



Laboratoire de recherches sur
l'eau de l'Utah
Université d'État de l'Utah

Professeur Steven L. Barfuss, P.E.

Les taux de rupture de conduites d'eau principales aux États-Unis et au Canada : une étude complète

Décembre 2023

Une ressource pour soutenir la gestion des actifs et le
renouvellement et le remplacement des conduites



ANALYSE APPROFONDIE DE
400 000 MILLES
DE CONDUITES D'EAU PRINCIPALES
AUX É.-U. ET AU CANADA

PLUS DE
800 SERVICES
D'EAU
ÉTUDIÉS

260 000
DÉFAILLANCES DE
CONDUITES PAR AN
11,1 RUPTURES PAR 100 MILLES

20 % DES
CONDUITES SONT
À REMPLACER
DÉFICIT DE 452 MILLIARDS \$



Laboratoire de recherches sur
l'eau de l'Utah
Université d'État de l'Utah

4	Résumé
4	Détérioration des infrastructures
4	Gestion des infrastructures de distribution d'eau
4	Rapport 2023
5	Principales constatations
7	1.0 Introduction
8	1.1 Utilisation des taux de rupture pour établir les cycles de remplacement
9	2.0 L'outil d'enquête
9	2.1 Méthodologie
10	2.2 Objectifs de l'analyse des données
11	2.3 Régions de l'enquête
13	2.4 Taille du réseau des participants à l'enquête
15	2.5 Longueur de conduites d'eau par unité de population
16	2.6 Longueur totale des conduites et population aux États-Unis et au Canada
17	3.0 Matériau des tuyaux et répartition
23	3.1 Âge et diamètre des tuyaux
28	4.0 Pression et volume acheminés
29	5.0 Calcul des taux de défaillance des conduites d'eau
29	5.1 Taux de défaillance par type de matériau des tuyaux
35	5.2 Effets de la taille des tuyaux
37	5.3 Fiabilité des tuyaux dans toutes les plages de dimensions
38	5.4 Seuil de taux de rupture pour les remplacements
38	5.5 Âge et mode des défaillances les plus courantes
39	6.0 Sols corrosifs et méthodes de prévention de la corrosion
39	6.1 Études complémentaires sur la corrosion
39	6.2 Effet des sols corrosifs sur les taux de rupture
44	7.0 Défaillances liées aux travaux de construction
45	8.0 Planification du remplacement des conduites d'eau
46	9.0 Matériaux de tuyau approuvés
47	10.0 Préférences pour l'installation des tuyaux
48	11.0 Gestion des infrastructures
48	11.1 Gestion des actifs numériques
49	12.0 Conclusion
49	12.1 Résultats importants de cette étude
50	12.2 Le chercheur principal
50	12.3 Remerciements
51	13.0 Références

Résumé

Détérioration des infrastructures

Les municipalités et les personnes qu'elles servent dépendent des réseaux de conduites qui leur fournissent de l'eau potable. Ces conduites sont souterraines, invisibles et souvent négligées.

Les résultats de l'évaluation globale de l'état des infrastructures hydrauliques ne sont pas bons. Prenons les États-Unis comme exemple :

- ▶ En 2009, l'American Society of Civil Engineers (ASCE) a publié un rapport sur les États-Unis et a attribué un D- aux infrastructures d'eau potable.
- ▶ En 2017, cette note est passée à D.
- ▶ En 2021, elle affiche une hausse à C-, ce qui est mieux, mais toujours insuffisant.
- ▶ À l'heure actuelle, les services publics perdent 11 % de leur eau en raison des fuites.
- ▶ Les estimations de durée de vie de 75 à 100 ans des tuyaux contrastent avec le calendrier de remplacement moyen d'environ 200 ans (ASCE, 2017).

L'American Water Works Association (AWWA) a également publié un rapport sur le remplacement de conduites d'eau principales aux États-Unis. Dans le rapport annuel de l'AWWA sur l'état de l'industrie de l'eau, le renouvellement et le remplacement des infrastructures vieillissantes d'eau potable et d'eaux usées figurent parmi les principales préoccupations (AWWA, 2017). Au cours des cinq dernières années, cette question est restée au premier plan des préoccupations des services publics à l'échelle nationale (AWWA, 2023).

La détérioration des conduites d'eau principales constitue une menace envers l'intégrité physique des systèmes de distribution d'eau, causant des effets négatifs sur la capacité de débit, la pression et la qualité de l'eau (Grigg, et coll., 2017). Outre les besoins d'entretien et les incidences économiques, les conséquences d'une rupture de conduite d'eau principale comprennent les inondations locales, l'interruption de l'approvisionnement en eau et les dommages causés aux routes et aux propriétés privées. Ces résultats ont également un impact négatif sur la satisfaction des clients de services publics.

Les données des services publics indiquent clairement que l'intégrité des conduites d'eau aux États-Unis et au Canada continue de se détériorer à mesure que l'infrastructure vieillit. Parmi les nombreux indicateurs du vieillissement des conduites, les taux de rupture sont les plus significatifs.

Gestion des infrastructures de distribution d'eau

Les services publics peuvent utiliser la gestion des actifs pour faciliter la planification des infrastructures d'eau et la prise de décision concernant le remplacement des conduites. Les objectifs sont de limiter les coûts d'exploitation et de réduire les incidences sur le niveau de service et les risques pour la santé des clients.

Les taux de rupture des conduites d'eau principales sont l'indicateur le plus important pour quantifier les défaillances des conduites souterraines. C'est pourquoi les taux de rupture sont un facteur essentiel dans la prise de décision en matière de gestion des actifs.

Les taux de rupture de chaque service public peuvent varier d'une année à l'autre, voire selon les saisons. Cependant, au fil du temps, les taux de rupture pour des matériaux de conduites spécifiques sont constants. Cette cohérence est l'une des raisons pour lesquelles les renseignements sur les taux de rupture sont si importants.

Cette enquête complète sur les taux de rupture des conduites d'eau principales utilise les données de 802 services publics pour compiler un ensemble de données précises permettant de prendre des décisions sur le remplacement des conduites. Cet ensemble de données est suffisamment important pour être utile à la prise de décision en matière de gestion des actifs en fournissant des renseignements sur les caractéristiques des infrastructures de conduites vieillissantes.

Rapport 2023

Les taux de rupture des conduites d'eau principales présentés dans ce rapport se fondent sur les caractéristiques des conduites et les défaillances signalées par les services publics qui ont répondu à l'enquête. Les services publics ont eu la possibilité de répondre à une enquête de base ou détaillée qui a permis de recueillir des renseignements sur les matériaux et les diamètres des conduites d'eau, leur âge, les caractéristiques de fonctionnement du système et les défaillances des conduites d'eau principales. Le rapport examine l'importance des données relatives aux ruptures de conduites d'eau principales dans le contexte de la planification de la gestion des actifs.

L'Université d'État de l'Utah (USU) a publié deux études similaires (Folkman, 2012; 2018). Ce rapport 2023 fait référence aux études précédentes pour analyser les changements au fil du temps.

Points saillants de l'étude :

- ▶ Les taux de rupture de tous les matériaux de tuyau restent cohérents par rapport aux enquêtes précédentes de l'USU.
- ▶ L'enquête actuelle a reçu une large répartition des réponses par les services publics de différentes tailles.
- ▶ Au cours des cinq dernières années, la longueur totale des conduites en amiante-ciment et en fonte a été réduite, ces matériaux étant très probablement remplacés par d'autres, tels que la fonte ductile et le PVC.
- ▶ Le remplacement des tuyaux en amiante-ciment et en fonte dans plusieurs régions entraîne un changement dans les matériaux prédominants pour les tuyaux.
- ▶ La corrosivité du sol a une incidence sur les performances des tuyaux.
- ▶ Il existe une corrélation significative entre les ruptures de conduites d'eau principales et le matériau ainsi que le diamètre des conduites.

Principales constatations

La section suivante présente des mesures clés et un résumé des principales constatations qui sont énumérées par ordre chronologique dans le rapport. De plus amples renseignements sur chaque constatation se trouvent dans les sections respectives.

1. Données relatives à près de 400 000 milles de conduites

Les 802 répondants à l'enquête de base comprenaient 399 812 milles de conduites d'eau principales, ce qui représente 17,1 % de la longueur totale estimée aux États-Unis et au Canada. Les renseignements sur les ruptures de conduites d'eau principales proviennent de 778 participants qui ont fourni des données sur une période de 12 mois couvrant 363 412 milles de conduites; de plus, 690 participants ont fourni des données sur les ruptures de conduites sur une période de 5 ans couvrant 317 889 milles de conduites. Les services publics qui fournissent des données de rupture servent 30,1 % de la population totale des États-Unis et du Canada, ce qui représente une base d'analyse importante.

2. Un vaste ensemble de données pour une plus grande précision

La taille de l'échantillon de cette enquête est presque trois fois plus importante que celle de l'étude précédente sur les ruptures de conduites d'eau de l'USU en 2018. En termes de distance de tuyaux (en milles), il s'agit de la plus grande enquête de ce type aux États-Unis et au Canada. Les enquêtes précédentes étaient fondées sur des échantillons de taille beaucoup plus réduite et, par conséquent, la précision des données communiquées pouvait être moindre.

3. Un nombre croissant de services publics de petite taille (moins de 500 milles de conduites principales) ont répondu à l'enquête actuelle

La proportion de services publics de petite taille dans l'enquête est passée de 68 % en 2018 à 75 % en 2023. Cela permet une meilleure représentation des conduites installées, toutes tailles de service confondues, sur les 2,33 millions de milles de conduites aux États-Unis et au Canada.

4. On sert en moyenne 287 personnes par mille de conduite

L'industrie de l'eau supposait que 325 personnes étaient servies par mille de conduite de distribution d'eau dans les zones urbaines. Cette enquête a permis d'établir une nouvelle mesure, à savoir 287 personnes servies par mille de conduite.

5. Quatre types de matériaux constituent 90 % des conduites d'eau principales

Aux États-Unis et au Canada, 90 % des conduites d'eau installées ou en service sont constituées soit de PVC (29 %), de fonte ductile (27 %), de fonte (23 %) ou d'amiante-ciment (11 %). Les autres matériaux représentent chacun moins de 3 %.

6. Réduction de près de 8 % des stocks de tuyaux en fonte et en amiante-ciment

En 2018, les tuyaux en fonte et en amiante-ciment représentaient conjointement 41,1 % de tous les tuyaux installés aux États-Unis et au Canada. En 2023, la longueur combinée de ces matériaux était de 33,3 %, soit une réduction de 7,8 % des stocks de tuyaux déclarés. Au cours de la même période, la longueur déclarée des tuyaux en PVC a augmenté de 7 % et celle des tuyaux en fonte ductile est restée à peu près la même.

7. Les stocks de matériaux de tuyau diffèrent selon les régions

L'utilisation des matériaux varie considérablement d'une région géographique à l'autre, ce qui suggère que le choix des matériaux pour les conduites se fonde souvent sur des préférences. À titre d'exemple, la partie supérieure du Nord-Ouest et la moitié Est des États-Unis (régions 1, 6 et 8 de la figure 3) utilisent principalement des tuyaux en fonte ou en fonte ductile, tandis que les tuyaux en PVC sont les plus utilisés dans les régions 3, 4, 5, 7 et 9. L'amiante-ciment représente le matériau de tuyau le plus courant dans la région 2.

8. L'enquête montre des tendances significatives dans l'évolution des matériaux de tuyau au fil du temps

Les comparaisons des matériaux prédominants des tuyaux dans les études de 2012, 2018 et 2023 de l'USU ont montré des tendances importantes. Les régions 3, 4, 5, 7 et 9 ont une nette tendance à utiliser le PVC et les régions 1 et 6 ont tendance à utiliser la fonte ductile. L'amiante-ciment reste le matériau le plus courant dans la région 2 et la fonte dans la région 8.

9. L'enquête illustre l'âge avancé des conduites en fonte et en amiante-ciment

Parmi les conduites en fonte signalées, 86 % d'entre elles ont plus de 50 ans. De même, 41 % des tuyaux en amiante-ciment ont plus de 50 ans. Il est intéressant de noter que les taux de rupture des deux matériaux ont diminué depuis 2018 (c.-à-d., 18 % pour la fonte et 1 % pour l'amiante-ciment). Puisque les tuyaux en fonte et en amiante-ciment ne sont plus fabriqués et qu'ils atteignent la fin de leur durée de vie prévue, il semble qu'ils seront remplacés de manière proactive.

10. Environ 86 % des conduites d'eau ont un diamètre inférieur ou égal à 12 po

Cette enquête a révélé que 68 % des conduites d'eau principales ont un diamètre de 8 po ou moins et que les diamètres de 10 à 12 pouces représentent 18 % supplémentaires. En fonction de l'estimation de l'EPA de 2,2 millions de milles de conduites d'eau aux États-Unis, ces tailles correspondent à environ 1,9 million de milles de conduites. De même, en utilisant l'estimation de Statistique Canada de 133 000 milles de conduites d'eau, on estime qu'environ 115 000 milles de conduites au Canada ont un diamètre compris entre 3 et 12 pouces.

11. Pressions opérationnelles déclarées par les services publics

L'enquête de base a révélé une pression opérationnelle moyenne de 71 psi et une pression maximale moyenne de 120 psi. Des pressions semblables ont été signalées dans l'enquête 2018 de l'USU.

12. L'utilisation moyenne par personne est de 143 gallons par jour avec une demande de pointe qui augmente par un facteur de 1,6

D'après l'enquête détaillée, la demande moyenne en eau était de 143 gallons par jour et par personne, avec une demande de pointe de 247 gallons par jour et par personne. Dans l'enquête de 2018, la demande moyenne était de 137 gallons et la demande maximale de 251 gallons.

13. La perte moyenne d'eau due aux fuites est estimée à 11 %

Au total, 530 services publics ont fourni des estimations sur les pertes d'eau dues aux fuites. La valeur moyenne était de 11 %, contre 10 % en 2018.

14. Les taux de rupture globaux ont diminué de 20 % au cours des cinq dernières années

Alors que les taux de rupture sont restés constants pour la plupart des matériaux de tuyau au cours de la dernière décennie, le nombre total de ruptures de conduites d'eau entre 2018 et 2023 a diminué de 20 %, passant de 14 à 11,1 ruptures/100 milles/an. Cette diminution semble correspondre à une réduction des stocks de tuyaux en fonte et en amiante-ciment (qui présentent tous deux les taux de défaillance les plus élevés).

15. Environ 260 000 ruptures de conduites d'eau principales se produisent chaque année

Les États-Unis et le Canada connaissent environ 260 000 ruptures de conduites d'eau principales par an, ce qui représente environ 2,6 milliards \$ annuellement en frais d'entretien et de réparation.

16. Les tuyaux en PVC ont le taux de défaillance le plus bas parmi les matériaux courants pour les conduites de distribution d'eau

Lorsqu'on compare les matériaux de tuyau les plus courants (fonte, fonte ductile, PVC et amiante-ciment), le PVC présente le taux de défaillance global le plus faible et la fonte le taux le plus élevé, avec respectivement 2,9 et 28,6 ruptures/100 milles/an.

17. Les taux de rupture ne sont pas corrélés à la taille des services publics

Des taux de défaillance similaires ont été observés pour des services publics de différentes tailles (en longueur de conduites). Ces taux varient de 9,4 à 12,3 ruptures/100 milles/an.

18. Les conduites de distribution d'eau brisent cinq fois plus souvent que les conduites principales d'adduction d'eau

Les conduites de distribution d'eau (12 po et moins), qui représentent 86 % de toutes les conduites d'eau principales des États-Unis et du Canada, présentent des taux de défaillance globaux de 13,3 ruptures/100 milles/an, contre 2,2 ruptures/100 milles/an pour les conduites principales d'adduction d'eau. Certains matériaux présentent des différences significatives de taux de rupture entre les conduites principales d'adduction d'eau et les conduites de distribution d'eau.

19. Le taux de rupture cible pour le remplacement des conduites est de 21 ruptures/100 milles/an

Le taux moyen de rupture cible pour le remplacement des conduites était de 21 ruptures/100 milles/an. Toutefois, la plupart des répondants ont indiqué qu'ils n'avaient pas de taux cible en particulier.

20. Les services publics signalent constamment la présence de sols corrosifs

Au total, 75 % des services publics interrogés ont signalé une ou plusieurs zones présentant des sols corrosifs. Ces données correspondent aux rapports 2012 et 2018 de l'USU et à la carte de corrosivité des sols de l'USDA. Les services publics moyens sont aux prises avec un risque de corrosion modéré à élevé, ce qui démontre l'importance de l'atténuation de la corrosion pour les conduites d'eau.

21. La plupart des services publics utilisent des méthodes de protection contre la corrosion

Au total, 73 % des répondants à l'enquête ont déclaré utiliser une forme ou une autre de protection contre la corrosion, la méthode prédominante étant l'enrobage de polyéthylène (polywrap). D'autres méthodes ont été signalées, comme le zingage, les revêtements collés et la protection cathodique.

22. Les tuyaux en fonte ductile présentent un taux de ruptures plus de six fois supérieur dans des sols hautement corrosifs

L'analyse de la corrosivité du sol montre que les tuyaux en fonte ductile dans un sol très corrosif ont un taux de rupture plus de six fois supérieur à celui de la fonte ductile dans un sol peu corrosif.

23. Les défaillances liées aux travaux de construction sont les mêmes pour les tuyaux en fonte ductile et en PVC

En raison de leur utilisation prédominante, les tuyaux en fonte ductile et en PVC sont ceux qui subissent, de manière similaire, le plus de défaillances liées aux travaux de construction.

24. La durée de vie moyenne des conduites installées est de 78 ans

La durée de vie moyenne prévue des conduites actuellement installées est de 78 ans, contre 84 ans en 2018 et 79 ans en 2012. Compte tenu de la nature qualitative de cette question de l'enquête, l'âge typique d'une conduite d'eau principale défaillante et la durée de vie prévue des conduites n'ont pas changé de manière significative au cours de la dernière décennie.

25. La moyenne d'âge des conduites d'eau principales défaillantes est d'environ 53 ans

En 2012 et 2018, l'âge moyen des conduites d'eau défaillantes était respectivement de 47 et 50 ans. Dans la présente enquête, l'âge moyen des conduites d'eau principales défaillantes est de 53 ans. Notamment, 33 % des conduites d'eau ont plus de 50 ans, ce qui représente environ 770 000 milles aux États-Unis et au Canada.

26. Environ 20 % des conduites d'eau principales installées n'ont pas été remplacées par manque de fonds

Au total, 19,4 % des conduites d'eau principales installées ont dépassé leur durée de vie utile, ce qui représente environ 452 000 milles de tuyaux. En 2012 et 2018, les pourcentages étaient respectivement de 8 % et 16 %. Ce qui indique un manque de financement pour les infrastructures hydrauliques essentielles, estimées à 452 milliards \$.

27. Près de 70 % des services publics disposent d'un programme de remplacement des conduites

L'enquête a démontré que 69,9 % des services publics disposent d'un programme de remplacement des conduites.

Cela confirme que les services publics font un effort concerté pour remplacer activement les infrastructures vieillissantes et les conduites d'eau principales défaillantes.

28. L'acceptation des tuyaux en fonte ductile a diminué et celle de l'acier a augmenté

Le pourcentage de services publics qui approuvent l'utilisation de la fonte ductile est passé de 86 % en 2018 à 78 % en 2023, soit une réduction de 8 % de l'acceptation déclarée. Au cours de la même période, le pourcentage d'acceptation des tuyaux en acier a augmenté de 6 %, passant de 38 % à 44 %. Les taux d'approbation pour les autres matériaux de tuyau sont restés plus ou moins les mêmes.

29. La coupe de tranchée à ciel ouvert reste la principale méthode d'installation des tuyaux

Les résultats de l'enquête indiquent que 93 % des services publics utilisent des méthodes d'installation ou de remplacement de conduites à l'aide de coupe de tranchée à ciel ouvert. Environ 65 % des entreprises de services publics utilisent le forage directionnel. Le regarnissage et l'éclatement des conduites sont utilisés à un pourcentage de 32 % et 18 % respectivement.

30. Environ 44 % des services publics procèdent à l'évaluation de l'état des conduites d'eau principales

L'évaluation de l'état du réseau fait généralement partie d'un programme de gestion des actifs. Au total, 43,5 % des services publics effectuent, d'une façon quelconque, l'évaluation régulière de l'état du réseau.

Plus de 800 services publics ont participé à l'enquête, ce qui représente 30,1 % de la population et 17,1 % de la longueur totale estimée des conduites d'eau principales aux États-Unis et au Canada.

1.0 Introduction

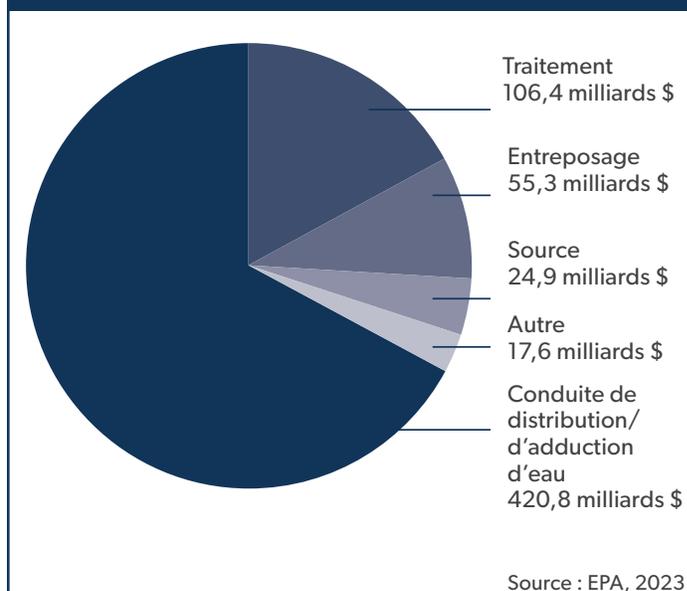
Selon l'enquête et l'évaluation des besoins en infrastructures d'eau potable (DWINSAs) de l'EPA, les besoins nationaux en eau potable sont estimés à 625 milliards \$ sur 20 ans (EPA, 2023). La figure 1 montre clairement que le coût total prévu pour l'entretien des conduites souterraines de distribution et de transport, soit 420,8 milliards \$, représente plus de 60 % des besoins de financement totaux de l'industrie de l'eau. Des coûts proportionnels semblables sont prévus pour le Canada. Ce besoin de financement pour les 20 prochaines années est nécessaire pour fournir de l'eau potable au public et comprend l'installation de nouvelles conduites d'eau potable et la réhabilitation et le remplacement des infrastructures de conduites enterrées existantes.

Ce rapport répond directement à la principale préoccupation de l'AWWA, à savoir le vieillissement des infrastructures et leur financement. Les résultats de l'enquête et ses conclusions fourniront aux services publics et aux gestionnaires d'actifs les renseignements nécessaires pour prendre de meilleures décisions financières et de performance à l'égard de leurs matériaux de tuyau afin d'améliorer la durabilité et l'accessibilité financière de leurs réseaux d'eau.

1.1 Utilisation des taux de rupture pour établir les cycles de remplacement

Selon une étude de la Water Research Foundation, 75 % des services d'eau ont cité les ruptures de conduites ou les fuites comme un critère essentiel dans les décisions de remplacement des conduites (Grigg, 2007). En raison des défis financiers auxquels sont confrontés les services d'eau, les données sur les taux de rupture de cette étude sont essentielles pour prendre des décisions sur l'entretien et le remplacement des conduites. Des systèmes d'infrastructure d'eau potable vieux de plusieurs décennies, la baisse de la consommation d'eau, les coûts de mise en conformité avec la réglementation et la stagnation du crédit fédéral [à l'exception des récents programmes de financement des infrastructures] ont eu pour conséquence que de nombreux services d'eau ont du mal à assumer les coûts d'exploitation et d'entretien de ces systèmes (ASCE, 2021). La réparation et le remplacement des infrastructures vieillissantes, le financement des améliorations des immobilisations et la garantie du recouvrement des coûts sont régulièrement identifiés comme des questions clés dans les enquêtes de l'AWWA sur l'état de l'industrie de l'eau. Enfin, ces questions restent importantes, car de nombreux réseaux d'adduction d'eau et d'assainissement construits et financés par les générations précédentes approchent ou ont dépassé leur durée de vie utile [et] sont maintenant confrontés à un besoin critique de renouvellement et de remplacement (AWWA, 2023).

FIGURE 1 : BESOINS TOTAUX SUR 20 ANS PAR CATÉGORIE DE PROJET D'INFRASTRUCTURE (EN DOLLARS, 2021)



8

Il convient de prendre en considération le coût le plus bas du cycle de vie, qui comprend le rendement des tuyaux, l'entretien, la surveillance, les réparations et le remplacement. Selon un rapport de la Conférence des Maires des États-Unis, les matériaux de tuyau qui ne provoquent que peu de ruptures dans les conduites principales ont un coût de propriété moins élevé et répondent aux préoccupations en matière d'accessibilité financière et de durabilité liées au vieillissement des infrastructures d'adduction d'eau. *Les dépenses consacrées aux tuyaux peuvent varier considérablement et l'on s'attend à ce que des coûts de remplacement importants soient imminents à mesure que les tuyaux existants, en particulier les tuyaux en fonte [et en amiante-ciment], approchent de la fin de leur durée de vie théorique... Les gestionnaires des réseaux d'adduction d'eau et d'égouts se demandent régulièrement s'il faut réparer ou remplacer les tuyaux. En cas de réparation, comment doit-on procéder, à quel endroit et pour quelle mesure linéaire? En cas de remplacement, il faut également tenir compte du matériau des tuyaux qui présente le meilleur rapport qualité-prix* (Anderson, 2018).

Le même rapport précise que les ruptures de conduites principales peuvent poser des problèmes de santé, en soulignant que : *le risque d'incidence sur la santé augmente en cas de rupture de conduites, et parfois lorsque les protocoles de traitement ou de film biologique sont changés ou modifiés. La défaillance des tuyaux peut causer la présence de parasites d'origine hydrique et d'éléments inorganiques dans le robinet* (Anderson, 2018).

Le rapport de la Conférence des Maires énumère d'autres facteurs à considérer lors du remplacement des conduites, outre le respect des normes requises. Il précise ce qui suit : *Pourquoi les tuyaux sont-ils défectueux malgré les normes de performance établies? Les normes décrivent les performances mécaniques nécessaires à une application ou, dans le cas de la norme ANSI/NSF 61, la conformité du tuyau à toutes les réglementations sanitaires relatives aux matériaux entrant en contact avec l'eau potable. Toutefois, les normes relatives aux tuyaux ne précisent pas le type de tuyaux à acheter ni les facteurs environnementaux susceptibles de causer sa défaillance prématurée, notamment la corrosivité du sol local, les conditions sismiques ou d'utilisation. Pour les tuyaux existants, l'âge est également un facteur important.* (Conférence des Maires des É.-U., 2018).

Ce rapport peut aider les responsables des services publics à prendre des décisions éclairées concernant les matériaux de tuyau, l'environnement d'installation et le rendement des tuyaux. Lors du remplacement des anciens tuyaux, il est important de prendre en compte les taux de rupture dans le cadre de la gestion des actifs.

2.0 L'outil d'enquête

2.1 Méthodologie

En 2022, l'Université d'État de l'Utah a mené une enquête auprès des services publics des États-Unis et du Canada afin d'obtenir des données sur les défaillances des conduites principales des systèmes d'adduction d'eau. L'étude comprenait deux volets : une enquête de base et une enquête détaillée. L'enquête de base avait comme objectif principal d'examiner le nombre de défaillances rencontrées par les services publics et la manière dont ces défaillances étaient liées aux matériaux utilisés pour les conduites. Cet effort s'est concentré sur les conduites d'adduction d'eau principales et excluait les tuyaux d'un diamètre inférieur à 3 pouces. Les égouts par gravité et les égouts de refoulement principaux ont également été exclus. L'un des objectifs de l'enquête de base et de l'enquête détaillée était d'examiner le rendement des matériaux de tuyau à un moment donné et de déterminer l'influence des différents facteurs sur les taux de défaillance. Pour sa part, l'enquête détaillée avait comme objectif d'obtenir des renseignements supplémentaires comme la durée de vie prévue des conduites, la taille et la répartition de l'âge des différents matériaux de tuyau, et les méthodes de protection contre la corrosion.

Bien que les enquêtes aient été réalisées en 2022, le présent rapport fait référence aux résultats en tant qu'« Enquête 2023 » pour tenir compte de la date à laquelle les données ont été compilées et analysées. Cela comprenait le contrôle de la qualité des données, les appels téléphoniques de suivi et la validation des données. Les participants à l'enquête de base ont été invités à fournir des données pour les 12 mois précédents (2021 et 2022) ainsi que pour les 5 années précédentes (2017 à 2022). Au total, 802 réponses à l'enquête de base ont été reçues de 49 des 50 États américains et des 10 provinces canadiennes (figure 2). Sur les 802 services publics :

- ▶ 791 ont fourni des données sur la répartition des tuyaux.
- ▶ 778 ont soumis des données sur les ruptures sur une période de 12 mois.
- ▶ 690 ont inclus des données pour une période de 5 ans.
- ▶ 172 répondants ont participé à l'enquête détaillée.

FIGURE 2 : CARTE DU SIG MONTRANT LES SERVICES PUBLICS AYANT FOURNI DES DONNÉES GÉORÉFÉRENCÉES



Pour cette étude, les États-Unis et le Canada ont été divisés en neuf régions (figure 3). Les répondants à l'enquête de base ont été classés par région et par taille de service public en fonction de leur nombre total de milles de conduites. L'enquête représente 399 812 milles de conduites, comme l'illustre le tableau 1. Ce rapport présente les résultats de l'enquête de base et de l'enquête détaillée, et s'appuie sur d'autres sources industrielles pertinentes.

