe-eau

Les concentrations résiduelles anticipées de *L. pneumophila* dans le chauffe-eau sont comparées à quatre catégories de niveaux résultants de *L. pneumophila* en se référant aux niveaux d’alerte et d’action définis en Angleterre (Health and Safety Executive (HSE), 2013; Health Safety and Executive (HSE), 2013) et en France (République Française, 2005). Cette dernière a pour cible des valeurs de *Lp* en dessous de 1 000 UFC/L en tout temps dans les réseaux de distribution d’eau des bâtiments. En milieu hospitalier, il est spécifié que l’absence de *L. pneumophila* doit être visée pour les patients à haut risque (Castex & Houssin, 2005).

Les niveaux de risque correspondant aux concentrations de *Lp* sont résumés au tableau 4-1.

Tableau 4-1. Concentrations de *L. pneumophila* correspondant à des niveaux de risque

Concentration de <i>L. pneumophila</i> dans l'eau	Niveau de risque
< 10 UFC/L	Faible
10 à 100 UFC/L	Moyen
100 à 1000 UFC/L	Élevé
> 1000 UFC/L	Très élevé

#### 4.3.3 Choix des scénarios de contamination microbiologique à l'entrée du chauffe-eau

Deux principaux scénarios ont été analysés en modulant le niveau de contamination de l'eau d'alimentation et en considérant l'impact anticipé un arrêt prolongé du chauffe-eau pour une période de 24 heures.

Pour chacun de ces scénarios présentés au tableau:

- L’impact de la présence des amibes a été pris en compte en utilisant les résultats expérimentaux (section 3.7) et les informations disponibles dans la littérature (Annexe A) sur la survie des amibes en fonction de la température (Kuchta et al., 1993; Rohr et al., 1998) et nos données sur leur impact lorsque les températures sont de moins de 55°C.
- Deux niveaux de contamination de l'eau alimentant le chauffe-eau ont été considérées : 1) une concentration élevée à 10 000 UFC/L, évènement rare mais rapporté dans la littérature (Donohue et al., 2014) et une concentration plus faible de 100 UFC/L, rapportée plus fréquemment dans la littérature (Brooks et al., 2004; Donohue et al., 2014; Marciano-Cabral, Jamerson, & Kaneshiro, 2010; Pryor et al., 2004) et observée dans des réseaux d’eau du Québec lors d’échantillonnages récents (travaux en cours à la CICEP) et aux États-Unis (étude de la Water Research Foundation de l'AWWA en cours).

#### 4.3.4 Résultats des évaluations des niveaux de risque pour les scénarios considérés

L’indice de risque d’amplification de *L. pneumophila* a ensuite été établi en fonction du Log d’enlèvement prévu pour un temps d'exposition de 2 heures pour chacune des températures d’opération du chauffe-eau considérées. Nous avons considéré que le temps de contact se faisait

à la température du volume inférieur avec les boues. La température ciblée en sortie de chauffe-eau est généralement 15°C supérieure à celle mesurée au fond du chauffe-eau. *Une telle simplification est conservatrice car elle sous-estime l'inactivation dans le volume supérieur du chauffe-eau qui est soumis à des températures plus élevées pendant les périodes sans soutirage.*

Le Tableau 4-2 résume les niveaux de risque correspondant aux scénarios de contamination microbiologique en entrée du chauffe-eau. Globalement, le niveau de risque d'amplification est soit faible ou moyen à des températures de 55°C si on considère un cycle de chauffe à la fois, et le risque est considéré comme faible pour des températures de 60°C. À la lumière des résultats obtenus dans le cadre de l'essai de laboratoire avec une souche environnementale et en absence d'amibes thermo-tolérantes, nous pouvons affirmer que le risque d'amplification était nul après une exposition de 4 heures à 60°C. Cependant, il est impossible d'extrapoler que le risque sera nul pour toutes les souches de *Lp* ainsi que pour tous les types d'eau étant donné l'envergure limitée du mandat qui a été complété. Dans ce contexte, un risque très faible pourrait tout de même être estimé pour l'ensemble des situations liées à un chauffe-eau dont la température serait maintenue à 60°C pendant 4 heures. Si l'on considère la répétition des cycles de chauffe, le risque devient faible pour toutes les conditions de chauffe à 55°C ou plus. On note que la présence d'hôtes protozoaires tels que les amibes augmente considérablement le niveau de risque. On peut toutefois se demander si les hôtes peuvent survivre à plus de 55°C et si les conditions de multiplication dans les hôtes protozoaires sont présentes dans les chauffe-eau résidentiels.

Tableau 4-2. Niveau estimé de *L. pneumophila* (UFC/L) selon le profil d'opération et la température en fond de chauffe-eau. Les valeurs d'inactivation moyennes attendues dans les conditions de températures spécifiées sont présentées en première ligne (tiré de tableau 3-4 et figure 3-7)

Scénario		Minimum de 2 h à température (°C) ciblée/jour				Minimum de 4 h à 55°C/jour
		≥60	55≤T<60	50≤T<55	T<50	
Logs d'enlèvement moyens attendus		5,8	3,2	0	0	6
Arrivée d'eau contaminée	<i>Lp</i> à 10 000 UFC/L	<10	10-100	>1000	>1000	<10
	<i>Lp</i> à 10 000 UFC/L + amibes	<10	100-1000	>1000	>1000	<10
	<i>Lp</i> à 100 UFC/L	<10	<10	100-1000	>1000	<10
	<i>Lp</i> à 100 UFC/L + amibes	<10	<10	>1000	>1000	<10
Arrêt du chauffe- eau ≥24h	Absence d'amibes	<10	<10	10-100	>1000	<10
	Présence d'amibes thermo-tolérantes	<10	10-100	100-1000	>1000	<10

En conclusion, les cycles répétés de chauffe à 55°C abaissent le risque de *Legionella pneumophila* en sortie du chauffe-eau à des niveaux faibles. Ces conditions pourraient aussi contribuer à éliminer des concentrations de pointes arrivant du réseau de distribution.

## 5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats expérimentaux obtenus avec une souche environnementale dans deux types de boues de chauffe-eau montrent qu'une exposition ponctuelle et de courte durée au-dessus de 60°C permet la réduction complète de la cultivabilité de *L. pneumophila*. Des essais en présence d'amibes à 40°C (*V. vermiformis*) n'ont pas permis d'observer une ressuscitation des cellules *L. pneumophila*, suggérant que ces dernières n'étaient pas à l'état VBNC mais bien inactivées.

À l'inverse, une exposition de 24h à des températures modérées inférieures à 50°C, est insuffisante pour réduire la cultivabilité et peut même entraîner une croissance. Les résultats d'inactivation obtenus à 55°C suggèrent une inactivation proportionnelle à la durée de l'exposition à double cinétique, une première rapide en moins de deux heures, suivi d'une deuxième plus lente se prolongeant jusqu'à 24 heures. Les essais en présence d'amibes ont montré la présence de cellules VBNC après un traitement de 4 heures à 55°C. Des niveaux comparables à ceux observés avant traitement thermique ont été observés après l'ajout d'amibes.

Nous avons aussi noté que la composition des boues et leur concentration en matières solides n'influence pas significativement la cinétique d'inactivation de la souche environnementale de *Legionella pneumophila* testée. Dans les deux types de boues, la contamination pouvait diffuser des boues vers l'eau lors d'un renouvellement avec de l'eau fraîche non contaminée. Il a aussi été observé que lorsque les boues étaient laissées à des températures tièdes de 40°C, une amplification de *L. pneumophila* était observée, faible en absence d'amibes, et plus importante en présence d'amibes.

Enfin, les résultats obtenus ont permis de définir un indice de niveau de risque qui confirme que le maintien continu en tous points du chauffe-eau d'une température d'au moins 55°C pendant 4 heures de façon répétée permet de réduire le risque de prolifération de *L. pneumophila*. De même, le maintien d'une température d'au moins 60°C pendant plus d'une heure continue permet de s'approcher d'une pasteurisation de l'eau mais pas d'une stérilisation, qui n'est atteinte que lors d'une exposition à 100°C pour plus de 10 minutes. Il est donc possible qu'une faible proportion de la population chez certaines souches puisse tolérer une exposition à 60°C et persister à des concentrations très faibles.

