



SOLENO

**Analyse du cycle de vie comparative de 2
conduites 24" en PEHD 90% recyclé et en
béton**

Rapport final

Présenté en août 2024

Sommaire

Soleno est une entreprise québécoise spécialisée dans le développement de solutions durables pour la maîtrise de l'eau. Soleno produit des conduites d'eaux pluviales fabriquées à partir de polyéthylène haute densité (PEHD), dont une forte proportion est issue de l'économie circulaire, entre autres grâce à la valorisation de contenants de plastique provenant de l'usage domestique.

En 2020, *The Plastics Pipe Institute* (PPI) a produit une étude intitulée « *Life Cycle Assessment of North American municipal stormwater pipe systems* » [1] qui compare les impacts environnementaux de 4 types de conduites de diamètre intérieur de 24 pouces, soit les conduites en PEHD (recyclé et non recyclé), en PVC, en béton et en acier. Il est ressorti de cette étude que la conduite de PEHD avec un contenu recyclé de 50% présente la meilleure performance environnementale, et ce, pour toutes les catégories d'impact. Soleno souhaite savoir si les résultats de cette étude sont transposables dans un contexte québécois.

Le but de la présente étude est donc de réaliser une Analyse de Cycle de vie comparative entre une conduite de diamètre intérieur 24" en PEHD 90%RC produite par Soleno et une conduite de béton de diamètre intérieur 24" produite au Québec.

En cohérence avec l'étude de PPI, l'unité fonctionnelle retenue est **1000 pieds de conduite installée pour une durée d'utilisation de 100 ans.**

L'ACV est de type « cradle-to-grave », ce qui signifie que toutes les étapes du cycle de vie sont incluses, de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie des conduites.

Les données primaires relatives à la production (matières premières, transport de ces matières et fabrication de la conduite en tant que telle) des conduites de PEHD 90%RC ont été fournies par Soleno, et celles relatives à la production des conduites de béton sont tirées de l'étude rapport « *A regionalized Industry-Average Cradle-to-Gate LCA of Precast Concrete Products Produced by CCPA Members* » [2].

Les données relatives à l'étape d'installation sont basées sur des échanges avec des entrepreneurs pour ce qui est de l'utilisation de carburant par la machinerie, et sur la norme BNQ 1809-300 [3] pour ce qui est des quantités de matériaux de recouvrement nécessaires. La norme BNQ 1809-300 [3] stipule que les conduites de PEHD doivent être recouvertes de matériau granulaire jusqu'à 300 mm au-dessus de la conduite, alors que les conduites de béton ne nécessitent du matériau granulaire que jusqu'à mi-hauteur.

Enfin, dans le scénario principal, il a été considéré que les conduites sont laissées sur place en fin de vie.

Les données secondaires ont été principalement fournies par la base de données *ecoinvent v3.9 - en15804, unit process (UPR)*.

Les processus unitaires ont été adaptés en termes de mix énergétique afin être représentatif du contexte géographique (Québec).

Les impacts environnementaux potentiels ont été calculés avec la méthodologie d'évaluation des impacts EN 15804 Add-on.

L'ACV montre que la conduite de PEHD 90% recyclé présente des impacts inférieurs à la conduite de béton pour les catégories réchauffement climatique (total), formation d'ozone photochimique, eutrophisation (eau douce et marine), destruction de la couche d'ozone et la consommation d'énergie non renouvelable (total).

La conduite de béton présente des impacts inférieurs à ceux de la conduite de PEHD 90% RC pour les catégories épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales, potentiel de privation d'eau, la consommation d'eau douce sur le cycle de vie, la production de déchets (dangereux et non dangereux) et la consommation d'énergie renouvelable (total).

A noter cependant que les 3 catégories épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales et potentiel de privation d'eau doivent être considérées avec précaution, étant donné leur incertitude élevée.

Les catégories d'impact pour lesquelles la conduite de PEHD 90%RC présente un impact supérieur à la conduite de béton sont essentiellement dominées par le matériau granulaire utilisé pour le recouvrement des conduites.

Or si le scénario principal a été défini de façon conservatrice, en considérant que les conduites sont installées en suivant les recommandations du BNQ 1809-300 [3], il faut savoir que d'autres règles peuvent s'appliquer. Ainsi, le MTQ exige un recouvrement de 300 mm au-dessus des conduites pour les conduites de PEHD comme pour les conduites de béton. Dans ce cas-ci, les conduites de PEHD 90%RC présenteraient des impacts inférieurs (ou non significativement différents) à ceux des conduites de béton pour toutes les catégories d'impact, à l'exception du potentiel de privation d'eau (catégories dont l'incertitude est très élevée).

Ainsi, le contexte et la réglementation encadrant l'installation des conduites est un élément déterminant dans cette étude.

Deux autres analyses de sensibilité portant sur l'énergie nécessaire à la production de la conduite de PEHD 90% RC et sur un scénario alternatif pour la fin de vie, soit l'enfouissement, ont montré que ces paramètres n'avaient que peu d'influence sur les conclusions de l'étude.

Table des matières

Sommaire.....	2
1. Contexte.....	8
2. Objectifs de l'étude.....	8
2.1. But de l'étude.....	8
2.2. Public cible	8
3. Champ de l'étude	9
3.1. Description du système de produits.....	9
3.2. Flux de référence et unité fonctionnelle	10
3.3. Frontières du système	10
3.4. Méthode de calcul.....	12
4. Collecte de données	13
4.1. Sources de données primaires.....	13
4.2. Source de données secondaires.....	14
4.3. Allocation.....	14
4.4. Description des données	15
4.4.1. Composition des conduites (A1 ; A2).....	15
4.4.2. Fabrication des conduites (A3).....	18
4.4.3. Transport des conduites (A4).....	20
4.4.4. Installation des conduites (A5)	20
4.4.5 Maintenance des conduites (B2)	22
4.4.6 Fin de vie (C1-C4)	22
4.5. Exclusions.....	23
5. Évaluation des impacts environnementaux	24
5.1. Indicateurs environnementaux.....	24
5.2. Résultats de l'évaluation des impacts	25
6. Évaluation de l'incertitude.....	30
6.1. Évaluation de la qualité des données.....	30
6.2. Analyses de sensibilité	37
6.2.1 Analyse de sensibilité sur l'étape de production	37
6.2.2 Analyse de sensibilité sur les matériaux de recouvrement.....	38
6.2.3 Analyse de sensibilité fin de vie.....	44

7. Conclusion	46
8. Références.....	47
Annexe 1 Extrait du BNQ 1809-300 – Figure 33	49
Annexe 2 Extrait du BNQ 1809-300 – Figure 35	50
Annexe 3 : Catégories d'impacts de la méthodologie EN15804 Add-on.....	51

Tableaux et figures

Tableau 1: Description des conduites à l'étude.....	9
Tableau 2: Flux de références correspondant à l'unité fonctionnelle "1000 pi de conduite pendant 100 ans".....	10
Tableau 3: Composition de la conduite de PEHD 90%RC.....	15
Tableau 4: Distance et mode de transport des matières premières jusqu'à l'usine de Soleno	16
Tableau 5: Composition de la conduite de béton	17
Tableau 6: Distances et modes de transport des matières premières jusqu'à l'usine de fabrication de la conduite de béton.....	17
Tableau 7: Quantité et proportion des matériaux qui composent les joints d'étanchéité	18
Tableau 8: Distances et modes de transport des matières premières jusqu'à l'usine de fabrication des joints d'étanchéité.....	18
Tableau 9: Consommation d'énergie et d'eau pour la fabrication de la conduite de béton.....	19
Tableau 10: Consommation de carburant par la machinerie lors de l'installation.....	20
Tableau 11: Quantités de matériau granulaire et de sols excédentaires en lien avec le BNQ 1809-300	22
Tableau 12: Résultats de l'évaluation des impacts	25
Tableau 13 : Contribution des différentes étapes du cycle de vie pour la conduite de PEHD 90% RC	28
Tableau 14: Contribution des différentes étapes du cycle de vie pour la conduite de béton..	29
Tableau 15: Évaluation de la qualité des données primaires - conduite de PEHD	32
Tableau 16 : Évaluation de la qualité des données primaires - conduite de béton	34
Tableau 17 : Évaluation de la qualité des données secondaires.....	36
Tableau 18 : Analyse de sensibilité sur la consommation de combustibles à l'usine de production des conduites PEHD.....	37
Tableau 19: Quantités de matériau granulaire et de sols excédentaires en lien avec le MTQ	39
Tableau 20: Comparaison des conduites de PEHD 90%RC et de béton dans le cas de la réglementation du MTQ.....	40
Tableau 21 : Quantités de matériau granulaire et de sols excédentaires lorsque la conduite de PEHD est couverte de matériau granulaire à 75% et à 100% de sa hauteur.....	42

Tableau 22: Comparaison des scores d'impact des conduites de PEHD couvertes à 75% et à 100% de leur hauteur avec la conduite de béton.....	43
Tableau 23: Consommation de diesel pour l'excavatrice utilisée à la fin de vie des conduites	44
Tableau 24 : Comparaison des scores d'impact des conduites de PEHD 90%RC et de béton dans le cas où les conduites sont enfouies en fin de vie.....	45
Figure 1: Illustration des conduites de PEHD et de béton	9
Figure 2: Étapes du cycle de vie des conduites.....	11
Figure 3: Étapes du cycle de vie standardisées et étapes du cycle de vie considérées.....	11
Figure 4: Recommandations d'installation des conduites de PEHD sous chaussée - Tiré du BNQ 1809-300 Figure 33 (voir figure complète en Annexe 1)	21
Figure 5: Recommandations d'installation des conduites de béton sous chaussée - Tiré du BNQ 1809-300 Figure 35 (voir figure complète en Annexe 2).....	21
Figure 6: Matrice Pedigree pour les flux d'inventaire [20].....	30
Figure 7: Matrice Pedigree pour les processus [19]	31
Figure 8: Page 7 du Tome III du MTQ pour l'installation des tuyaux en PEHD.....	38
Figure 9: Page 2 du Tome III du MTQ pour l'installation des tuyaux en béton.....	39
Figure 10: Recouvrement de la conduite de PEHD jusqu'à 75% de la hauteur	41
Figure 11: Recouvrement de la conduite de PEHD jusqu'à 100% de la hauteur (couronne).....	41

Liste des abréviations

ACV	Analyse du Cycle de Vie
BNQ	Bureau de Normalisation du Québec
DEP	Déclaration Environnementale de Produits
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i>
MTQ	Ministère des Transports du Québec
PCR	<i>Product Category Rule</i>
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
PPI	Plastics Pipe Institute
QC	Québec
RC	Recyclé

1. Contexte

Soleno est une entreprise québécoise spécialisée dans le développement de solutions durables pour la maîtrise de l'eau. Soleno produit des conduites d'eaux pluviales fabriquées à partir de polyéthylène haute densité (PEHD), dont une forte proportion est issue de l'économie circulaire, entre autres grâce à la valorisation de contenants de plastique provenant de l'usage domestique.