2.2 Objectifs de l'analyse des données

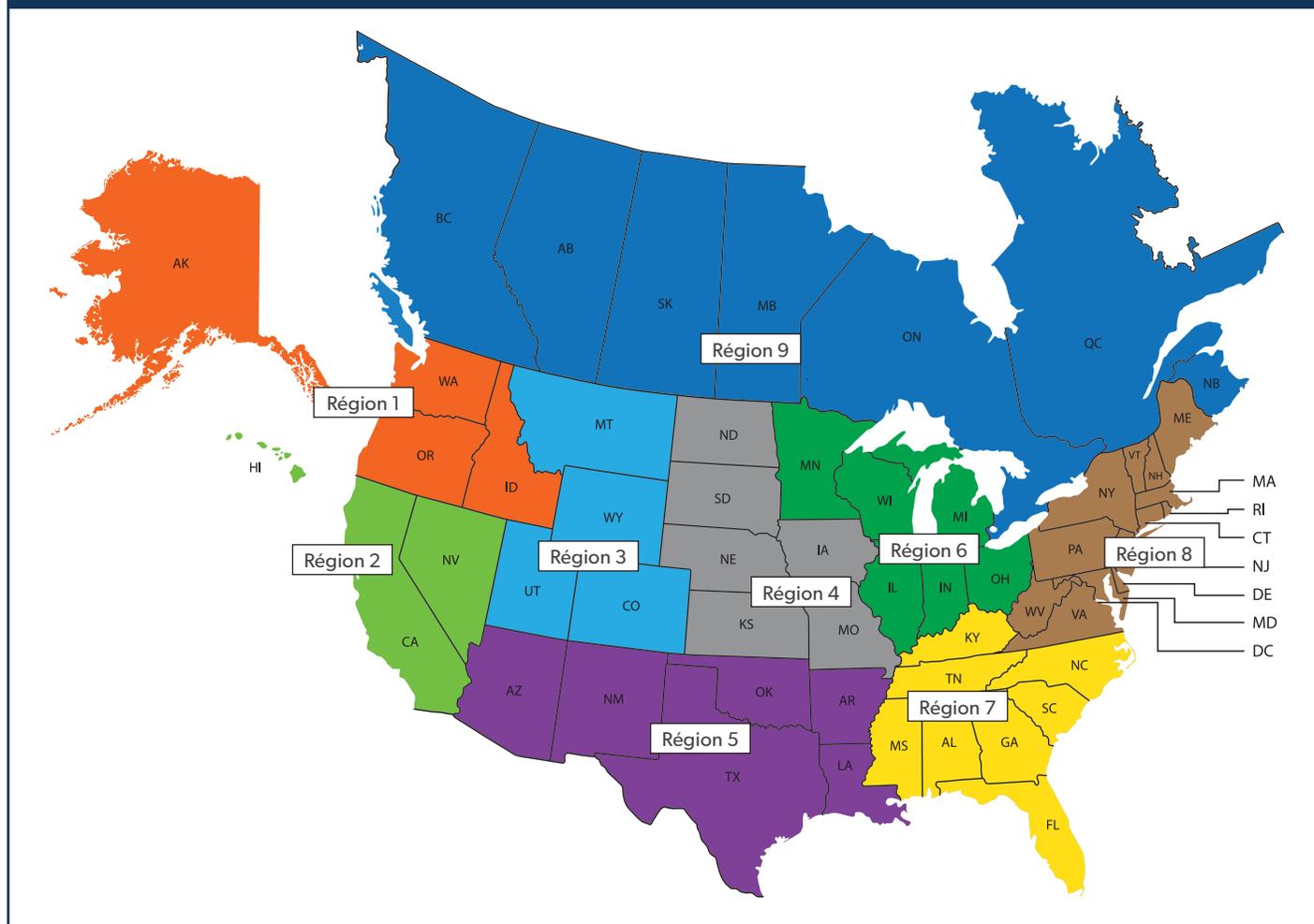
Le grand nombre de données fournies par les répondants à l'enquête a permis aux chercheurs d'acquérir une compréhension globale des éléments suivants :

- ▶ Tendances des matériaux de tuyau et taux de rupture entre les enquêtes de 2012, 2018 et 2023 de l'Université d'État de l'Utah
- ▶ Répartition par âge et par taille des conduites dans les services d'eau
- ▶ Défaillances des conduites par type de matériau et par diamètre, au fil du temps
- ▶ Modes de défaillance des conduites les plus courants
- ▶ L'ampleur des sols corrosifs
- ▶ L'influence des sols corrosifs sur les taux de rupture
- ▶ Méthodes de prévention de la corrosion utilisées
- ▶ Durée de vie prévue de la nouvelle conduite
- ▶ Méthodes d'évaluation de l'état
- ▶ Matériaux de tuyau approuvés
- ▶ Comment les taux de rupture sont-ils influencés par le diamètre des tuyaux
- ▶ Pression d'eau typique et maximale dans les conduites d'eau principales
- ▶ Demande d'eau quotidienne moyenne et maximale

TABLEAU 1 : RÉPONDANTS À L'ENQUÊTE DISPOSANT DE DONNÉES SUR LA DISTRIBUTION DES CONDUITES D'EAU PRINCIPALES, PAR RÉGION

Région	Enquête de base			Enquête détaillée		
	Répondants	Milles	Population	Répondants	Milles	Population
1	55	18 324	6 338 698	12	4 993	1 240 780
2	96	58 962	21 108 534	17	15 795	6 072 746
3	82	21 001	6 519 209	17	7 912	3 287 568
4	64	34 812	4 559 307	19	11 224	1 887 156
5	83	65 000	16 142 968	25	35 962	8 880 595
6	160	51 789	11 291 816	29	13 153	3 745 325
7	96	67 813	15 270 961	16	21 990	6 646 445
8	80	50 057	14 021 005	18	11 378	3 480 980
9	75	32 054	17 353 584	19	11 216	9 691 901
Total	791	399 812	112 606 082	172	133 623	44 933 496

FIGURE 3 : RÉGIONS UTILISÉES POUR COMMUNIQUER LES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE



2.3 Régions de l'enquête

Afin de faciliter les comparaisons directes avec les enquêtes précédentes de l'Université, on a fait appel à neuf régions aux États-Unis et au Canada (figure 3). Les régions sont utilisées en vue d'illustrer les variations géographiques. Au total, 791 services publics ont fourni des données sur la répartition des conduites. Le tableau 1 indique le nombre de répondants ayant fourni des données sur la répartition des matériaux des tuyaux, la longueur (en milles) des conduites et la population servie dans le cadre des enquêtes de base et détaillée dans chaque région.

Il a été demandé aux répondants d'indiquer la longueur des conduites d'eau principales de leur réseau, mais de ne pas inclure les tuyaux d'égout par gravité, les conduites de refoulement d'égout ou les tuyaux d'eau d'un diamètre inférieur à 3 po. La figure 4 illustre la longueur (en milles) de conduites d'eau principales signalées dans les enquêtes de base et détaillée sur une base régionale. Un total de 399 812 milles et 133 623 milles de conduites ont été signalés dans les enquêtes de base et détaillée, respectivement. La figure 5 illustre le nombre de répondants dans chaque région. En raison du grand nombre de réponses des services publics et de la large représentation et répartition de toutes les régions illustrées à la figure 2, il s'agit de l'enquête la plus complète sur les ruptures de conduites d'eau principales à ce jour.

FIGURE 4 : MILLES DE TUYAUX DANS CHAQUE RÉGION POUR LES ENQUÊTES DE BASE ET DÉTAILLÉE

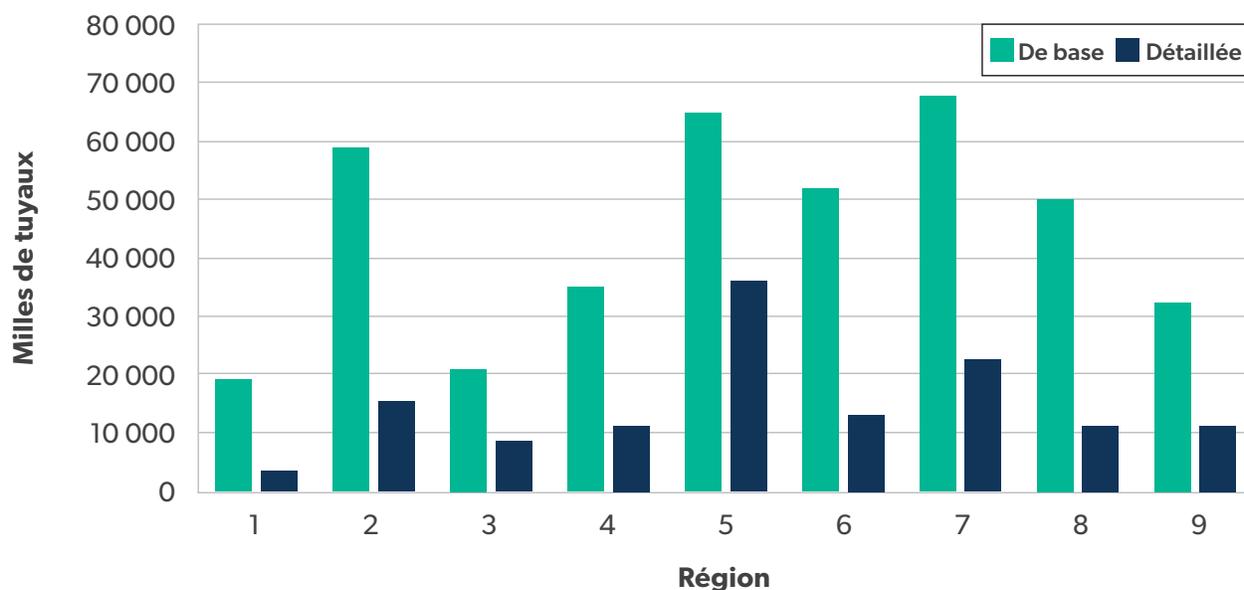
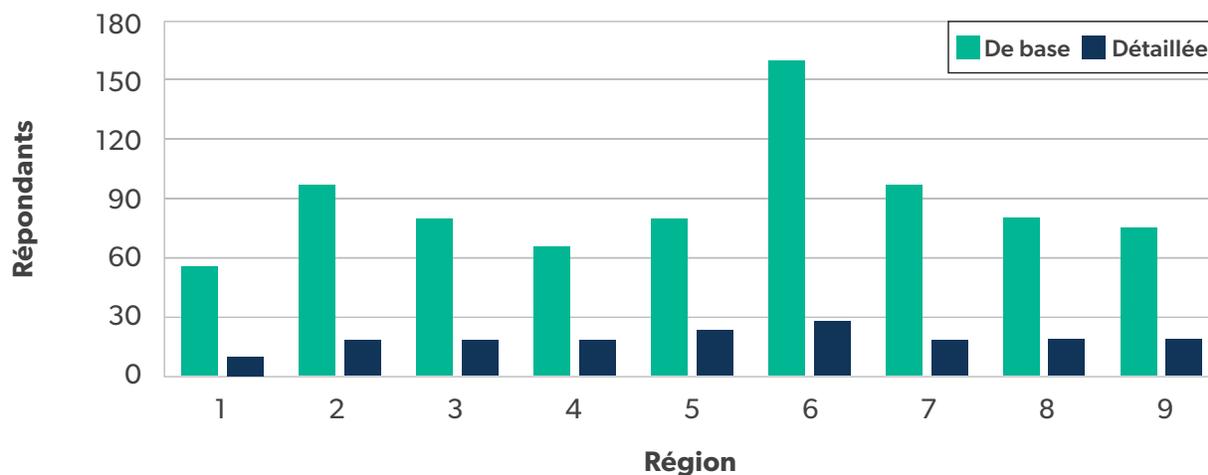
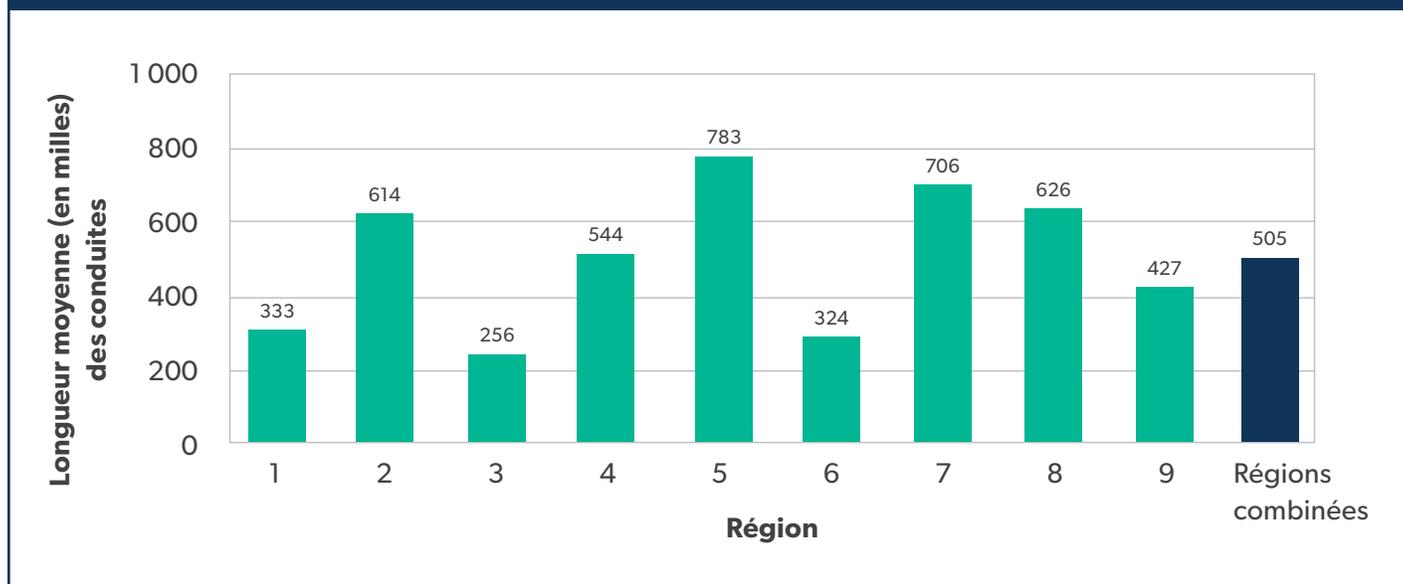


FIGURE 5 : RÉPONDANTS PAR RÉGION POUR LES ENQUÊTES DE BASE ET DÉTAILLÉE



Comme l'illustre la figure 4, ce sont les régions 5 et 7 qui ont déclaré le plus grand nombre de milles de tuyaux dans l'enquête de base. La figure 5 indique que le plus grand nombre de répondants provient de la région 6. La figure 6 illustre la longueur moyenne (en milles) des conduites par service public dans l'enquête de base, par région. C'est dans la région 5 que la longueur moyenne des tuyaux était la plus élevée (783 milles) et dans la région 3 qu'elle était la plus courte (256 milles). La longueur moyenne (en milles) des conduites représentées par personne interrogée est de 505 milles (figure 6), servant une population moyenne de 146 432 habitants (figure 7). À titre de comparaison, les enquêtes de 2012 et de 2018 ont révélé que des services publics de moyenne taille disposaient de 626 et 607 milles de tuyaux servant respectivement 164 325 et 186 752 personnes. La diminution de la longueur moyenne (en milles) des conduites par service public et de la population moyenne servie semble indiquer une plus grande participation des services publics de petite taille à cette enquête. L'enquête de base réalisée en 2023 a compté 2,8 fois plus de répondants et 2,34 fois plus de milles de conduites qu'en 2018, ce qui accroît la validité statistique de cette enquête.

FIGURE 6 : LONGUEUR MOYENNE (EN MILLES) DES CONDUITES PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE)



2.4 Taille du réseau des participants à l'enquête

La figure 7 montre la population moyenne servie par les services publics pour chaque région. La population moyenne servie par les services publics pour l'enquête de base était de 146 432 personnes.

Dans le présent rapport, les services publics ont été regroupés en quatre catégories en fonction du nombre de milles conduites maîtresses en service, comme l'illustre le tableau 2. La figure 8 illustre la répartition du nombre total de conduites (en milles) de l'enquête de base selon ces catégories (graphique à barres avec axe gauche) ainsi que le nombre de répondants (graphique linéaire avec axe droit). Le nombre total de milles de conduites est réparti uniformément en termes de longueur de conduites au sein de chaque taille de services publics (du plus petit au plus grand). La figure 9 illustre comment la proportion de services publics de petite taille dans l'enquête est passée de 68 % en 2018 à 75 % en 2023. Le nombre de services publics déclarés dans les quatre groupes de taille a augmenté de manière importante entre 2018 et 2023.

TABLEAU 2 : GROUPES PAR TAILLE DE SERVICES PUBLICS

Description	Milles de tuyaux installés
Services publics/ville de petite taille	0 à 500 milles
Services publics/ville de moyenne taille	500 à 1 500 milles
Services publics/ville de grande taille	1 500 à 3 000 milles
Services publics/ville de très grande taille	Plus de 3 000 milles

FIGURE 7 : POPULATION SERVIE PAR SERVICE PUBLIC PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE)

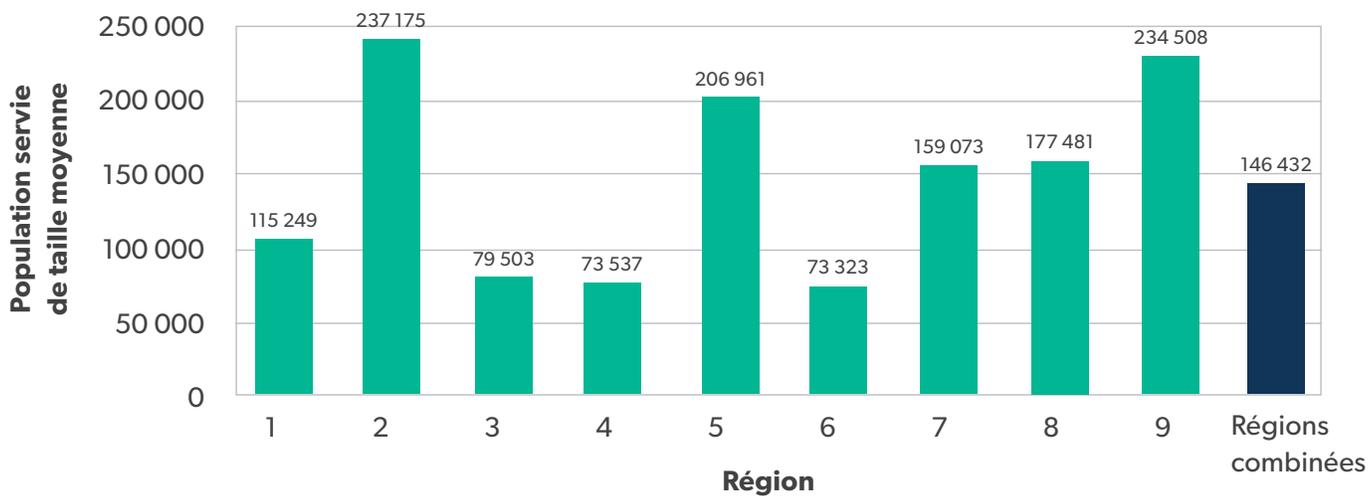


FIGURE 8 : LE NOMBRE TOTAL DE MILLES DE CONDUITES DANS CHAQUE GROUPE DE TAILLE ET LE NOMBRE DE RÉPONDANTS (ENQUÊTE DE BASE)

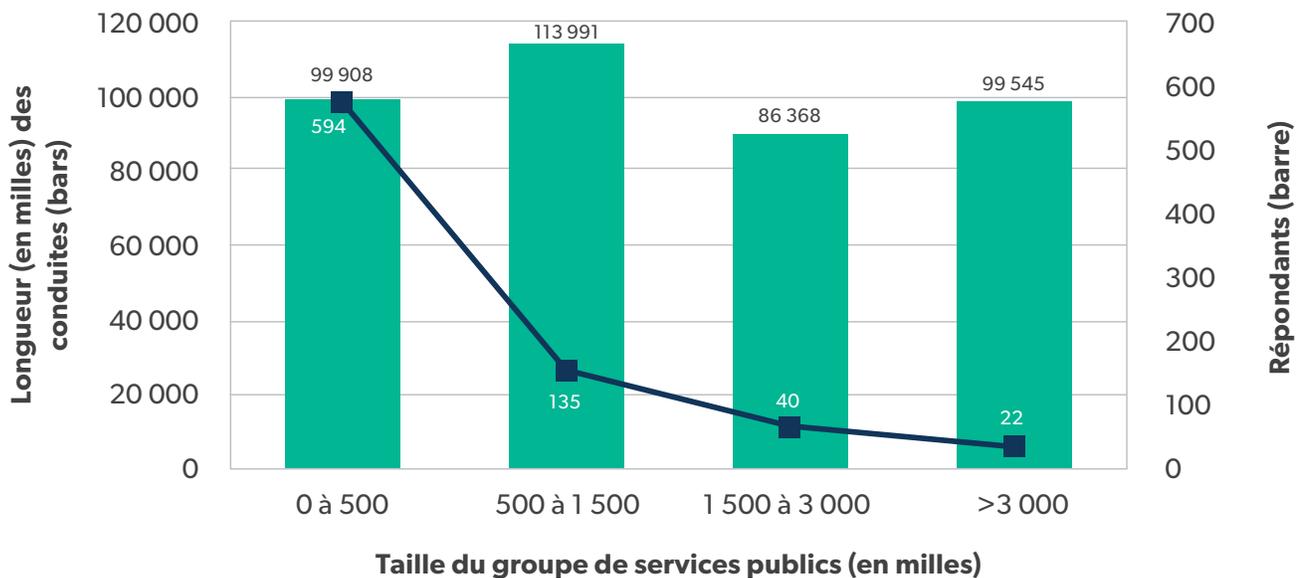
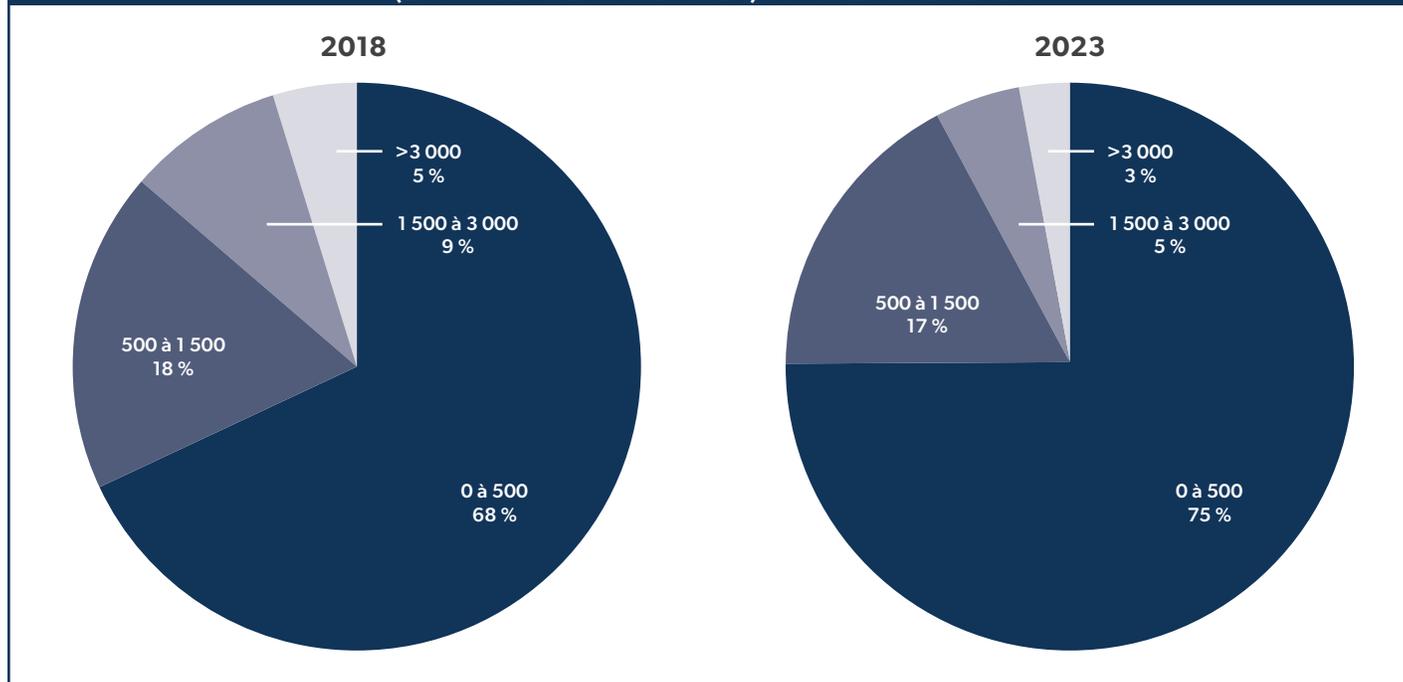


FIGURE 9 : RÉPARTITION EN FONCTION DE LA TAILLE DU GROUPE DE SERVICES PUBLICS (EN MILLES DE CONDUITES) POUR 2018 ET 2023



2.5 Milles de tuyaux c. population

La figure 10 illustre la répartition de la population servie par les services publics participant à l'enquête de base par rapport au nombre de milles de conduites d'eau principales. La figure 11 montre la population de taille moyenne servie par mille de conduite pour chaque région, ce qui donne une moyenne globale de 287 personnes servies par mille. L'enquête réalisée en 2018 indique que cette valeur est de 308, tandis que l'enquête de 2012 indiquait 264 personnes servies par mille. Les services publics qui fournissaient exclusivement des données sur les conduites d'adduction d'eau n'ont pas été pris en compte (il s'agit généralement de fournisseurs d'eau en gros). Les réseaux de distribution d'eau ayant une densité plus élevée de personnes servies par mille ont un risque accru de défaillance et peuvent nécessiter un niveau plus élevé de surveillance des actifs.

FIGURE 10 : POPULATION SERVIE PAR RAPPORT À LA LONGUEUR (EN MILLES) DE CONDUITES (ENQUÊTE DE BASE)

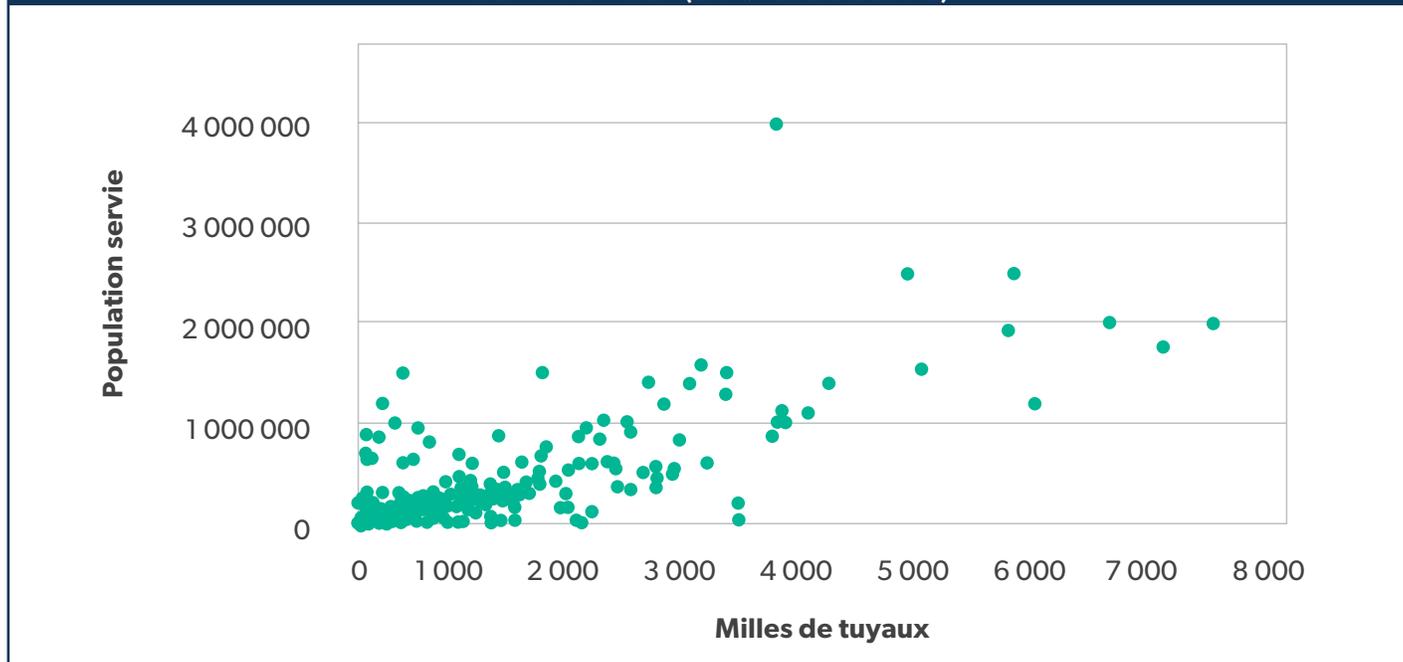
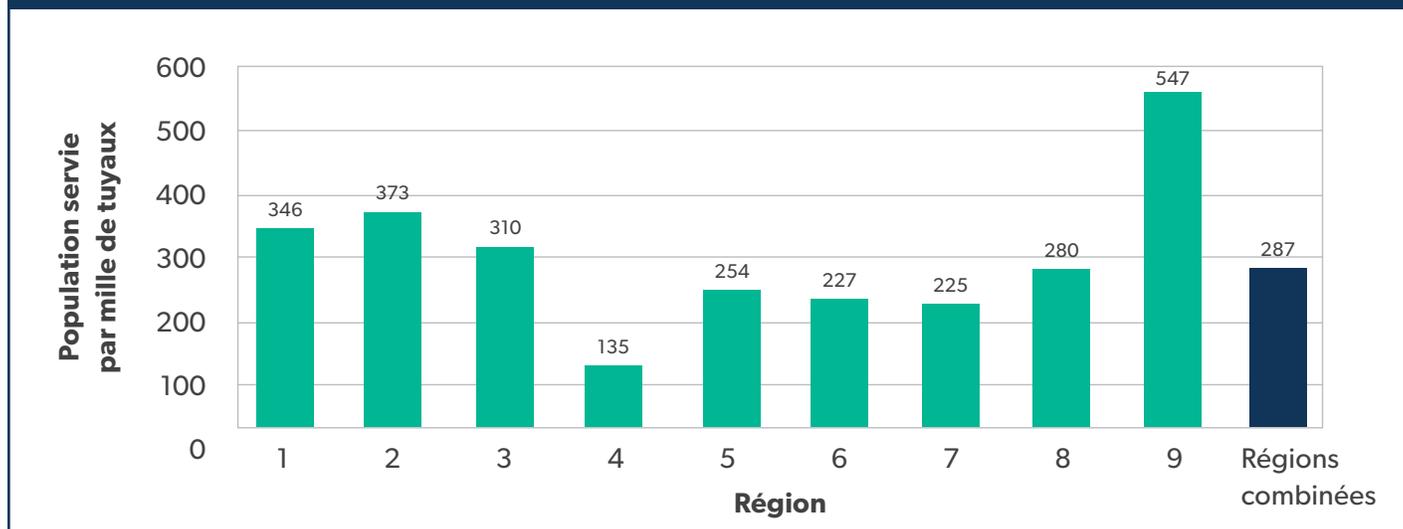


FIGURE 11 : POPULATION SERVIE PAR MILLE DE CONDUITE PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE)



2.6 Longueur totale des conduites et population aux États-Unis et au Canada

Selon l'enquête, la longueur totale des conduites d'eau aux États-Unis et au Canada est de 399 812 milles. La dernière estimation de l'EPA est de 2,2 millions de milles de conduites d'eau principales aux États-Unis (EPA, 2018; ASCE, 2021). En divisant la population des États-Unis, qui est de 334,2 millions (US Census Bureau, 2023), par 287 personnes/mille de conduites, comme le montre la figure 11, on obtient 1,16 million de milles de conduites (contrairement aux données de l'EPA, qui sont de 2,2 millions de milles). La différence entre ces deux valeurs serait due au nombre de petits réseaux de distribution d'eau communautaires comptant 500 clients ou moins, soit un total d'environ 29 000 services publics (EPA, 2011). Ce rapport présente une représentation beaucoup plus importante de ces services publics de petite taille que les enquêtes précédentes. La population du Canada est estimée à 39,5 millions d'habitants (Statistique Canada, 2023). En divisant 39,5 millions par 287 personnes/mille de tuyau, on obtient 137 000 milles de tuyau. Ce nombre correspond étroitement aux 133 000 milles de tuyaux estimés par Statistique Canada en 2020 et présentés dans le tableau 3. Le tableau 3 montre également que cette enquête couvre environ 30,1 % de la population et 17,1 % des conduites d'eau principales, ce qui présente un échantillon à la fois complet et fiable.