Toutefois, l'arrêt prolongé lors d'une fin de semaine ou d'une période de vacances, ainsi que la présence d'amibes dans l'eau d'alimentation pourrait entraîner une prolifération de *L. pneumophila*. Les données obtenues suite à une simulation d'arrêt de 72 heures du chauffe-eau après l'application de périodes de chauffe à 55°C répétées quotidiennement ont montré l'absence de bactéries cultivables. Ces résultats obtenus avec la souche environnementale testée suggèrent que dans ce contexte, la prolifération de *Lp* n'était pas possible. Cependant, la présence de bactéries VBNC n'a pas été vérifiée et l'effet sur d'autres souches environnementales seraient à confirmer. Au niveau des amibes, il existe peu de données sur la résistance des amibes aux températures habituelles trouvées dans les chauffe-eaux, et au rôle qu'elles peuvent jouer dans l'amplification de *L. pneumophila* dans les réseaux d'eau chaude.

Les prédictions d'inactivation pourraient être révisées à la hausse avec de nouvelles mesures de périodes sans soutirage en fonction des habitudes de vie actuelles.

Au terme de cette étude, il faut reconnaître les limitations des travaux effectués. Il serait utile d'investiguer plus en détails les effets de cycles de chauffage répétés à long terme, à différentes températures, pour d'autres souches environnementales, des temps de contact variés et en présence d'amibes. La définition du point tournant entre 55 et 60°C est particulièrement d'intérêt

pour préciser les prédictions d'inactivation. Il est aussi important de rappeler que les indices proposés ont été établis en fonction d'essais au laboratoire avec une souche de *L. pneumophila* isolée d'un réseau d'eau chaude hospitalier. Finalement, l'indice de risque proposé s'applique au volume inférieur du chauffe-eau, et n'exclut pas un risque d'amplification dans le système d'eau chaude ou le pommeau de douche de la résidence qu'il alimente. Une attention particulière devra être portée à ce que la température sortie de chauffe-eau demeure à 60°C pour minimiser les risques d'amplification en aval dans le réseau résidentiel et aux points distaux.

En conclusion, les hausses de températures proposées dans le nouveau prototype de chauffe-eau diminuent de façon majeure les risques de prolifération de *Legionella pneumophila* dans les boues. Nous recommandons d'effectuer un suivi comparatif de la colonisation des chauffe-eaux après leur installation.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- Al-Bana, B. H., Haddad, M. T., & Garduno, R. A. (2014). Stationary phase and mature infectious forms of *Legionella pneumophila* produce distinct viable but non-culturable cells. *Environmental Microbiology*, *16*(2), 382-395. doi:10.1111/1462-2920.12219
- Alary, M., & Joly, J. R. (1991). Risk factors for contamination of domestic hot water systems by legionellae. *Applied and Environmental Microbiology*, *57*(8), 2360-2367.
- Allegra, S., Berger, F., Berthelot, P., Grattard, F., Pozzetto, B., & Riffard, S. (2008). Use of flow cytometry to monitor *Legionella* viability. *Applied and Environmental Microbiology*, *74*(24), 7813-7816.
- Allegra, S., Grattard, F., Girardot, F., Riffard, S., Pozzetto, B., & Berthelot, P. (2011). Longitudinal evaluation of the efficacy of heat treatment procedures against *legionella spp.* In hospital water systems by using a flow cytometric assay. *Applied and Environmental Microbiology*, *77*(4), 1268-1275
- Arvand, M., Jungkind, K., & Hack, A. (2011). Contamination of the cold water distribution system of health care facilities by *Legionella pneumophila*: do we know the true dimension? *Eurosurveillance*, *16*(16), 6.
- Barbeau, B., Desjardins, R., Mysore, C., & Prévost, M. (2005). Impacts of water quality on chlorine and chlorine dioxide efficacy in natural waters. *Water Research*, *39*(10), 2024-2033.
- Barbeau, J., & Buhler, T. (2001). Biofilms augment the number of free-living amoebae in dental unit waterlines. *Research in microbiology*, *152*(8), 753-760. doi:10.1016/s0923-2508(01)01256-6
- Bédard, E., Fey, S., Charron, D., Lalancette, C., Cantin, P., Dolcé, P., . . . Prévost, M. (2015). Temperature diagnostic to identify high risk areas and optimize *Legionella pneumophila* surveillance in hot water distribution systems. *Water Research*, *71*, 244-256. doi:10.1016/j.watres.2015.01.006
- Beer, K., Gargano, J. W., Roberts, V. A., Hill, V. R., Garrison, L., Kutty, P. K., . . . Yoder, J. (2015). Surveillance for waterborne disease outbreaks associated with drinking water — United States, 2011–2012. *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)*, *64*(31), 842-848.
- Boppe, I., Bédard, E., Taillandier, C., Lecellier, D., Nantel-Gauvin, M.-A., Villion, M., . . . Prévost, M. (2016). Investigative approach to improve hot water system hydraulics through temperature monitoring to reduce building environmental quality hazard associated to *Legionella*. *Building and Environment*, *108*, 230-239. doi:10.1016/j.buildenv.2016.08.038
- Brazeau, R. H., & Edwards, M. A. (2013). Role of hot water system design on factors influential to pathogen regrowth: temperature, chlorine residual, hydrogen evolution, and sediment. *Environmental Engineering Science*, *30*(10), 617-627. doi:10.1089/ees.2012.0514
- Brooks, T., Osicki, R., Springthorpe, V., Sattar, S., Filion, L., Abrial, D., & Riffard, S. (2004). Detection and identification of *Legionella* species from groundwaters. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, *67*(20-22), 1845-1859. doi:10.1080/15287390490492449
- Buse, H. Y., & Ashbolt, N. J. (2011). Differential growth of *Legionella pneumophila* strains within a range of amoebae at various temperatures associated with in-premise plumbing. *Letters in Applied Microbiology*, *53*(2), 217-224. doi:10.1111/j.1472-765X.2011.03094.x
- Byrne, B. G., McColm, S., McElmurry, S. P., Kilgore, P. E., Sobeck, J., Sadler, R., . . . Shuman, H. A. (2018). Prevalence of infection-competent serogroup 6 *Legionella pneumophila* within premise plumbing in Southeast Michigan. *mBio*, *9*(1). doi:10.1128/mBio.00016-18
- Castex, J., & Houssin, D. (Eds.). (2005). *L'eau dans les établissements de santé*. France: Ministère de la Santé et des Solidarités.