En 2020, *The Plastics Pipe Institute* (PPI) a produit une étude intitulée « *Life Cycle Assessment of North American municipal stormwater pipe systems* » [1]. Cette étude utilise l'Analyse de Cycle de Vie pour comparer les impacts environnementaux de 4 types de conduites de diamètre intérieur de 24 pouces, soit les conduites en PEHD (recyclé et non recyclé), en PVC, en béton et en acier. Il est ressorti de cette étude que la conduite de PEHD avec un contenu recyclé de 50% présente la meilleure performance environnementale, et ce, pour toutes les catégories d'impact.

Soleno souhaite savoir si les résultats de cette étude sont transposables dans un contexte québécois. Soleno a donc engagé les services de Ellio pour réaliser une Analyse de Cycle de Vie (ACV) comparative entre une conduite de PEHD fabriquée par Soleno (contenu recyclé de 90%) et une conduite de béton, toutes deux produites en sol québécois.

2. Objectifs de l'étude

2.1. But de l'étude

Le but de la présente étude est de comparer les impacts environnementaux d'une conduite de diamètre intérieur 24" en PEHD 90%RC produite par Soleno avec ceux d'une conduite de béton de diamètre intérieur 24" produite au Québec. L'Analyse de Cycle de Vie conduite pour évaluer les impacts suit les exigences des normes ISO 14040 / 14044 [4] [5].

2.2. Public cible

Les résultats de l'étude sont destinés à être divulgués au grand public, puisqu'ils seront utilisés par Soleno pour une communication à leurs parties prenantes (ex : clients municipaux).

Cette analyse de cycle de vie (ACV) a donc été soumise à une revue critique effectuée par Marie Bellemare, Consultante en analyse de cycle de vie et experte en écoconception indépendante, de chez Marie Bellemare Service Conseil. Il est important de noter que, conformément à la norme ISO 14044 section 6.1 [4] [5], lorsqu'une ACV est utilisée pour une affirmation comparative destinée à être divulguée au public, une revue critique par un comité de parties intéressées est requise pour assurer une conformité complète à la norme.

Dans ce cas précis, une telle revue critique par un panel n'a pas été réalisée. Par conséquent, bien que cette ACV ait été revue par une tierce partie, elle ne peut pas être considérée comme entièrement conforme à la norme ISO 14044 pour des affirmations comparatives publiques. Cependant, pour un usage interne (non public), cette ACV est conforme aux exigences de la norme ISO 14044. La revue critique réalisée par une tierce partie garantit la rigueur et la fiabilité de l'ACV pour une utilisation interne à des fins de prise de décision et d'amélioration continue.

3. Champ de l'étude

3.1. Description du système de produits

Les produits étudiés sont les 2 conduites décrites au Tableau 1, et représentées à la Figure 1.

Tableau 1: Description des conduites à l'étude

	Diamètre extérieur (po)	Densité (lb/pi)	Longueur de section (pi)	Durée de vie (années)
PEHD 90%RC	24	11.6	20	100
Béton armé	30	290	8	



Figure 1: Illustration des conduites de PEHD et de béton

La conduite de PEHD correspond au modèle SOLFLO MAX R320 kpa fabriqué par Soleno dans son usine de Saint Jean sur Richelieu (QC). Cette conduite répond aux normes BNQ 3624-115 [6], BNQ 3624-120 [7] et CSA B182.8-R [8]. À noter que la norme BNQ 3840-100 [9] sur les produits à contenu recyclé n'est pas une exigence pour l'industrie des conduites¹.

¹ Par ailleurs, au moment où la présente ACV est réalisée, le protocole et le document d'exigences de BNQ 3840-100 n'avaient pas encore été publiés (publication prévue été 2024).

La conduite de béton est une conduite générique, dont la composition est tirée du rapport « *A regionalized Industry-Average Cradle-to-Gate LCA of Precast Concrete Products Produced by CCPPA Members* » [2]. Par conséquent, la conduite de béton considérée dans cette étude suit la norme CSA 23.4 [10].

3.2. Flux de référence et unité fonctionnelle

En cohérence avec l'étude de PPI, l'unité fonctionnelle sélectionnée est **1000 pieds de conduite installée pour une durée d'utilisation de 100 ans.**

Les 2 conduites ayant une durée de vie estimée de 100 ans, il est considéré que la conduite ne nécessitera pas d'opération de remplacement.

Considérant la densité des matériaux, 1000 pi de conduite en PEHD 90%RC représentent un poids de 6035 kg, et la conduite de béton, un poids de 131 000 kg.

Également, les conduites sont produites sous la forme de sections, d'une longueur de 20 pi pour le PEHD, et de 8 pi pour le béton. Ces sections sont reliées entre elles par des joints d'étanchéité (« *gaskets* ») en PEHD, ce qui donne 50 joints pour 1000 pi de conduite dans le cas du PEHD, et 125 joints pour le béton.

Tableau 2: Flux de références correspondant à l'unité fonctionnelle "1000 pi de conduite pendant 100 ans"

	Poids (kg)	Nombre de joints
PEHD 90%RC	6 035	50
Béton armé	131 000	125

3.3. Frontières du système

La présente étude couvre l'ensemble des étapes du cycle de vie selon une approche « Cradle-to-grave ».

La Figure 2 présente le diagramme du système de produits.

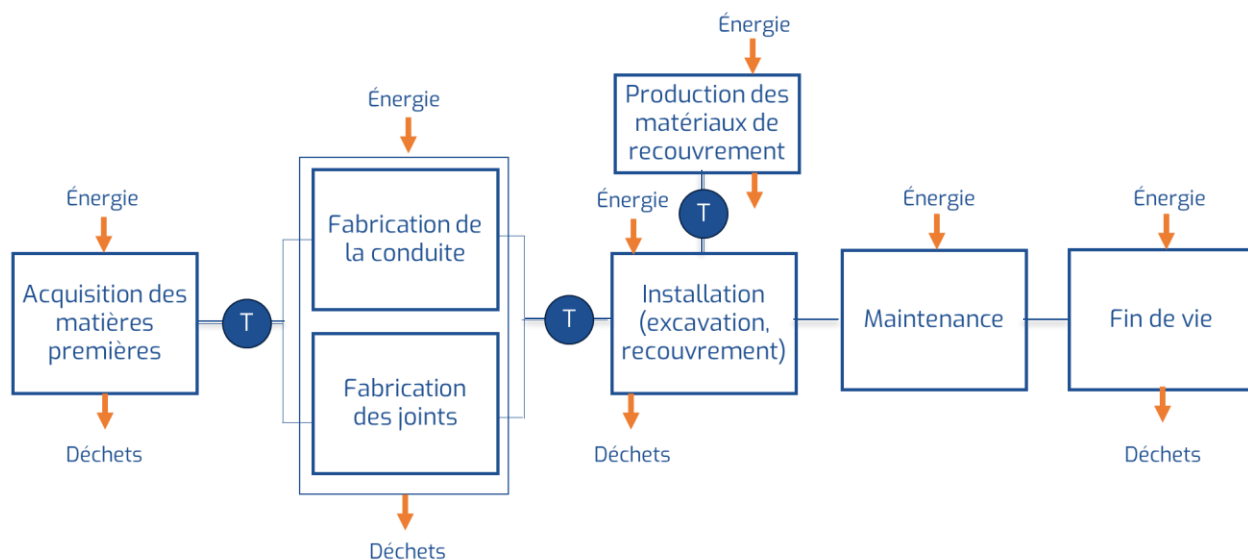


Figure 2: Étapes du cycle de vie des conduites

La Figure 3 est extraite du PCR *Rigid and Flexible Building Piping Systems in North America* [11], et présente les étapes du cycle de vie standardisées pour des matériaux de construction, en cohérence avec la norme EN 15804+A2 [12]. Cette typologie sera reprise dans la présentation des résultats. Les étapes du cycle de vie considérées dans la présente étude sont représentées par des croix.

PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END-OF-LIFE STAGE				OPTIONAL SUPPLEMENTARY
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction demolition	Transport	Waste Processing	Disposal	Potential net benefits from reuse, recycling and/or energy recovery beyond the system boundary
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4 err	D
X	X	X	X	X		X						X	X	X	X	

Figure 3: Étapes du cycle de vie standardisées et étapes du cycle de vie considérées

Modules A1-A3 – Étape produit : ces modules incluent l'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication des conduites et des joints d'étanchéité, le transport de ces matières vers le site de production, d'éventuelles étapes de transformation intermédiaire (ex : production de granulés de PEHD), la production de la conduite, la production des carburants et de l'électricité nécessaires à la production de la conduite et la production de déchets sur le site de l'usine de production.

Modules A4-A5 – Étape d'installation : Ces modules incluent la production d'emballage pour la livraison à un centre de distribution et/ou un détaillant (si applicable), le transport des conduites et des joints d'étanchéité vers un centre de distribution et/ou un détaillant (si applicable), l'entreposage dans un centre de distribution et/ou un détaillant (si applicable), le transport des conduites et des joints d'étanchéité vers le site d'installation, l'installation des conduites, incluant les activités d'excavation, la production de l'énergie et les émissions liées à l'installation des conduites, la production de matériaux nécessaires à l'installation des conduites (ex : matériaux de remblais) et la gestion des déchets relatifs à l'installation.

Modules B1-B7 – Étape d'utilisation : Ces modules incluent l'utilisation d'énergie et d'eau pour l'utilisation des conduites (si applicable), les émissions directes liées à l'utilisation de la conduite (si applicable), la production de matériaux nécessaires à l'utilisation des conduites (si applicable), l'utilisation d'eau et d'énergie nécessaire au nettoyage et à la maintenance des conduites, l'énergie et les matériaux nécessaires à la réparation / remplacement / réhabilitation des conduites (si applicable).

Modules C1-C4 : Ces modules incluent les activités nécessaires au retrait des conduites en fin de vie, le transport des conduites jusqu'au centre de traitement et les activités de traitement, incluant la consommation/production d'énergie et les émissions sur le site de traitement.

Module D : Ce module indique le potentiel de recyclage/réutilisation/récupération du produit, en dehors des frontières de l'étude,

3.4. Méthode de calcul

Le logiciel OpenLCA a été utilisé pour évaluer les impacts environnementaux potentiels associés aux émissions répertoriées.

4. Collecte de données

4.1. Sources de données primaires

Acquisition des matières premières (A1-A2)

Conduite de PEHD 90%RC : la composition des conduites de PEHD 90%RC, l'énergie nécessaire au pré-traitement, les taux de pertes lors des étapes de pré-traitement, la provenance des matériaux et le mode de transport ont été fournis par Soleno, grâce à un questionnaire.

Conduite de béton : La composition de la conduite de béton est tirée du rapport « *A regionalized Industry-Average Cradle-to-Gate LCA of Precast Concrete Products Produced by CCPPA Members* » [2], qui a également servi de source de données dans l'étude ACV comparative de PPI [1]. Les distances de transport et les modes de transports sont également fournis par cette étude.