Les services d'eau de petite taille pourraient avoir du mal à renouveler leurs infrastructures dans les années à venir. Ils sont moins peuplés et comptent moins de clients par mille de conduites, ce qui a pour effet d'alourdir la charge financière que représente l'entretien de ces systèmes.

TABLEAU 3 : ESTIMATION DE LA COUVERTURE DE L'ENQUÊTE DE BASE

	Population	Milles de tuyaux
É.-U.*	334 200 000	2 200 000
Canada*	39 500 000	133 000
Total	373 700 000	2 333 000
Réponse à l'enquête aux États-Unis	95 252 498	367 758
Réponse à l'enquête au Canada	17 353 584	32 054
Total des réponses à l'enquête (accompagné des données sur les conduites)	112 606 082	399 812
Couverture de l'enquête aux États-Unis (%)	28,5 %	16,7 %
Couverture de l'enquête au Canada (%)	43,9 %	24,1 %
Total de la couverture de l'enquête (%)	30,1 %	17,1 %

* La population et le nombre de milles de conduites proviennent de l'EPA, du US Census Bureau et de Statistique Canada.

3.0 Matériau des tuyaux et répartition

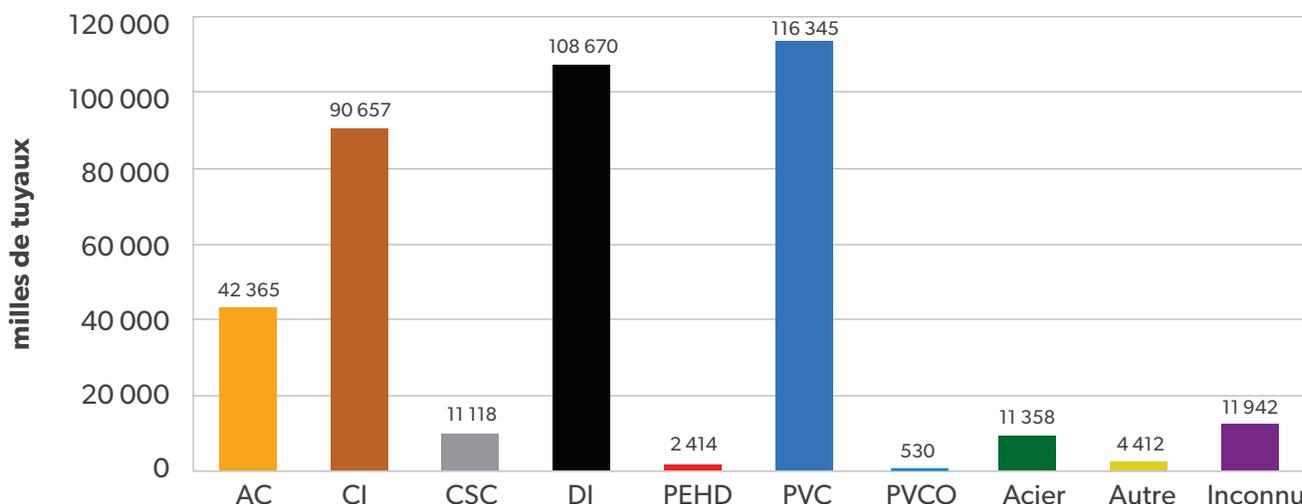
Cette étude avait comme objectif de déterminer les taux de rupture précis pour chaque matériau de tuyaux. Pour ce faire, il a fallu prélever un nombre important d'échantillons de chaque matériau dans toutes les tailles de conduites (3 po et plus), y compris les conduites principales de distribution et d'adduction d'eau. Le tableau 4 énumère les matériaux de tuyau et leurs abréviations telles qu'elles sont utilisées dans le présent rapport. Les caractéristiques des conduites d'eau principales comprennent le diamètre du tuyau, l'épaisseur de sa paroi, les méthodes de protection contre la corrosion, etc. Ces facteurs, ainsi que les pratiques d'installation et les conditions environnementales, influent sur la durée de vie des tuyaux. Les enquêtes de base et détaillée étaient toutes deux simples à remplir, ce qui a encouragé la participation des services d'eau. Toutefois, la plupart des services publics ne disposent que de peu de renseignements sur les matériaux spécifiques utilisés pour les conduites il y a plusieurs décennies et sur les mesures de protection contre la corrosion qui ont été prises dans le passé. Cette enquête se concentre principalement sur le matériau et le diamètre des tuyaux.

La figure 12 illustre la longueur des conduites par type de matériau rapporté dans l'enquête de base. La catégorie « Autres » de la figure 12 comprend des matériaux tels que le bois et la fibre de verre. La catégorie « Inconnu » comprend la longueur rapportée pour un matériau de tuyau non identifié. Lorsque l'analyse ne porte que sur une petite partie de la longueur (en milles) de la conduite, les taux de rupture calculés ne sont plus fiables. Très peu de tuyaux en polyéthylène haute densité (PEHD) et de polychlorure de vinyle à molécules orientées (PVCO) ont été signalés dans cette enquête, de sorte que ces deux matériaux ainsi que les matériaux de la catégorie « Autres » ont été exclus de l'analyse du taux de défaillance. Les tuyaux en acier enrobé de béton (CSC) ont également été omis de l'analyse, car les données ne comprenaient que les conduites d'adduction d'eau de grand diamètre et non les tuyaux de plus petite taille.

TABLEAU 4 : TYPES DE MATÉRIAUX ET LEURS ABRÉVIATIONS

Abréviation	Description
AC	Amiante-ciment
CI	Fonte
CSC	Acier enrobé de béton
DI	Fonte ductile
PEHD	Polyéthylène haute densité
PVC	Polychlorure de vinyle
PVCO	PVC orienté moléculairement
Acier	Acier

FIGURE 12 : MILLES DE TUYAUX PAR TYPE DE MATÉRIAU (ENQUÊTE DE BASE)



La figure 13 illustre le pourcentage de la longueur totale des conduites d'eau principales en fonction du matériau utilisé. Il est important de noter que près de 90 % des conduites d'eau principales signalées sont en fonte (CI), en amiante-ciment (AC), en fonte ductile (DI) et en polychlorure de vinyle (PVC). Ce résultat est conforme aux études antérieures de l'USU (Folkman, 2012 ; 2018). L'EPA fournit un résumé des dates d'utilisation de ces matériaux : *La majorité des conduites de distribution d'eau installées aux États-Unis, depuis la fin des années 1800 jusqu'à la fin des années 1960, étaient fabriquées en fonte... ce que l'on appelle aujourd'hui les conduites en fonte coulée en fosse. En 1920, le processus de moulage par centrifugation des tuyaux dans un moule en sable est apparu... appelé tuyau en fonte centrifugé (qui a été couramment installé jusqu'aux années 1970). L'amiante-ciment est devenu commercialement disponible dans les années 1930 et a été couramment installé dans les années 1950 et 1960. L'utilisation de tuyaux en fonte ductile a suivi à la fin des années 1960. Peu après le lancement de la fonte ductile, l'utilisation du chlorure de polyvinyle (PVC) dans ce pays a commencé à émerger dans les années 1970 (EPA, 2002).*

Comme l'illustre la figure 13, les pourcentages pour les tuyaux en fonte et en amiante-ciment installés en 2023 sont respectivement de 22,7 % et 10,6 %. La figure 13 illustre également que le PVC a le pourcentage le plus élevé de tous les matériaux de tuyau (29,1 %), suivi des tuyaux en fonte ductile (27,2 %). Comme l'illustre la figure 14, en 2018, les tuyaux en fonte et en amiante-ciment représentaient respectivement 28,4 % et 12,7 % de tous les milles de tuyaux. Les stocks combinés de ces deux matériaux étaient de 41,1 % en 2018 et de 33,3 % en 2023. Cela représente une réduction de 7,8 % des stocks de tuyaux déclarés. Au cours de la même période de cinq ans, la longueur des tuyaux en PVC déclarés a augmenté de 7 % et le diamètre intérieur est resté à peu près le même. Il convient de noter que la réduction des tuyaux en fonte et en amiante-ciment est similaire à l'augmentation de la longueur installée des tuyaux en PVC.

FIGURE 13 : POURCENTAGE DE LA LONGUEUR DES CONDUITES PAR TYPE DE MATÉRIAU (ENQUÊTE DE BASE)

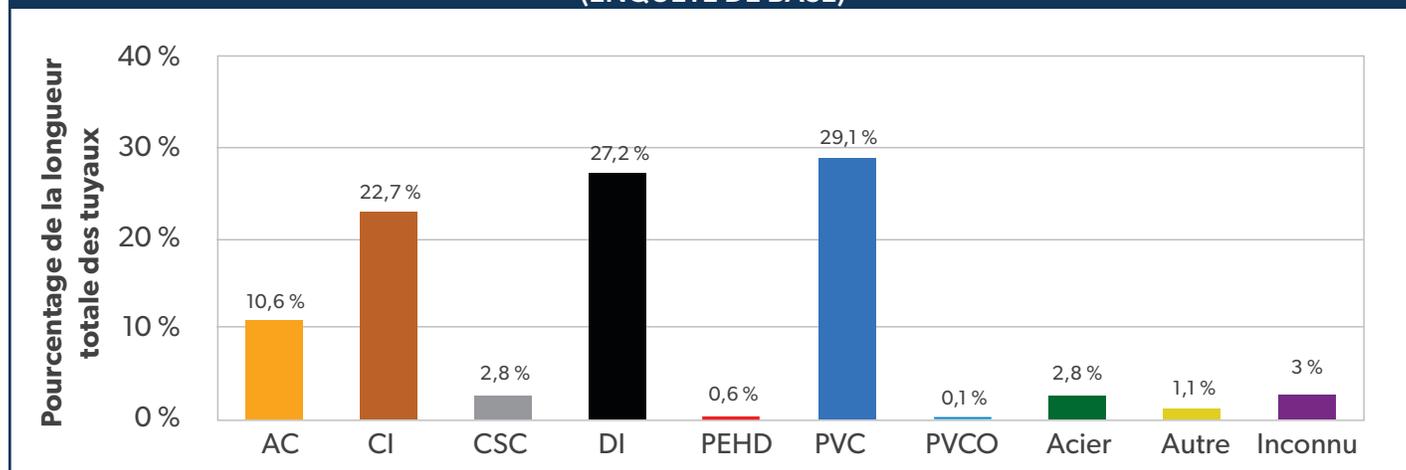
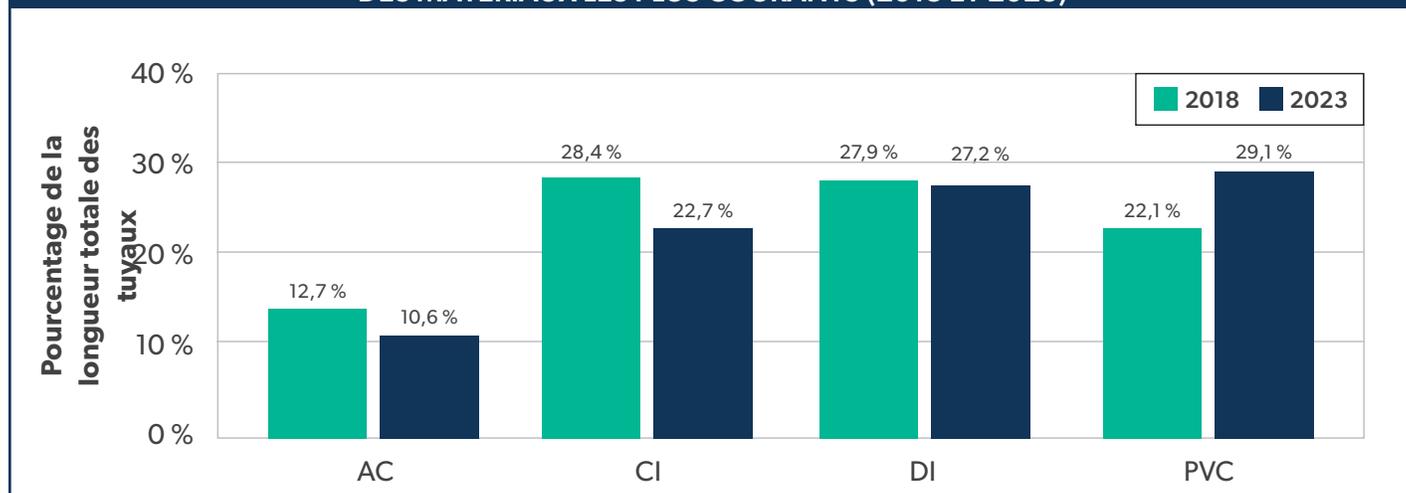


FIGURE 14 : POURCENTAGE DE LA LONGUEUR DES CONDUITES DES MATÉRIAUX LES PLUS COURANTS (2018 ET 2023)



La figure 15 illustre à nouveau les régions représentées dans le rapport. La figure 16 illustre la répartition régionale de l'utilisation de matériaux pour les conduites sous forme de pourcentage de la longueur totale dans cette région. Il est intéressant de noter les différences significatives dans l'utilisation des matériaux de tuyau au niveau régional. Les tuyaux en fonte sont prédominants dans la région 8, tandis que les tuyaux en fonte ductile sont prédominants dans les régions 1 et 6. Le PVC joue un rôle de premier plan dans les régions 3, 4, 5, 7 et 9. Les tuyaux en amiante-ciment sont très présents dans la région 2.

FIGURE 15 : RÉGIONS UTILISÉES POUR COMMUNIQUER LES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

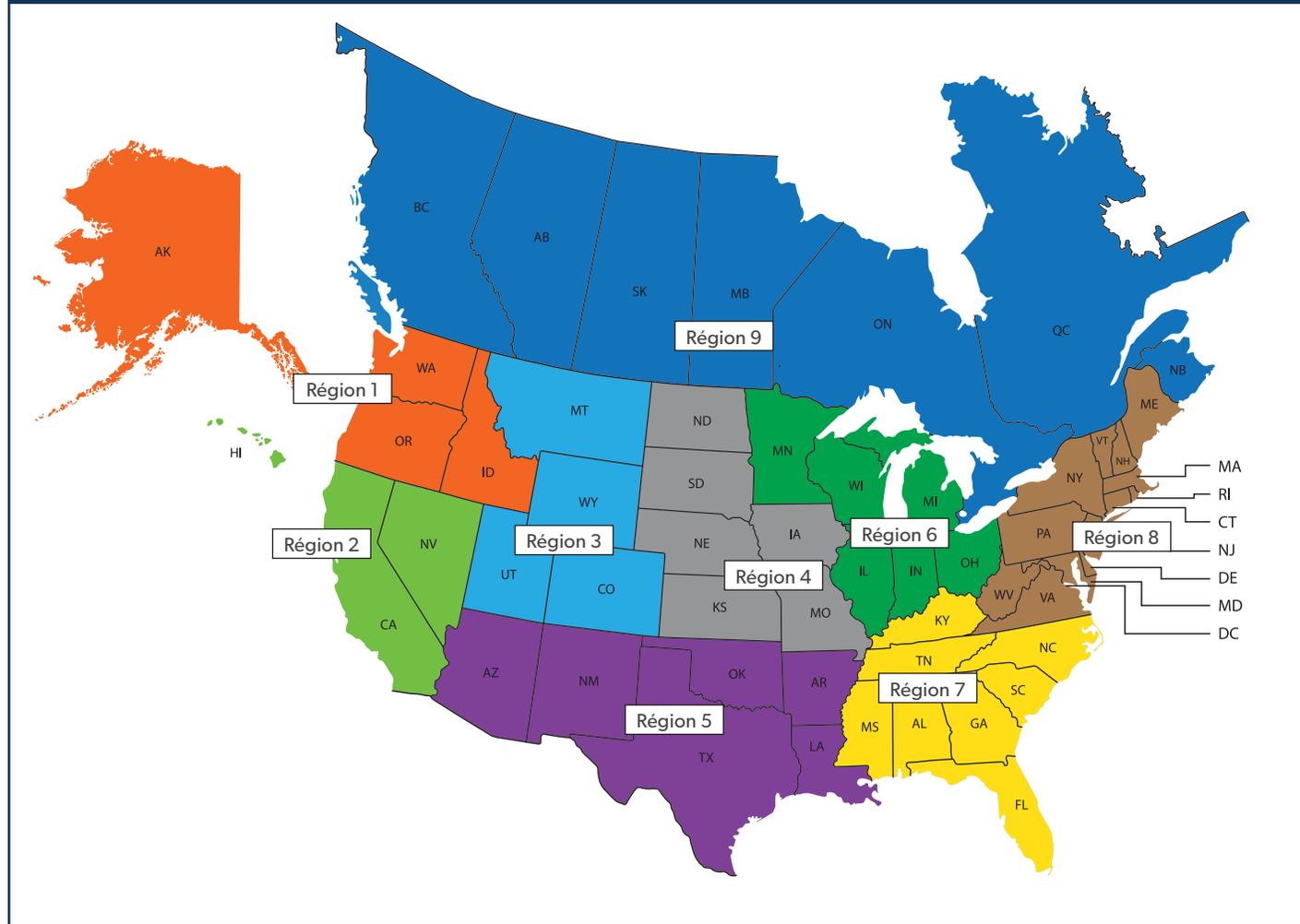
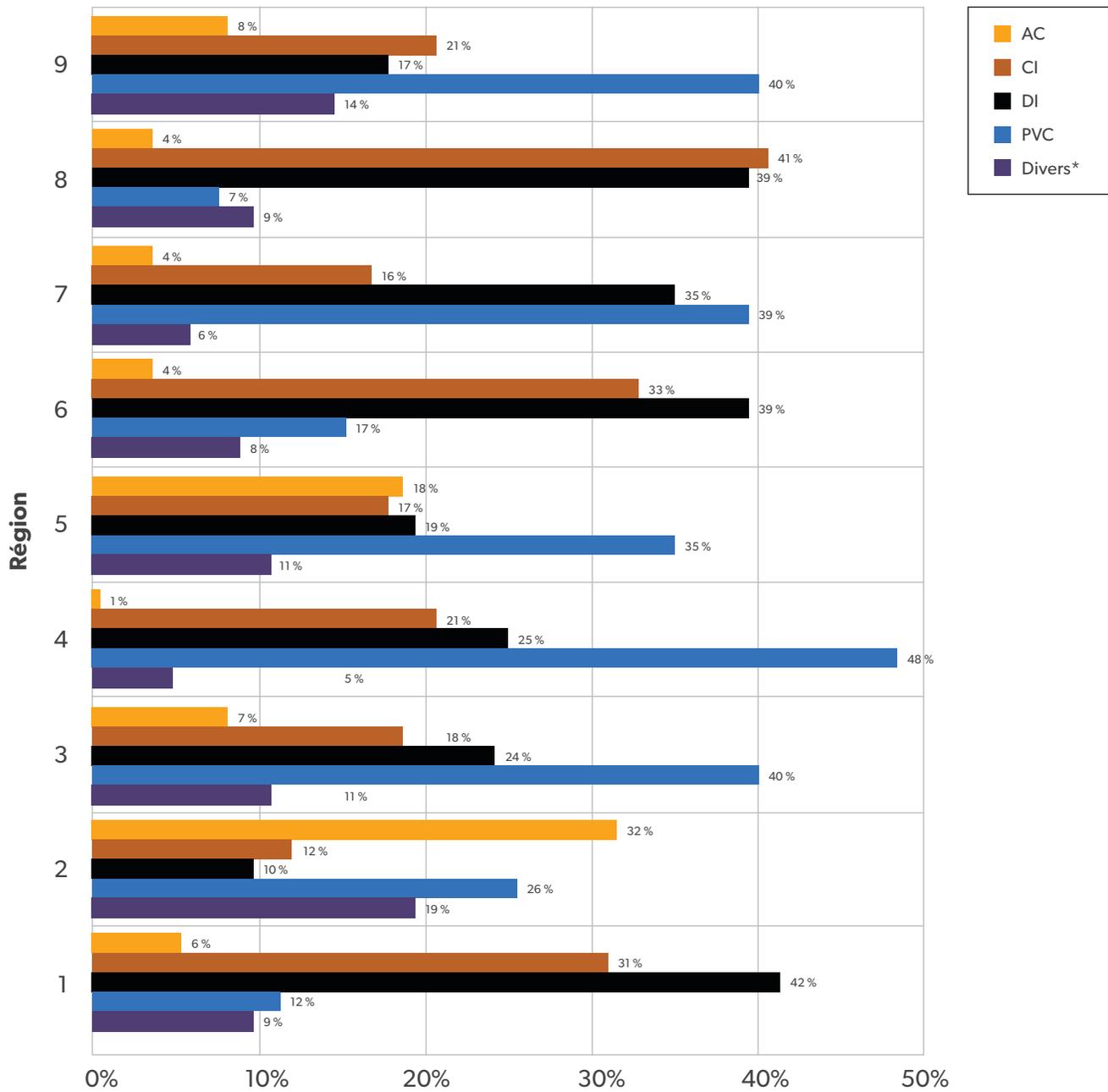


FIGURE 16 : UTILISATION DE MATÉRIAUX DE TUYAU EN POURCENTAGE | DE LA LONGUEUR TOTALE PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE)



Pourcentage de la longueur des matériaux de tuyau par région

* La catégorie « Divers » regroupe tous les matériaux de tuyauterie représentant 3 % ou moins de la longueur totale de la tuyauterie : CSC (2,8 %), PEHD (0,6 %), PVCO (0,1 %), acier (2,8 %), autres (1,1 %) et inconnu (3 %).

L'addition de toutes les valeurs de chaque région correspond à 100 %.

Les figures 17, 18 et 19 illustrent l'utilisation des matériaux des conduites, comme indiqué dans les enquêtes de l'USU de 2012, 2018 et 2023, respectivement. Chaque région de la carte est colorée en fonction du matériau prédominant des conduites qui y sont installées. La comparaison de ces données permet de comprendre les tendances significatives de l'utilisation des tuyaux aux États-Unis et au Canada au cours de la dernière décennie, qui sont les suivantes :

- ▶ Les régions 1 et 6 se dirigent vers la fonte ductile.
- ▶ Les régions 3, 4 et 7 s'orientent vers le PVC.
- ▶ Le PVC reste prédominant dans les régions 5 et 9.
- ▶ La fonte et la fonte ductile restent les matériaux de conduites les plus courants dans la région 8.
- ▶ L'amiante-ciment reste le matériau de tuyaux le plus courant dans la région 2.
- ▶ La fonte a été remplacée par d'autres matériaux dans les régions 1, 3, 4 et 6.

FIGURE 17 : RÉPARTITION DES TUYAUX ET MATÉRIAUX LES PLUS COURANTS PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE DE 2012)

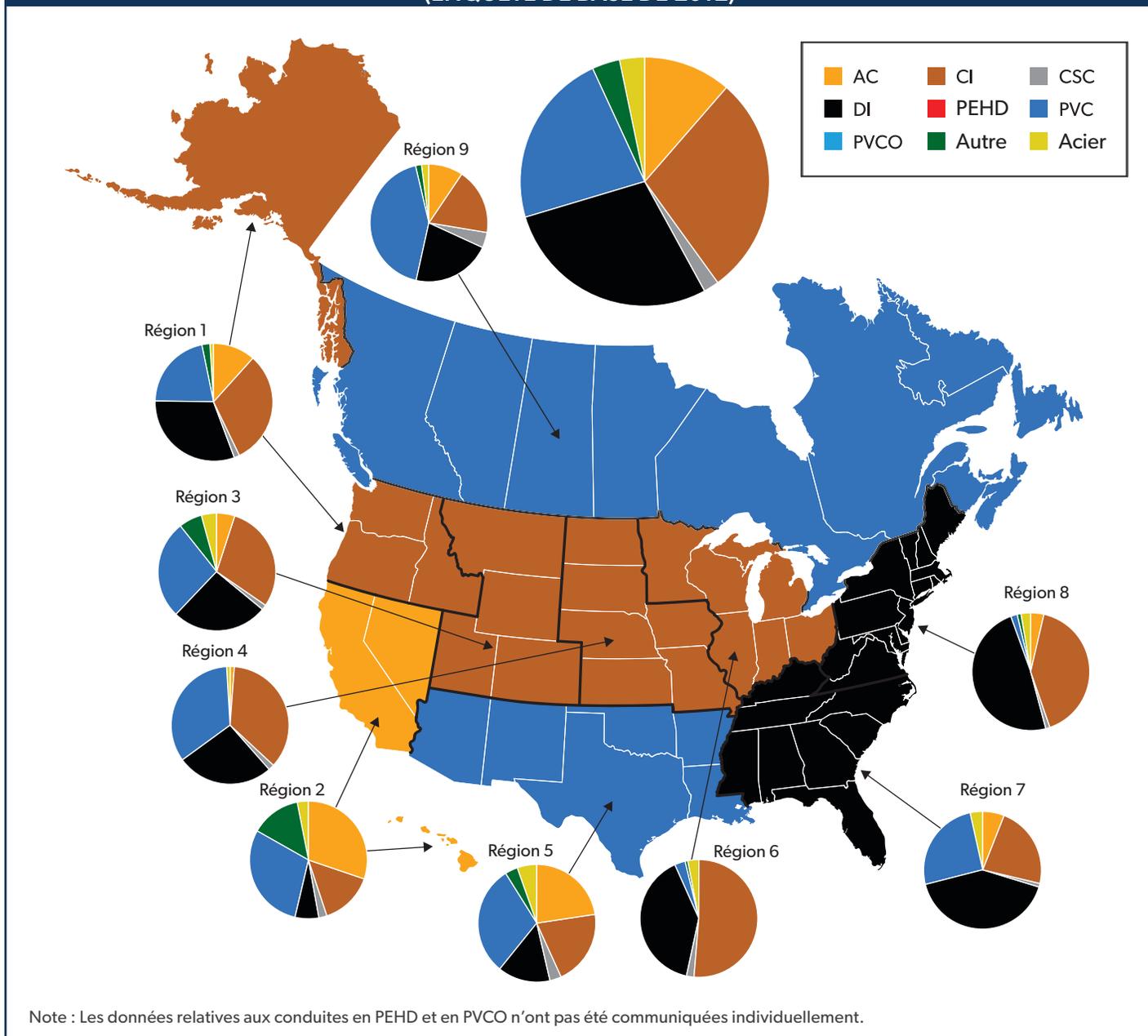


FIGURE 18 : RÉPARTITION DES TUYAUX ET MATÉRIAUX LES PLUS COURANTS PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE DE 2018)