- Cervero-Arago, S., Rodriguez-Martinez, S., Puertas-Bennasar, A., & Araujo, R. M. (2015). Effect of common drinking water disinfectants, chlorine and heat, on free *Legionella* and *Amoebae*-associated *Legionella*. *PLoS ONE*, *10*(8), e0134726. doi:10.1371/journal.pone.0134726
- Conseil National de Recherches Canada (CNRC). (2005). *Code national de la plomberie* (47668F). Retrieved from Ottawa, ON, CANADA: [https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/publications/centre\\_codes/2005\\_code\\_national\\_plomberie.html](https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/publications/centre_codes/2005_code_national_plomberie.html)
- Crittenden, J. C., Howe, K. J., Hand, D. W., Tchobanoglous, G., & Trussell, R. R. (2012). *Principles of water treatment*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Delafont, V., Rodier, M.-H., Maisonneuve, E., & Cateau, E. (2018). *Vermamoeba vermiformis*: A free-living amoeba of interest. *Microbial Ecology*. doi:10.1007/s00248-018-1199-8
- Dewailly, E., & Joly, J. R. (1991). Contamination of domestic water heaters with *Legionella pneumophila*: Impact of water temperature on growth and dissemination of the bacterium. *Environmental Toxicology and Water Quality*, *6*(2), 249-257. doi:10.1002/tox.2530060213
- Dietersdorfer, E., Kirschner, A., Schrammel, B., Ohradanova-Repic, A., Stockinger, H., Sommer, R., . . . Cervero-Arago, S. (2018). Starved viable but non-culturable (VBNC) *Legionella* strains can infect and replicate in amoebae and human macrophages (in press). *Water Research*. doi:10.1016/j.watres.2018.01.058
- Donohue, M. J., Vesper, S. J., Mistry, J., King, D., Kostich, M., Pfaller, S., & O'Connell, K. (2014). Widespread molecular detection of *Legionella pneumophila* serogroup 1 in cold water taps across the United States. *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/es4055115
- Ducret, A., Chabaliere, M., & Dukan, S. (2014). Characterization and resuscitation of 'non-culturable' cells of *Legionella pneumophila*. *BMC Microbiology*, *14*(1), 1-10. doi:10.1186/1471-2180-14-3
- Dufresne, S. F., Locas, M. C., Duchesne, A., Restieri, C., Ismail, J., Lefebvre, B., . . . Laverdiere, M. (2012). Sporadic Legionnaires' disease: the role of domestic electric hot-water tanks. *Epidemiology & Infection*, *140*(1), 172-181. doi:10.1017/S0950268811000355
- Epalle, T., Girardot, F., Allegra, S., Maurice-Blanc, C., Garraud, O., & Riffard, S. (2015). Viable but not culturable forms of *Legionella pneumophila* generated after heat shock treatment are infectious for macrophage-like and alveolar epithelial cells after resuscitation on *Acanthamoeba polyphaga*. *Microbial Ecology*, *69*(1), 215-224. doi:10.1007/s00248-014-0470-x
- García, M. T., Jones, S., Pelaz, C., Millar, R. D., & Abu Kwaik, Y. (2007). *Acanthamoeba polyphaga* resuscitates viable non-culturable *Legionella pneumophila* after disinfection. *Environmental Microbiology*, *9*(5), 1267-1277.
- Health and Safety Executive (HSE). (2013). *Legionnaires' disease: Technical guidance. Part 2: The control of Legionella bacteria in hot and cold water systems*. United Kingdom: HSE Books.
- Health Facilities Scotland (HFS). (2012). *Scottish Health Technical Memorandum 04-01: The control of Legionella, hygiene, 'safe' hot water, cold water and drinking water systems. Part A: Design, installation and testing*. Retrieved from <http://www.hfs.scot.nhs.uk/online-services/publications/engineering/shtm-04-01>
- Health Safety and Executive (HSE). (2013). *Legionnaires' disease: The control of Legionella bacteria in water systems. Approved code of practice and guidance on regulations*.
- Idexx. (2018). *Characterization of the legiolert\* test for the enumeration of Legionella pneumophila from potable water samples. 2nd edition: Updated to reflect ISO*

- 13843:2017. Retrieved from <https://123.idexx.com/resource-library/water/legiolert-validation-report-iso-13843-110583-00.pdf>
- Idexx technical bulletin. (2017). Comparison of the Legiolert®/Quanti-Tray® method for the enumeration of *Legionella pneumophila* in potable and similar water samples with the ISO reference method (ISO 11731-2:2004). In (pp. 2): Legiolert potable water.
- Kormendy, I., & Kormendy, L. (1997). Considerations for calculating heat inactivation processes when semilogarithmic thermal inactivation models are non-linear. *Journal of Food Engineering*, 34(1), 33-40. doi:10.1016/S0260-8774(97)00071-X
- Kruse, E.-B., Wehner, A., & Wisplinghoff, H. (2016). Prevalence and distribution of *Legionella* spp in potable water systems in Germany, risk factors associated with contamination, and effectiveness of thermal disinfection. *American Journal of Infection Control*, 44(4), 470-474. doi:10.1016/j.ajic.2015.10.025
- Kuchta, J. M., Navratil, J. S., Shepherd, M. E., Wadowsky, R. M., Dowling, J. N., States, S. J., & Yee, R. B. (1993). Impact of Chlorine and heat on the survival of *Hartmannella vermiformis* and subsequent growth of *Legionella pneumophila*. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(12), 4096-4100.
- Kuiper, M. W., Wullings, B. A., Akkermans, A. D. L., Beumer, R. R., & van der Kooij, D. (2004). Intracellular proliferation of *Legionella pneumophila* in *Hartmannella vermiformis* in aquatic biofilms grown on plasticized polyvinyl chloride. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(11), 6826-6833.
- Lu, J., Struewing, I., Vereen, E., Kirby, A. E., Levy, K., Moe, C., & Ashbolt, N. (2016). Molecular Detection of *Legionella* spp. and their associations with *Mycobacterium* spp., *Pseudomonas aeruginosa* and *amoeba* hosts in a drinking water distribution system. *J Appl Microbiol*, 120(2), 509-521. doi:10.1111/jam.12996
- Marchesi, I., Ferranti, G., Mansi, A., Marcelloni, A. M., Proietto, A. R., Saini, N., . . . Bargellini, A. (2016). Control of *Legionella* contamination and risk of corrosion in hospital water networks following various disinfection procedures. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(10), 2959-2965. doi:10.1128/aem.03873-15
- Marciano-Cabral, F., Jamerson, M., & Kaneshiro, E. S. (2010). Free-living amoebae, *Legionella* and *Mycobacterium* in tap water supplied by a municipal drinking water utility in the USA. *Journal of Water and Health*, 8(1), 71-82.
- Loi sur la qualité de l'environnement, Qualité de l'eau potable, (2010).
- Molmeret, M., Horn, M., Wagner, M., Santic, M., & Abu Kwaik, Y. (2005). Amoebae as training grounds for intracellular bacterial pathogens. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(1), 20-28.
- Moreau, A., & Laperrière, A. (2018). *Évaluation de l'efficacité anti légionelle d'un concept de chauffe-eau haute température*. Retrieved from
- Pazouki, P., Prévost, M., McQuaid, N., Barbeau, B., de Boutray, M.-L., Zamyadi, A., & Dorner, S. (2016). Breakthrough of cyanobacteria in bank filtration. *Water Research*, 102, 170-179. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.037>
- Petrisek, R., & Hall, J. (2017). Evaluation of a most probable number method for the enumeration of *Legionella pneumophila* from North American potable and nonpotable water samples. *Journal of Water and Health*, 16(1), 25-33. doi:10.2166/wh.2017.118
- Prévost, M., Doberva, M., Allegra, S., Faucher, S., & Bédard, E. (2017, Sep 26-30). *Impact of temperature, copper and chlorine exposure on the viability and recovery of clinical and environmental strains of Legionella pneumophila*. Paper presented at the The 9th International Conference on Legionella, Rome, Italy.