Joints d'étanchéité : On considère que ce sont les même joints d'étanchéité qui sont utilisés pour les 2 types de conduites. La composition des joints, la provenance des matériaux et le mode de transport ont été fournis par Soleno, grâce à un questionnaire.

Fabrication de la conduite et des joints d'étanchéité (A3)

Conduites de PEHD 90%RC : La quantité et le type d'énergie utilisée pour la fabrication de la conduite de PEHD 90%RC ont été fournis par Soleno, grâce à un questionnaire.

Conduites de béton : La quantité et le type d'énergie utilisée pour la fabrication de la conduite de béton ont été tirées de l'étude de PPI [2].

Joints d'étanchéité : La quantité et le type d'énergie utilisée pour la fabrication des joints d'étanchéité ont été fournies par Soleno, grâce à un questionnaire.

Transport au site d'installation (A4)

Les distances de transport de l'usine de fabrication aux sites d'installation sont des données moyennes tirées de l'étude PPI [2].

Installation, maintenance et fin de vie (A5 ; B2 ; C1-C4)

Les données d'installation comprennent la quantité de carburant nécessaire à l'excavation, au chargement des sols et à leur compaction. Ces données ont été fournies par Soleno pour les 2 types de conduites, grâce à leur expertise et à une consultation menée auprès d'entrepreneurs de chantier (3 entrepreneurs consultés). L'installation comprend également l'utilisation de matériaux de remblais (gravier). La hauteur (et donc la quantité) de matériau à utiliser pour chacun des 2 type de conduites dépend de la norme BNQ 1809-300 relative aux conduites d'eau potable et d'égout [3].

Les données de maintenance (consommation d'eau et de diesel) sont également fournies par Soleno, basé sur une consultation des maitres d'œuvres.

Le scénario de fin de vie (laisser sur place) a été identifié à partir des conclusions de l'étude PPI [2]. Ce scénario ne génère pas d'impact, et aucune donnée n'est nécessaire.

4.2. Source de données secondaires

La base de données *ecoinvent v3.9 - en15804, unit process (UPR)* [13] a été utilisée comme source principale de données secondaire. À noter que les processus qui ont été sélectionnés ne sont pas des moyennes de marché (*market*), afin d'éviter un double comptage dû au transport. Les 2 seules exceptions sont *Market for electricity medium voltage*, et *Market for Tap Water*, qui n'incluent pas de transport.

D'autres données secondaires provenaient de DEP, principalement pour la conduite de béton. Ces sources étaient les mêmes que celles provenant de l'étude du CNRC [2], à savoir des DEP pour *slag cement* [14], *steel rebar* [15] et *admixtures* [16].

4.3. Allocation

La procédure d'allocation de la norme ISO 14040 stipule que, dans la mesure du possible, l'affectation doit être évitée en collectant des données relatives au processus étudié ou en élargissant le système de produits. Dans le cas présent, toutes les données ont été fournies pour l'unité fonctionnelle, soit 1000 pi de conduite. Les données relatives à la consommation d'énergie lors de la production de conduites de PEHD 90%RC ont été obtenues à la suite d'une production en série de cette conduite, et sont donc spécifiques. Par conséquent, il n'a pas été nécessaire de recourir à une procédure d'allocation.

4.4. Description des données

4.4.1. Composition des conduites (A1 ; A2)

Conduite de PEHD 90%RC : Le Tableau 3 présente la composition de la conduite de PEHD 90%RC, pour 1000 pi de conduite. 1000 pi de conduite représentent un poids de 6035.04 kg. Il est à noter que les proportions des différents matériaux se calculent traditionnellement en excluant le noir de carbone (donc sur une base de 104.5 %), d'où la terminologie « conduite ayant un contenu recyclé de 90% ». Cependant, afin de calculer les quantités nécessaires, des proportions ont été calculées en incluant le noir de carbone dans le total².

Tableau 3: Composition de la conduite de PEHD 90%RC

	Quantité (kg)	Proportion (avec noir de carbone)	Proportion (sans noir de carbone)
Repro HDPE	864.22	14.32 %	15 %
PR320	2593.86	42.98 %	45 %
Marlex	576.34	9.55 %	10 %
Regrind HMW	1729.04	28.65 %	30 %
Noir de carbone	271.58	4.5 %	-
TOTAL	6035.04*	100 %	100%

* Quantité totale basée sur la densité de la conduite. Cette quantité est donc basée sur la quantité de matière sortante, et non sur la quantité de matière entrante. Néanmoins, les pertes ont bel et bien été comptabilisées sur l'ensemble du cycle de vie (voir information dans le texte).

Le Repro HDPE est issu d'un processus d'extrusion de copeaux de plastiques, obtenus à partir de contenant de PEHD post-consommation collectés au Québec. Les étapes nécessaires à l'obtention du Repro HDPE sont donc : 1) le traitement et le tri des contenants post consommation au centre de tri (modélisé par le processus ecoinvent *treatment of waste polyethylene, for recycling*, dont la consommation d'électricité a été adaptée au contexte Québécois, assorti d'un transport de 50km pour la collecte municipale), et 2) le déchiquetage puis l'extrusion du PEHD, pour obtenir des granules, dans une usine située au Québec. La consommation d'énergie à l'usine de prétraitement est de 0.94 kwh d'électricité par kg de Repro HDPE produit, et le taux de perte est de 2.5%. Le traitement des pertes a été modélisé en utilisant le processus ecoinvent *waste polyethylene*.

Le Regrind HMW est issu du déchiquetage de contenants post-industriels en polyéthylène. Ces contenants peuvent provenir de l'Ontario (Canada), dans le cas du Regrind HMW utilisé pour la production du PR320, ou du New Jersey (États-Unis), dans le cas du Regrind HMW qui

² Le calcul du taux de 90% repose sur un ratio de masse, entre la quantité d'intrants provenant de sources recyclées et la quantité totale d'intrants. Ce taux n'a pas fait l'objet d'une vérification de conformité chimique.

entre directement dans la composition de la conduite. Les étapes nécessaires à l'obtention du Regrind HMW sont donc : 1) le traitement et le tri des contenants post-industriels (modélisé par le processus *ecoinvent treatment of waste polyethylene, for recycling*, dont la consommation d'électricité a été adaptée au contexte de l'Ontario ou du New Jersey, assorti d'un transport de 50km pour la collecte municipale), et 2) le déchiquetage des contenants pour obtenir des flocons de PE. La consommation d'énergie à l'usine de prétraitement est de 0.16 kwh d'électricité par kg de Regrind HMW produit, et le taux de perte est de 18%. Le traitement des pertes a été modélisé en utilisant le processus *ecoinvent waste polyethylene*

Le PR320 est fabriqué dans une usine appartenant à Soleno : Soleno VPR, et se compose à 40% de Repro HDPE et à 60% de Regrind HMW (origine Ontario). La consommation d'énergie à Soleno VPR est de 0.66 kwh d'électricité par kg de PR320. Le taux de perte est de 1.5 %. Le traitement des pertes a été modélisé en utilisant le processus *ecoinvent waste polyethylene*.

Le Marlex correspond à du PEHD vierge, et provient du Texas (États-Unis). Il a été modélisé à partir du processus *ecoinvent Polyethylene high density, granulate*, dont la consommation d'électricité a été adaptée au mix énergétique du Texas. Le Noir de carbone a été modélisé à partir du processus *ecoinvent Carbon black*.

La distance entre Soleno VPR et l'usine de Soleno où est fabriquée la conduite est de 7km.

Tableau 4: Distance et mode de transport des matières premières jusqu'à l'usine de Soleno

	Distance (km)	Mode de transport
Repro HDPE	45 *	Camion
PR320	7	Camion (inter usines)
Marlex	3062 75	Train Camion
Regrind HMW - Ontario	550 *	Camion
Regrind HMW – New Jersey	706	Camion
Noir de carbone	3	Camion

* Transport jusqu'à Soleno VPR

Conduite de béton : Le rapport « *A regionalized Industry-Average Cradle-to-Gate LCA of Precast Concrete Products Produced by CCPPA Members* » [2] présente la composition de 2 conduites de béton, pour l'ouest Canadien et pour l'Ontario. La conduite de l'Ontario est sélectionnée pour la présente étude, car elle présente des impacts plus faibles que la conduite de l'ouest Canadien, et correspond donc au scénario le plus conservateur. De plus le scénario Ontarien est géographiquement plus proche du scénario Québécois. La composition de la conduite de béton est présentée au Tableau 5.

Les agrégats sont été modélisés au moyen des processus ecoinvent *Gravel, crushed* et *Gravel, fine*, dont la consommation d'électricité a été adaptée au contexte Québécois. Le ciment a été modélisé au moyen du processus ecoinvent *cement, Portland*, dont la consommation d'électricité a été adaptée au contexte Québécois. Les cendres volantes n'ont pas d'impact environnemental associé autre que le transport. Des DEP ont été utilisées pour modéliser les matériaux *slag cement* [14], *steel rebar* [15] et *admixtures* [16].

Tableau 5: Composition de la conduite de béton

	Quantité (kg) pour 1 tonne de conduite	Proportion	Quantité(kg) pour 1000 pi de conduite
Ciment de Portland	87.8	8.2 %	10 742
Aggrégats gros - concassés	242.7	22.8 %	29 868
Aggrégats gros - naturels	101.2	9.5 %	12 445
Aggrégats fins - concassés	304.6	28.6 %	37 466
Aggrégats fins - naturels	154.4	14.5 %	18 995
<i>Slag cement</i>	44.5	4.2 %	5 502
Cendre volante	15.6	1.4 %	1 572
Barres de renforcement	61	5.7 %	7 467
Additifs	0.46	0.04 %	52
Eau	53.7	5.0 %	6 550
TOTAL	1066*	100 %	131 000

* Quantités incluant les pertes

Les distances et modes de transport des matériaux jusqu'au site de fabrication de la conduite de béton sont présentés au Tableau 6.

Tableau 6: Distances et modes de transport des matières premières jusqu'à l'usine de fabrication de la conduite de béton

	Distance (km)	Mode de transport
Aggrégats	28	Camion
Ciment	136	Camion
	27	Train
Slag Cement	40	Camion
	58	Train
Cendre volante	40	Camion
	58	Train
Additifs	215	Camion
Barres de renforcement	106	Camion
	87	Train

Joint d'étanchéité : Un joint d'étanchéité pèse 3.7 kg. Ce sont les mêmes joints qui sont utilisés dans le cas des conduites de PEHD et de béton. 50 joints sont nécessaires pour assembler 1000 pi de conduite de PEHD, et 125 joints sont nécessaires pour assembler 1000 pi de conduite de béton. Leur composition est présentée au Tableau 7.