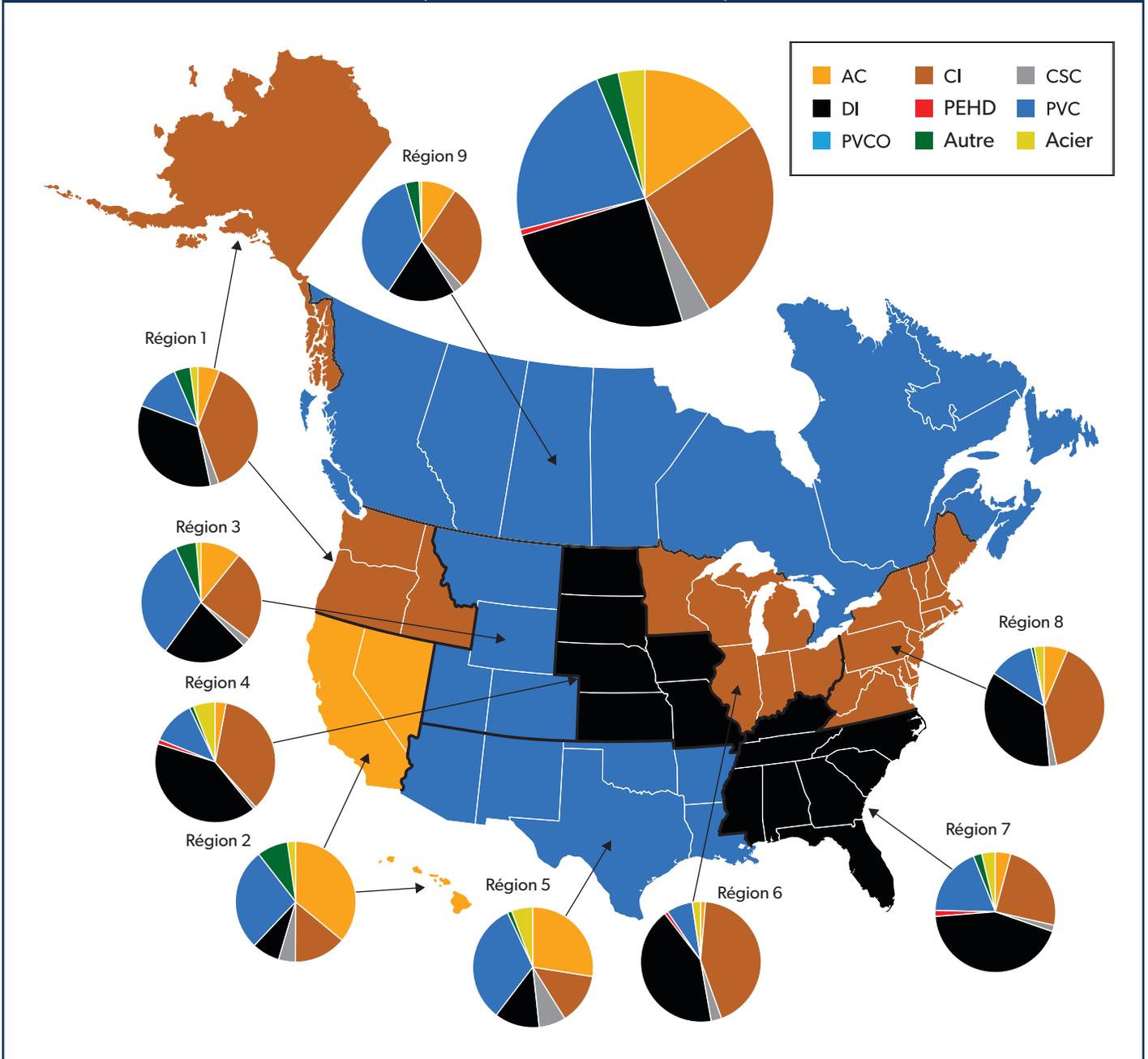
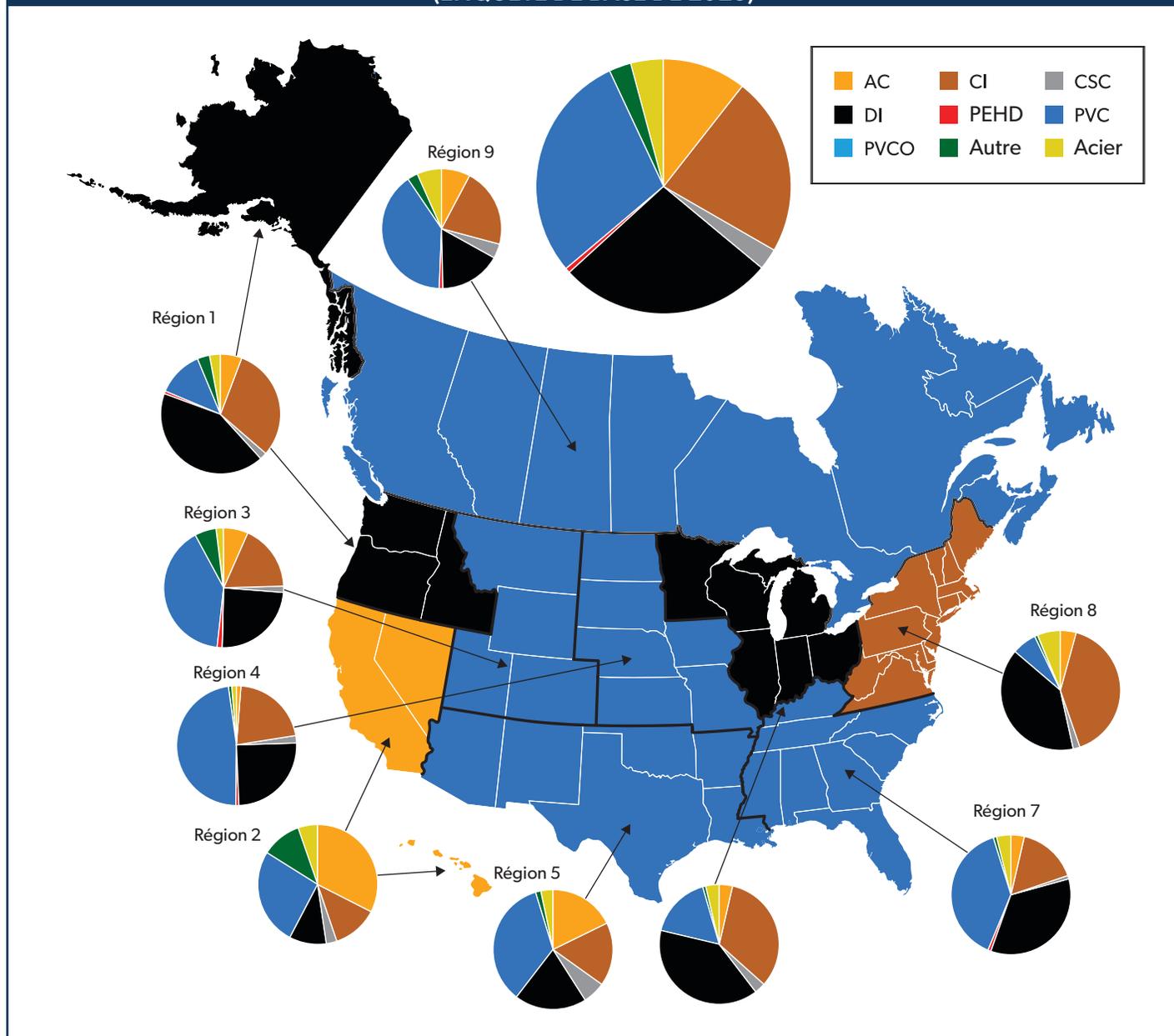


FIGURE 19 : RÉPARTITION DES TUYAUX ET MATÉRIAUX LES PLUS COURANTS PAR RÉGION (ENQUÊTE DE BASE DE 2023)



3.1 Âge et diamètre des tuyaux

Les données relatives à l'âge et au diamètre des tuyaux proviennent de l'enquête détaillée. L'enquête détaillée avait comme objectif de compléter les données obtenues dans le cadre de l'enquête de base et d'examiner plus spécifiquement des sujets tels que l'âge des tuyaux, la demande en eau, la répartition des dimensions des tuyaux, les taux de rupture cibles pour le remplacement des tuyaux, leur durée de vie, les méthodes d'évaluation de l'état des tuyaux et l'acceptation des matériaux utilisés pour les tuyaux. Note : les proportions de chaque matériau de tuyau diffèrent entre l'enquête de base et l'enquête détaillée en raison de différences dans la taille de l'échantillon.

ÂGE DES TUYAUX. L'enquête détaillée a demandé aux répondants d'indiquer la répartition des tuyaux installés par type de matériau et par âge, selon les catégories suivantes : 0 à 10 ans, 10 à 20 ans, 20 à 30 ans, 30 à 40 ans, 40 à 50 ans et plus de 50 ans. La figure 20 montre la distribution des âges pour tous les matériaux de tuyau combinés, indiquant que 33 % des tuyaux installés ont plus de 50 ans.

Le graphique à barres de la figure 21 illustre la répartition de l'âge pour chaque matériau de tuyau en fonction de la longueur. Par exemple, les résultats de l'enquête indiquent que la majorité des tuyaux en fonte ont plus de 40 ans, 11 % se situant dans la catégorie des 40 à 50 ans et 86 % ayant plus de 50 ans. À l'inverse, le PEHD et le PVCO sont des matériaux de tuyau relativement récents, la plupart d'entre eux ayant été installés au cours des 20 dernières années.

Le diagramme circulaire de la figure 21 résume l'importance de chaque matériau de tuyau en termes de longueur totale de tuyaux rapporté dans l'enquête détaillée. Par exemple, la fonte ductile représente 33,8 %, la fonte 24,4 %, le PEHD 0,5 % et le PVCO 0,1 % de l'ensemble de la distance (en milles) des conduites.

FIGURE 20 : RÉPARTITION DE L'ÂGE DES TUYAUX POUR TOUS LES TYPES DE MATÉRIAUX (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)

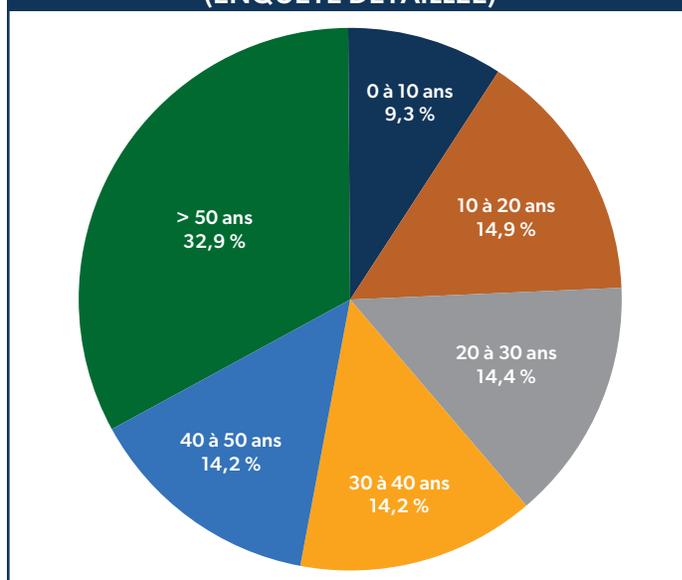
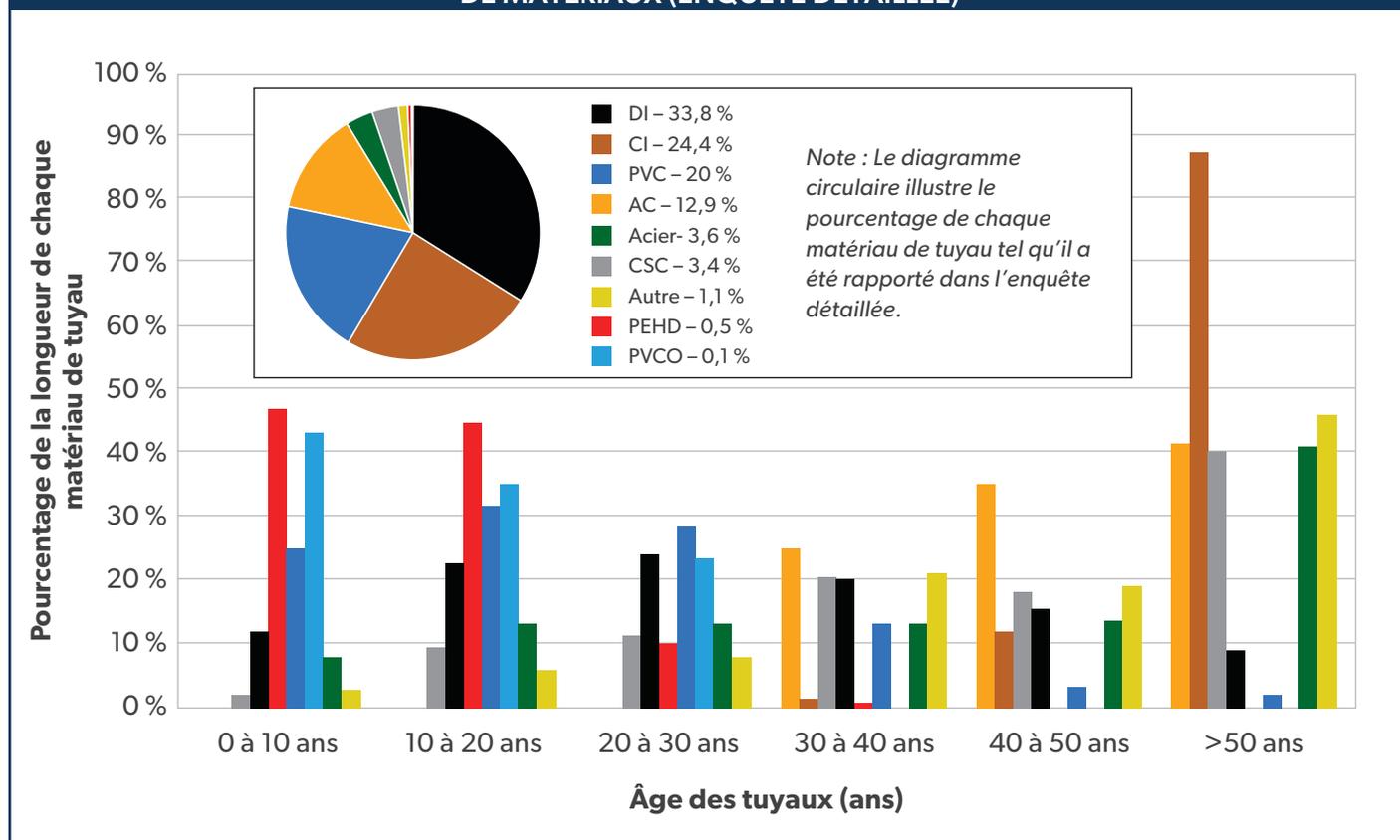
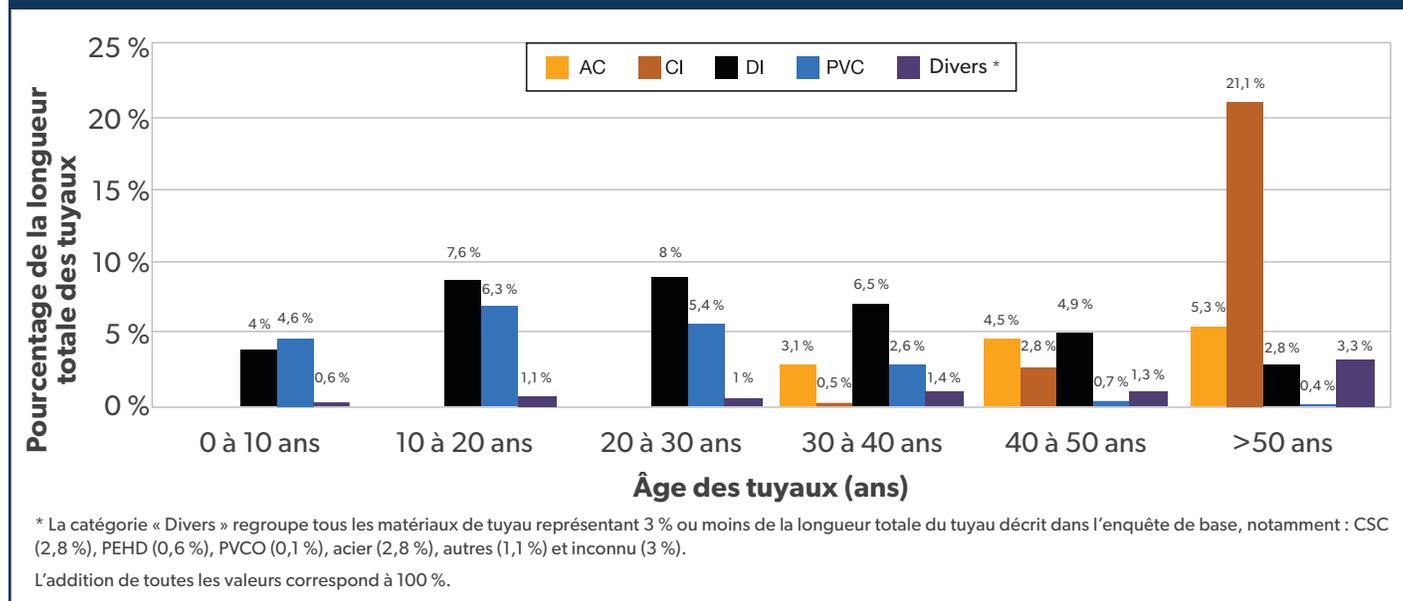


FIGURE 21 : RÉPARTITION DE L'ÂGE DES TUYAUX POUR CHAQUE TYPE DE MATÉRIAUX (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



La figure 22 montre la répartition de l'âge en pourcentage de la longueur totale de tous les matériaux de tuyau de l'enquête détaillée. Par exemple, les conduites en fonte de plus de 50 ans représentent 21 % de l'ensemble des conduites installées. Pour les âges compris entre 0 et 10 ans, la fonte ductile et le PVC représentent tous deux environ 4 à 5 % de la longueur totale installée. Cela signifie que les matériaux les plus couramment utilisés pour les tuyaux installés au cours des dix dernières années sont la fonte ductile et le PVC.

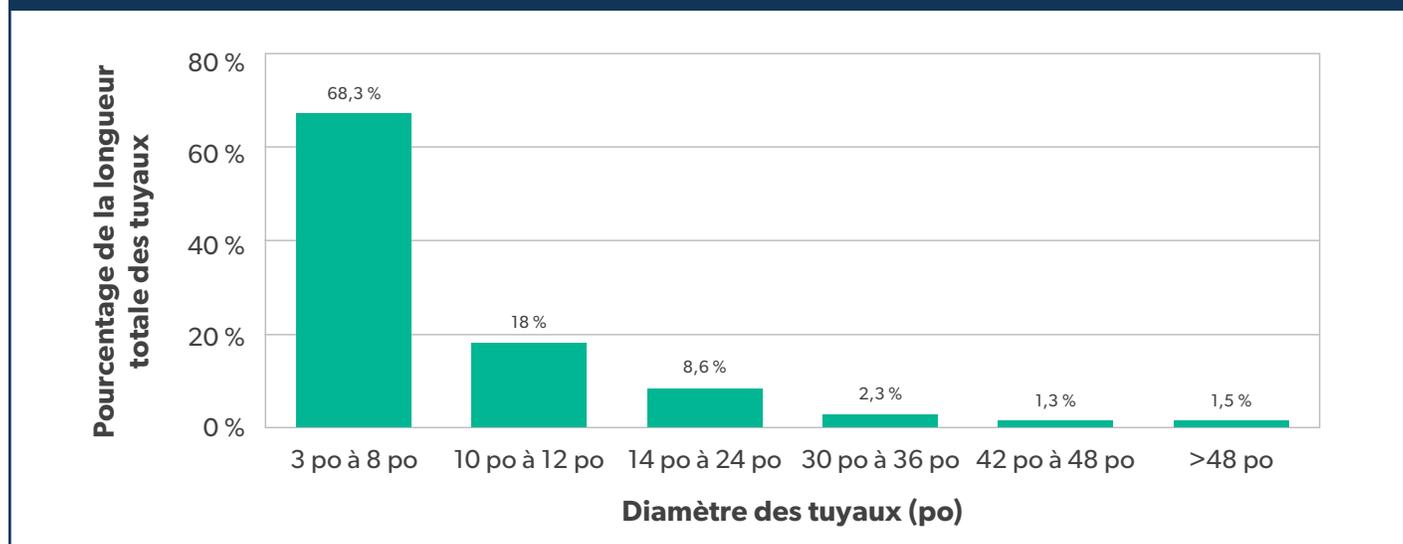
FIGURE 22 : POURCENTAGE DE LA LONGUEUR TOTALE DES CONDUITES PAR ÂGE (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



DIAMÈTRE DES TUYAUX. Les répondants à l'enquête détaillée ont également été invités à ventiler la longueur totale des conduites installées en fonction de six catégories de diamètre. La figure 23 illustre le pourcentage de tuyaux répartis dans chaque plage de taille. La figure 23 indique qu'environ 68 % des conduites installées sont de 8 po ou moins, et 86 % de 12 po ou moins. En comparaison, les enquêtes de 2012 et 2018 réalisées par l'USU ont révélé que 66 % et 67 % des tuyaux étaient de 8 po ou moins, respectivement. Cela démontre une utilisation cohérente de la taille des tuyaux et une validation de l'exactitude des données (Folkman, 2012 ; 2018).

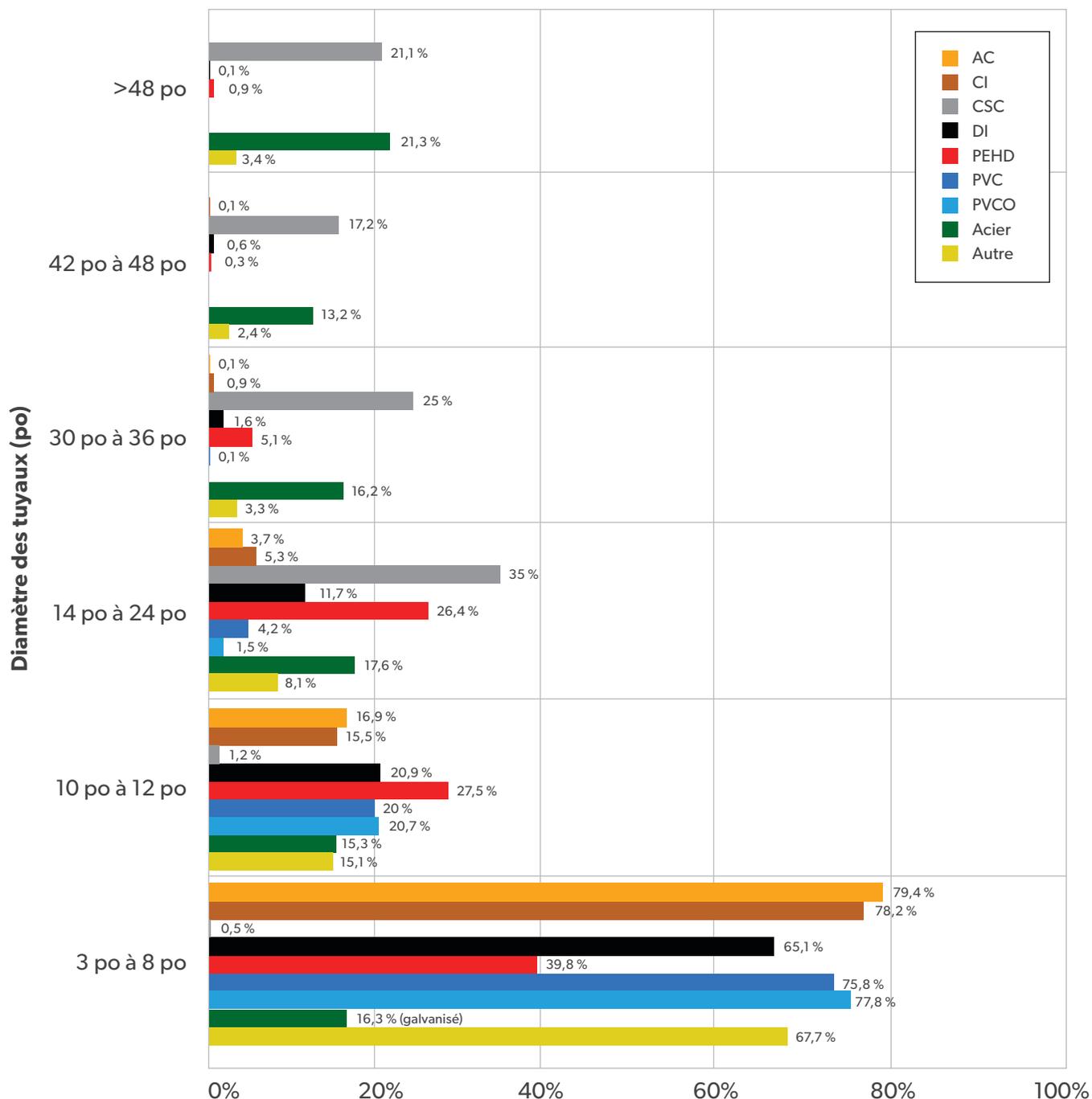
En fonction de l'estimation de l'EPA de 2,2 millions de milles de conduites d'eau aux États-Unis, ces tailles correspondent à environ 1,9 million de milles de conduites aux États-Unis. De même, en utilisant l'estimation de Statistique Canada de 133 000 milles de conduites d'eau, on estime qu'environ 115 000 milles de conduites au Canada ont un diamètre compris entre 3 po et 12 po.

FIGURE 23 : POURCENTAGE DE LA LONGUEUR TOTALE DES CONDUITES PAR TAILLE (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



La figure 24 illustre la répartition des diamètres pour chaque type de matériau, comme en fait part l'enquête détaillée. La figure illustre que la plupart des tuyaux de grand diamètre (14 po et plus) sont principalement en acier et en CSC, chaque matériau représentant plus de 21 % de leur longueur dans les tailles supérieures à 48 po. Plus de 98 % des tuyaux CSC étaient des tuyaux de 14 po et plus. La figure illustre également que plus de 75 % de tous les tuyaux en amiante-ciment, fonte, PVC et PVCO, respectivement, sont de 8 po ou moins.

FIGURE 24 : RÉPARTITION DU DIAMÈTRE DE TUYAU PAR TYPE DE MATÉRIAUX (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)

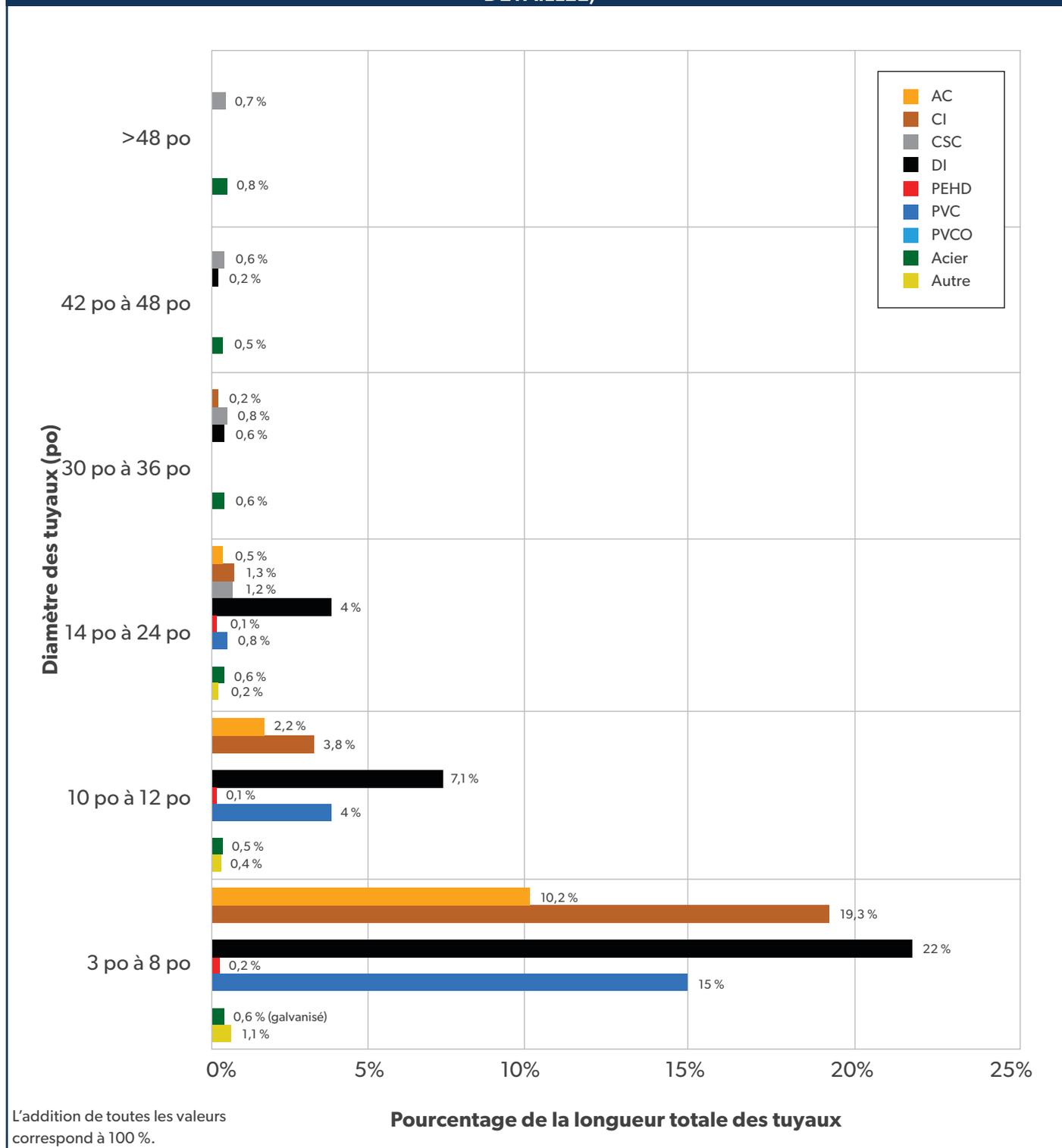


L'addition de toutes les valeurs d'un matériau donné correspond à 100 %.

Pourcentage de la longueur de chaque matériau de tuyau

La figure 25 illustre, pour chaque matériau de tuyau, le pourcentage de la longueur totale par type et diamètre de matériau. De plus, elle illustre que les tuyaux en fonte ductile et en PVC de 3 à 8 po de diamètre représentent respectivement plus de 22 % et 15 % de l'ensemble des tuyaux installés, d'après l'enquête détaillée. Les tuyaux en acier d'un diamètre inférieur à 14 po sont généralement en acier galvanisé, tandis que les tuyaux d'un diamètre supérieur sont généralement en acier au carbone. Comme nous l'avons vu précédemment, les données sur la longueur (en milles) des conduites issues de l'enquête détaillée diffèrent des données recueillies dans le cadre de l'enquête de base en raison de la différence de taille de l'échantillon.