- Pryor, M., Springthorpe, S., Riffard, S., Brooks, T., Huo, Y., Davis, G., & Sattar, S. A. (2004). Investigation of opportunistic pathogens in municipal drinking water under different supply and treatment regimes. *Water Science and Technology*, *50*(1), 83-90.
- Rech, M. M., Swalla, B. M., & Dobranic, J. K. (2018). Evaluation of Legiolert for quantification of *Legionella pneumophila* from non-potable water. *Current Microbiology*, *75*(10), 1282-1289. doi:10.1007/s00284-018-1522-0
- Régie du bâtiment du Québec (RBQ). (2014). *Modifications du Québec applicables au Code national de la plomberie Canada 2010*. (Code de construction du Québec, chapitre III, Plomberie). Retrieved from <https://www.rbq.gouv.qc.ca/salle-de-presse/les-nouvelles/nouvelles-detail/item/entree-en-vigueur-de-la-nouvelle-edition-du-chapitre-plomberie-du-code-de-construction-du-quebec.html>
- Rennecker, J. L., Marinas, B. J., Owens, J. H., & Rice, E. W. (1999). Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone. *Water Research*, *33*(11), 2481-2488.
- République Française. (2005). *Circulaire n°DGS/SD7A/DHOS/E4/DGAS/SD2/2005/493 du 28 octobre 2005 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées*.
- Rogers, J., & Keevil, C. W. (1992). Immunogold and fluorescein immunolabelling of *Legionella pneumophila* within an aquatic biofilm visualized by using episcopic differential interference contrast microscopy. *Applied and Environmental Microbiology*, *58*(7), 2326-2330.
- Rohr, U., Weber, S., Michel, R., Selenka, F., & Wilhelm, M. (1998). Comparison of free-living *Amoebae* in hot water systems of hospitals with isolates from moist sanitary areas by identifying genera and determining temperature tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*, *64*(5), 1822-1824.
- Sanden, G. N., Fields, B. S., Barbaree, J. M., & Feeley, J. C. (1989). Viability of *Legionella pneumophila* in choline-free water at elevated temperatures. *Current Microbiology*, *18*(1), 61-65. doi:10.1007/bf01568833
- Sartory, D. P., Spies, K., Lange, B., Schneider, S., & Langer, B. (2017). Evaluation of a most probable number method for the enumeration of *Legionella pneumophila* from potable and related water samples. *Letters in Applied Microbiology*, *64*(4), 271-275. doi:10.1111/lam.12719
- Spies, K., Pleischl, S., Lange, B., Langer, B., Hübner, I., Jurzik, L., . . . Exner, M. (2018). Comparison of the Legiolert™/Quanti-Tray® MPN test for the enumeration of *Legionella pneumophila* from potable water samples with the German regulatory requirements methods ISO 11731-2 and ISO 11731. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, *221*(7), 1047-1053. doi:10.1016/j.ijheh.2018.07.006
- Steinert, M., Emody, L., Amann, R., & Hacker, J. (1997). Resuscitation of viable but nonculturable *Legionella pneumophila* Philadelphia JR32 by *Acanthamoeba castellanii*. *Applied and Environmental and Microbiology*, *63*(5), 2047-2053.
- Storey, M. V., Winiiecka-Krusnell, J., Ashbolt, N. J., & Stenström, T. A. (2004). The efficacy of heat and chlorine treatment against thermotolerant *Acanthamoebae* and *Legionellae*. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, *36*(9), 656-662.
- Stout, J. E., Best, M. G., & Yu, V. L. (1986). Susceptibility of members of the family *Legionellaceae* to thermal stress: implications for heat eradication methods in water distribution systems. *Applied Environmental Microbiology*, *52*(2), 396-399.
- Stout, J. E., Yu, V. L., & Best, M. G. (1985). Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution systems. *Applied and Environmental Microbiology*, *49*(1), 221-228.

- Stout, J. E., Yu, V. L., Yee, Y. C., Vaccarello, S., Diven, W., & Lee, B. C. (1992). *Legionella pneumophila* in residential water supplies: environmental surveillance with clinical assessment for Legionnaires' disease. *Epidemiology and Infection*, 109(1), 49-57.
- Temmerman, R., Vervaeren, H., Noseda, B., Boon, N., & Verstraete, W. (2006). Necrotrophic growth of *Legionella pneumophila*. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(6), 4323-4328.
- Thomas, J. M., & Ashbolt, N. J. (2011). Do free-living *Amoebae* in treated drinking water systems present an emerging health risk? *Environmental Science & Technology*, 45(3), 860-869. doi:10.1021/es102876y
- Yee, R. B., & Wadowsky, R. M. (1982). Multiplication of *Legionella pneumophila* in unsterilized tap water. *Applied and Environmental Microbiology*, 43(6), 1330-1334

**ANNEXE A TABLEAU RÉSUMANT LES INACTIVATIONS DES AMIBES À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES**

Species	Source	State	Temp (°C)	Time (min)	Log reduction	Comments	Reference
<i>Acanthamoeba sp.</i>	Hot tap water	Troph.	50	30	>3		Cervero-Arago et al. (2013)
			60	10	5		
			70	0.5	5		
		Cysts	50	30	< 1		
			60	20	5		
			70	0.5	5		
<i>A. non-castellanii</i>	Geyser water	Cysts	60	60	5	Thermotolerant <i>Acanthamoeba</i> ; cysts could retain viability after 10 min at 80°C and 30 min at 70°C	Storey et al. (2004)
<i>Acanthamoeba castellanii</i>	CCAP 1534/2	Troph.	50	30	>3	Initial concentration of 1X10 <sup>5</sup> cells/mL	Cervero-Arago et al. (2013)
			60	15	5		
			70	1	5		
		Cysts	50	30	< 1		
			60	30	3		
			70	2	5		
	Clinical isolate	Cysts	60	60	5	Thermotolerant <i>Acanthamoeba</i> ; cysts could retain viability after 10 min at 80°C and 30 min at 70°C	Storey et al. (2004)
	CCAP 1501/10	Cysts	55	10	1	Also tested 6 <i>Acanthamoeba</i> environmental isolates from river water and hospital water; similar Log reduction observed at 55°C and 65°C	Coulon et al. (2010)
			65	10	>5.1		
CCAP 30010	Cysts	55	10	0.5		Coulon et al. (2010)	
		65	10	>4.7			
<i>Acanthamoeba polyphaga</i>	CCAP 1501/18	Cysts	55	10	0.6		Coulon et al. (2010)
			65	10	>4.5		
<i>Alveolata</i>	Drinking water pilot		70	30X2		Still present after 2 heat shock of 30 min at 70°C	Farhat et al. (2012)
<i>Hartmanella vermiformis</i>	CCAP 1534/7A	Troph.	50	30	>2		Cervero-Arago et al. (2013)
			60	2	5		
			70	0.5	5		
		Cysts	50	30	< 1		
			60	2	5		
			70	0.5	5		
	Hot tap water	Troph.	50	30	>2		Cervero-Arago et al. (2013)
			60	2	5		
			70	0.5	5		
Cysts		50	30	>1			
		60	2	5			
		70	0.5	5			
Drinking water pilot			70	30		Still present after heat shock of 30 min at 70°C	Farhat et al. (2012)
<i>Vermamoeba vermiformis</i>	Hospital cooling tower	Cysts	50	60	1	Tested 30 and 60 min exposure time	Fouque et al. (2015)
			55	60	>5		
			60	30	6		
			70	30	5		

**ANNEXE C :**  
**RÉPONSE À LA QUESTION 5.4**







**Direction Santé et sécurité**

**Critère de protection contre la prolifération de  
légionelles dans le chauffe-eau électrique pour fins de  
délestage**

Auteurs :

Michel Plante M.D.  
Responsable, santé du public  
Direction Santé et sécurité  
Hydro-Québec

Alain Moreau Ing.  
IREQ  
Hydro-Québec

André Laperrière Ing.  
IREQ  
Hydro-Québec

31 janvier 2019

## **Objectif**

Définir un critère de contrôle de la prolifération de légionelles dans les chauffe-eau électriques suffisamment performant pour permettre un délestage du chauffe-eau en période de pointe hivernale.

## **Contexte**

Les légionelles sont des bactéries qui se retrouvent dans les eaux naturelles à des concentrations trop faibles pour constituer un risque à la santé humaine. Un passage suffisamment long dans un réservoir dont la température permet sa prolifération, soit entre 30 et 40 °C est nécessaire pour atteindre des concentrations bactériennes ayant le potentiel de causer une infection chez l'humain. L'infection est contractée par l'inhalation de fines gouttelettes d'eau contaminées qui se déposent dans les voies respiratoires.

On connaît deux formes de la maladie, soit une forme bénigne qui consiste en une infection des voies respiratoires supérieures appelée fièvre de Pontiac et une forme plus sévère qui est une pneumonie, aussi appelée maladie du légionnaire. Le taux de décès de la maladie du légionnaire se situe entre 5 et 20%. On observe occasionnellement des éclosions liées à des sources environnementales ponctuelles et qui peuvent causer plusieurs dizaines ou centaines de cas durant une courte période de temps. Cependant, plus de 80% des cas survenant dans la population sont sporadiques et la source d'eau contaminée n'est pas identifiée.