Tableau 7: Quantité et proportion des matériaux qui composent les joints d'étanchéité

	Quantité (kg)	Proportion
TPE blanc	1.2	32 %
Marlex	2.4	65 %
Colorant vert	0.1	3 %
TOTAL	3.7	100%

Les joints sont fabriqués au Québec. Les distances et modes de transport des matières premières sont présentés au Tableau 8

Tableau 8: Distances et modes de transport des matières premières jusqu'à l'usine de fabrication des joints d'étanchéité

	Distance (km)	Mode de transport
TPE blanc	20	Camion
Marlex	75 3062	Camion Train
Colorant vert	90	Camion

Le TPE blanc est modélisé à partir du processus ecoinvent *polyethylene haute densité, granulate*, dont la consommation d'électricité a été adaptée au contexte Québécois. Le Marlex est modélisé tel que décrit plus haut. Le colorant vert est de composition inconnue. Il a été modélisé à partir des processus ecoinvent *Chemicals, organic*, et *Chemicals, inorganic*, dans une proportion 50/50.

4.4.2. Fabrication des conduites (A3)

Conduites de PEHD 90%RC : 5024 kwh d'électricité sont nécessaires pour la fabrication de 1000 pi de conduite. Le processus utilisé est *Market for electricity medium voltage, QC*.

L'intégralité des pertes lors du processus de fabrication de la conduite à l'usine de Soleno est réinjectée dans le processus, donc le taux de perte est nul.

La consommation de gaz naturel est nulle. Par contre, aucune donnée n'était disponible sur d'éventuelles consommations de diesel (usine ou flotte de véhicule), de gasoline ou de LPG.

Une analyse de sensibilité considèrera une consommation de ces 3 combustibles équivalente à celle du béton (voir Tableau 9 ci-dessous).

Conduites de béton : Les quantités et type d'énergie utilisés pour la fabrication de la conduite de béton, de même que les quantités d'eau consommées correspondent aux données de la conduite fabriquée en Ontario dans le rapport du CNRC [2].

Tableau 9: Consommation d'énergie et d'eau pour la fabrication de la conduite de béton

Intrants	Quantités – 1 tonne de conduite	Quantités – 1000 pi de conduite	Unités
Électricité – à l'usine	22.25	2915	Kwh
Gaz naturel – à l'usine	6.86	899	m3
Diesel – à l'usine	1.79	234.5	L
Gasoline – à l'usine	0.21	27.5	L
LPG – à l'usine	0.07	9.2	L
Diesel - véhicules	1.78	233	L
Eau	2.39	313	L

Les quantités de graisse, d'huile et de lubrifiant utilisées à l'usine étant très faibles, elles ont été exclues de l'étude, de même que les quantités de déchets générées³ (quelques grammes par tonne de conduite).

Le processus ecoinvent utilisé pour l'électricité est *Market for electricity medium voltage, QC*, celui utilisé pour le gaz naturel est *Natural gas, combusted in industrial boiler, RNA*, et ceux pour le diesel, le LPG et la gasoline utilisés à l'usine sont respectivement *Diesel, combusted in industrial equipment, RNA*, *Liquefied petroleum gas, combusted in industrial boiler, RNA* et *Gasoline, combusted in equipment, RNA*.

L'impact lié à la production et à l'utilisation d'1L de diesel dans un équipement de transport a été déduit à partir de l'impact du transport en camion (*transport, freight, lorry >32 t*) qui consomme 0.019 kg de diesel / tkm.

Joints d'étanchéité : 0.36 kwh d'électricité sont nécessaires pour la fabrication d'un joint d'étanchéité. Le processus utilisé est *Market for electricity medium voltage, QC*.

Les joints d'étanchéité sont ensuite transportés sur 55 km jusqu'à l'usine de Soleno. La même distance a été considérée dans le cas de la conduite de béton.

³ Ces quantités de déchets sont des données secondaires et agrégées ne fournissant pas de détail sur la constitution des déchets

4.4.3. Transport des conduites (A4)

Afin de favoriser la comparabilité des résultats avec l'étude de PPI, une distance générique de 160 km (100 miles) a été utilisée pour modéliser le transport des conduites de PEHD 90%RC de l'usine de production de la conduite au site d'installation. Concernant les conduites de béton, toujours en accord avec l'étude de PPI, les distances sont généralement plus courtes, car le béton provient généralement d'usines locales, donc une distance de 80 km (50 miles) a été utilisée.

4.4.4. Installation des conduites (A5)

L'étape d'installation comprend l'excavation, la pose de la conduite, le remplissage avec des matériaux de remblais et des sols, ainsi que la gestion des sols excédentaires.

Ces opérations nécessitent l'utilisation de machinerie (excavatrice, chargeur, plaque vibrante), qui consomme du carburant. Le volume de sol excavé varie peu entre une conduite de PEHD et une conduite de béton. Les consommations de carburant considérées dans la présente étude sont indiquées au Tableau 10.

Tableau 10: Consommation de carburant par la machinerie lors de l'installation

Intrants	Quantités	Unités
Consommation moyenne de diesel d'une plaque vibrante	0.044	kg/m ³ excavé
Consommation moyenne de diesel d'une excavatrice	1.770	kg/m ³ excavé
Consommation moyenne de diesel d'un chargeur	0.066	kg/m ³ excavé
Quantité de sol excavé pour 1000 pieds de conduite PEHD	1109	m ³
Quantité de sol excavé pour 1000 pieds de conduite béton	1109	m ³

Le recouvrement des conduites est encadré par la norme BNQ 1809-300 [3]. Cette norme spécifie la hauteur (et donc la quantité) de matériau granulaire à utiliser dans le cas d'une conduite de PEHD (avec ou sans contenu recyclé) et d'une conduite de béton. Une fois la hauteur atteinte, les sols excavés peuvent être utilisés pour poursuivre le remblai jusqu'à la hauteur de la chaussée. Étant donné que la conduite occupe une partie du volume excavé et l'utilisation de matériau granulaire, une certaine proportion de sol excavé se trouve à être excédentaire, et doit être gérée.

Dans le scénario principal, il a été considéré que le matériau de recouvrement (remblai) doit être utilisé jusqu'à 300 mm au-dessus de la conduite en PEHD (Figure 4) jusqu'à la mi-hauteur de la conduite en béton [3].

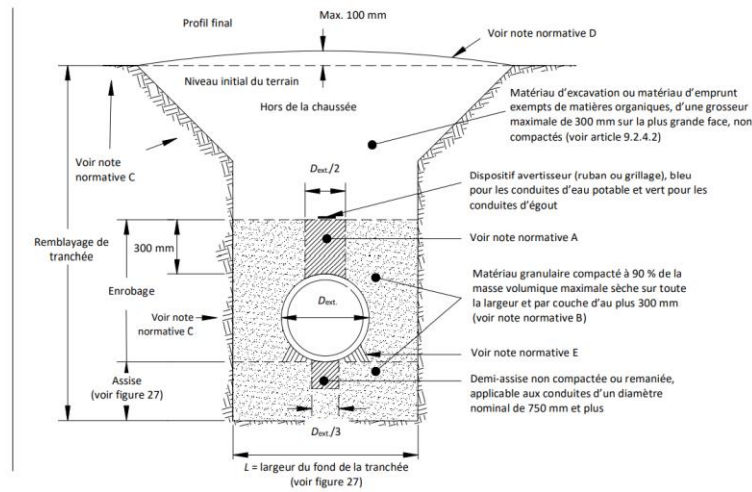


Figure 4: Recommandations d'installation des conduites de PEHD sous chaussée - Tiré du BNQ 1809-300 Figure 33 (voir figure complète en Annexe 1)

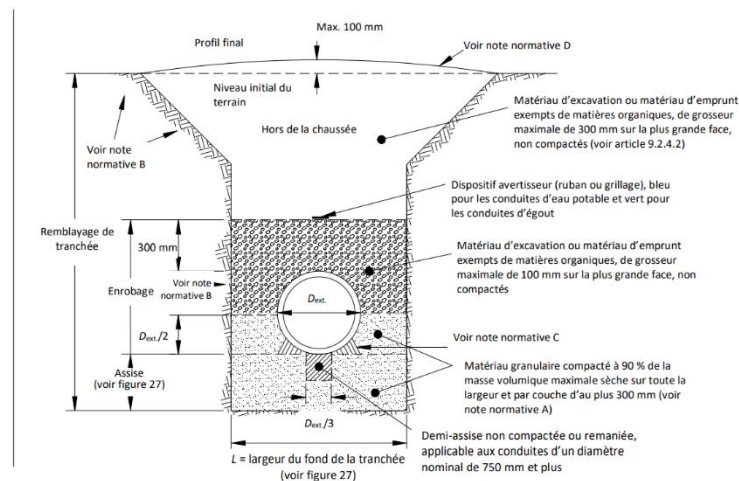


Figure 5: Recommandations d'installation des conduites de béton sous chaussée - Tiré du BNQ 1809-300 Figure 35 (voir figure complète en Annexe 2)

Les quantités de matériau granulaire, et de sols excédentaires sont présentées au Tableau 11. La densité du matériau granulaire est de 2100 kg/m³, et celle du remblai d'excavation, de 2000 kg/m³. Il est considéré que le matériau granulaire est acheminé sur le site sur une distance de 25 km, et que les sols excédentaires sont transportés hors du site sur une distance de 25 km, vers un site d'enfouissement.

Tableau 11: Quantités de matériau granulaire et de sols excédentaires en lien avec le BNQ 1809-300

Intrants		Quantités	Unités
Conduite PEHD	Matériau granulaire – assise jusqu'à 300 mm au-dessus	417.2	m ³
	Remblais d'excavation jusqu'à la surface	560.8	m ³
	Sols excédentaires	548.6	m ³
Conduite béton	Matériau granulaire – assise jusqu'à mi-hauteur	175.2	m ³
	Remblais d'excavation jusqu'à la surface	779.9	m ³
	Sols excédentaires	329.5	m ³

4.4.5 Maintenance des conduites (B2)

Les conduites, PEHD comme béton, nécessitent quelques opérations de nettoyage. Le premier nettoyage est réalisé 20 ans après l'installation. Par la suite, l'opération doit être répliquée aux 10 ans, ce qui donne 8 opérations de nettoyage sur l'ensemble du cycle de vie des conduites.

Le nettoyage de 1000 pi de conduite nécessite l'utilisation de 5 m³ d'eau, d'après les entretiens de Soleno avec des maîtres d'œuvres. Également, le *camion-vacuum* utilisé consomme 20 L/h de diesel, et cela prend 8h pour nettoyer 1000 pi de conduite.