FIGURE 25 : POURCENTAGE DE LA LONGUEUR TOTALE PAR DIAMÈTRE ET TYPE DE MATÉRIAU (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



4.0 Pression et volume acheminés

L'enquête de base demandait les pressions d'alimentation en eau moyenne et maximale. Comme l'illustre la figure 26, les pressions d'alimentation en eau moyenne et maximale sont respectivement de 71 et 120 psi. Lors de l'enquête de 2018, les pressions moyennes et maximales étaient respectivement de 69 et 119 psi, ce qui est cohérent avec les résultats de la présente enquête.

L'enquête détaillée demandait également les demandes d'eau quotidiennes moyennes et maximales. Les valeurs rapportées ont été divisées par la population servie et ont fait l'objet d'une moyenne. Pour éviter tout risque de surdénombrement, les services publics qui n'étaient que des réseaux d'adduction d'eau ont été exclus, car ils sont généralement des fournisseurs d'eau en gros et ne servent pas les utilisateurs finaux. La demande moyenne en eau est de 143 gallons par jour pour chaque personne. La demande maximale en eau est de 247 gallons par jour pour chaque personne. Les valeurs pour 2018 étaient respectivement de 137 et 251. La figure 27 illustre les valeurs de la demande moyenne et maximale de chaque service public en Mgal/jr (millions de gallons par jour) par rapport à la population servie en millions.

L'enquête a également porté sur les pertes d'eau dues aux fuites. Au total, 530 services publics ont fourni une estimation de leurs pertes d'eau dues aux fuites et la valeur moyenne déclarée était de 11 %, contre 10 % en 2018.

FIGURE 26 : PRESSIONS D'ALIMENTATION EN EAU MOYENNE ET MAXIMALE (ENQUÊTE DE BASE)

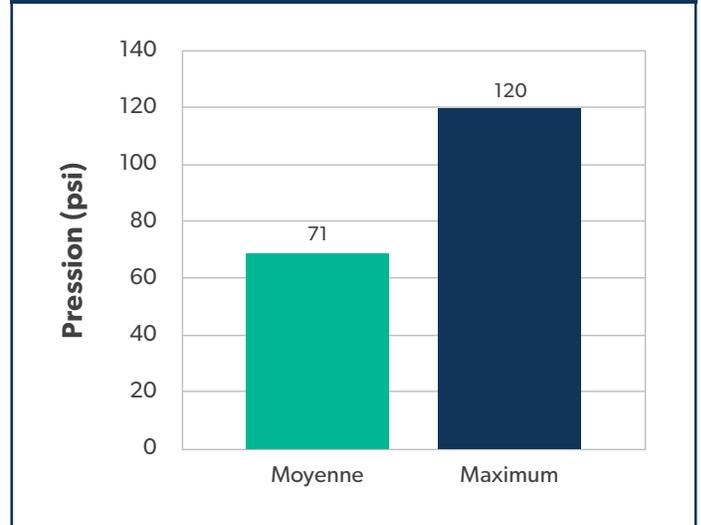
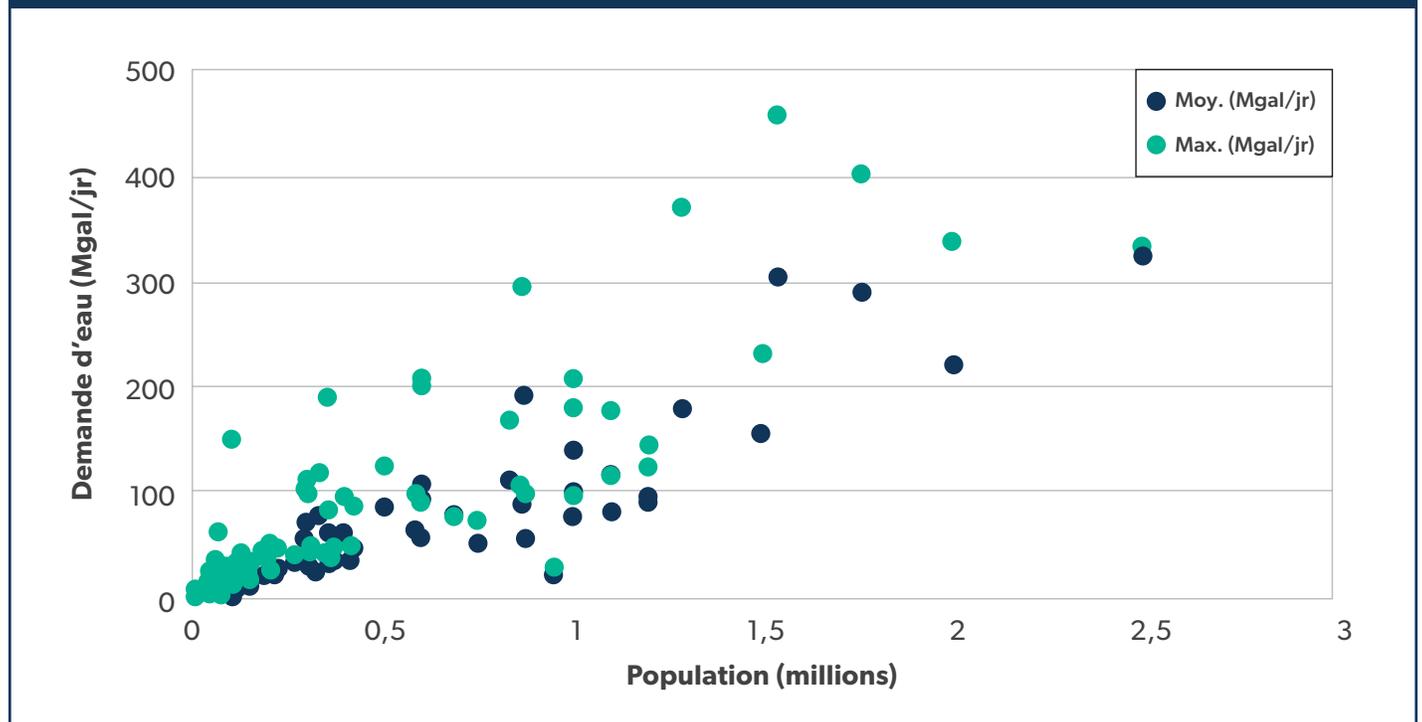


FIGURE 27 : DEMANDE EN EAU MOYENNE ET MAXIMALE PAR POPULATION (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



5.0 Calcul des taux de défaillance des conduites d'eau

Dans l'enquête de base comme dans l'enquête détaillée, il a été demandé aux personnes interrogées de considérer qu'une rupture de conduite d'eau principale présente une fuite qui avait été détectée et réparée. Cependant, on leur demande de ne pas signaler les fuites ou les ruptures de joints dues à des dommages de construction ou au raccordement de branchements latéraux, car ces ruptures ne reflètent pas l'état de dégradation du tuyau. L'un des principaux objectifs de cette étude était d'examiner le rendement des matériaux de tuyau.

Les services publics ont fourni le nombre de ruptures de conduites d'eau principales sur des périodes récentes de 12 mois et de 5 ans. La longueur installée de chaque matériau de tuyau a également été incluse dans l'enquête. Le taux de rupture a été calculé en divisant le nombre total de ruptures pour un matériau de tuyau donné par la longueur totale rapportée.

Par exemple, l'enquête de base a fait état d'un total de 40 489 défaillances au cours d'une période récente de 12 mois pour tous les matériaux de tuyau. La longueur totale des conduites d'eau installées pour lesquelles les données sur les ruptures sont suffisantes est de 3 634 412 milles (ou 3 634,12 centaines de milles). Le taux de ruptures global est donc calculé comme suit :

$$\frac{40\,489}{3\,634,12} = 11,1 \text{ ruptures/100 milles/an}$$

En appliquant 11,1 ruptures/100 milles/an à 2,33 millions de milles de conduites, on estime que les États-Unis et le Canada connaissent environ 260 000 ruptures de conduites d'eau principales par an. Cette constatation constitue une nouvelle

mesure pour les États-Unis et le Canada. Si l'on part du principe que la réparation d'une rupture de conduite d'eau principale coûte environ 10 000 \$ (coûts directs et indirects), cela représente 2,6 milliards \$ par an. À titre de référence, l'EPA fait état de 240 000 ruptures de conduites d'eau principales par an aux États-Unis (EPA, 2023).

Cette méthode simple de calcul des taux de rupture a été utilisée parce qu'elle décourage les biais en faveur des services publics de grande ou de petite taille. Les services publics connaissent des taux de rupture très différents pour un même matériau de tuyau. En fait, cela ne devrait pas être surprenant. Plusieurs variables importantes influencent les taux de rupture, notamment l'âge des conduites, la corrosivité du sol, les méthodes de prévention de la corrosion, les pratiques d'installation et le climat. Ces facteurs démontrent pourquoi la performance et la sélection des matériaux des tuyaux sont un élément important de l'optimisation des réseaux d'adduction d'eau.

5.1 Taux de défaillance par type de matériau des tuyaux

Le tableau 5 présente les taux de rupture des enquêtes de 2012, 2018 et 2023 de l'USU par type de matériau. Les taux de rupture ont été déterminés pour une période de 12 mois précédant de peu chaque rapport. De plus, il indique la longueur des conduites et le nombre de ruptures pour chaque matériau pour 2023. Le taux de rupture de 11,1 ruptures/100 milles/an pour 2023 représente une diminution de 20 % par rapport à l'enquête de 2018 réalisée par l'USU, qui faisait état de 14 ruptures/100 milles/an. Les taux de rupture relatifs entre les matériaux de tuyau dans les enquêtes de 2012, 2018 et 2023 restent cohérents.

TABLEAU 5 : RÉSUMÉ DES DONNÉES D'ÉCHEC DE L'ENQUÊTE DE BASE SUR UNE PÉRIODE DE 12 MOIS

	Taux de rupture 2012 (ruptures/100 milles/an)	Taux de rupture 2018 (ruptures/100 milles/an)	Longueur 2023 (milles)	Défaillances 2023	Taux de rupture 2023 (ruptures/100 milles/an)
AC	7,1	10,4	37 909	3 896	10,3
CI	24,4	34,8	84 691	24 251	28,6
DI	4,9	5,5	100 999	5 175	5,1
PVC	2,6	2,3	96 471	2 807	2,9
Acier	13,5	7,6	10 904	1 003	9,2
Autre	15	8	32 438	3 357	10,3
Total	11	14	363 412	40 489	11,1

La figure 28 illustre les taux de ruptures par matériau de tuyau pour la période de 12 mois utilisée dans la présente enquête. Le PVC a le taux de rupture le plus faible des matériaux présentés, tandis que la fonte a le taux le plus élevé. Dans les enquêtes de 2012 et 2018 réalisées par l'USU, le PVC a également le taux de rupture le plus bas. La figure 29 illustre les taux de ruptures sur des périodes de 12 mois et de 5 ans. Dans les deux cas, les taux de rupture relatifs restent les mêmes pour tous les matériaux, et l'on s'attend ainsi à ce que les taux de rupture futurs restent cohérents. Les matériaux de tuyau qui n'ont pas eu une présence significative dans les résultats de l'enquête (en termes de longueur de conduites représentées) ne sont pas inclus dans les tableaux et les figures suivants. Cette décision a été prise pour éviter de calculer des taux de rupture irréalistes en raison du faible nombre de milles de conduites rapportés.

FIGURE 28 : TAUX DE RUPTURE PAR MATÉRIAU DE TUYAU POUR UNE PÉRIODE DE 12 MOIS (ENQUÊTE DE BASE)

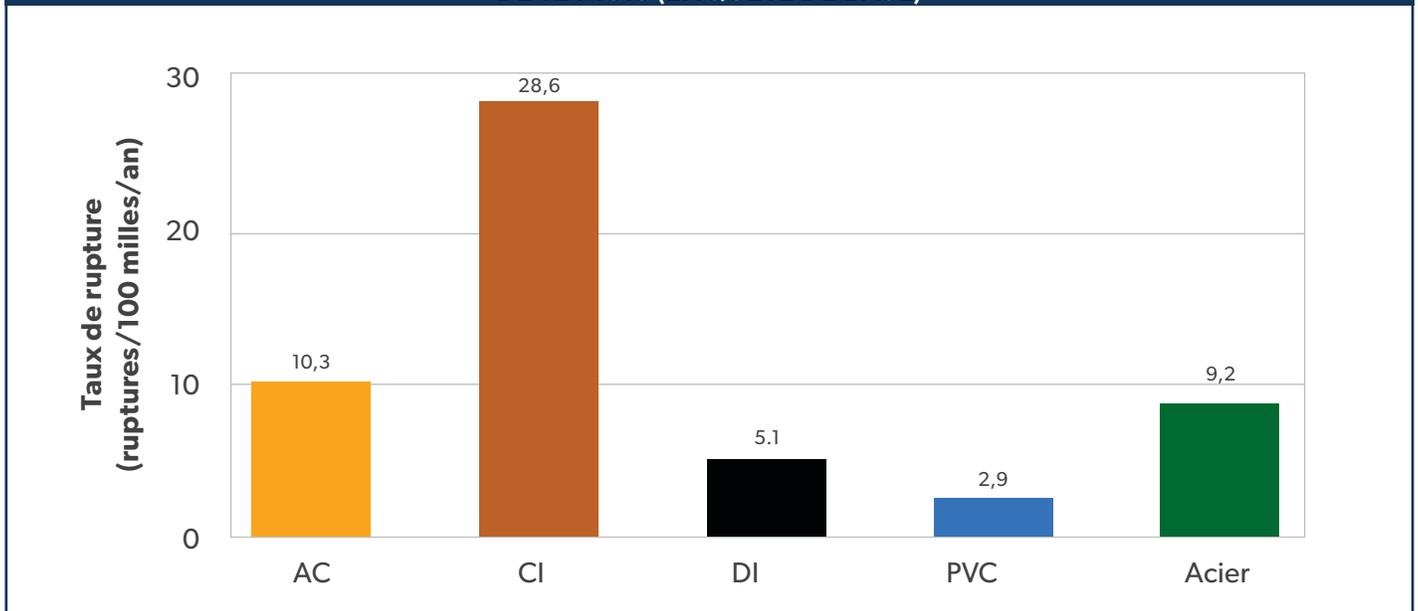
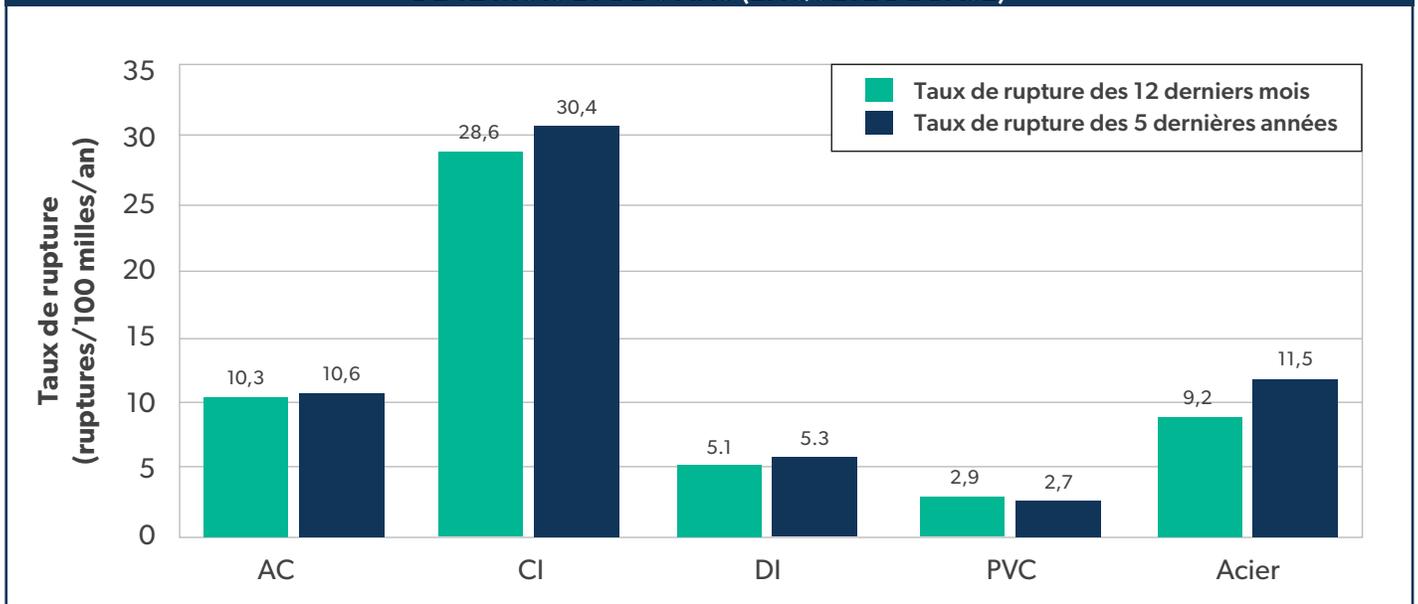
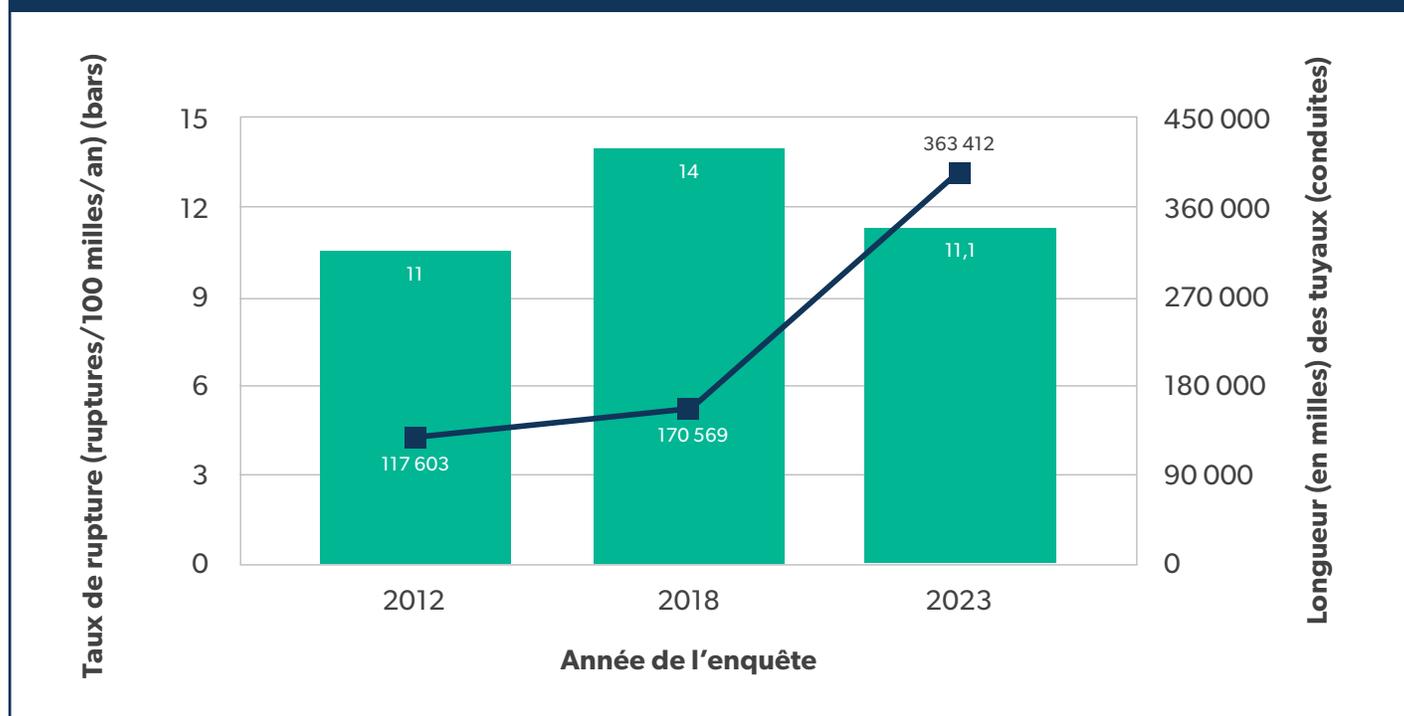


FIGURE 29 : TAUX DE RUPTURE PAR MATÉRIAU DE TUYAU POUR UNE PÉRIODE DE 12 MOIS ET DE 5 ANS (ENQUÊTE DE BASE)



La figure 30 illustre les taux de rupture globaux déclarés dans le cadre de cette enquête et des deux rapports précédents (Folkman, 2012; 2018). Il ressort de cette figure que l'enquête actuelle représente une longueur (en milles) importante de conduites. Même avec cet échantillon de grande taille, les taux de rupture globaux sont relativement constants, avec seulement une légère réduction des taux de ruptures au cours des cinq dernières années. Cette diminution peut indiquer qu'un plus grand nombre de services publics appliquent des techniques de gestion des actifs et remplacent les conduites dont la fréquence de rupture est la plus élevée.

FIGURE 30 : MODIFICATION DU TAUX DE RUPTURE GLOBAL ENTRE LES ENQUÊTES (ENQUÊTE DE BASE)



La figure 31 compare les taux de rupture des matériaux courants des conduites d'eau dans les enquêtes de 2012, 2018 et 2023 de l'USU. L'uniformité des taux de rupture dans les trois enquêtes permet de valider l'exactitude des données. Les petites variations peuvent être considérées comme une dispersion des données. Étant donné qu'environ 90 % des tuyaux installés sont en amiante-ciment, en fonte, en fonte ductile et en PVC, les taux de rupture pour ces matériaux sont les plus précis, ce qui permet d'éviter des calculs inexacts pour les matériaux de tuyaux dont la longueur (en milles) rapportée est faible. La figure 31 illustre une variation insignifiante du taux de rupture dans le temps pour les tuyaux en PVC et en fonte ductile.

La figure 32 confirme également l'exactitude et la cohérence des données relatives aux taux de rupture pour cette enquête en comparant les réponses des 151 mêmes services publics qui ont déclaré des taux de rupture pour les études de 2018 et 2023 de l'USU.

FIGURE 31 : COMPARAISON DES TAUX DE RUPTURE DES ENQUÊTES DE BASE DE 2012, 2018 ET 2023

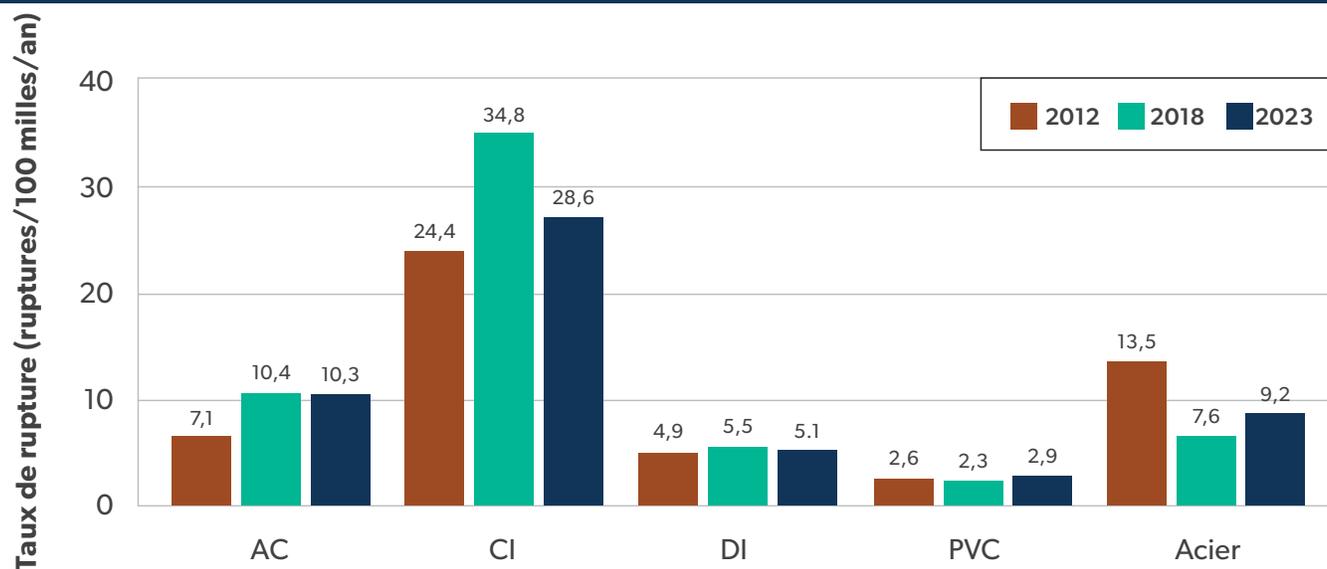
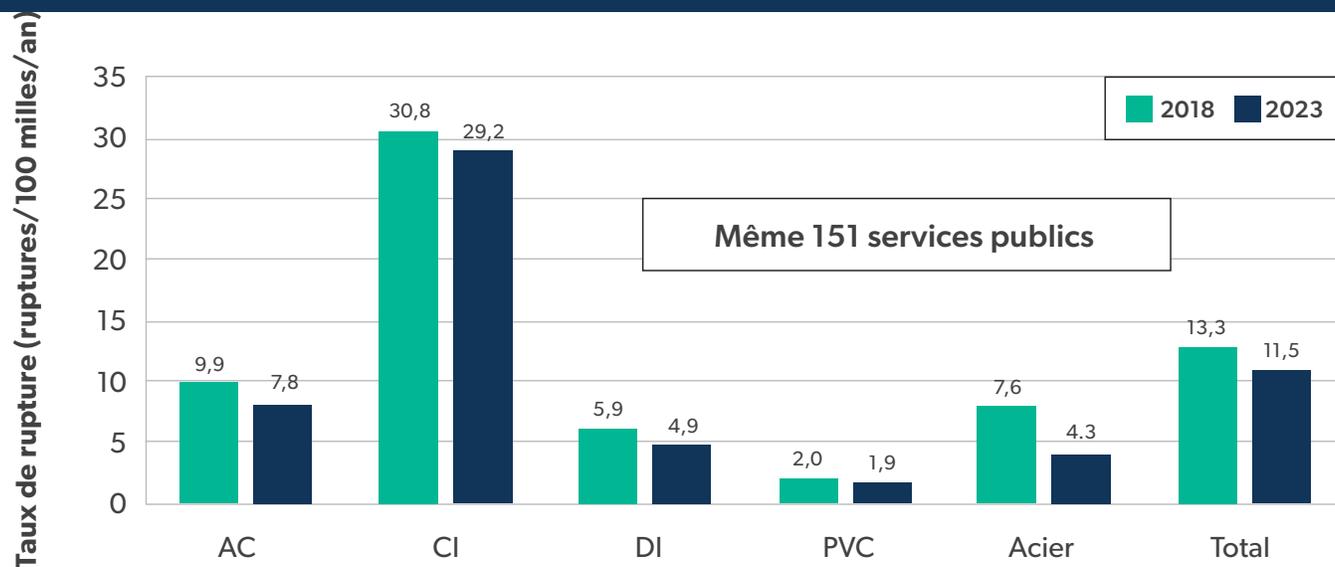


FIGURE 32 : COMPARAISON DES TAUX DE RUPTURE DES ENQUÊTES DE BASE DE 2018 ET 2023 AUPRÈS DES MÊMES 151 SERVICES PUBLICS



Les résultats de l'enquête ont également été évalués en établissant une corrélation entre la taille d'un service public et les taux de rupture qui en découlent. Quatre tailles de services publics ont été prises en compte en fonction de la longueur de tuyaux dans leurs réseaux :

- ▶ Petite – 500 milles de tuyaux
- ▶ Moyenne – 500 à 1 500 milles de tuyaux
- ▶ Grande – 1 500 à 3 000 milles de tuyaux
- ▶ Très grande – plus de 3 000 milles de tuyaux

Les figures 33 et 34 montrent les taux de rupture globaux par matériau de tuyau et par taille de service public sur des périodes de 12 mois et de 5 ans, respectivement. Il convient de noter que les deux graphiques montrent une faible corrélation entre les taux de rupture et la taille des services publics. Qui plus est, les taux de rupture entre les deux nombres sont cohérents.

La fonte continue de présenter le taux de rupture le plus élevé pour les services publics de toutes tailles. On peut supposer que le taux de rupture élevé de l'acier dans les services publics de petite taille est probablement dû au fait qu'il s'agit d'acier galvanisé.