Environ 30% des chauffe-eau électriques (CEE) sont contaminés par les légionelles alors qu'aucune contamination n'a été trouvée dans les chauffe-eau au gaz ou à l'huile. Le pourcentage de CEE contaminés augmente avec le temps pour atteindre 60% chez les CEE de plus de 15 ans. La contamination se situe au fond du réservoir, sous l'élément chauffant inférieur, où la température demeure tiède et permet la prolifération des légionelles au fil du temps, facilitée par l'accumulation de sédiments. Les études récentes suggèrent que cette contamination serait la cause directe d'au moins 14% des cas sporadiques de maladie du légionnaire au Québec.

## **Fonctionnement du chauffe-eau électrique**

Les CEE sont pourvus d'un thermostat au niveau de chacun des éléments chauffants. Les éléments chauffants ne fonctionnent jamais en même temps. L'élément chauffant supérieur est en première priorité. Une fois la température atteinte à son niveau, le thermostat met l'élément hors tension et l'élément du bas prend le relais. Une fois la température de consigne atteinte au niveau du thermostat de l'élément chauffant inférieur, ce dernier est à son tour mis hors tension.

Les thermostats sont ajustés pour couper l'alimentation électrique à une température de consigne de 60 °C. Ce sont des thermostats bimétalliques dont la précision prescrite par la norme de conception (C191) est de +/- 3 °C et dont le différentiel de température permis ne doit pas dépasser 8 °C au thermostat supérieur. Ainsi, le thermostat met l'élément sous tension lorsque la température chute sous le seuil de 52 °C et il met l'élément hors tension à une température de 60 °C. Pour cette raison, la température de l'eau dans le réservoir est généralement inférieure à 60 °C. Trois études québécoises ont confirmé cette réalité. Une première étude, réalisée en 1991 sur 178 CEE a montré des températures moyennes par quartile de 51,7 °C, 55,5 °C, 57,9 °C et 61,6 °C à la sortie du CEE. La médiane était d'environ 56 °C (Alary 1991). Une seconde étude réalisée sur 36 CEE a montré une moyenne de 56,7 °C (Dufresne 2012) à la sortie du CEE. Enfin, une troisième étude réalisée sur 48 CEE contaminés de la région de Québec a montré une moyenne de 54,6 °C mesurée au niveau de l'élément chauffant supérieur. Dans cette dernière étude, la sélection de CEE contaminés a pu contribuer au fait que la température observée était plus basse. Un seul CEE a montré une température de 60 °C, les autres CEE se situaient entre 48 et 58 °C.

## **La contamination des CEE par les légionelles**

La contamination par les légionelles se situe au bas du réservoir, dans le volume d'eau sous l'élément chauffant inférieur. Dans ce volume d'eau, d'environ 13 litres, une stratification thermique s'installe. Ainsi, la température de l'eau au fond du réservoir se situe, à l'équilibre, entre 30 et 40 °C, une plage de température particulièrement propice à multiplication des légionelles.

Deux études réalisées au Québec en 1991 ont confirmé la présence de légionelles dans les CEE. Une première étude (Alary 1991) a recueilli des échantillons d'eau à la base de 211 chauffe-eau, dont 178 CEE et 33 chauffe-eau au gaz ou à l'huile. Aucun des chauffe-eau à l'huile ou au gaz n'était contaminé, mais les légionelles ont été retrouvées dans 39% (69/178) des CEE. Une seconde étude (Dewailly 1991) a observé un taux de contamination similaire de 40% (84/205) des CEE alors qu'aucun des chauffe-eau au gaz ou à l'huile n'était contaminé (0/50). La variable la plus significative en lien avec la présence de légionelles dans les CEE était la température de l'eau. L'âge du quartier est également une variable significative reflétant vraisemblablement le degré de contamination des conduites d'eau de l'aqueduc.

Une troisième étude réalisée sur 48 CEE contaminés dont l'âge moyen était de 12 ans a montré des concentrations de légionelles jusqu'à 37 667 UFC/litre (LTE 1994). La concentration bactérienne minimale susceptible de causer une infection chez l'humain n'est pas établie de façon certaine. Cependant, sur la base des concentrations bactériennes retrouvées dans les tours aéroréfrigérantes responsables d'éclosion de légionellose dans la population, des concentrations supérieures à 1 000 UFC/L seraient suffisantes pour causer une infection chez l'humain.

Lorsque le CEE est contaminé, environ 50 % des échantillons d'eau prélevés à la douche, à l'évier ou au bain sont aussi contaminés (Alary 1991) (Dewailly 1991). Il est rare d'observer une contamination des robinets périphériques si le chauffe-eau n'est pas contaminé par la légionelle. La contamination du chauffe-eau apparaît comme une condition nécessaire à la contamination des robinets périphériques.

À ce jour, sur un total de 86 résidences alimentées en eau chaude par un chauffe-eau au gaz ou à l'huile, aucune présence de légionelles n'a été observée aux robinets périphériques (Alary 1991; Dewailly 1991; Dufresne 2011)

Lors de la prise de douche et de l'utilisation d'eau chaude à l'évier, des aérosols se forment (Bollin 1985). Les légionelles sont retrouvées en majorité dans les aérosols d'un à cinq micromètres. Les fines gouttelettes d'eau contaminées peuvent alors être inhalées, atteindre les voies respiratoires supérieures (les bronches) et parfois les voies respiratoires inférieures et causer ainsi la pneumonie.

Une étude québécoise réalisée sur une période de 11 ans a confirmé qu'au moins 14% des cas sporadiques de pneumonie à légionelles survenant dans la population étaient causés par la contamination du CEE par l'intermédiaire des robinets périphériques qui y sont reliés (Dufresne 2012). On estime que le nombre de cas annuels attribuables à la contamination des CEE au Québec est au moins de 80 cas par année.

## **Solutions techniques envisagées par Hydro-Québec**

Le traitement chimique de l'eau est une solution qui a fait ses preuves pour les grands établissements où un monitoring de l'eau est effectué sur une base régulière mais cette approche serait difficile à mettre en œuvre dans la situation d'un CEE alimenté par un aqueduc et nécessiterait un monitoring régulier des produits utilisés.

Les solutions techniques à privilégier visent à augmenter la température de l'eau située au fond du réservoir pendant une période de temps suffisante pour empêcher la prolifération des

légionelles et permettre leur élimination. Elles offrent l'avantage de pouvoir être facilement testées en situations expérimentales standardisées.

### **Détermination de la température et du temps requis pour prévenir la contamination par la légionelle**

Plusieurs études expérimentales ont examiné l'effet de la température sur la prolifération et sur la survie des légionelles. On observe une forte influence de la température pour ces effets entre 45 et 60 °C. Les températures requises pour empêcher la prolifération sont sensiblement inférieures à celles requises pour l'élimination des légionelles.

#### *Effet de la température sur la prolifération des légionelles*

La température idéale de prolifération de la légionelle se situe à 37 °C. Le taux de prolifération diminue à mesure que la température augmente. À une température de 42,1 °C, le taux de multiplication baisse de 75%. La baisse atteint 90 % entre 44 et 46 °C en fonction des espèces de légionelles testées. La multiplication cesse complètement entre 48 et 52 °C selon les espèces (Kusnetsov 1996). Au-delà de 52 °C, les légionelles peuvent demeurer viables mais ne se multiplient plus. C'est à partir de cette température qu'une proportion croissante de légionelles seront détruites.

#### *Effet de la température sur la survie de la légionelle.*

Une étude a mesuré la survie de deux souches de legionella pneumophila, dont une provenant d'un réservoir d'eau chaude, après incubation à 42 °C indiquant un potentiel de résistance à la chaleur (Sanden 1989). La première souche (R1243) a été étudiée à 45, 50, 55, 60 et 66 °C et la seconde souche (R1243) à 53 °C (426A). La valeur D, soit le temps requis pour une diminution de 90% de la population des légionelles, est indiquée au tableau 1.

**Tableau 1**

<b>Survie de la legionella pneumophila séro groupe 1</b>		
L. pneumophila	Température (°C)	Valeur D Temps requis pour une diminution de 90% (minutes)
R1243	45	2 500
R1243	50	380
R1243	55	13,9
R1243	60	0,74
R1243	66	0,45
426A	53	100

Les résultats obtenus avec la souche 426A sont comparables à la souche R1243 et ne montrent pas de résistance particulière à la chaleur.