4.4.6 Fin de vie (C1-C4)

À la fin de vie des conduites, 3 scénarios sont envisageables : 1) Laisser sur place, 2) Enfouir, 3) Recycler. Étant donné la très longue durée de vie des conduites, il n'existe pas à l'heure actuelle de données sur la probabilité de l'un ou de l'autre scénario. Dans le PCR – Part B for Piping systems for use in sewage and storm water systems [17], il est indiqué que *“It is assumed that the most likely end of life scenario will be that the pipes are left in the ground after use”*. Par conséquent, le scénario « laisser sur place », est le plus probable. L'étude de PPI envisage les 3 options. Dans le scénario principal, l'approche *cut-off* est employée, ce qui signifie que les scénarios « laisser sur place » et « recycler » sont modélisés de la même façon, sans impact environnemental attribué à la fin de vie. Le scénario « enfouissement » est défavorable pour la conduite de béton, à cause de l'énergie nécessaire à l'excavation et au transport vers les sites d'enfouissement. Par conséquent, les scénarios « laisser sur place » et « recycler » sont plus conservateurs dans le cadre d'une comparaison entre les 2 types de conduites. En analyse de sensibilité, l'étude PPI utilise l'approche de l'extension de frontières au lieu de l'approche « *cut-off* » dans le cas du scénario « recycler ». Il apparaît que l'extension de frontières est défavorable à la conduite de béton : le recyclage sur plastique

donne un crédit environnemental puisqu'il permet d'éviter une production de plastique vierge. En revanche, le recyclage du béton ne permet pas d'éviter une production de béton vierge. Par conséquent, l'approche « cut-off » est plus conservatrice que l'approche de l'extension de frontières dans le cadre d'une comparaison entre les 2 types de conduites.

Pour l'ensemble de ces raisons, la fin de vie des conduites est modélisée selon le scénario « laisser sur place » (ou « recycler »), en utilisant l'approche « cut-off ». Le scénario « enfouissement » sera étudié en analyse de sensibilité.

4.5. Exclusions

Il est généralement admis qu'un flux de matière ou d'énergie qui contribue à moins de 1% de la masse totale ou de l'énergie totale peut être exclu des frontières de l'étude.

Dans cette étude, les emballages des conduites pour leur transport vers le site d'installation ont été considérés comme étant négligeables, voire inexistants.

Également, toutes les activités relatives au transport des employés, travail de bureau et camionnage sur le site des usines de fabrication ont été exclues de l'étude.

Concernant la conduite de béton, les matériaux auxiliaires listés dans l'étude du CNRC [2] (huiles, graisses, lubrifiants...) n'ont pas été pris en compte, puisqu'ils n'entrent pas directement dans la composition de la conduite, et que leurs quantités sont très faibles (moins de 1 kg au total, pour 1 tonne de conduite). De la même façon, les quantités de déchets dangereux et non dangereux générées sur le site de production de la conduite ont été exclues, car totalisant 1 g pour 1 tonne de conduite, et n'étant pas nécessairement directement liés à la production de la conduite). Enfin, toujours pour la conduite de béton, l'utilisation de carburants secondaires sur le site de production de la conduite n'a pas été prise en compte, puisqu'elle totalise moins de 0.5 ml par tonne de conduite, et n'est pas forcément liée directement à la production de la conduite.

5. Évaluation des impacts environnementaux

5.1. Indicateurs environnementaux

Les huit indicateurs d'impact à savoir le réchauffement climatique (fossile, biogénique, utilisation des terres et transformation des terres, total), l'acidification, l'eutrophisation (de l'eau douce, marine, terrestre), la formation d'ozone photochimique, la destruction de la couche d'ozone, l'épuisement des ressources minérales, l'épuisement des ressources fossiles, et le potentiel de privation d'eau ont été calculés à l'aide de la méthode d'évaluation EN 15804 Add-on.

À noter que les résultats liés à ces 3 derniers indicateurs (épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales, potentiel de privation d'eau) doivent être utilisés avec prudence car les incertitudes des résultats sont élevées et l'expérience avec ces indicateurs sont limitées.

Cette méthode d'évaluation a été développée à partir de la norme européenne EN 15804, initialement publiée en 2012 par le Comité Européen de Normalisation (CEN) puis mise à jour tous les cinq ans [18]. Elle est particulièrement utilisée dans le secteur de la construction, mais également pour réaliser des Déclarations Environnementales de Produits.

Les indicateurs environnementaux de base de la méthodologie EN15804 sont présentés à l'Annexe 3.

L'avantage du module complémentaire *Add-on* est qu'il prend en charge les autres indicateurs de la norme EN 15804, à savoir les ressources, les déchets et les flux de sortie. (« Use of resources », « Waste and output flows »).

C'est donc avec cette extension qu'ont été calculés les indicateurs environnementaux concernant la consommation d'énergie (« Primary energy consumption »). La consommation en mégajoules (MJ) d'énergie non renouvelable prend en compte les sources fossiles et nucléaires. La consommation d'énergie renouvelable prend en compte les sources solaires, éoliennes, hydroélectriques et géothermiques, ainsi que de sources de biomasse.

L'utilisation d'eau a également été calculée, et correspond à la consommation d'eau douce sur l'ensemble du cycle de vie, mais ne représente pas une « empreinte eau », car elle n'est pas associée à des zones géographiques particulières.

Enfin, ce module permet de calculer un indicateur relatif à la production de déchets dangereux et non dangereux sur l'ensemble du cycle de vie.

Il est important de mentionner que les résultats de l'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) d'une ACV ne devraient pas constituer la seule base pour supporter une affirmation comparative sur la supériorité environnementale globale ou l'équivalence entre des systèmes. Dans un contexte de prise de décision, des informations supplémentaires à celles prises en compte dans le champ de la présente étude seront nécessaires pour remédier à certaines des limitations propres à l'ÉICV.

Il convient également de rappeler que les résultats d'une ACV sont des expressions relatives et ne prédisent pas des impacts réels sur les milieux récepteurs, le dépassement des normes, les marges de sécurité ou les risques.

5.2. Résultats de l'évaluation des impacts

Le Tableau 12 présente les impacts environnementaux et la consommation d'énergie primaire d'origine renouvelable et non renouvelable, pour 1000 pi de conduite installée en utilisant la méthodologie EN15804.

Tableau 12: Résultats de l'évaluation des impacts

Catégorie d'impact		Unité	PEHD 90% RC	Béton	Écart
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	2.31E+04	3.47E+04	40%
	Biogénique	Kg CO2 eq	3.93E+02	1.77E+02	- 76%
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	2.03E+02	1.07E+02	- 62%
	TOTAL	Kg CO2 eq	2.37E+04	3.50E+04	39%
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	1.96E+02	3.70E+02	61%
Acidification		mol H+ eq	1.46E+02	2.23E+02	42%
Eutrophisation – eau douce		Kg P eq	2.18E+00	2.64E+00	19%
Eutrophisation - marine		Kg N eq	5.63E+01	6.24E+01	10%
Eutrophisation - terrestre		mol N- eq	6.21E+02	6.54E+02	5%
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	3.38E-04	4.28E-04	24%
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	8.13E-02	7.19E-02	-12%
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	3.51E+05	3.02E+05	-15%
Potentiel de privation d'eau		m3 eq	2.83E+04	1.47E+04	-63%
<i>Indicateurs d'énergie</i>					
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	7.03E+04	4.75E+04	-39%
	Matière première	MJ, PCI	0	6.63E+00	200%
	TOTAL	MJ, PCI	7.03E+04	4.75E+04	-39%
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	3.23E+05	3.79E+05	16%
	Matière première	MJ, PCI	2.80E+04	2.60E+04	-7%
	TOTAL	MJ, PCI	3.51E+05	4.06E+05	15%
<i>Indicateurs d'inventaire</i>					
Consommation d'eau douce		m³	6.99E+02	5.11E+02	-31%
Production de déchets non dangereux		kg	9.26E+03	6.71E+03	-32%
Production de déchets dangereux		kg	5.69E+02	3.59E+02	-45%

L'écart a été calculé selon l'équation 1. Un écart positif indique que la conduite de PEHD 90% RC a un impact inférieur à la conduite de béton, et un écart négatif indique que la conduite de

PEHD 90% RC a un impact supérieur à la conduite de béton. Les écarts sont exprimés relativement à la moyenne des écarts des 2 conduites.

$$\text{Eq 1: } \text{ecart} = \frac{\text{Impact}_{\text{béton}} - \text{Impact}_{\text{PEHD 90\% RC}}}{\text{Moyenne}(\text{Impact}_{\text{PEHD 90\% RC}}; \text{Impact}_{\text{béton}})}$$

Dans le cadre de cette analyse de cycle de vie (ACV), un écart de +10% ou -10% entre les résultats des impacts environnementaux est considéré comme significatif. Ce seuil a été établi en tenant compte des incertitudes associées aux données et des objectifs spécifiques de l'étude. Des écarts inférieurs à ce seuil peuvent être notés, mais sont considérés comme moins significatifs pour les conclusions et les recommandations de cette étude.

La conduite de PEHD 90% recyclé présente donc des impacts inférieurs à la conduite de béton pour les catégories réchauffement climatique (total), formation d'ozone photochimique, acidification, eutrophisation (eau douce et marine), destruction de la couche d'ozone et la consommation d'énergie non renouvelable (total).

La conduite de béton présente des impacts inférieurs à ceux de la conduite de PEHD 90% RC pour les catégories épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales, potentiel de privation d'eau, la consommation d'eau douce sur le cycle de vie, la production de déchets (dangereux et non dangereux) et la consommation d'énergie renouvelable (total).

A noter cependant que, selon la littérature scientifique, les 3 catégories épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales et potentiel de privation d'eau doivent être considérées avec précaution, étant donné leur incertitude élevée [19].

Les Tableau 13 et Tableau 14 détaillent la contribution des différentes étapes du cycle de vie pour la conduite de PEDH 90% RC et de béton respectivement.

Concernant la conduite de PEHD 90% RC, c'est l'étape d'installation (A5) qui contribue le plus aux impacts sur le cycle de vie, et ce pour toutes les catégories d'impact, à l'exception de la consommation d'énergie non renouvelable (total), où l'étape de production (A1-A3) contribue à 52% de l'impact.

Selon la catégorie d'impact, les impacts de la phase d'installation peuvent venir majoritairement de l'utilisation de la machinerie (ex : formation d'ozone photochimique, acidification), du matériau granulaire utilisé pour le recouvrement (ex : épuisement des ressources minérales, consommation d'énergie renouvelable, utilisation d'eau), ou même de ces 2 postes, dans des proportions équivalentes (ex : réchauffement climatique, épuisement des ressources fossiles, consommation d'énergie non renouvelable).

Concernant la conduite de béton, l'étape de production (A1-A3) est la principale source d'impact pour les catégories réchauffement climatique, formation d'ozone photochimique, acidification, eutrophisation (eau douce), épuisement des ressources minérales, consommation d'énergie renouvelable, consommation d'énergie non renouvelable et consommation d'eau douce.

L'étape d'installation (A5) est la principale source d'impact pour les autres catégories. L'impact provient majoritairement de l'utilisation de la machinerie pour l'eutrophisation (marine et terrestre), la destruction de la couche d'ozone, et l'épuisement des ressources fossiles, alors qu'il vient majoritairement des matériaux granulaires utilisés pour le recouvrement pour le potentiel de privation d'eau et la production de déchets (dangereux et non dangereux).