FIGURE 33 : TAUX DE RUPTURE PAR TAILLE DE SERVICE PUBLIC POUR UNE PÉRIODE DE 12 MOIS (ENQUÊTE DE BASE)

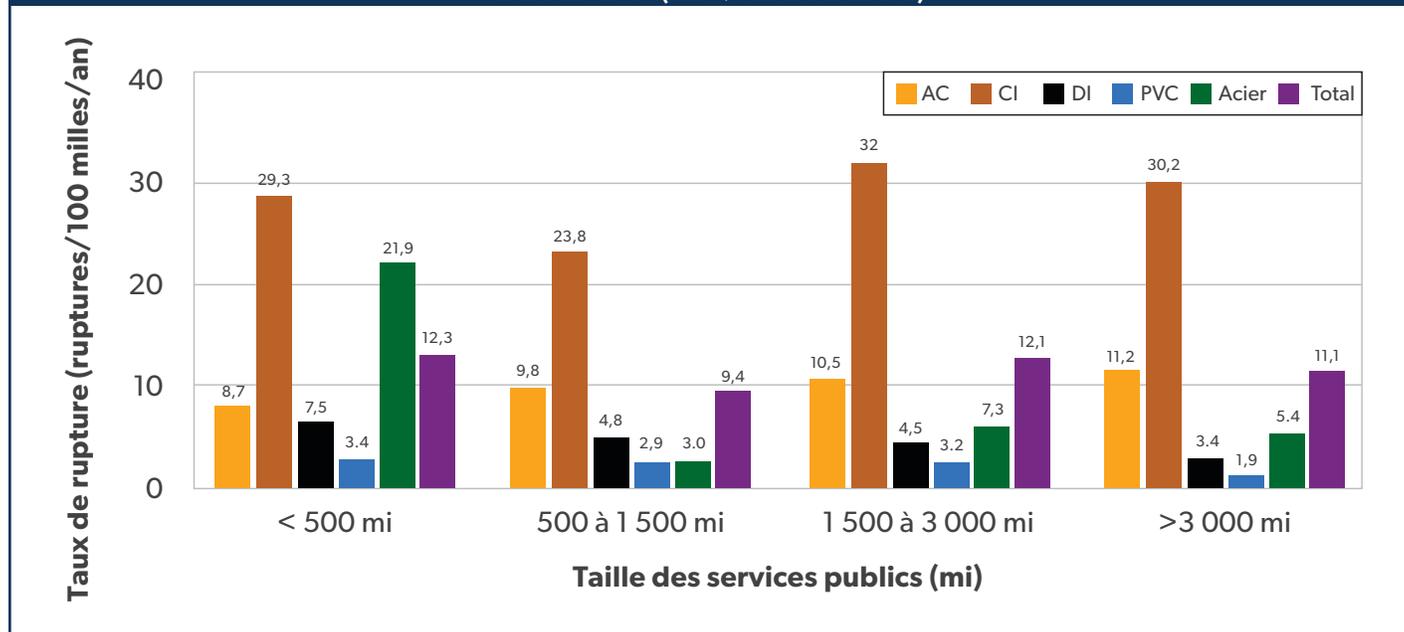
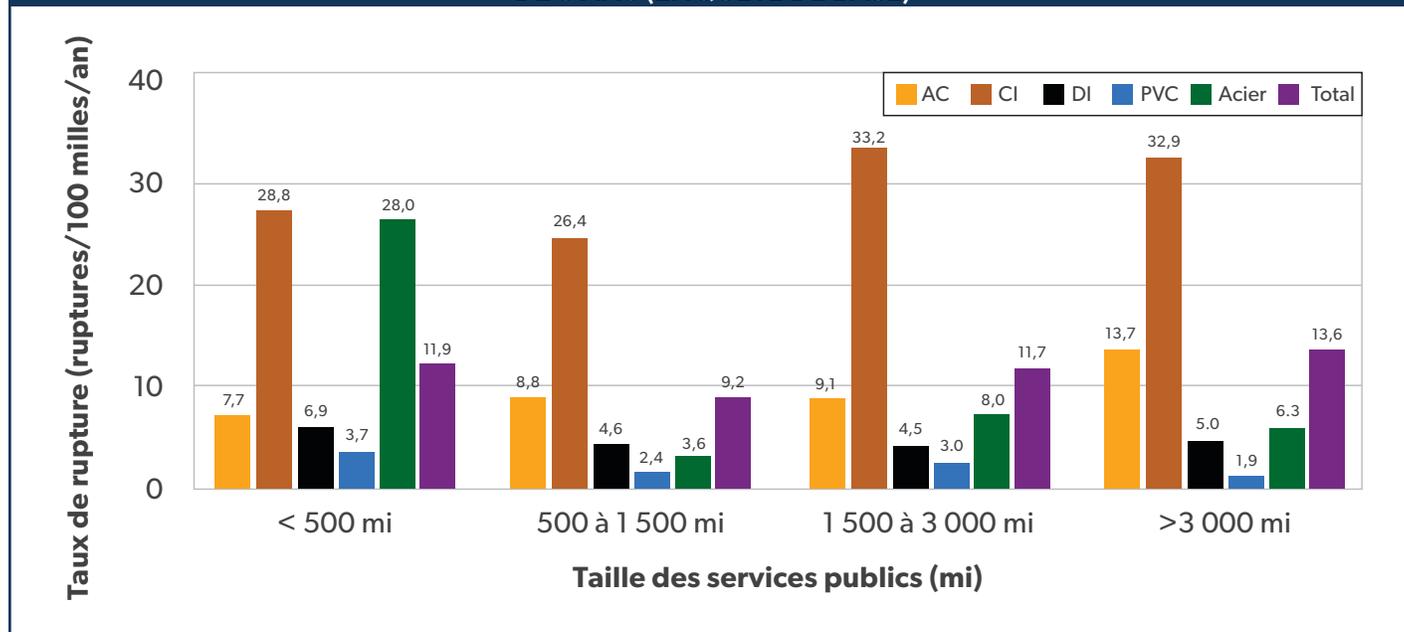
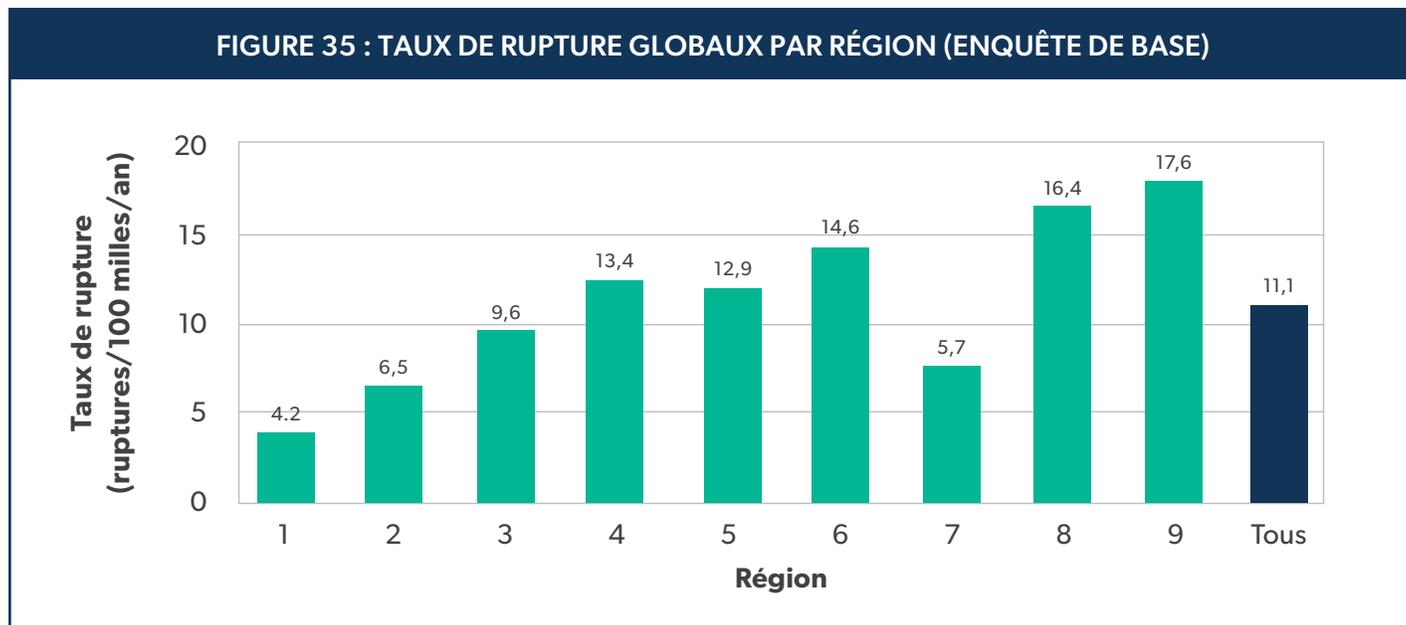


FIGURE 34 : TAUX DE RUPTURE PAR TAILLE DE SERVICE PUBLIC POUR UNE PÉRIODE DE 5 ANS (ENQUÊTE DE BASE)

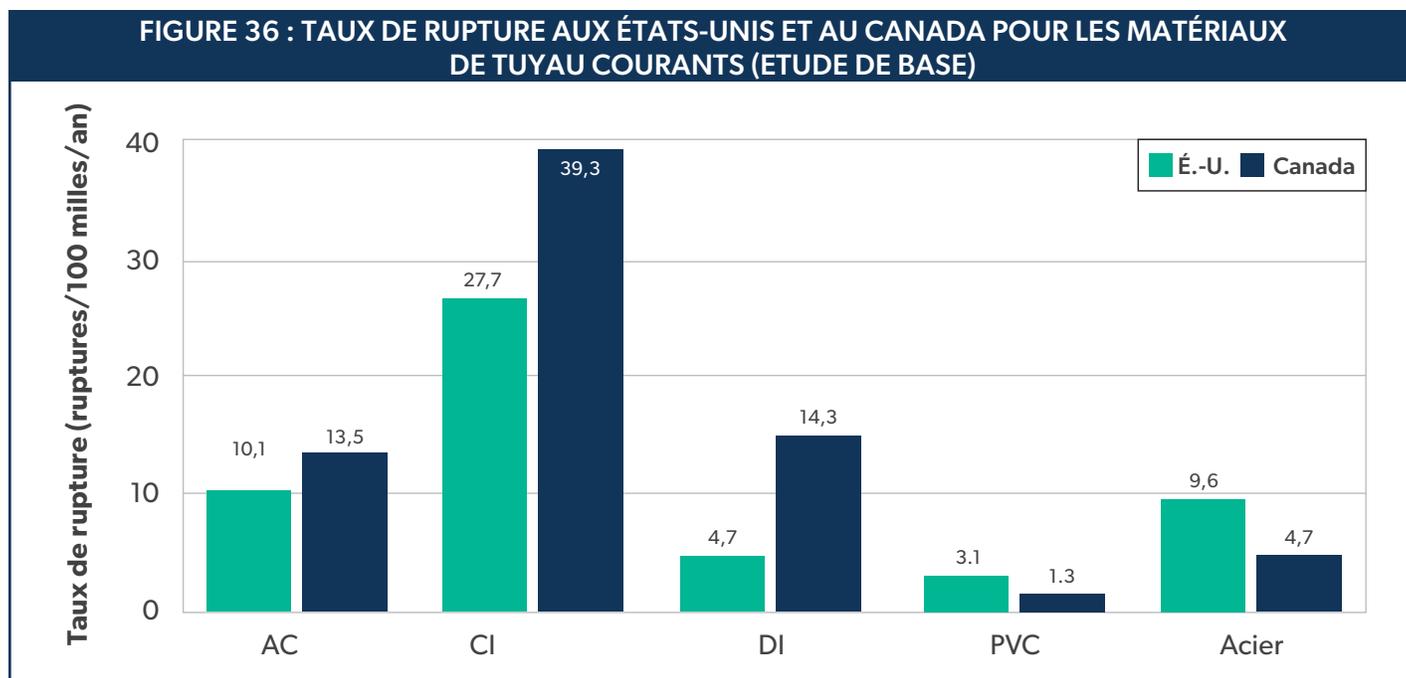


La figure 35 illustre les taux de rupture globaux déclarés par région (figure 15). Le tableau 1 résume le nombre de répondants pour chaque région. Toutes les régions ne connaissent pas le même taux de défaillance. Cinq régions (4, 5, 6, 8 et 9) se situent au-dessus du taux de rupture global moyen.



34

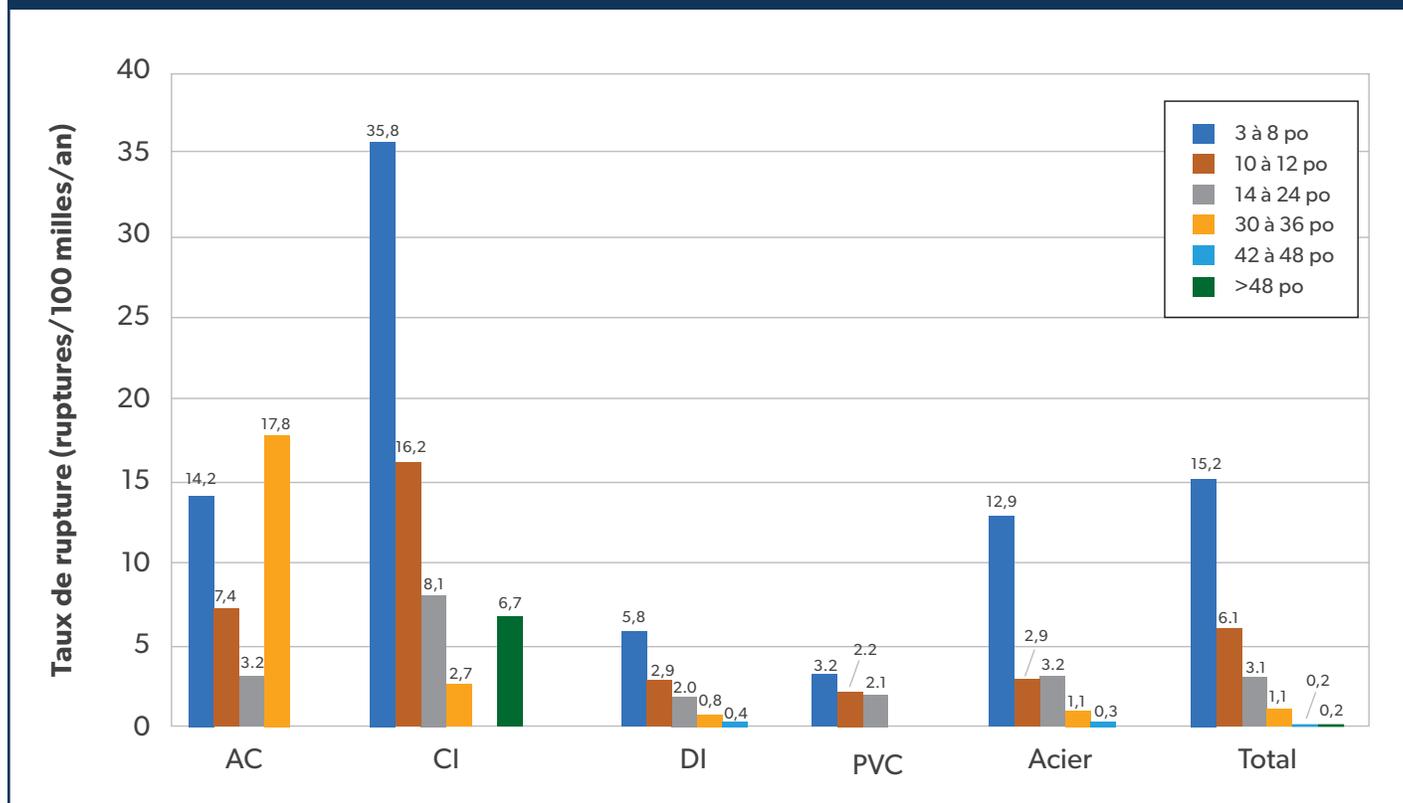
La figure 36 compare les taux de rupture entre les États-Unis et le Canada pour les matériaux de tuyau de distribution d'eau les plus courants. Il convient de noter que certaines régions du Canada ont des sols très corrosifs et peuvent connaître des températures extrêmement froides. Ces facteurs pourraient potentiellement expliquer les taux de rupture élevés au Canada pour les tuyaux en fonte et en fonte ductile (Seargeant, 2018).



5.2 Effets de la taille des tuyaux

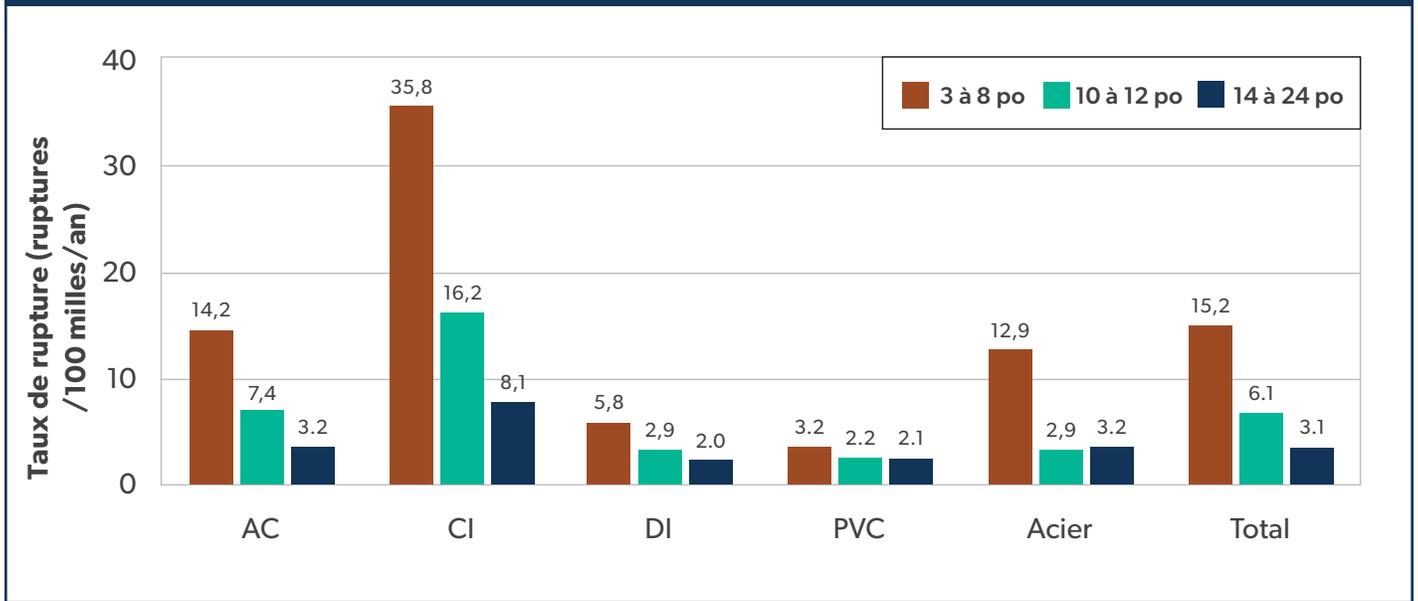
L'enquête détaillée demandait aux services publics des renseignements sur la taille des différents matériaux utilisés dans leurs réseaux de distribution d'eau et sur les taux de rupture correspondants. La figure 37 illustre l'évolution du taux de rupture en fonction du diamètre du tuyau. Il convient de noter que le taux de rupture de tous les matériaux diminue à mesure que le diamètre du tuyau augmente. Cela s'explique probablement par le fait que l'installation, l'entretien et la surveillance de conduites de plus grand diamètre nécessitent plus d'efforts, car les conséquences d'une défaillance sont plus importantes. Les taux de rupture plus élevés dans les diamètres plus importants pour les tuyaux en amiante-ciment et en fonte sont probablement dus au faible nombre de milles couvert par ces matériaux dans cette enquête.

FIGURE 37 : TAUX DE RUPTURE PAR DIAMÈTRE DU MATÉRIAU DE TUYAU (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



La figure 38 illustre les taux de rupture pour les plages de tailles suivantes : Tuyaux de 3 à 8 po, de 10 à 12 po et de 14 à 24 po. L'objectif consiste à se concentrer davantage sur les diamètres de tuyaux les plus utilisés. Les tuyaux de 14 à 24 po sont généralement considérés comme des conduites principales d'adduction d'eau, tandis que les tuyaux de 12 po et moins sont généralement considérés comme des conduites de distribution d'eau. La figure 23 indique que 86 % de tous les milles de conduites d'eau ont un diamètre compris entre 3 et 12 po et que 68 % ont un diamètre compris entre 3 et 8 po.

FIGURE 38 : TAUX DE RUPTURE DES TUYAUX DE 3 À 8 PO, DE 10 À 12 PO ET DE 14 À 24 PO PAR MATÉRIAU (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



La figure 39 illustre le taux de rupture des tuyaux de 3 à 12 po, tandis que la figure 40 indique les taux de rupture des tuyaux de 3 à 8 po. La comparaison de ces deux résultats montre une légère différence dans les taux de rupture. La plage de diamètres de 3 à 12 po représente 86 % de tous les matériaux de tuyau.

FIGURE 39 : TAUX DE RUPTURE DES TUYAUX DE 3 À 12 PO PAR MATÉRIAU (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)

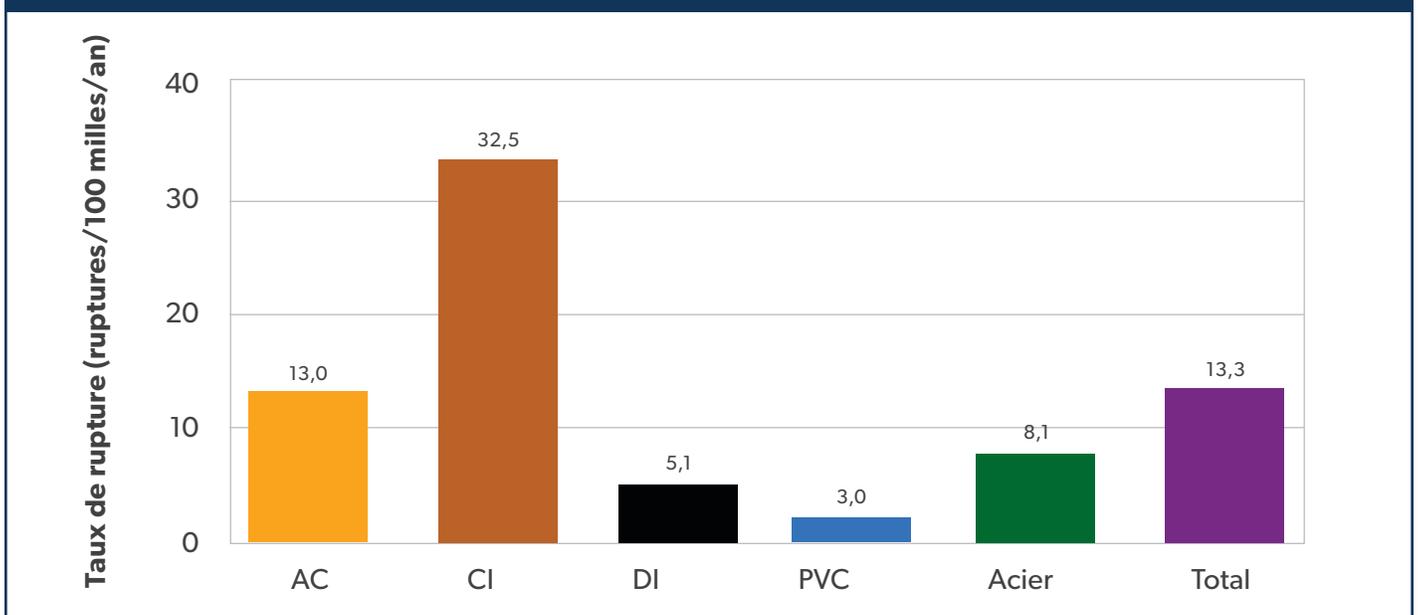
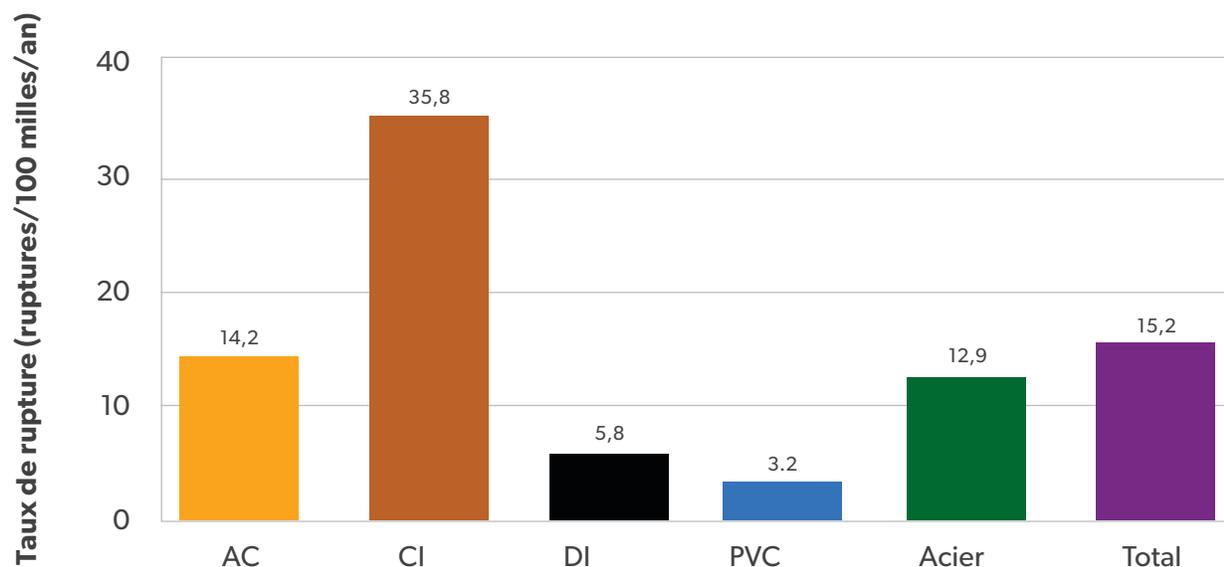


FIGURE 40 : TAUX DE RUPTURE DES TUYAUX DE 3 À 8 PO PAR MATÉRIAU (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



5.3 Fiabilité des tuyaux dans toutes les plages de dimensions

Le tableau 6 résume les taux de rupture par matériau de tuyau en comparant les tuyaux d'adduction d'eau (14 po et plus) aux tuyaux de distribution (3 à 12 po de diamètre) et calcule l'augmentation en pourcentage entre l'adduction et la distribution d'eau. Le taux global de rupture de conduites principales d'adduction d'eau (13,3 ruptures/100 milles/an) est 505 % plus élevé que celui des conduites d'adduction d'eau (2,2 ruptures/100 milles/an). Le tableau illustre que certains matériaux présentent des différences significatives de taux de rupture entre les plages de tailles.

TABLEAU 6 : POURCENTAGE D'AUGMENTATION DES TAUX DE RUPTURE DES CONDUITES D'ADDUCTION VERS LES CONDUITES DE DISTRIBUTION D'EAU PAR MATÉRIAU (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)

	Taux de rupture des conduites principales d'adduction d'eau (≥14 po)	Taux de rupture des conduites principales de distribution d'eau (3 po-12 po)	Pourcentage d'augmentation
AC	3,5	13,0	271 %
CI	7,2	32,5	351 %
DI	1,8	5,1	183 %
PVC	2,1	3,0	43 %
Acier	1,1	8,1	636 %
Autre	1,0	14,3	1 330 %
Total	2,2	13,3	505 %

5.4 Seuil de taux de rupture pour les remplacements

Selon l'AWWA, les conduites d'eau principales doivent être remplacées afin d'améliorer la qualité de l'eau, l'hydraulique et l'intégrité structurelle, ce qui réduit les fuites, les coûts de réparation et d'entretien et améliore la fiabilité du système (AWWA, 2014). Il peut être plus rentable, pour les conduites de petit diamètre, de remplacer les conduites que de réaliser des améliorations structurelles. Le programme d'optimisation du rendement du Partnership for Safe Water (PSW) de l'AWWA indique que l'objectif d'optimisation de la fréquence annuelle des ruptures de conduites principales est un maximum de 15 ruptures pour chaque 100 milles de conduites de distribution d'eau. Une réduction de la fréquence des ruptures de conduites principales (tendance sur 5 ans) est une indication de progrès vers l'optimisation des performances (AWWA, 2011).

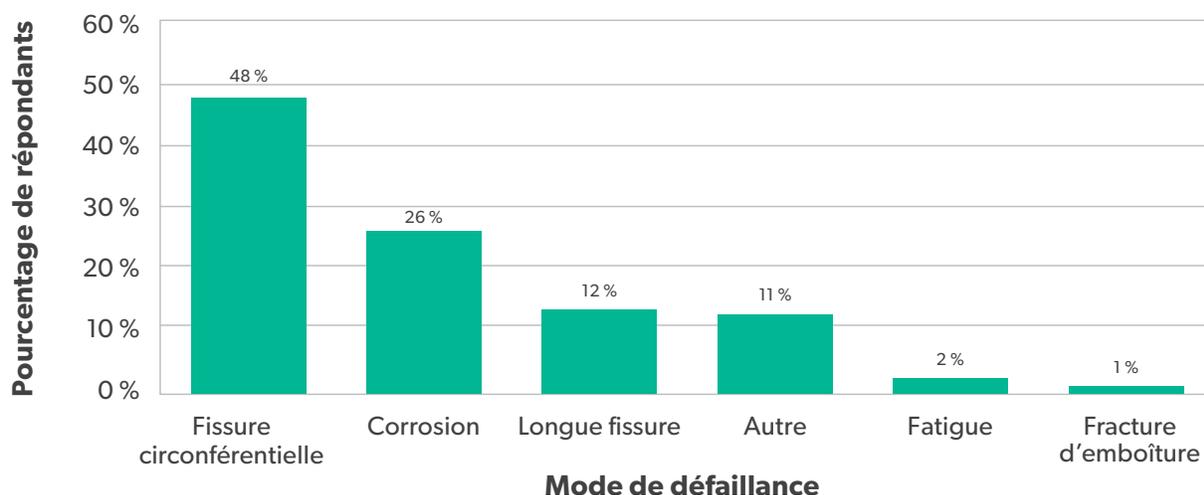
L'enquête détaillée demandait aux participants s'ils avaient un taux de rupture cible pour le remplacement des conduites. Seuls 20 % des répondants ont répondu, fournissant un taux cible moyen de 21 ruptures/100 milles/an. Le faible nombre de réponses peut indiquer qu'il est nécessaire de mettre davantage l'accent sur l'utilisation d'objectifs de taux de défaillance pour les décisions concernant le remplacement des conduites d'eau principales. Une enquête de 2017 confirme l'importance des plans de réhabilitation des réseaux et le coût sociétal des ruptures de conduites d'eau principales. Les coûts indirects tels que les interruptions de service, les retards de transport, les effets sur la santé et les dommages matériels représentent plus de 59 % du coût moyen d'une défaillance (Yerri, 2017).

5.5 Âge et mode des défaillances les plus courantes

L'enquête détaillée demandait aux participants de préciser l'âge typique des conduites d'eau principales défaillantes. La réponse moyenne était de 53 ans, avec une plage de 10 à 130 ans. En 2012 et 2018, l'âge moyen des conduites d'eau principales défaillantes était respectivement de 47 et 50 ans. Cette valeur n'a pas changé de manière significative au cours de la dernière décennie.