Une étude de moindre envergure montre des résultats similaires (Dennis 1984). Des souches de Legionella pneumophila du séro groupe 1 ont été exposées à des températures de 46, 50, 54 et 58 °C, à une concentration initiale approximative de 1 milliard de bactéries par litre. À 46 °C, il n'y

avait pas de perte significative de légionelle. Les valeurs D ont été de 111 minutes à 50 °C, 28 minutes à 54 °C et 6 minutes à 58 °C.

Une troisième étude a testé la résistance à la chaleur de 75 isolats de la famille des légionelles à des températures de 60, 70 et 80 °C (Stout 1986). Les valeurs obtenues à 60 °C sont proches de celles rapportées plus haut. À 60 °C, la valeur D a varié de 1,3 à 5 minutes à l'exception des 24 souches de *T. micdadei* pour lesquelles les valeurs D ont varié de 4,5 à 10,6 minutes. Deux isolats de *Legionella pneumophila* de type 1 ont été testés sur 3 types de milieu dont un provenant d'un réservoir de chauffe-eau avec des sédiments. Le type de milieu n'a pas influencé sensiblement les résultats (valeurs D de 4,0 et 3,1 minutes pour l'eau du réservoir). Le temps de stérilisation complète (100%) d'une suspension de *Legionella pneumophila* contenant 100 millions d'unités formant des colonies par litre ( $10^8$  UFC/L) fut d'environ 25 minutes à 60 °C.

Des études récentes (Allegra 2011) (Epalle 2015) ont montré que des légionelles peuvent survivre à un choc thermique de 70 °C pendant 30 minutes mais elles ne peuvent plus être cultivées ultérieurement, ayant perdu leur capacité spontanée de reproduction. Cet état a été qualifié de « viable but not cultivable » (VBNC). Leur passage en amibe permet leur ressuscitation. Leur impact en matière de risque pour l'humain demeure incertain (Kirshner 2016). Elles ne seraient pas considérées infectieuses pour le poumon chez l'humain.

Hydro-Québec a fait réaliser en 2018 de nouveaux tests bactériologiques par la Chaire industrielle CRNSG en eau potable (CICEP) de Polytechnique Montréal (Hydro-Québec 2018). Ces tests ont été conçus pour étudier :

- 1) la prolifération de légionelle à partir d'échantillons d'eau provenant de CEE
- 2) l'effet du type de boues au fond du CEE sur la prolifération des légionelles
- 3) les espèces de légionelles ayant une plus grande résistance à la chaleur
- 4) l'effet de la température pour les plages de températures comprises entre 45 °C et 60 °C et pour des durées d'exposition à la chaleur de 1 heure à 24 heures
- 5) l'effet cumulé de cinq cycles de chauffe successifs en cinq jours pour simuler le fonctionnement en continu d'un CEE
- 6) le rôle des amibes dans la ressuscitation des formes VBNC de légionelles (bactéries viables mais non cultivables)

Les boues provenant de 2 CEE ont été contaminées à une concentration initiale de  $10^9$  UFC/L. Le tableau 2 montre l'atténuation des concentrations de légionelles, obtenue en fonction du temps de contact et de la température. L'atténuation est exprimée en logs d'enlèvement. Un log d'enlèvement correspond à une diminution de 90%. Deux logs d'abattement correspondent à une diminution de 99%.

**Tableau 2**

Log d'enlèvement de *L. pneumophila* dans les boues chauffe-eau résidentiels en fonction de la température et du temps d'exposition consécutif. Rouge :  $\leq 0$  ; Orange :  $0 < x < 1$  Log ; Jaune :  $1 \leq x < 3$  Logs ; Vert pâle :  $3 \leq x < 5$  Logs ; Vert :  $\geq 5$  Logs

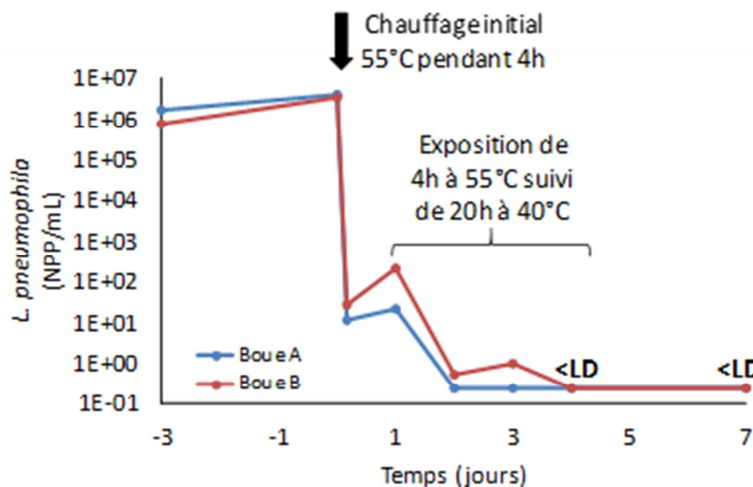
		Temps de contact en heures				
		1	2	4	6	24
Température ( °C)	40	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.6
	45	0.0	-0.3	0.0	-0.2	0.0
	50	0.2	0.1	-0.1	0.4	3.1
	55	1.0	3.2	3.7	3.6	5.0
	60	3.5	5.8	5.8	5.6	5.8
	65	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8

Les résultats montrent que les températures inférieures à 50 °C sont inefficaces pour détruire la légionelle pour des périodes de moins de 6 heures. Une température de 50 °C appliquée durant 24 heures abaissent le nombre de bactérie de 99,9% (3,1 log d'enlèvement). Un temps de contact de 4 heures à 55 °C procure une atténuation de 3,7 logs d'enlèvement. L'effet est assez rapide puisque d'un temps de contact de 2 heures entraîne déjà une atténuation de 3,2 logs.

L'effet d'un traitement quotidien de 4 heures à 55 °C, durant 5 jours consécutifs a montré une diminution progressive des concentrations de légionelle puis une disparition de bactéries détectables par culture au terme des 5 jours, ce qui représente une atténuation de plus de 6 logs de la concentration en *L. pneumophila*. Ce résultat a été obtenu malgré une exposition de 20 heures par jour à une température favorable à la prolifération des légionelles de 40 °C, appliquée entre les périodes quotidiennes de 4 heures de chauffe. L'absence de détection a été vérifiée pour une période allant jusqu'à 72 heures après le dernier traitement thermique. (Figure 1)

**Figure 1**

Efficacité d'un chauffage quotidien à 55°C pendant 4 heures. Boues chauffées 4 heures à 55°C à t=0, mesure de *L. pneumophila* (*Lp*) après chauffage. Par la suite, chauffage de 4 heures à 55°C tous les jours et mesure de *Lp* avant le cycle de chauffage



Les résultats des essais du CICEP se distinguent des résultats publiés antérieurement par une résistance thermique plus élevée. La sélection d'une souche thermorésistante, l'effet de « starving » expliqueraient en bonne partie la résistance accrue.

La présence d'amibes semble être une condition essentielle à la prolifération de légionelles et à la ressuscitation des bactéries qui survivent sous forme de VBNC (formes viables mais non cultivables). Les essais réalisés par le CICEP ont montré que les légionelles peuvent survivre à l'état VBNC à la suite d'une exposition de 4 heures à 55 °C et que ces formes de légionelles peuvent être resuscitées par l'incubation à 37 °C en présence de fortes concentrations d'amibes (500 000 par ml). Cependant, les données de la littérature scientifique montrent que les amibes seraient aussi sensibles, sinon plus, que les légionelles aux températures de 55 et 60 °C (HQ 2019). Si les amibes avaient été exposées aux températures testées dans les conditions retenues (55 °C pendant 4 heures par jour), il est improbable qu'elles auraient eu un effet significatif sur l'atténuation observée des légionelles.