Tableau 13 : Contribution des différentes étapes du cycle de vie pour la conduite de PEHD 90% RC

Catégorie d'impact		Unité	A1-A3	A4	A5			B2	C1-C4
					Machinerie	Recouvrement	Total A5		
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	22.1 %	0.4 %	40.3 %	36.7 %	77.0 %	0.4 %	0 %
	Biogénique	Kg CO2 eq	93.1 %	0.01 %	0.5 %	6.41 %	6.91 %	0.01 %	0 %
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	51.6 %	0.03 %	0.5 %	47.7 %	48.2 %	0.1 %	0 %
	TOTAL	Kg CO2 eq	23.5 %	0.4 %	39.3 %	36.3 %	75.9 %	0.4 %	0 %
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	9.6 %	0.2 %	65.4 %	24.3 %	89.7 %	0.3 %	0 %
Acidification		mol H+ eq	11.3 %	0.2 %	59.1 %	29.0 %	88.1 %	0.3 %	0 %
Eutrophisation – eau douce		Kg P eq	28.9 %	0.4 %	13.1 %	57.4 %	70.8 %	0.2 %	0 %
Eutrophisation - marine		Kg N eq	8.1 %	0.1 %	71.1 %	20.3 %	91.4 %	0.3 %	0 %
Eutrophisation - terrestre		mol N- eq	6.8 %	0.1 %	70.0 %	22.6 %	92.6 %	0.4 %	0 %
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	16.5 %	0.5 %	43.8 %	38.6 %	82.4 %	0.5 %	0 %
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	23.5 %	0.4 %	4.1 %	71.8 %	75.9 %	0.1 %	0 %
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	31.1 %	0.4 %	35.0 %	33.1 %	68.1 %	0.4 %	0 %
Potentiel de privation d'eau		m³ eq	30.9 %	0.01 %	1.1 %	67.9 %	69.0 %	0.07 %	0 %
<i>Indicateurs d'énergie</i>									
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	51.2 %	0.01 %	1.0 %	47.7 %	48.8 %	0.1 %	0 %
	Matière première	MJ, PCI	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	TOTAL	MJ, PCI	51.2 %	0.01 %	1.0 %	47.7 %	48.8 %	0.1 %	0 %
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	31.4 %	0.4 %	34.6 %	33.2 %	67.8 %	0.4 %	0 %
	Matière première	MJ, PCI	27.4 %	0.4 %	39.9 %	31.8 %	71.7 %	0.4 %	0 %
	TOTAL	MJ, PCI	31.1 %	0.4 %	35.0 %	33.1 %	68.1 %	0.4 %	0 %
<i>Indicateurs d'inventaire</i>									
Consommation d'eau douce		m³	29.7 %	0.02 %	0.9 %	63.7 %	64.6 %	5.6 %	0 %
Production de déchets non dangereux		kg	12.3 %	1.3 %	0.8 %	85.4 %	86.2 %	0.01 %	0 %
Production de déchets dangereux		kg	22.3 %	0.3 %	17.9 %	59.2 %	77.1 %	0.3 %	0 %

Tableau 14: Contribution des différentes étapes du cycle de vie pour la conduite de béton

Catégorie d'impact		Unité	A1-A3	A4	A5			B2	C1-C4
					Machinerie	Recouvrement	Total A5		
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	58.1 %	3.0 %	26.8 %	11.7 %	38.5 %	0.3 %	0 %
	Biogénique	Kg CO2 eq	92.5 %	0.2 %	1.1 %	6.7 %	7.8 %	0.05 %	0 %
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	60.0 %	0.5 %	0.9 %	38.3 %	39.2 %	0.2 %	0 %
	TOTAL	Kg CO2 eq	58.3 %	3.0 %	26.6 %	11.8 %	38.4 %	0.3 %	0 %
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	58.0 %	1.1 %	34.7 %	5.9 %	40.6 %	0.2 %	0 %
Acidification		mol H+ eq	51.2 %	1.3 %	38.6 %	8.6 %	47.2 %	0.2 %	0 %
Eutrophisation – eau douce		Kg PO4- eq	64.0 %	3.4 %	10.8 %	21.6 %	32.4 %	0.2 %	0 %
Eutrophisation - marine		Kg N eq	26.1 %	1.2 %	64.1 %	8.3 %	72.4 %	0.3 %	0 %
Eutrophisation - terrestre		mol N eq	22.4 %	1.2 %	66.5 %	9.6 %	76.1 %	0.3 %	0 %
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	46.0 %	4.2 %	34.6 %	14.8 %	49.4 %	0.4 %	0 %
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	54.8 %	4.3 %	4.6 %	36.1 %	40.7 %	0.2 %	0 %
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	34.8 %	5.4 %	40.7 %	18.7 %	59.4 %	0.4 %	0 %
Potentiel de privation d'eau		m³ eq	42.3 %	0.5 %	2.0 %	55.0 %	57.0 %	0.1 %	0 %
<i>Indicateurs d'énergie</i>									
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	68.2 %	0.4 %	1.4 %	29.8 %	31.2 %	0.2 %	0 %
	Matière première	MJ, PCI	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	TOTAL	MJ, PCI	68.2 %	0.4 %	1.4 %	29.8 %	31.2 %	0.2 %	0 %
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	52.7 %	3.9 %	29.4 %	13.7 %	43.1 %	0.3 %	0 %
	Matière première	MJ, PCI	34.3 %	5.3 %	43.0 %	16.9 %	59.9 %	0.4 %	0 %
	TOTAL	MJ, PCI	51.5 %	4.0 %	30.3 %	13.9 %	44.2 %	0.3 %	0 %
<i>Indicateurs d'inventaire</i>									
Consommation d'eau douce		m³	53.8 %	0.4 %	1.3 %	36.8 %	38.1 %	7.7 %	0 %
Production de déchets non dangereux		kg	18.9 %	20.7 %	1.1 %	59.3 %	60.4 %	0.02 %	0 %
Production de déchets dangereux		kg	24.4 %	5.0 %	28.4 %	41.7 %	70.1 %	0.4 %	0 %

6. Évaluation de l'incertitude

6.1. Évaluation de la qualité des données

L'incertitude liée à la qualité des données peut affecter les résultats d'une étude. Cette incertitude peut être due à un manque de données, à des données incomplètes ou à une absence de corrélation géographique, temporelle ou technologique.

Ces incertitudes peuvent concerner autant les données primaires que les données secondaires. Dans le cas présent, la qualité des données a été évaluée en utilisant la matrice Pedigree mise à jour [20].

Table 3. Updated Data Quality Pedigree Matrix – Flow Indicators

		Highest score ← → Lowest score				
Indicator		1	2	3	4	5 (default)
Flow reliability		Verified ¹ data based on measurements	Verified data based on a calculation or non-verified data based on measurements	Non-verified data based on a calculation	Documented estimate	Undocumented estimate
Flow Representativeness	Temporal correlation	Less than 3 years of difference ²	Less than 6 years of difference	Less than 10 years of difference	Less than 15 years of difference	Age of data unknown or more than 15 years
	Geographical correlation	Data from same resolution and same area of study	Within one level of resolution and a related area of study ³	Within two levels of resolution and a related area of study	Outside of two levels of resolution but a related area of study	From a different or unknown area of study
	Technological correlation	All technology categories ⁴ are equivalent	Three of the technology categories are equivalent	Two of the technology categories are equivalent	One of the technology categories is equivalent	None of the technology categories are equivalent
	Data collection methods	Representative data from >80% of the relevant market ⁵ , over an adequate period ⁶	Representative data from 60-79% of the relevant market, over an adequate period or representative data from >80% of the relevant market, over a shorter period of time	Representative data from 40-59% of the relevant market, over an adequate period or representative data from 60-79% of the relevant market, over a shorter period of time	Representative data from <40% of the relevant market, over an adequate period of time or representative data from 40-59% of the relevant market, over a shorter period of time	Unknown or data from a small number of sites and from shorter periods

Figure 6: Matrice Pedigree pour les flux d'inventaire [20]

Table 4. Updated Data Quality Pedigree Matrix – Process Indicators

Indicator	1	2	3	4	5 (default)
Process review	Documented reviews by a minimum of two types ¹ of third party reviewers	Documented reviews by a minimum of two types of reviewers, with one being a third party	Documented review by a third party reviewer	Documented review by an internal reviewer	No documented review
Process completeness	>80% of determined flows have been evaluated and given a value	60-79% of determined flows have been evaluated and given a value	40-59% of determined flows have been evaluated and given a value	<40% of determined flows have been evaluated and given a value	Process completeness not scored

Figure 7: Matrice Pedigree pour les processus [19]

La fiabilité évalue la méthode utilisée pour générer les données (mesure, estimation, calcul), et le niveau vérification / validation que ces données ont subi.

La représentativité temporelle indique la corrélation entre la période à laquelle les données ont été collectées et l'année de l'étude.

La représentativité géographique indique la corrélation entre la zone pour laquelle les données ont été collectées et la zone géographique de l'étude.

La représentativité technologique évalue d'éventuelles différences entre les données collectées et la portée technologique de l'étude (conception du processus, conditions de fonctionnement, qualité des matériaux et échelle du processus).

La méthode de collecte des données indique la robustesse des méthodes d'échantillonnage utilisées (taille de l'échantillon et période de collecte).

Le processus de révision indique le niveau de révision que la base de données a subi.

La complétude indique dans quelle mesure les flux inclus dans un processus permettent une caractérisation complète de l'impact.

À noter que bien que les aspects de **cohérence** et de **reproductibilité** soient énoncés dans ISO 14 044 [5], ils sont absents de la matrice Pedigree mise à jour. Ces 2 critères seront donc évalués de façon qualitative, et globale pour l'ensemble de l'étude. La **cohérence** évalue si la méthodologie de l'étude est appliquée uniformément aux différentes composantes de l'analyse. La **reproductibilité** évalue si les informations sur la méthodologie et les valeurs des données permettraient à un praticien indépendant de reproduire les résultats rapportés dans l'étude.

L'évaluation de la qualité des données pour la conduite de PEHD 90% RC est présentée au Tableau 15 et celle de la conduite de béton au Tableau 16.

L'évaluation de la qualité des données secondaire est présentée au Tableau 17.