Les ruptures de conduite sont complexes et peuvent être causées par de multiples facteurs. En conséquence, l'enquête détaillée demandait aux participants de sélectionner le mode de défaillance le plus courant parmi les suivants : corrosion, fissure de la cloche, fissure circonférentielle, fissure longitudinale, fatigue ou autre. La figure 41 montre que la fissure circonférentielle est la plus fréquente (48 %), suivie par la corrosion (26 %).

FIGURE 41 : MODES DE DÉFAILLANCE LES PLUS COURANTS (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



6.0 Sols corrosifs et méthodes de prévention de la corrosion

L'enquête détaillée demandait aux services publics s'ils avaient un ou plusieurs sites dans leur zone de service dont les sols sont corrosifs. Au total, 75 % des répondants ont déclaré avoir au moins une zone présentant des sols corrosifs. Cela correspond aux résultats des enquêtes de 2012 et 2018. L'enquête a également porté sur l'utilisation de méthodes de protection contre la corrosion. Au total, 73 % ont répondu qu'une technologie de protection contre la corrosion était utilisée. Il leur a également été demandé d'indiquer la ou les méthodes les plus couramment utilisées. L'enrobage en polyéthylène (polywrap) a été la méthode la plus approuvée, suivi par la protection cathodique. Voir le tableau 7 pour la liste complète des méthodes, classées selon leur fréquence, 1 étant la mesure la plus fréquente et 5, la moins fréquente. Sans protection contre la corrosion, on suppose que les tuyaux métalliques (fonte, fonte ductile et acier) présentent des taux de rupture nettement plus élevés.

TABLEAU 7 : MÉTHODES DE PRÉVENTION DE LA CORROSION TYPIQUES

Rang	Méthodes de prévention de la corrosion
1	Polywrap
2	Anodes ou protection cathodique
3	Polywrap V-bio
4	Courant imposé
5	Revêtement diélectrique

6.1 Études complémentaires sur la corrosion

Une étude réalisée en 2018 par la Water Research Foundation (WRF) et intitulée : *Water Main Break Findings: Practical Condition Assessment and Failure Probability Analysis of Small Diameter Ductile Iron Pipe* (Évaluation pratique de l'état et analyse de la probabilité de défaillance des tuyaux en fonte ductile de petit diamètre), indique que *les parois des tuyaux en fonte ductile de petit diamètre (tuyaux d'un diamètre inférieur ou égal à 12 po) sont plus minces que celles des tuyaux en fonte ductile de grand diamètre (tuyaux d'un diamètre supérieur à 24 po). Par conséquent, les pénétrations dans les parois dues à la corrosion peuvent se produire dans un laps de temps plus court* (Kumar, 2018). L'enquête a porté sur les services publics et a révélé que le nombre total moyen de défaillances par an pour 100 milles de conduites de petit diamètre [moins de 12 po] était de 15,1 ruptures/an/100 milles (Kumar, 2018).

Cette enquête de 2023 de l'USU a également mis en évidence la même corrélation entre des taux de rupture plus élevés et des tuyaux en fonte ductile de diamètre inférieur. Cependant, cette enquête, qui porte sur un ensemble de données beaucoup plus important, fait état d'un taux de rupture pour la fonte ductile de 5,1 pour les diamètres inférieurs à 12 po. En ce qui concerne l'épaisseur de la paroi des tuyaux, une autre étude de la WRF a démontré qu'une paroi de tuyau plus mince sera perforée [en raison de la corrosion] plus rapidement que la paroi plus épaisse (Rajani, 2011). Ces rapports de recherche indiquent que les tuyaux en fonte ductile de catégorie plus épaisse peuvent être considérés par les services publics comme une méthode de protection contre la corrosion. L'enquête de 2023 de l'USU n'a pas pris en compte le rendement des différentes méthodes d'atténuation de la corrosion pour les conduites métalliques ni l'épaisseur des parois des conduites en fonte ductile en ce qui concerne la fréquence des ruptures de conduites d'eau.

6.2 Effet des sols corrosifs sur les taux de rupture

L'USDA Natural Resources Conservation Service a élaboré une carte d'étude des sols indiquant les zones présentant un potentiel de « risque de corrosion » dû à une action électrochimique ou chimique induite par le sol, qui corrode ou affaiblit l'acier non revêtu. Les sols sont classés comme présentant un risque « faible », « modéré » ou « élevé » en fonction de l'humidité, de la taille des particules, de l'acidité et de la conductivité électrique. Ces données figurent dans la base de données géographique de l'USDA (SSURGO), qui peut être consultée sur ArcGIS pour produire des parcelles montrant les zones à faible risque en vert, les zones à risque modéré en jaune et les zones à risque élevé en rouge.

La figure 42 donne une vue d'ensemble des sols aux États-Unis. Le risque pédologique peut changer sur de très courtes distances, comme le montre la figure 43, qui présente une capture d'écran des conditions de risque pédologique à l'intérieur des limites d'un comté du Nebraska. Ce comté offre un exemple des trois niveaux de corrosivité du sol : faible (vert), modéré (jaune) et élevé (rouge). Les données d'analyse pédologique ne sont pas disponibles dans les zones colorées en gris clair. Pour le rapport 2023, un numéro d'indice a été attribué à chaque couleur : vert = 1, jaune = 2, rouge = 3. ArcGIS a calculé les indices de corrosion pour chaque comté américain où se trouvent un ou plusieurs services publics en pondérant le pourcentage de chaque couleur dans la zone.

FIGURE 42 : CARTE DES SOLS CORROSIFS DES ÉTATS-UNIS (POTENTIEL DE CORROSION DE L'ACIER)

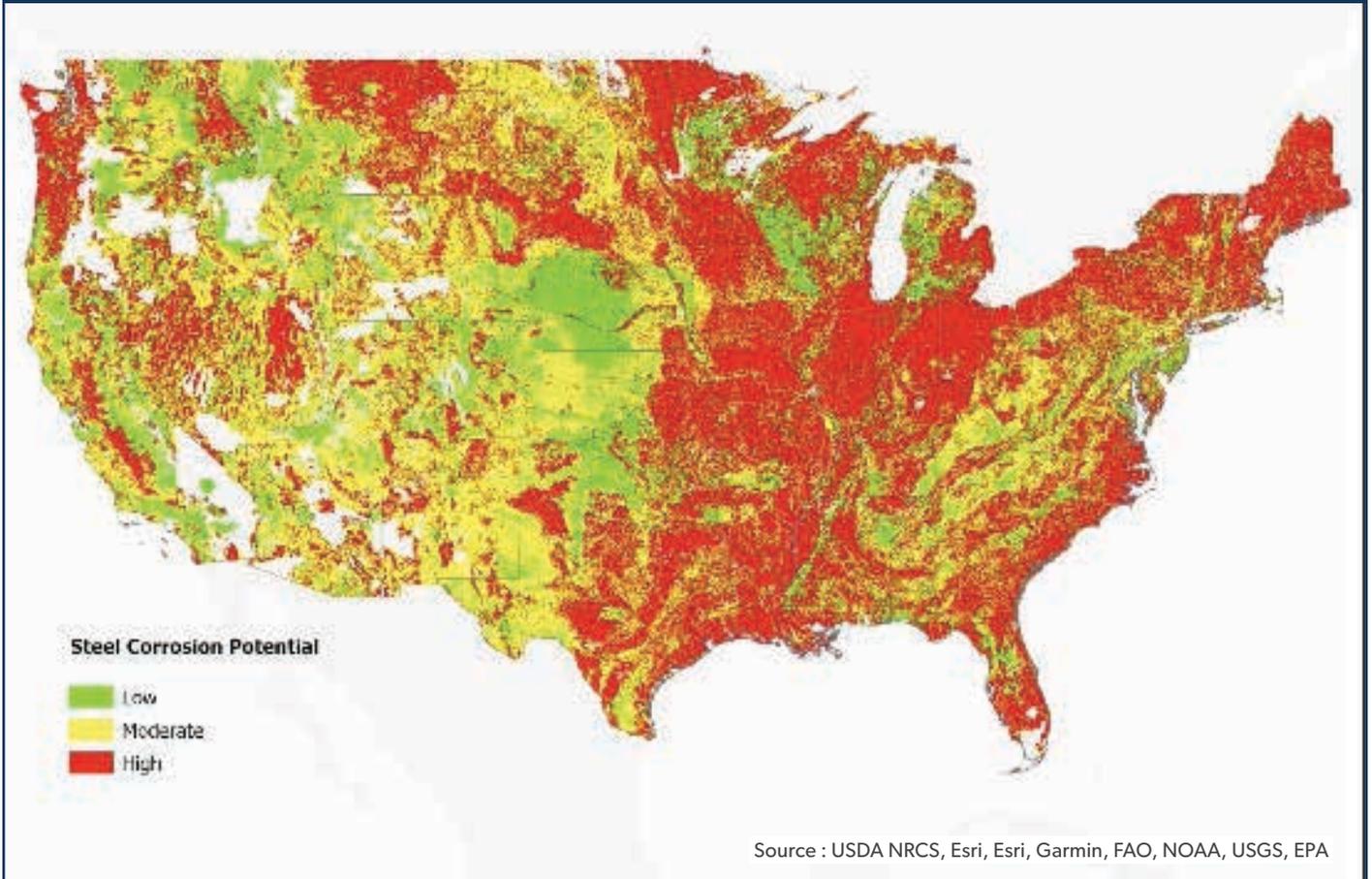
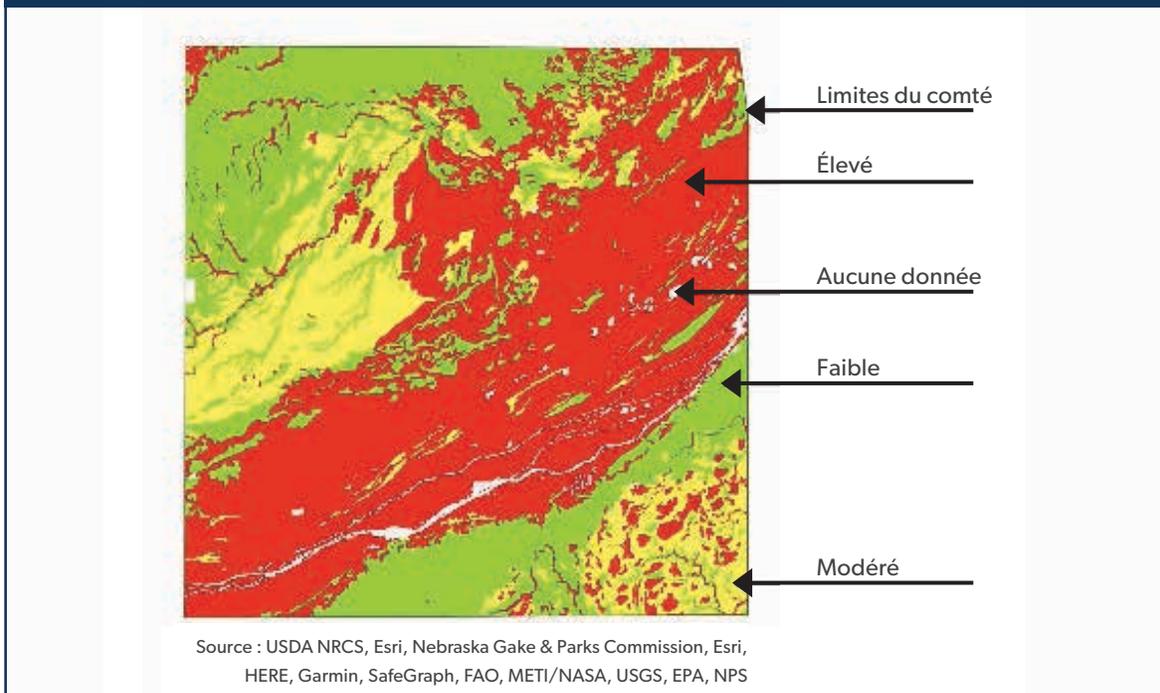


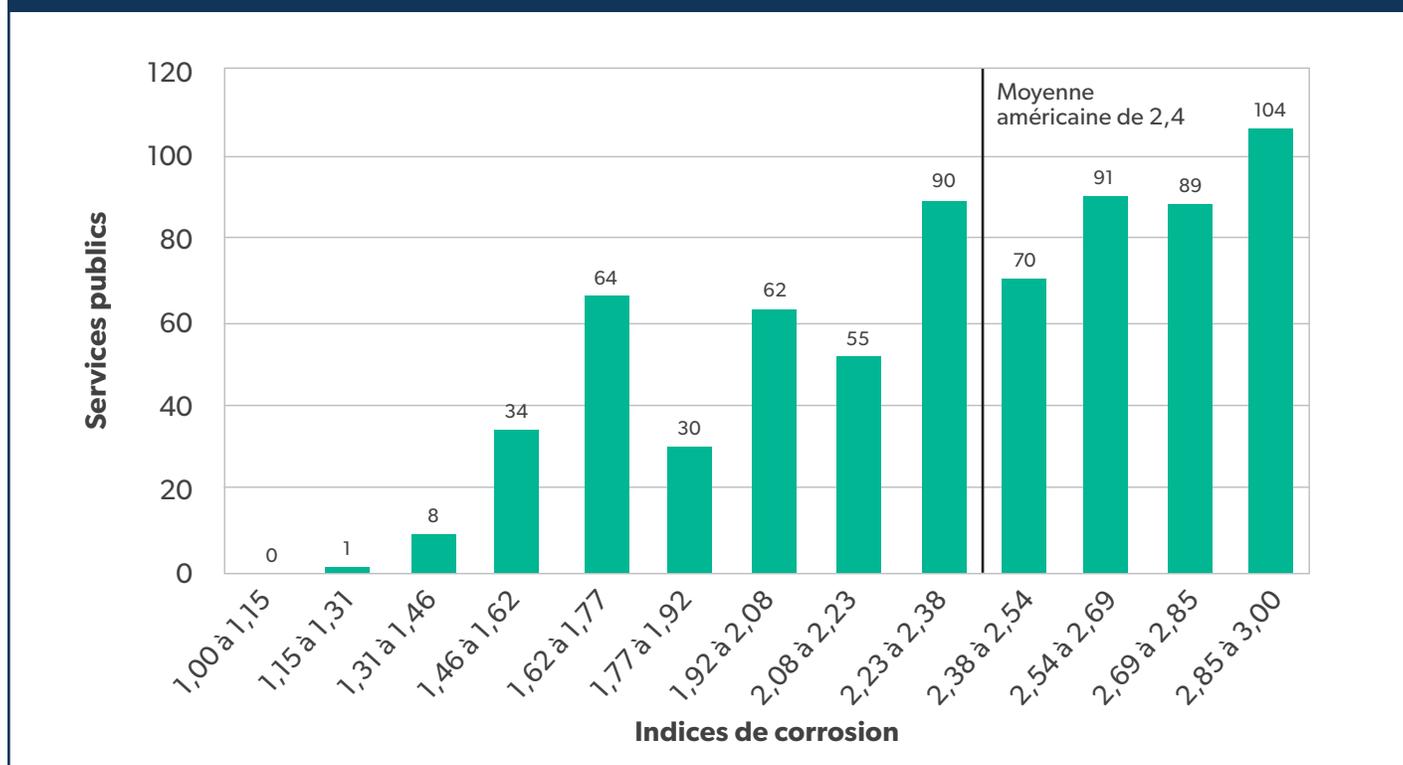
FIGURE 43 : CARTE DU COMTÉ ILLUSTRANT LES RISQUES DE CORROSIVITÉ DES SOLS



Les valeurs de l'indice de corrosion ont été calculées pour 458 comtés des États-Unis. Par exemple, le comté illustré à la figure 43 a généré un indice de corrosion de 2,2, ce qui est légèrement supérieur à un niveau modéré. Certains comtés américains ne disposaient que de peu ou pas de données sur les sols à l'intérieur de leurs frontières, ce qui a empêché la détermination d'un indice de corrosion.

La valeur de l'indice de corrosion calculée pour chaque comté a été classée dans l'une des treize catégories, comme le montre la figure 44.

FIGURE 44 : NOMBRE DE SERVICES PUBLICS POUR CHAQUE GROUPE D'INDICES DE CORROSION



L'indice de corrosion moyen pour tous les services publics américains ayant participé à l'enquête de base était de 2,37, soit un niveau proche de la moyenne entre un risque de corrosion modéré et un risque de corrosion élevé. L'indice de corrosion global des États-Unis, tel qu'il ressort de la figure 44, est notamment de 2,4. En d'autres termes, la plupart des services publics aux États-Unis présentent un risque de corrosivité des sols modéré à élevé, ce qui est cohérent avec le rapport d'enquête détaillée qui montre que 75 % des services publics ont une ou plusieurs zones où le sol est corrosif.

On peut raisonnablement s'attendre à ce que les taux de rupture augmentent lorsque des conduites métalliques sont installées dans des sols corrosifs. Des graphiques ont été établis pour examiner l'indice de corrosion d'un service public en fonction du taux de rupture. Le tableau 8 répartit les taux de rupture des tuyaux en fonte et en fonte ductile en treize plages d'indice de corrosion où le nombre de services publics représentés dans chaque plage est à peu près égal. Les résultats sont présentés dans le tableau 8. Ces données sont ensuite représentées dans la figure 45 pour les tuyaux en fonte et dans la figure 46 pour les tuyaux en fonte ductile. Les figures contiennent également une droite de régression et le coefficient de corrélation correspondant. Les coefficients de corrélation proches de 1 indiquent une excellente relation statistique, tandis qu'un coefficient de corrélation proche de 0 indique une absence de corrélation. Les résultats correspondant à la fonte ductile indiquent une corrélation assez importante. Il convient de noter qu'il existe une faible corrélation entre la corrosivité du sol et les taux de rupture de la fonte. Cela peut être dû aux parois plus épaisses des tuyaux en fonte et aux propriétés des matériaux qui font que les taux de défaillance des tuyaux en fonte dépendent davantage de l'âge des tuyaux que de la corrosivité du sol.

TABLEAU 8 : RÉPARTITION DES VALEURS DE L'INDICE DE CORROSION (ÉTUDE DE BASE)

Catégorie	Plages des indices de corrosion	Nombre de participants	Indice de corrosion moyen		Taux de rupture (ruptures/100 milles/an)	
			Fonte	Fonte ductile	Fonte	Fonte ductile
1	1,00 à 1,66	48	1,46	1,49	22,1	2,2
2	1,66 à 1,78	60	1,71	1,70	13,6	3,5
3	1,78 à 1,99	53	1,90	1,90	27,7	2,5
4	1,99 à 2,12	54	2,07	2,05	27,4	3,4
5	2,12 à 2,25	54	2,21	2,20	14,1	3,2
6	2,25 à 2,32	53	2,30	2,30	26,2	4,2
7	2,32 à 2,45	53	2,39	2,40	19,1	3,6
8	2,45 à 2,57	52	2,51	2,51	34,9	4,4
9	2,57 à 2,66	54	2,60	2,60	29,9	5,3
10	2,66 à 2,75	54	2,70	2,69	27,1	5,7
11	2,75 à 2,84	55	2,80	2,80	27,1	5,2
12	2,84 à 2,92	65	2,86	2,86	35,8	4,5
13	2,92 à 3,00	58	2,96	2,97	28,5	6,7

FIGURE 45 : TAUX DE RUPTURE DES CONDUITES EN FONTE PAR INDICE DE CORROSION (ENQUÊTE DE BASE)

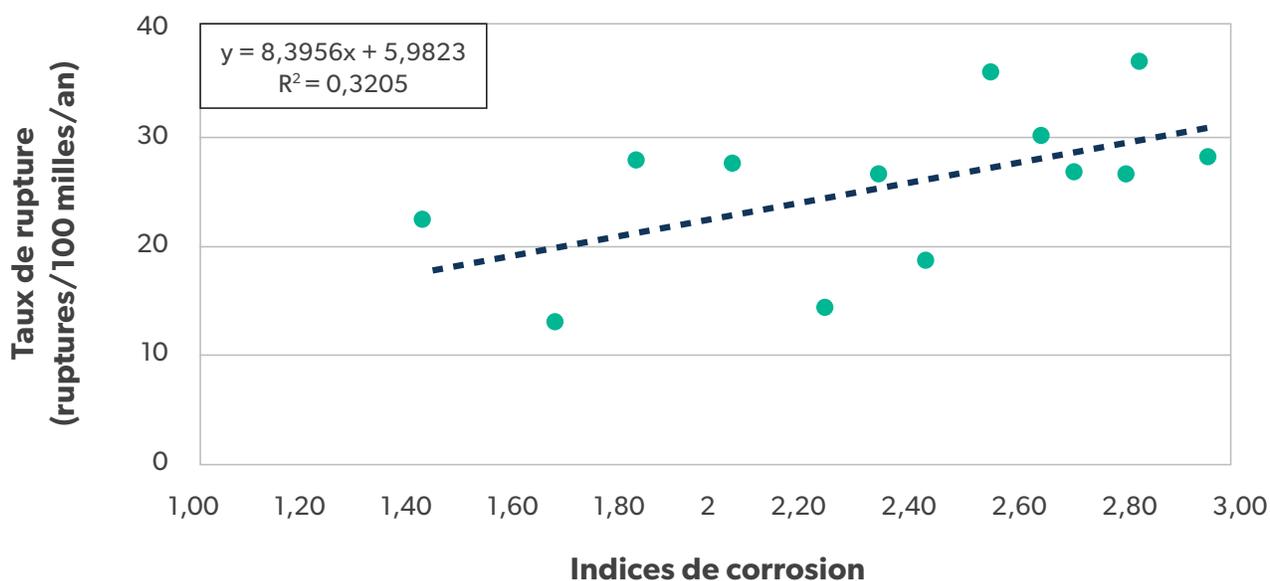
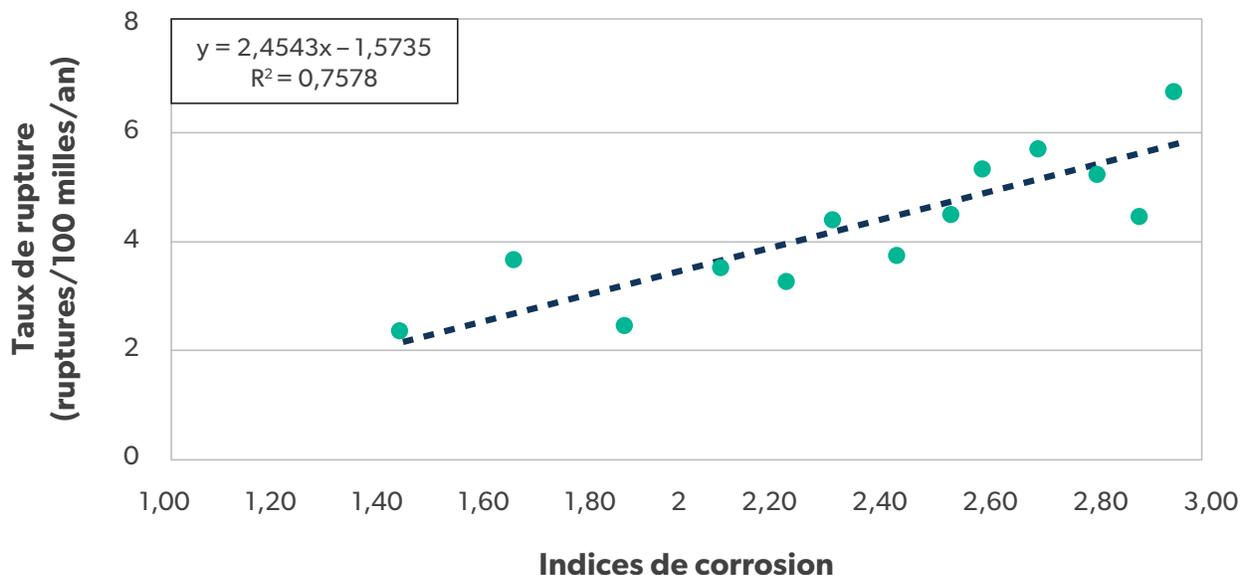


FIGURE 46 : TAUX DE RUPTURE DES CONDUITES EN FONTE DUCTILE PAR INDICE DE CORROSION (ENQUÊTE DE BASE)



La pente de la courbe de la figure 45 montre que les conduites en fonte (CI) situées dans un sol très corrosif (indice de corrosion de 3,0) devraient avoir un taux de rupture à plus de deux fois supérieur à celui d'une conduite située dans un sol peu corrosif (indice de corrosion de 1,0). De même, la figure 46 montre qu'une conduite en fonte ductile (DI) dans un sol très corrosif (indice de corrosion de 3,0) aura un taux de rupture environ six fois supérieur à celui d'une conduite dans un sol peu corrosif (indice de corrosion de 1,0). Des corrélations très faibles ont été trouvées pour tous les autres matériaux de tuyau dans cette enquête. Il est entendu que d'autres facteurs non inclus dans l'enquête peuvent contribuer aux taux de défaillance des tuyaux en fonte (CI) et en fonte ductile (DI).

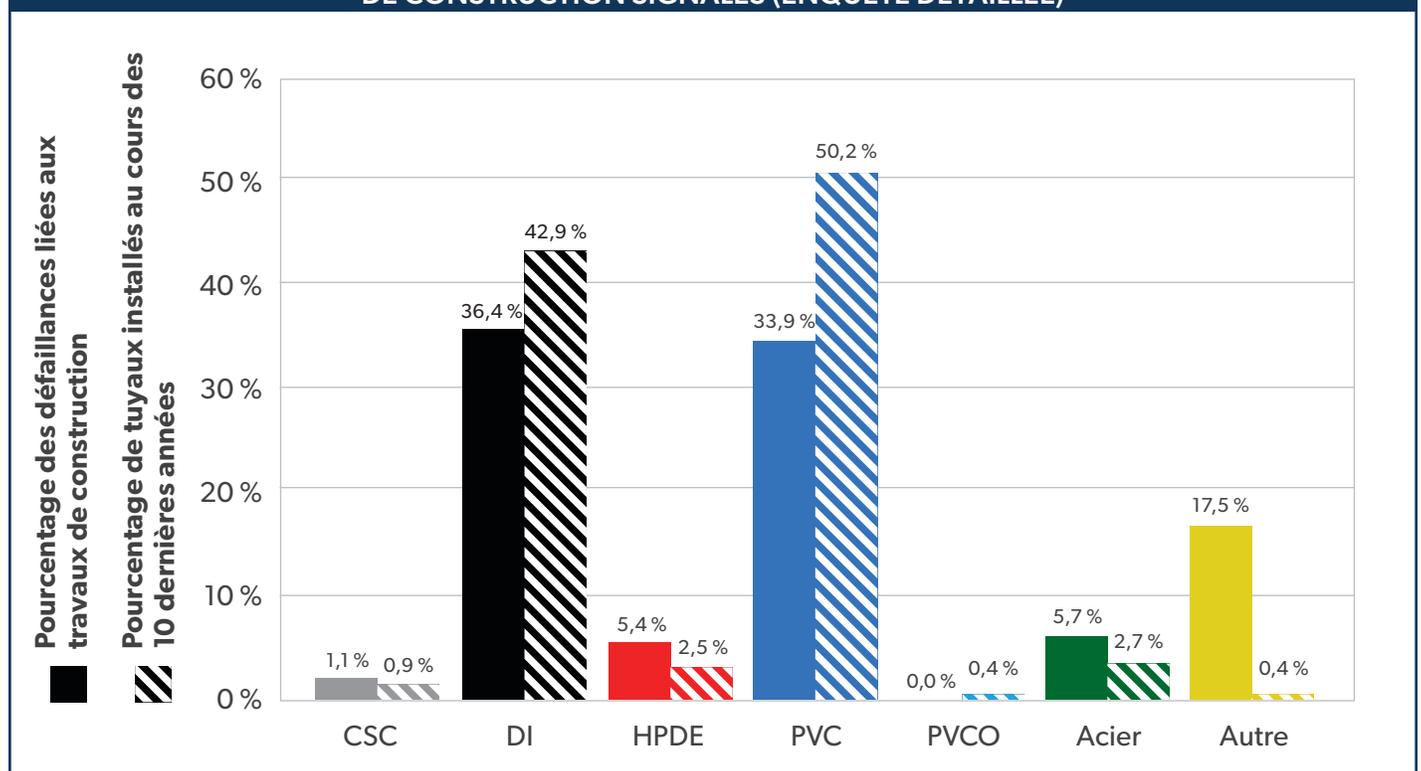


7.0 Défaillances liées aux travaux de construction

L'enquête détaillée demandait aux répondants de signaler les défaillances liées aux activités de construction. La figure 47 illustre le pourcentage du total des défaillances liées aux travaux de construction par type de matériaux de tuyau (représenté par une barre pleine). Les tuyaux en fonte ductile et en PVC présentent la majorité des défaillances liées à la construction, la fonte ductile enregistrant un nombre légèrement plus élevé (36,4 %) que le PVC (33,9 %). Comme l'illustre la figure 12, la fonte ductile (DI) et le PVC sont les deux matériaux de tuyau les plus utilisés actuellement, et l'on s'attend ainsi à ce que ces deux matériaux connaissent le plus grand nombre de défaillances pendant ou après leur installation. Puisque les tuyaux en amiante-ciment (AC) et en fonte (CI) ne sont plus installés, ils n'ont pas été pris en compte. La catégorie « Autres » de la figure 47 comprend des matériaux tels que le bois et la fibre de verre, ainsi que des matériaux de tuyau « inconnus ».

Pour chaque matériau de tuyau, la barre hachurée représente le pourcentage de la longueur totale installée au cours des dix dernières années. Si la fonte ductile et le PVC présentent un nombre élevé de défaillances liées aux travaux de construction, ils ont également la plus grande longueur installée. En revanche, le PEHD et l'acier présentent un faible nombre de défaillances liées aux travaux de construction et une faible longueur installée par rapport à la fonte ductile et au PVC. Lorsque la barre hachurée est plus élevée que la barre pleine, cela indique que le matériau présente comparativement moins de dommages liés aux travaux de construction

FIGURE 47 : POURCENTAGE DU TOTAL DES DÉFAILLANCES LIÉES AUX TRAVAUX DE CONSTRUCTION SIGNALÉS (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



8.0 Planification du remplacement des conduites d'eau principales

L'enquête détaillée a interrogé les répondants sur la durée de vie prévue des conduites et sur leur remplacement. Les réponses sont résumées dans le tableau 9. L'âge moyen des conduites d'eau principales défectueuses était de 53 ans (contre 50 ans en 2018 et 47 ans en 2012), ce qui est bien inférieur à ce que prétendent la plupart des fabricants. En revanche, la durée de vie moyenne déclarée pour l'ensemble des conduites est de 78,4 ans (cette valeur était de 84 ans en 2018 et de 79 ans en 2012). L'âge typique des conduites d'eau principales défectueuses et la durée de vie prévue des conduites n'ont pas changé de manière significative au cours des onze dernières années.