### **Critère retenu**

Nous retenons des essais du CICEP que le maintien d'une période de 55 °C pendant 4 heures procure une atténuation de 3,7 logs et que, lorsque répété quotidiennement pendant 5 jours consécutifs, cela entraîne une atténuation d'au moins 6 logs et conduit à l'inactivation complète d'une charge de légionelle initiale de 10<sup>9</sup> UFC/L. Il est raisonnable de prédire un résultat similaire pour un temps de contact de 2 heures par jour qui procure une atténuation de 3,2 logs.

### **Solutions techniques préconisées par Hydro-Québec**

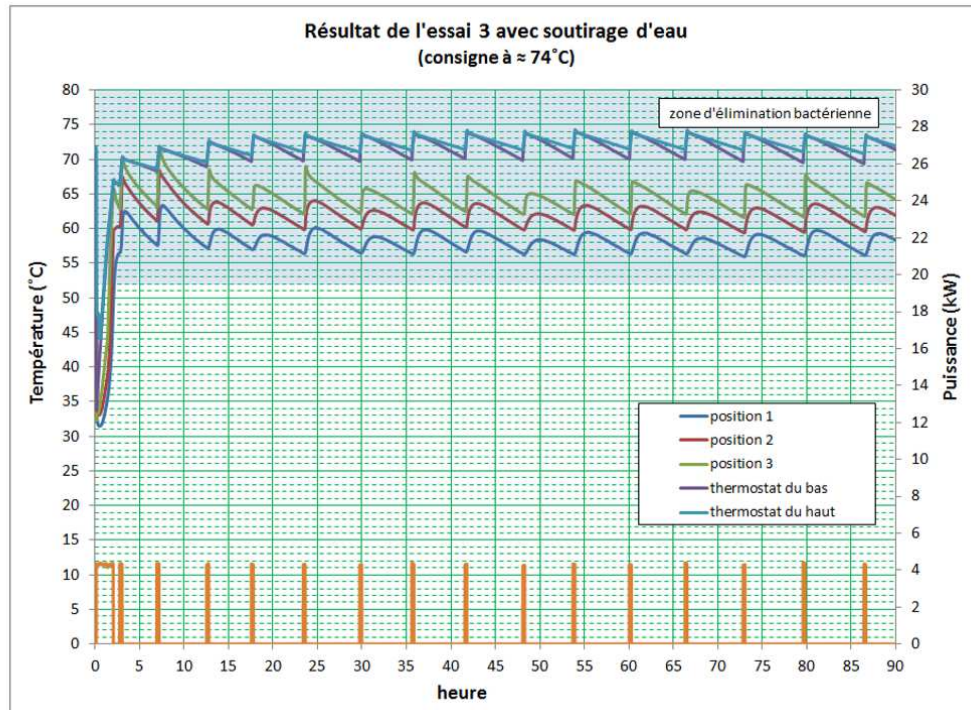
Deux solutions techniques ont été développées pour permettre un délestage de CEE : le chauffe-eau haute température et le chauffe-eau muni d'une pompe de recirculation.

Le CEE haute température a été testé avec une température de consigne d'environ 74 °C plutôt que la température usuelle de 60 °C. Les profils de température au fond du chauffe-eau sont illustrés à la figure 2, tirée des essais réalisés à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec en 2018 (IREQ 2018a).

Cette figure montre les températures obtenues à l'équilibre, c'est-à-dire lorsque l'ensemble du volume d'eau du réservoir a été chauffé. En absence de soutirage d'eau, l'élément chauffant inférieur est déclenché périodiquement pour de courte période pour remonter la température jusqu'à la consigne du thermostat. Les données de consommation électrique des CEE indiquent qu'il s'agit d'un état qui survient environ 18 à 20 heures par jour dans la grande majorité des chauffe-eau en opération. La température au fond du réservoir est celle indiquée par la ligne bleue (position 1). Elle oscille entre 56 et 60 °C. À la suite d'un soutirage d'eau maximal, il faut compter environ 3 heures pour retrouver les conditions d'équilibre au fond du réservoir.



Figure 2



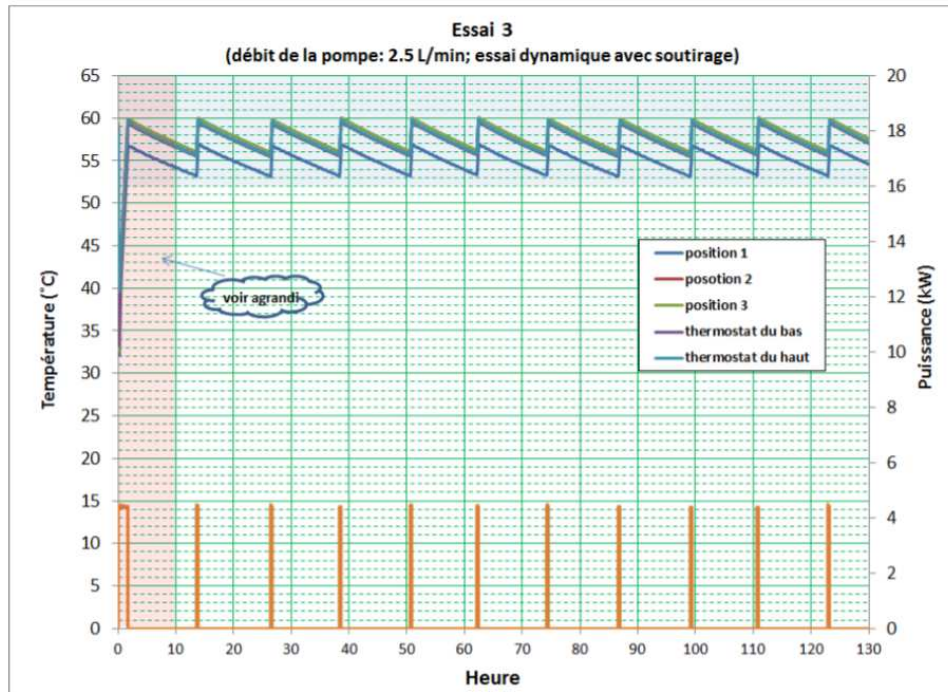
Cette combinaison de température (56 à 60 °C) et de durée (18 – 20 heures par jour) dépasse largement les conditions requises pour empêcher la prolifération de légionelles dans le réservoir et permettrait l'inactivation complète des légionelles présentes dans l'eau d'alimentation du chauffe-eau.

La seconde solution technique évaluée est celle d'un chauffe-eau muni d'une pompe de recirculation. Il s'agit d'un chauffe-eau conventionnel avec une température de consigne de 60 °C, muni d'une pompe extérieure qui recircule l'eau chaude puisée dans le haut du réservoir et dirigée vers le bas du réservoir en utilisant le tuyau d'entrée d'eau froide. Cette solution élimine en grande partie la stratification thermique au fond du réservoir.

La pompe fonctionne uniquement lorsque le chauffe-eau est à l'équilibre thermique, c'est-à-dire lorsque les éléments chauffants sont inactifs et que l'ensemble du volume d'eau est chauffé. Le profil de température obtenu au fond du réservoir a été testé pour différents débits de pompage. La figure 3 tirée du rapport des tests réalisés à l'IREQ (IREQ 2018b) montre les températures obtenues au fond du réservoir (ligne bleue, position 1) pour un débit de 2,5 L/min. À l'équilibre thermique, la température au fond du réservoir oscille entre 53 et 57 °C. Une température de 55 °C et plus est atteinte pendant près de la moitié du temps passé à l'équilibre thermique soit environ 9 heures par jour.



Figure 3



### Autres solutions techniques

Les fabricants pourront développer d'autres solutions que les deux solutions développées et testées par Hydro-Québec.

### Conclusion

Les deux solutions techniques présentées, soit le CEE haute température et le CEE muni d'une pompe de recirculation, respectent et dépassent ce critère.

Contrairement aux CEE traditionnels qui permettent l'amplification des légionelles amenées par l'eau d'alimentation, un CEE respectant ce nouveau critère technique permettra l'inactivation des légionelles qui atteignent le CEE par l'eau d'alimentation. À fortiori, la probabilité d'amplification des légionelles (prolifération) dans le volume d'eau situé au bas du réservoir sera quasi inexistante.