Tableau 15: Évaluation de la qualité des données primaires - conduite de PEHD

	Année	Fiabilité	Représentativité			
			Temporelle	Géographique	Technologique	Collecte de données
Composition de la conduite						
Repro HDPE	2022	1	1	1	1	1
PR320	2022	1	1	1	1	1
Marlex	2022	1	1	1	1	1
Regrind HMW	2022	1	1	1	1	1
Noir de carbone	2022	1	1	1	1	1
Composition des gaskets						
TPE blanc	2022	1	1	1	1	1
Marlex	2022	1	1	1	1	1
Colorant vert	2022	1	1	1	1	1
Transport des matières premières						
Transport des matières premières (Repro HDPE, PR320, Marlex, Regrind HMW, Noir de carbone, TPE blanc, Marlex, Colorant vert)	2022	1	1	1	1	1
Production de la conduite						
Consommation d'électricité	2022	1	1	1	1	1
Transport vers le site d'installation						
Transport par camion	2020	4	2	3	1	5

Tableau 14 (suite)

	Année	Fiabilité	Représentativité			
			Temporelle	Geographique	Technologique	Collecte de données
Installation						
Consommation moyenne de diesel d'une plaque vibrante	2022	3	1	1	1	5
Consommation moyenne de diesel d'une excavatrice	2022					
Consommation moyenne de diesel d'un chargeur	2022					
Matériau granulaire	2022	2	1	1	1	1
Transport du matériau granulaire au site d'installation	n/a	5	5	5	2	5
Transport des sols excédentaires au site d'enfouissement	n/a	5	5	5	2	5
Maintenance						
Utilisation de machinerie	2022	4	5	4	2	5
Consommation d'eau	2022	4	5	4	2	5
Fin de vie						
Laissé sur place (vide)	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Tableau 16 : Évaluation de la qualité des données primaires - conduite de béton

	Année	Fiabilité	Représentativité			
			Temporelle	Géographique	Technologique	Collecte de données
Composition de la conduite						
Ciment de Portland	2022	2	1	3	3	2
Aggrégats gros et fins - concassés	2022	2	1	3	3	2
Aggrégats gros et fins - naturels	2022	2	1	3	3	2
Slag cement	2022	2	1	3	3	2
Cendre volante	2022	2	1	3	3	2
Barres de renforcement	2022	2	1	3	3	2
Additifs	2022	2	1	3	3	2
Eau	2022	2	1	3	3	2
Composition des gaskets						
TPE blanc	2022	1	1	1	1	1
Marlex	2022	1	1	1	1	1
Colorant vert	2022	1	1	1	1	1
Transport des matières premières						
Transport des matières premières (Aggrégats, Ciment, Slag Cement, Cendre volante, Additifs, Barres de renforcement)	2022	2	1	3	1	2
Transport (TPE blanc, Marlex, Colorant vert)	2022	2	1	3	1	2

Tableau 16 (suite)

	Année	Fiabilité	Représentativité			
			Temporelle	Geographique	Technologique	Collecte de données
Production de la conduite						
Électricité	2022	2	1	3	3	2
Gaz naturel	2022	2	1	3	3	2
Diesel	2022	2	1	3	3	2
Gasoline	2022	2	1	3	3	2
LPG	2022	2	1	3	3	2
Diesel - véhicules	2022	2	1	3	3	2
Eau	2022	2	1	3	3	2
Transport vers le site d'installation						
Transport par camion	2020	4	2	3	1	5
Installation						
Consommation moyenne de diesel d'une plaque vibrante	2022	3	1	1	1	5
Consommation moyenne de diesel d'une excavatrice	2022					
Consommation moyenne de diesel d'un chargeur	2022					
Matériau granulaire	2022	2	1	1	1	1
Transport du matériau granulaire au site d'installation	n/a	5	5	5	2	5
Transport des sols excédentaires au site d'enfouissement	n/a	5	5	5	2	5
Maintenance						
Utilisation de machinerie	2022	4	5	4	2	5
Consommation d'eau	2022	4	5	4	2	5
Fin de vie						
Laissé sur place	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

L'incertitude reliée à la qualité des données secondaires est présentée au Tableau 17.

Tableau 17 : Évaluation de la qualité des données secondaires

	Processus de révision	Complétude
Ecoinvent 3.9	1	1
DEP :		
- Slag Cement	1	1
- Steel rebar		
- Admixtures		

Évaluation de la **cohérence** : La présente étude a été réalisée en cohérence avec l'étude de PPI [1]. L'unité fonctionnelle est la même, la conduite de béton est modélisée à partir de la même étude, le scénario principal est basé sur les mêmes hypothèses pour la fin de vie (laissé sur place), et certaines hypothèses de distance sont également semblables, notamment pour la distance au site d'installation. Cela permet d'assurer une cohérence dans la méthodologie employée.

Évaluation de la **reproductibilité** : La reproductibilité de l'étude est possible, étant donné que la disponibilité des données est bonne et peu d'hypothèses ont dû être formulées : Soleno dispose de données très factuelles sur la production des conduites de PEHD, les sources de données secondaires pour les conduites de béton sont bien identifiées, et les quantités de matériaux de recouvrement sont encadrées par des normes BNQ [3]. Les principales hypothèses venaient des quantités de carburant nécessaires à l'installation des conduites, mais ces quantités sont clairement indiquées dans le rapport. Les données utilisées sont détaillées de façon exhaustive à la section 4. Collecte de données, et l'ensemble des sources de données a été identifié à la section 8. Références.

6.2. Analyses de sensibilité

6.2.1 Analyse de sensibilité sur l'étape de production

Tel que mentionné à la section 4, aucune donnée n'était disponible sur d'éventuelles consommations de diesel (usine ou flotte de véhicule), de gasoline ou de LPG pour la production de la conduite de PEHD 90%RC. Une analyse de sensibilité considère une consommation de ces 3 combustibles, avec des quantités équivalentes à celles de la conduite de béton (voir Tableau 9).

La comparaison entre un scénario de conduite de PEHD 90% RC intégrant ces consommations de combustibles à l'usine et la conduite de béton est présentée au Tableau 18.

Tableau 18 : Analyse de sensibilité sur la consommation de combustibles à l'usine de production des conduites PEHD

Catégorie d'impact		Unité	PEHD - Avec conso à l'usine	Béton	Écart
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	2.39E+04	3.47E+04	37%
	Biogénique	Kg CO2 eq	3.93E+02	1.77E+02	- 76%
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	2.03E+02	1.07E+02	- 62%
	TOTAL	Kg CO2 eq	2.44E+04	3.50E+04	35%
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	1.98E+02	3.70E+02	60%
Acidification		mol H+ eq	1.47E+02	2.23E+02	41%
Eutrophisation – eau douce		Kg P eq	2.20E+00	2.64E+00	18%
Eutrophisation - marine		Kg N eq	5.66E+01	6.24E+01	10%
Eutrophisation - terrestre		mol N- eq	6.24E+02	6.54E+02	5%
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	3.50E-04	4.28E-04	20%
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	8.14E-02	7.19E-02	-12%
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	3.61E+05	3.02E+05	-18%
Potentiel de privation d'eau		m³ eq	2.83E+04	1.47E+04	-63%
Indicateurs d'énergie					
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	7.03E+04	4.75E+04	-39%
	Matière première	MJ, PCI	0	6.63E+00	200%
	TOTAL	MJ, PCI	7.03E+04	4.75E+04	-39%
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	3.33E+05	3.79E+05	13%
	Matière première	MJ, PCI	2.80E+04	2.60E+04	-7%
	TOTAL	MJ, PCI	3.61E+05	4.06E+05	12%
Indicateurs d'inventaire					
Consommation d'eau douce		m³	6.99E+02	5.11E+02	-31%
Production de déchets non dangereux		kg	9.26E+03	6.71E+03	-32%
Production de déchets dangereux		kg	5.69E+02	3.59E+02	-45%

Ainsi, le fait d'inclure une consommation de combustibles à l'usine de production des conduites en PEHD entraîne une augmentation des scores d'impact allant de 0 % à 4 % (en comparaison du scénario principal, présenté au Tableau 12), le maximum de variation étant observé pour les catégories réchauffement climatique, destruction de la couche d'ozone, épuisement des ressources fossiles et consommation d'énergie primaire non renouvelable. Cependant, ces variations n'entraînent aucun changement aux conclusions de l'étude, si l'on se réfère à la colonne « Écart » des Tableau 12 et Tableau 18.

6.2.2 Analyse de sensibilité sur les matériaux de recouvrement

Le scénario principal été basé sur les recommandations du BNQ 1809-300 en ce qui a trait aux quantités de matériaux de recouvrement pour les conduites de béton et de PEHD, ce qui constitue le cas le plus conservateurs. Cependant, d'autres réglementations peuvent s'appliquer.

Un scénario alternatif considère que le matériau de recouvrement (remblai) doit être utilisé **jusqu'à 300 mm (au minimum) au-dessus des conduites PEHD [21] et béton [22]**, en accord avec la réglementation du MTQ (ministère des Transports du Québec), qui est un des plus grands donneurs d'ouvrages au Québec exigeant une « équivalence » de matériau de recouvrement autant pour le PEHD que le béton.

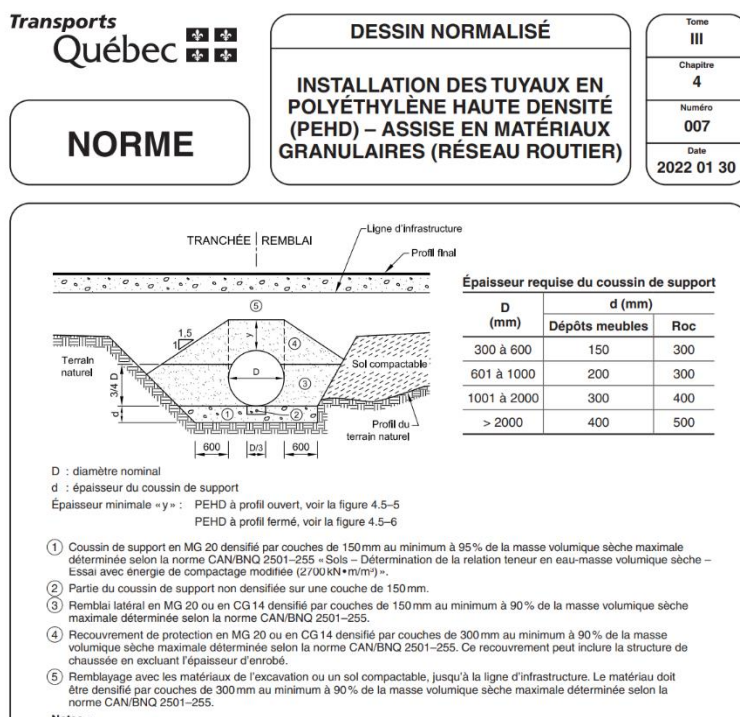


Figure 8: Page 7 du Tome III du MTQ pour l'installation des tuyaux en PEHD.