L'enquête de base et l'enquête détaillée ont montré qu'environ 70 % des services publics ont un programme de remplacement des conduites. Les répondants ont été invités à indiquer le pourcentage de leurs conduites d'eau principales qui ont dépassé leur durée de vie utile, mais pour lesquelles les fonds nécessaires à leur remplacement font défaut. La réponse moyenne était de 19,4 %. Les réponses aux enquêtes de 2012 et de 2018 étaient respectivement de 8,4 % et de 16 %. Ces réponses tendancielles indiquent que le besoin de remplacement des conduites augmente.

TABLEAU 9 : QUESTIONS SUR LE REMPLACEMENT DES CONDUITES D'EAU DÉFAILLANTES

Thèmes des questions	Moyenne ou réponses
Âge moyen des conduites d'eau principales	53 ans
Durée de vie moyenne des nouvelles conduites d'eau principales	78 ans
Pourcentage ayant un programme de remplacement des conduites (enquête de base)	70 %
Pourcentage ayant un programme de remplacement des conduites (enquête détaillée)	69 %
Pourcentage moyen de conduites d'eau principales ayant dépassé leur durée de vie utile et qui manquent de fonds pour les remplacer	19,4 %

En 2018, l'enquête détaillée a permis de déterminer que le taux de remplacement moyen des conduites d'eau principales était de 125 ans. L'enquête 2023 n'a pas repris cette question. Toutefois, à la question de savoir quelle longueur de conduite est prévue dans le cadre d'un programme de remplacement, la réponse moyenne est de 4,4 milles. En général, la plupart des services publics visent un taux de remplacement annuel de 1 %, ce qui représente un cycle de remplacement de 100 ans. Le pourcentage des services d'eau qui remplacent régulièrement les conduites d'eau principales est passé de 58 % en 2018 à 69 % en 2023, ce qui correspond à la réduction consignée des conduites en fonte et en amiante-ciment de la présente enquête.

L'âge moyen d'une conduite d'eau principale défectueuse est de 53 ans. En outre, 33 % des conduites installées aux États-Unis et au Canada ont plus de 50 ans, ce qui représente environ 770 000 milles de conduites. Qui plus est, 19,4 % des conduites d'eau principales installées, soit 452 000 milles sur un total estimé à 2,33 millions de milles aux États-Unis et au Canada, auraient dépassé leur durée de vie utile, mais n'ont pas encore été réparées ou remplacées par manque de fonds. Ces chiffres soulignent la nécessité de mettre en place des programmes de remplacement.

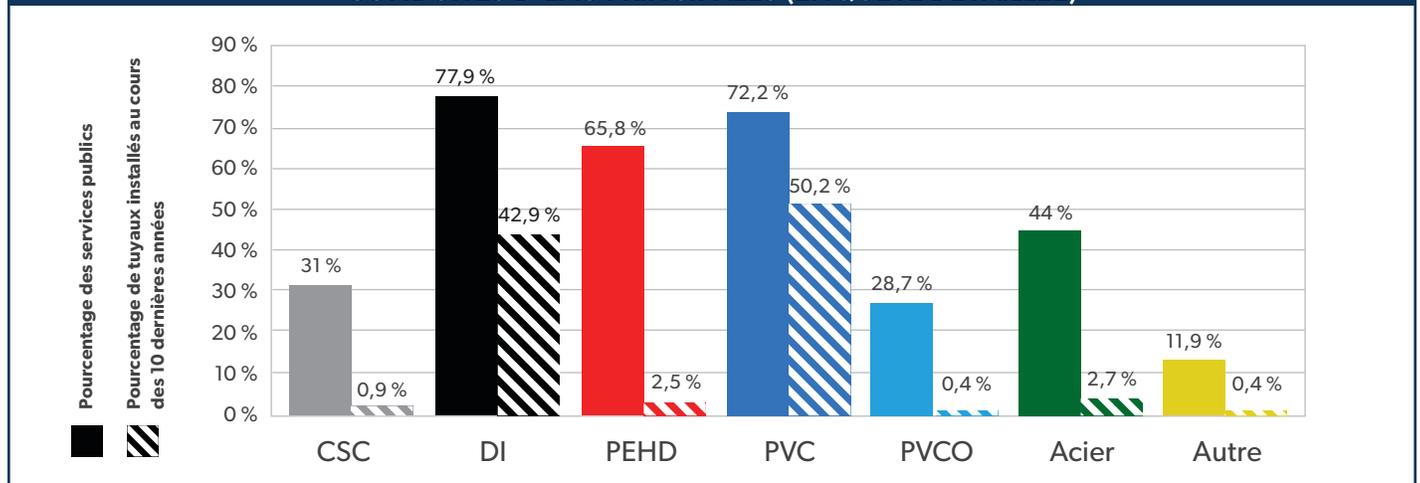
Afin de couvrir les coûts de ces besoins de remplacement, un financement important sera nécessaire. En appliquant un coût de remplacement d'un million de dollars par mille (189 \$ par pied linéaire), le déficit de financement total nécessaire pour remplacer les 452 000 milles s'élèverait à environ 452 milliards \$. Les résultats de l'étude indiquent que 43,5 % des services publics procèdent à une évaluation régulière de l'état de leurs conduites d'eau principales. Cela souligne la nécessité de disposer de données sur le rendement des conduites et d'évaluer leur état dans le cadre d'un programme rentable de gestion des infrastructures de distribution d'eau.

9.0 Matériaux de tuyau approuvés

L'enquête détaillée demandait aux répondants quels matériaux de tuyau pour les conduites d'eau principales étaient actuellement approuvés pour leur service public. Les matériaux acceptés pour les tuyaux ne correspondent pas nécessairement à ce qui est réellement installé par un service public (figure 12). La figure 48 illustre le pourcentage de répondants qui autorisent l'installation d'un matériau de tuyau particulier (indiqué par une barre pleine).

Pour chaque matériau, la barre hachurée représente le pourcentage de la longueur totale installée au cours des 10 dernières années. Par exemple, la fonte ductile et le PVC ont un taux d'acceptation élevé et la longueur la plus installée. En revanche, le PEHD est aussi couramment approuvé, mais seule une petite quantité a été installée. L'acier, le CSC et le PVCO ont à la fois des taux d'acceptation et des durées d'installation faibles. Les matériaux de tuyau qui présentent la plus grande différence entre les barres pleines et les barres hachées indiquent que, bien qu'ils puissent être acceptés, ils ne peuvent être utilisés que dans des applications spécifiques.

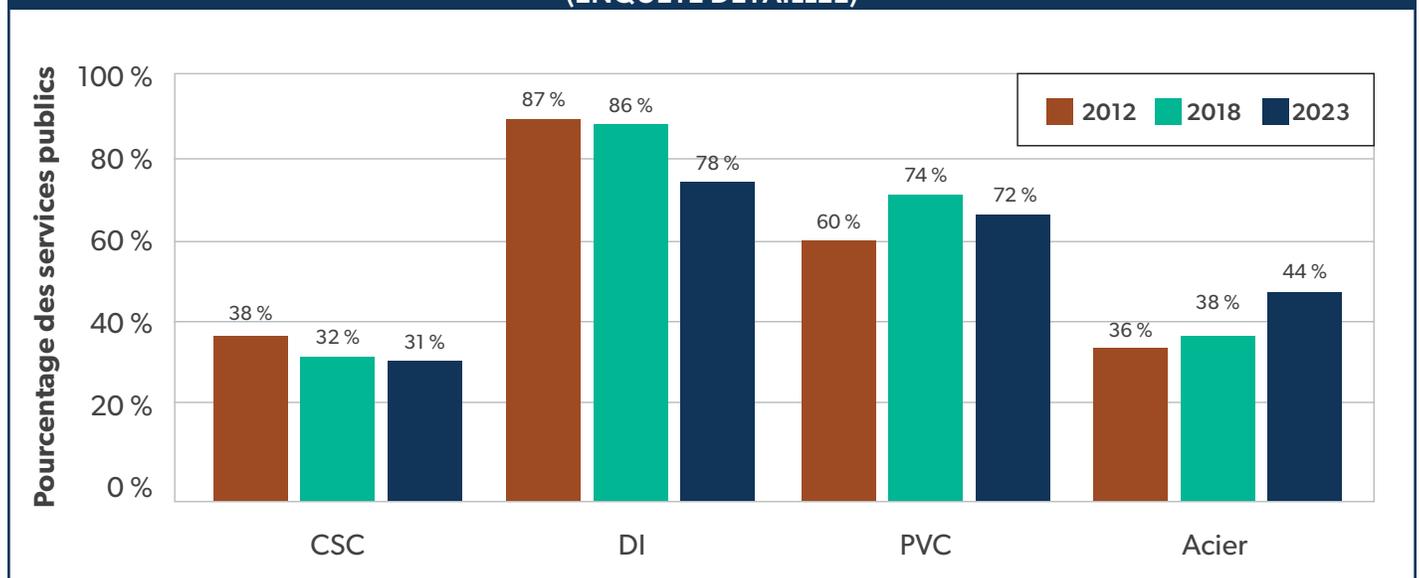
FIGURE 48 : POURCENTAGE DE SERVICES PUBLICS AUTORISANT L'UTILISATION DE MATÉRIAUX POUR LES CONDUITES D'EAU PRINCIPALES (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



46

La figure 49 compare les matériaux de tuyaux dont l'utilisation a été approuvée par les services publics dans l'enquête de 2023 avec les données obtenues dans les enquêtes de 2012 et 2018; la fonte et l'amiante-ciment ne figurent pas dans la liste, car ces matériaux ne sont plus fabriqués. Le nombre de services publics approuvant l'utilisation de tuyaux en CSC et en PVC dans les réseaux de distribution d'eau est resté essentiellement le même qu'en 2018. Le changement le plus important est la réduction de 8 % de l'acceptation des tuyaux de distribution d'eau en fonte ductile. Le deuxième changement le plus important est l'augmentation de 6 % du pourcentage d'acceptation des tuyaux en acier. Il est important de noter que le PEHD et le PVCO n'ont pas été inclus dans la figure 49 en raison de leur utilisation limitée et des données du rapport 2012 de l'USU. Cependant, entre 2018 et 2023, le pourcentage d'acceptation du PEHD et du PVCO n'a pas changé de manière significative. À titre de comparaison, les figures 17 à 19 illustrent l'utilisation réelle des tuyaux au cours des trois périodes d'étude, par région.

FIGURE 49 : COMPARAISON AVEC LES ENQUÊTES PRÉCÉDENTES POUR LES MATÉRIAUX AUTORISÉS (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



10.0 Préférences pour l'installation des tuyaux

L'enquête détaillée a interrogé les répondants sur leurs expériences en matière d'installation, de réhabilitation et de remplacement des conduites d'eau principales. Il s'agit notamment d'installer de nouvelles conduites à l'aide de tranchées à ciel ouvert ou directionnels, de refaire le revêtement de conduites détériorées et de remplacer des conduites en utilisant la technique d'éclatement des tuyaux. Le tableau 10 résume les réponses. Le tableau utilise une échelle de 1 à 5, dont 1 signifie « Insatisfait » et 5 signifie « Très satisfait ». Peu de services publics ont recours à l'éclatement des conduites, mais un nombre croissant d'entre eux envisagent cette technique, ainsi que le regarnissage des conduites et le forage directionnel. La coupe de tranchée à ciel ouvert est la méthode d'installation de tuyaux la plus largement acceptée.

TABLEAU 10 : MÉTHODES D'INSTALLATION DES TUYAUX (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)

	À ciel ouvert	Forage directionnel	Tubage intérieur	Éclatement de la tuyauterie
Pourcentage de répondants ayant utilisé cette technique	93 %	65 %	32 %	18 %
Matériaux rapportés utilisés	DI, PVC, PEHD*	PEHD, PVC, DI, Acier	Époxy, CIPP**	PVC, PEHD
Échelle de satisfaction de 1 à 5	4,6	4,5	4.0	3,5
Pourcentage de répondants qui utiliseront cette technique à l'avenir	98 %	85 %	68 %	55 %
Commentaires	Cette méthode d'installation est standard, mais peut être plus lente.	Cette méthode d'installation fonctionne bien pour les traversées de rivières, de voies ferrées et de rues.	Cette méthode d'installation est plus coûteuse, mais elle ne cause que des perturbations minimales. Elle est utilisée lorsqu'il n'est pas possible de procéder à une coupe à ciel ouvert, principalement pour les conduites de grand diamètre.	Cette méthode d'installation, dont les coûts sont plus élevés, est utile lorsque les autres méthodes ne sont pas réalisables.

* Très peu de réponses ont été soumises (moins de 5 %).

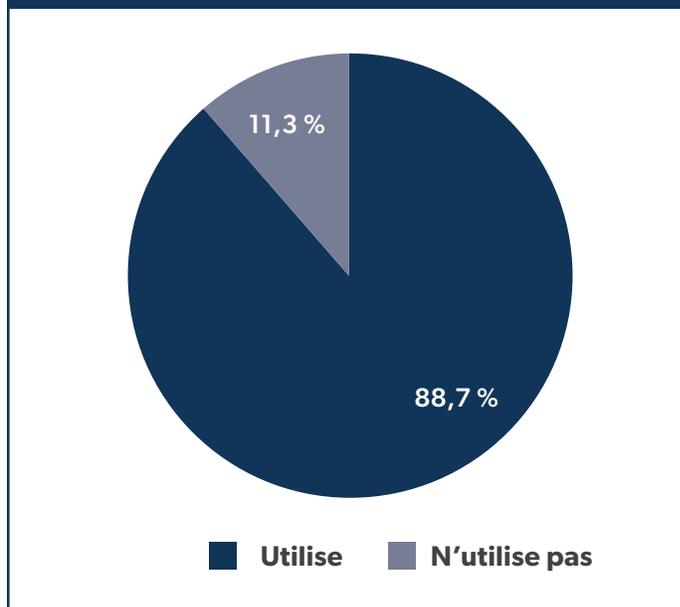
** Chemisage, en anglais : Cured-In-Place-Pipe.

11.0 Gestion des infrastructures

L'un des objectifs généraux de l'enquête de 2023 réalisée par l'USU est de fournir aux services de distribution d'eau et aux gestionnaires d'actifs des informations supplémentaires afin d'améliorer la gestion des infrastructures des conduites d'eau. Le caractère exhaustif de l'enquête 2023 et la participation de plus de 800 services de distribution d'eau aux États-Unis et au Canada suggèrent que, depuis 2012, de plus en plus de services d'eau collectent des données sur leurs conduites. Pour ce faire, les services de distribution d'eau ont intégré les données relatives aux infrastructures souterraines (actifs linéaires) dans un système d'information géographique (SIG). Le SIG est un élément technologique essentiel de la gestion des actifs et peut être intégré dans un système de gestion de la maintenance informatique (CMMS) ou un système de gestion des actifs plus large. Lorsque les répondants à l'enquête ont été interrogés sur leur utilisation du SIG, 88,7 % ont confirmé les capacités du SIG. La figure 50 illustre les utilisateurs et les non-utilisateurs du SIG déclarés.

Des mesures précises de la performance des conduites et des estimations de leur durée de vie sont essentielles pour une gestion efficace des infrastructures souterraines. Cette enquête fournit des données précises sur les infrastructures qui peuvent être utilisées pour améliorer l'analyse des coûts du cycle de vie des conduites d'eau. Les informations sur le taux de rupture des conduites peuvent aider à évaluer avec précision la performance et la longévité des réseaux de conduites.

FIGURE 50 : QUESTION D'ENQUÊTE SUR L'UTILISATION DU SIG (ENQUÊTE DE BASE)



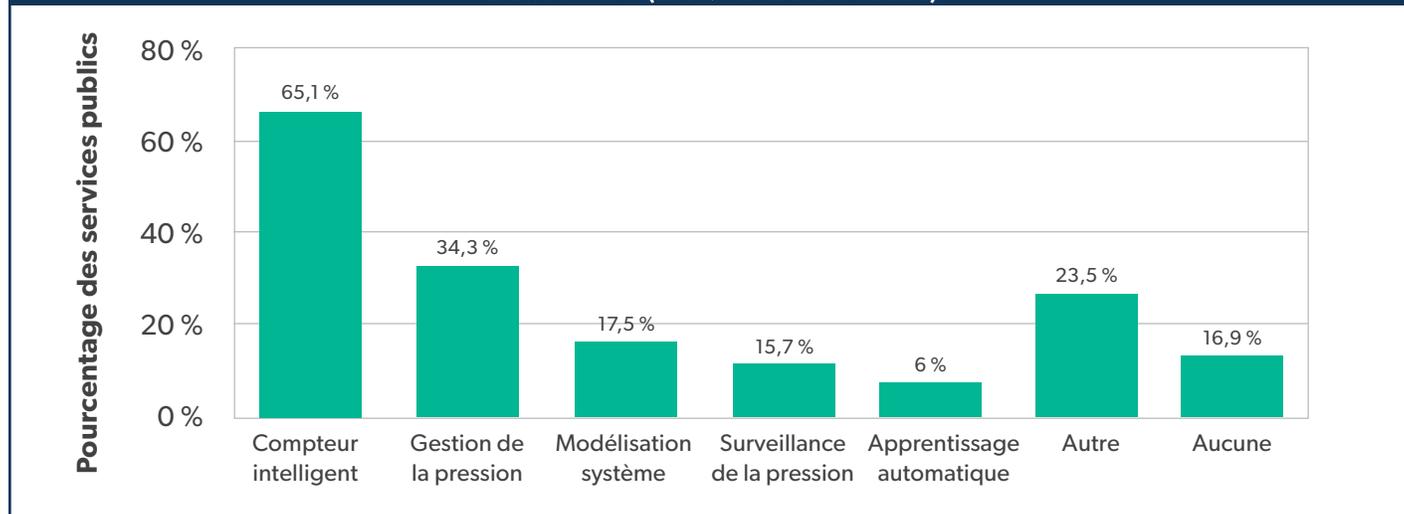
48

11.1 Gestion des actifs numériques

Les technologies numériques sont de plus en plus utilisées par les services publics comme outil de gestion des actifs. Ces technologies permettent de savoir quels actifs sont essentiels pour maintenir un niveau de service acceptable et facilitent l'exploitation et la maintenance, ce qui permet au personnel de gagner du temps et d'éviter les interruptions du service d'eau.

L'enquête détaillée a interrogé les répondants sur leur utilisation de cinq technologies numériques différentes : les compteurs intelligents/les compteurs avancés, la gestion de la pression à l'échelle du système, la modélisation du système en temps réel, la surveillance de la pression à haute fréquence et l'intelligence artificielle / l'apprentissage automatique de l'évaluation de l'état du réseau. La catégorie « Autres » comprend des technologies telles que la détection des fuites, les logiciels de contrôle de surveillance et d'acquisition de données (SCADA), la modélisation des risques, etc. La figure 51 montre le pourcentage de services publics qui utilisent les technologies énumérées.

FIGURE 51 : SERVICES PUBLICS UTILISANT LA TECHNOLOGIE NUMÉRIQUE DANS LA GESTION DES ACTIFS (ENQUÊTE DÉTAILLÉE)



12.0 Conclusion

Ce rapport résume l'une des enquêtes les plus complètes et statistiquement significatives sur les ruptures de conduites d'eau jamais réalisées sur les infrastructures souterraines. Cette enquête s'est concentrée sur les matériaux de tuyau, le diamètre utilisé, l'âge, les tendances dans l'utilisation des matériaux, les taux de rupture, les effets de la corrosion du sol et les caractéristiques de la taille des services publics aux États-Unis et au Canada. L'enquête a permis à 802 participants de répondre à une enquête de base et à 172 services publics de répondre à une enquête détaillée. L'enquête avait comme objectif principal d'obtenir des valeurs moyennes pour les taux de rupture des conduites d'eau en fonction du matériau et du diamètre des tuyaux. Ces résultats sont présentés dans la section 5 et résumés dans la figure 52. Les résultats de l'enquête indiquent que le PVC présente le taux de rupture le plus faible des matériaux les plus couramment utilisés pour les conduites d'eau.

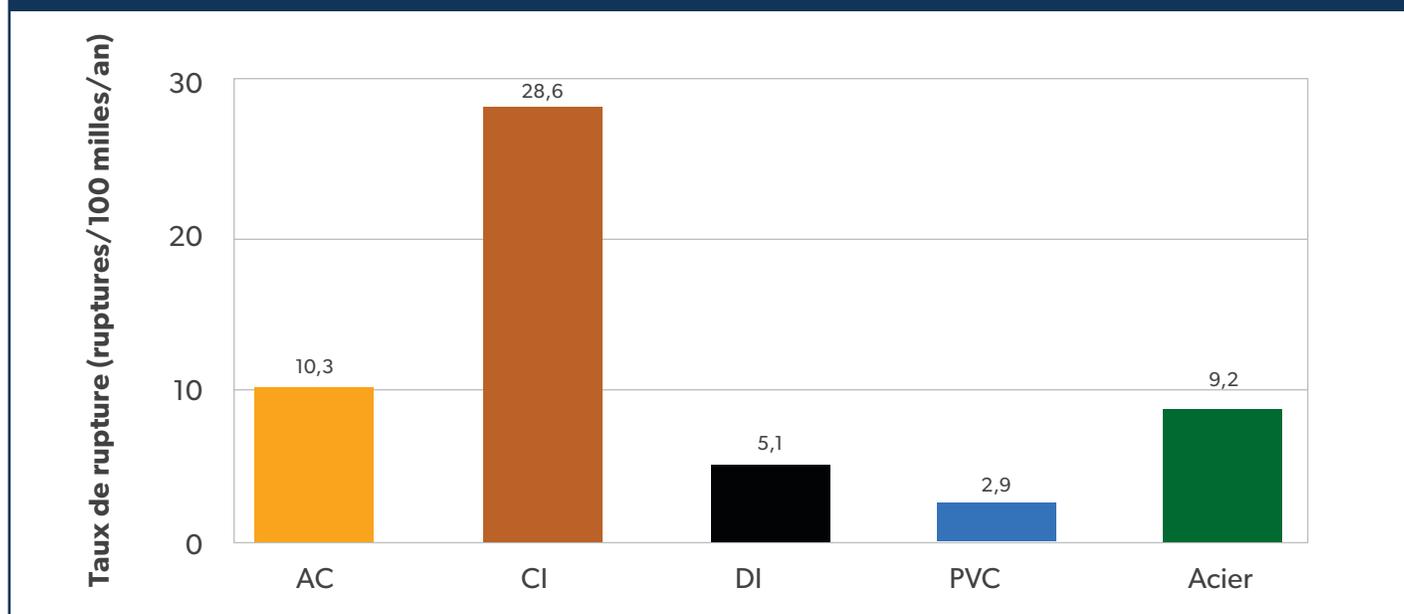
Les données générées par cette étude permettent aux gestionnaires des services publics de comparer la performance de leurs réseaux de conduites avec les résultats de l'enquête afin d'améliorer la gestion des actifs et les pratiques d'approvisionnement. Grâce à une meilleure compréhension des risques et des problèmes liés au rendement des infrastructures d'eau, les services publics peuvent mieux gérer leurs réseaux de conduites.

12.1 Résultats importants de cette étude

Les faits saillants de ce rapport sur les ruptures de conduites d'eau sont les suivants :

- ▶ Taille de l'échantillon beaucoup plus importante (réponse des services publics) par rapport aux rapports précédents : Sections 2.1, 2.6 (tableau 3)
- ▶ Données sur la population et la longueur (en milles) des conduites aux États-Unis et au Canada : Section 2.5 (figures 10 et 11)
- ▶ Tendances de l'utilisation des matériaux de tuyau en comparant les enquêtes de 2012, 2018 et 2023 : Section 3.0 (figures 17 et 19)
- ▶ Répartition de l'âge et de la taille des tuyaux : Section 3.1 (figures 20 à 25)
- ▶ Le taux de rupture du PVC est le plus faible des matériaux de tuyau les plus courants : Section 5.1 (tableau 5 et figure 28)
- ▶ Données sur le taux de défaillance de cinq matériaux de tuyaux couramment utilisés : Section 5.1 (tableau 5 et figure 28)
- ▶ Taux de rupture des conduites en fonction de la taille des services publics : Section 5.1 (figures 33 et 34)
- ▶ Comparaison des taux de rupture en fonction du diamètre des tuyaux : Sections 5.2, 5.3 (figure 37 et tableau 6)
- ▶ Analyse de l'impact de la corrosivité du sol sur les taux de rupture : Section 6.2 (tableau 8 et figures 45 et 46)
- ▶ Données sur les programmes de remplacement des conduites d'eau principales : Section 8.0 (tableau 9)
- ▶ Pourcentage de services publics qui autorisent l'utilisation de différents matériaux de tuyau : Section 9.0 (figures 48 et 49)

FIGURE 52 : TAUX DE RUPTURE GLOBAL DES MATÉRIAUX DE TUYAU (ENQUÊTE DE BASE)



12.2 Le chercheur principal

Steven L. Barfuss est professeur au département d'ingénierie civil et de l'environnement de l'Université d'État de l'Utah à Logan, dans l'Utah. Il est directeur associé du Utah Water Research Laboratory (UWRL), où il effectue des recherches sur les structures hydrauliques et les accessoires connexes depuis plus de 37 ans.

L'UWRL est un laboratoire de recherche sur l'eau de renommée mondiale où sont étudiés les problèmes liés à l'environnement, aux ressources en eau, à l'hydrologie et à l'hydraulique. Le laboratoire hydraulique de l'UWRL possède l'une des plus grandes capacités d'écoulement d'Amérique du Nord, avec une capacité d'essai allant jusqu'à des tuyaux de 72 po de diamètre.

Il possède également une expérience considérable dans le domaine de l'hydraulique des canalisations et des ruptures de conduites. Il est ingénieur agréé, membre de l'AWWA, et a publié plus de 75 articles de journaux évalués par des pairs et des rapports de recherche importants, ainsi que plus de 1 500 rapports d'essais mineurs. Le professeur Barfuss a réalisé de nombreux essais de coefficient de rugosité et d'éclatement de tuyaux sur la plupart des matériaux et des tailles de tuyaux.

À titre de chercheur principal de cette étude, le professeur Barfuss a effectué la collecte, l'analyse et la présentation de toutes les données fournies par les 802 services publics ayant répondu à l'enquête.

12.3 Remerciements

L'Université d'État de l'Utah est entièrement responsable du contenu de ce rapport. Toutefois, ce rapport n'aurait pas été possible sans les réponses de plus de 800 services publics qui ont participé à cette enquête. Les efforts inestimables des assistants de recherche de l'USU, Matthew Fugal et Reilly Hendrix, sont également très appréciés dans le cadre de ce projet. L'USU souhaite remercier l'Uni-Bell PVC Pipe Association pour son soutien financier partiel, ainsi que la Water Finance Research Foundation pour ses conseils techniques.

13.0 Références

Anderson, R., « Municipal Procurement: Competitive Bidding for Pipes Demonstrates Significant Local Cost-Savings, » Conférence des Maires des États-Unis, 2018.

ASCE, « 2009 Report Card for America's Infrastructure, » 2009.

ASCE, « 2017 Infrastructure Report Card: A Comprehensive Assessment of America's Infrastructure », 2017.

ASCE, « 2021 Report Card for America's Infrastructure », 2021.

AWWA, « 2017 State of the Water Industry Report », 2017.

AWWA, « 2023 State of the Water Industry Report », 2023.

AWWA, « M28 Rehabilitation of Water Mains, Third Edition », Manual of Water Supply Practices, 2014.

AWWA, « Partnership for Safe Water Distribution Program », 2011.

Burn, S. et coll. « Long-term Performance Prediction for PVC Pipes », Water Research Foundation, 2005.

EPA, « Deteriorating Buried Infrastructure Management Challenges and Strategies », 2002.

EPA, « Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment, Sixth Report to Congress », 2018.

EPA, « Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment, Seventh Report to Congress », 2023.

EPA, « National Characteristics of Drinking Water Systems Serving 10,000 or Fewer People », 2011.

EPA, « Water Infrastructure and Resiliency Finance Center », 2023.

Folkman, S., « Water Main Break Rates in the USA and Canada: A Comprehensive Study », Université d'État de l'Utah, 2012.

Folkman, S., « Water Main Break Rates in the USA and Canada: A Comprehensive Study », Université d'État de l'Utah, 2018.

Grigg, N.S., « Main Break Prediction, Prevention, and Control, » Water Research Foundation, 2007.

Grigg, N. S., et Hess, J., « Collecting Failure Data to Improve Asset Management, » Water Research Foundation, 2017.

Kumar, S., et. coll., « Practical Condition Assessment and Failure Probability Analysis of Small Diameter Ductile Iron Pipe, » Water Research Foundation, 2018.

Rajani, B. et coll. « Long-Term Performance Prediction of Ductile Iron Pipes », Water Research Foundation, 2011.

Seargeant, D., « PVC Watermain Pipe – 40 Years of Successful Service », AWWA ACE, 2018.

Statistique Canada, « La construction de nouvelles infrastructures relatives à l'eau s'est accélérée en 2017 et en 2018 », 2020.

Statistique Canada, « Estimations de la population, trimestrielles », 2023.

US Census Bureau, « National Population Totals and Components of Change: 2020-2023 », 2023.

Yerri, S., « Empirical Analysis of Large Diameter Water Main Break Consequences », Clemson University, 2016.



Laboratoire de recherches sur
l'eau de l'Utah
Université d'État de l'Utah

8200 Old Main Hill
Logan, UT 84322-8200