## Références

Allegra 2011: Allegra et al. Longitudinal Evaluation of the Efficacy of Heat Treatment Procedures against Legionella spp. In Hospital Water systems by Using a Flow Cytometric Assay. Applied and Environmental Microbiology, Feb. 2011, p. 1268-1275

Alary 1991: Alary et al. Risk Factors for Contamination of Domestic Hot Water Systems by Legionellae. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Aug. 1991, p. 2360-2367

Bollin 1985: Bollin et al. Aerosols Containing Legionella pneumophila Generated by Shower Heads and Hot-Water Faucets. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Nov. 1985, p. 1128-1131

Dennis 1984: Dennis et al. A note on the temperature tolerance of Legionella. Journal of Applied Bacteriology 56, 349-350

Dewailly 1991: Dewailly et al. Contamination of Domestic Water Heaters with Legionella pneumophila: Impact of Water Temperature on Growth and Dissemination of the Bacterium. Environmental Toxicology and Water Quality: An International Journal Vol. 6, 249-257 (1991)

Dufresne 2011: Dufresne et al. Sporadic Legionnaires' disease: the role of domestic electric hot-water tanks. Epidemiol. Infect. (2012), 140, 172–181. f Cambridge University Press 2011 doi:10.1017/S0950268811000355

Epalle 2015: Epalle et al. Viable but Not Culturable Forms of Legionella pneumophila Generated After Heat Shock Treatment Are Infectious for Macrophage-Like and Alveolar Epithelial Cells After Resuscitation on Acanthamoeba polyphaga. Microb Ecol (2015) 69:215-224

Hydro-Québec 2018. Rapport préparé par la Chaire Industrielle CRSNG en eau Potable de Polytechnique Montréal. Version pré-finale. Décembre 2018

IREQ 2018a: Évaluation de l'efficacité anti légionnelle d'un concept de chauffe-eau haute température. Rapport technique IREQ-2018-038

IREQ 2018b: Évaluation de l'efficacité anti légionnelle du concept de chauffe-eau avec pompe de recirculation. Rapport technique IREQ-2018-0047

Kirshner 2016: Kirshner. Determination of viable legionellae in engineered water systems: Do we find what we are looking for? Water Res. 2016 April 15; 93: 276–288

Kusnetsov 1996: Kusnetsov et al. Growth, respiration and survival of *Legionella pneumophila* at high temperatures. Journal of applied microbiology 1996 Vol. 81 pp 341-347

LTEE 1991: Laboratoire des technologies électrochimiques et des électrotechnologies d'Hydro-Québec. Validation bactériologique (Legionella pneumophila) du nouveau concept de chauffe-eau à la Faculté de médecine de l'Université Laval. Rapport LTEE-91-1-011-64

LTEE 1994: Laboratoire des technologies électrochimiques et des électrotechnologies d'Hydro-Québec. Évaluation d'un nouveau concept de chauffe-eau plus salubre en situation réelle. Rapport LTEE 94-061 1994

Sanden 1989: Sanden et al. Viability of *Legionella pneumophila* in Chlorine-free Water at Elevated Temperatures. *Current Microbiology* Vol. 18 (1989), pp. 51-65

Stout 1986: Stout et al. Susceptibility of Members of the Family Legionellaceae to Thermal Stress: Implications for Heat Eradication Methods in Water Distribution Systems. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, Aug. 1986, p. 396-399



**ANNEXE D :**  
**RÉPONSE À LA QUESTION 5.5**



Le 5 février 2019

Direction Santé et sécurité  
7<sup>e</sup> étage  
75, boul. René-Lévesque Ouest  
Montréal (Québec) H2Z 1A4

Tél. : 514 289-2463

Monsieur le docteur Horacio Arruda  
Directeur national de la santé publique et sous-ministre adjoint  
Ministère de la Santé et des Services sociaux  
1075, chemin Sainte-Foy  
Québec (Québec) G1S 2M1

### **Objet : Chauffe-eau électriques**

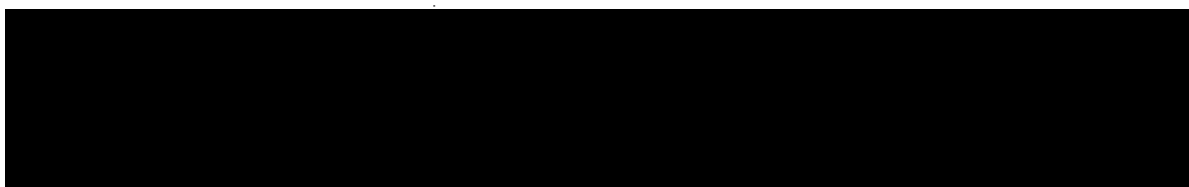
---

En janvier 2016, la Dr Danielle Laurier, alors directrice Santé et sécurité d'Hydro-Québec, vous a informé d'un projet ayant pour objet le débranchement à distance des chauffe-eau électriques durant quelques heures lors des périodes hivernales de pointe de la demande d'électricité.

Le ministère de la Santé et des Services Sociaux (le « MSSS ») a alors demandé à l'Institut national de santé publique du Québec (l' « INSPQ ») d'examiner ce projet. Le résultat de cette consultation a été transmis à Hydro-Québec en juin 2016. L'INSPQ était défavorable à un tel projet en raison d'incertitudes sur l'impact appréhendé sur la santé publique. Le MSSS a alors réitéré la nécessité de trouver une solution technique à la contamination des chauffe-eau par les légionelles.

Hydro-Québec a pris acte de l'orientation de l'INSPQ et a décidé de mettre en œuvre son projet uniquement sur des chauffe-eau munis de solutions permettant d'éviter la prolifération de légionelles. Hydro-Québec a ainsi développé et testé avec succès des solutions techniques permettant d'éliminer tout risque de contamination de légionelles dans les chauffe-eau électriques. Des tests de validation bactériologique ont été réalisés par la Chaire industrielle CRSNG en eau potable de Polytechnique Montréal. De plus, le protocole de validation bactériologique a été élaboré avec la collaboration d'un médecin spécialiste de l'INSPQ.

Ces travaux ont permis de préciser les conditions requises en termes de température et de durée de maintien de cette température pour éviter la contamination par les légionelles. Ainsi, sur la base des données de la littérature scientifique et des études de validation réalisées à Polytechnique Montréal, le critère retenu consiste à maintenir une température de 55° Celsius pendant au moins 4 heures par jour dans le bas du réservoir. Vous trouverez, en annexe, la justification de ce critère établi par les spécialistes de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) et de la direction Santé et sécurité d'Hydro-Québec. Non seulement le respect de ce critère évitera la prolifération de légionelles au bas du réservoir mais il permettra également de détruire à plus de 99 % les légionelles qui sont introduites en faible quantité dans les chauffe-eau par les réseaux d'alimentation en eau potable, indépendamment de l'interruption du chauffe-eau.



Au cours des 25 dernières années, Hydro-Québec, le MSSS et l'INSPQ ont apporté une contribution scientifique importante à l'identification et la compréhension du problème lié à la contamination des chauffe-eau électriques par les légionelles. L'innovation technique que nous proposons permettra l'élimination à la source du problème posé par la présence de légionelles dans les chauffe-eau électriques. Ainsi les adhérents au programme de délestage d'Hydro-Québec profiteront pour la première fois d'un chauffe-eau électrique libre de contamination par la légionelle.

Dans cette perspective, nous sollicitons auprès du MSSS un avis favorable au déploiement d'un programme de délestage dans la mesure où le délestage ne s'appliquerait que sur les chauffe-eau démontrant le respect du critère anti-légionelle développé et proposé par Hydro-Québec ainsi que d'un dispositif automatisé permettant de valider le respect de ce critère.

Veillez accepter, monsieur le docteur Horacio Arruda, nos salutations distinguées.



Lucie Dandois  
Directrice Santé et sécurité

p.j. « Critère de protection contre la prolifération de légionelles dans le chauffe-eau électrique pour fins de délestage »

c.c. Eric Filion  
Jean Matte