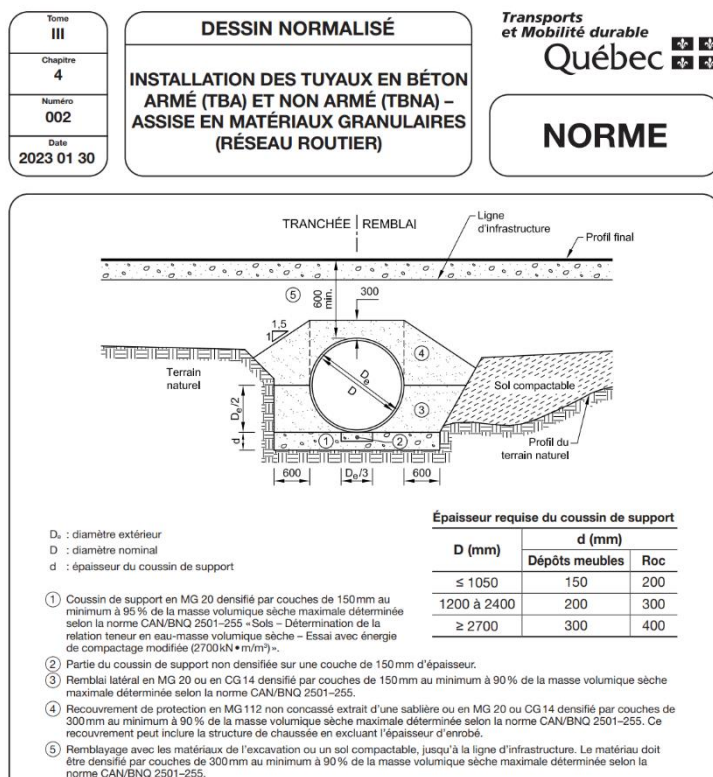


Figure 9: Page 2 du Tome III du MTQ pour l'installation des tuyaux en béton

Les quantités de matériaux correspondantes sont présentées au Tableau 19

Tableau 19: Quantités de matériau granulaire et de sols excédentaires en lien avec le MTQ

Intrants		Quantités	Unités
Conduite PEHD MTQ	Matériau granulaire – assise jusqu'à 300 mm au-dessus	417.2	m ³
	Remblais d'excavation jusqu'à la surface	560.8	m ³
	Sols excédentaires	548.6	m ³
Conduite béton MTQ	Matériau granulaire – assise jusqu'à 300 mm au-dessus	394.3	m ³
	Remblais d'excavation jusqu'à la surface	560.8	m ³
	Sols excédentaires	548.6	m ³

Les résultats de l'analyse sont présentés au Tableau 20. Ainsi, il est possible de voir que dans le cas où les directives suivies pour les matériaux de recouvrement sont celles du MTQ, la conduite de PEHD 90%RC présente des impacts inférieurs (ou non significativement différents) à ceux de la conduite de béton pour toutes les catégories, à l'exception du potentiel de privation d'eau. Cette différence de 13% peut être expliquée par le fait que la conduite de

PEHD 90%RC consomme davantage d'électricité de source hydroélectrique pour sa production que la conduite de béton⁴.

Tableau 20: Comparaison des conduites de PEHD 90%RC et de béton dans le cas de la réglementation du MTQ

Catégorie d'impact		Unité	PEHD 90% RC - MTQ	Béton MTQ	Écart
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	2.31E+04	3,89E+04	51 %
	Biogénique	Kg CO2 eq	3.93E+02	1,90+02	- 70 %
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	2.03E+02	1,58E+02	- 25%
	TOTAL	Kg CO2 eq	2.37E+04	3,92E+04	49 %
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	1.96E+02	3,95E+02	67 %
Acidification		mol H+ eq	1.46E+02	2,45E+02	51 %
Eutrophisation – eau douce		Kg P eq	2.18E+00	3,27E+00	40 %
Eutrophisation - marine		Kg N eq	5.63E+01	6,81E+01	19 %
Eutrophisation - terrestre		mol N- eq	6.21E+02	7,25E+02	15 %
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	3.38E-04	4,91E-04	37 %
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	8.13E-02	1,02E-01	22 %
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	3.51E+05	3,57E+05	2 %
Potentiel de privation d'eau		m³ eq	2.83E+04	2,48E+04	- 13 %
<i>Indicateurs d'énergie</i>					
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	7.03E+04	6,51E+04	- 8 %
	Matière première	MJ, PCI	0	6,63E+00	200 %
	TOTAL	MJ, PCI	7.03E+04	6,51E+04	- 8 %
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	3.23E+05	4,31E+05	29 %
	Matière première	MJ, PCI	2.80E+04	3,03E+04	8 %
	TOTAL	MJ, PCI	3.51E+05	4,61E+05	27 %
<i>Indicateurs d'inventaire</i>					
Consommation d'eau douce		m³	6.99E+02	7,44E+02	6 %
Production de déchets non dangereux		kg	9.26E+03	1,04E+04	12 %
Production de déchets dangereux		kg	5.69E+02	5,30E+02	- 7 %

Concernant les conduites de PEHD, d'autres scénarios sont également possibles. Si le BNQ et le MTQ exigent d'avoir un recouvrement jusqu'à 300 mm au-dessus de la conduite, il faut savoir que le PPI (Plastic Pipes Institute) et la coalition des conduites flexibles du Québec sont en train de mener des études en lien avec une diminution des quantités de matériaux granulaires nécessaires pour ces conduites. L'hypothèse prise ici est donc qu'une utilisation des matériaux de recouvrement jusqu'à 75% de la hauteur de la conduite (Figure 10) ou à la

⁴ Pour la production de 1000 pi de conduite, la conduite de PEHD nécessite 5024 kwh d'électricité, alors que la conduite de béton nécessite 2915 kwh d'électricité. Cette différence s'explique par le fait que la production de la conduite de béton nécessite également une consommation de gaz naturel (34 GJ), ce qui n'est pas le cas du PEHD.

couronne – c'est-à-dire 100% de la hauteur - (Figure 11) n'impacterait ni la performance ni la durée de vie de la conduite de PEHD.

Les quantités de matériaux granulaires et de sols excédentaires de ces 2 scénarios sont présentés au Tableau 21.

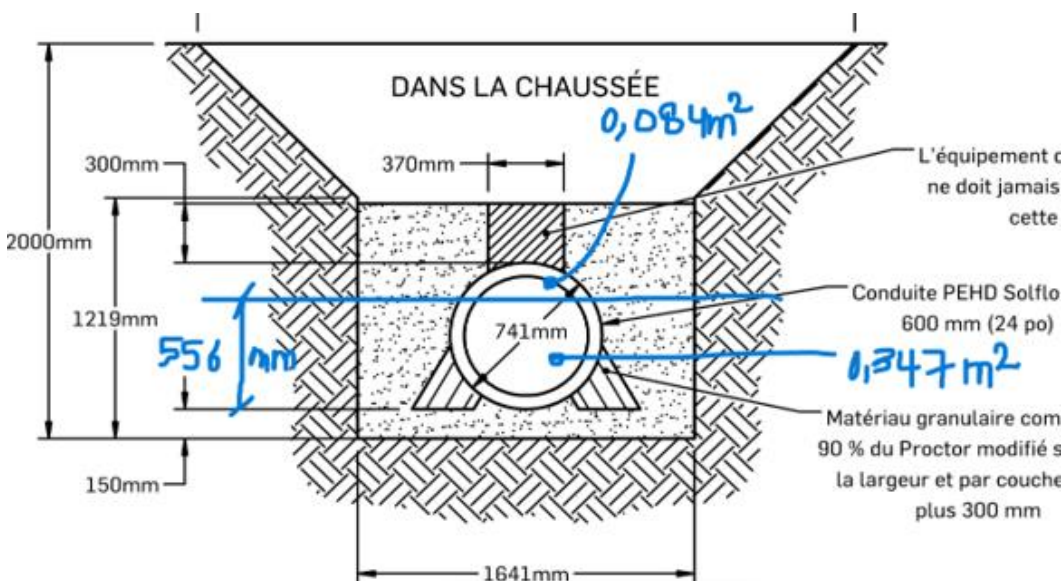


Figure 10: Recouvrement de la conduite de PEHD jusqu'à 75% de la hauteur

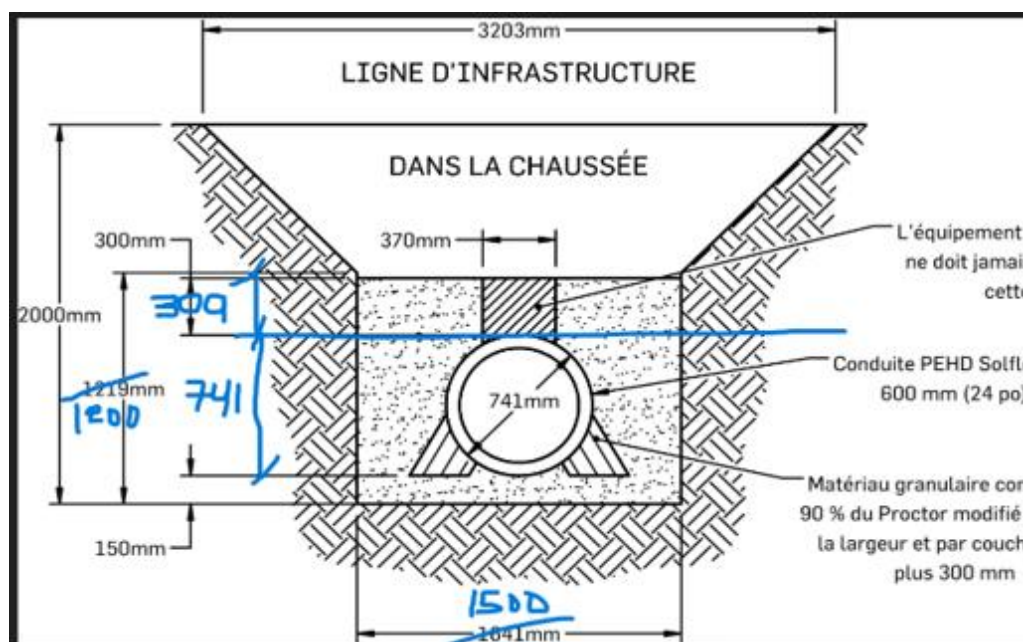


Figure 11: Recouvrement de la conduite de PEHD jusqu'à 100% de la hauteur (couronne)

Tableau 21 : Quantités de matériau granulaire et de sols excédentaires lorsque la conduite de PEHD est couverte de matériau granulaire à 75% et à 100% de sa hauteur

Intrants		Quantités	Unités
Conduite PEHD – 75% hauteur	Matériau granulaire – à 75% de la hauteur	217.2	m ³
	Remblais d'excavation jusqu'à la surface	761.1	m ³
	Sols excédentaires	348.4	m ³
Conduite PEHD 100% hauteur (couronne)	Matériau granulaire – à 100% de la hauteur (couronne)	275.9	m ³
	Remblais d'excavation jusqu'à la surface	702.1	m ³
	Sols excédentaires	407.4	m ³

Les scores d'impact résultats de ces 2 scénarios, ainsi que la comparaison avec la conduite de béton sont présentés au Tableau 22.

Ainsi les conduites de PEHD 90%RC qui ne seraient recouvertes qu'à 75% ou à 100% de leur hauteur présenteraient des impacts inférieurs (ou non significativement différents) à ceux de la conduite de béton pour toutes les catégories d'impact, à l'exception du potentiel de privation d'eau, de la consommation d'énergie renouvelable et des quantités de déchets dangereux. La différence pour les catégories potentiel de privation d'eau et consommation d'énergie renouvelable s'explique par le fait que la conduite de PEHD 90%RC consomme davantage d'électricité de source hydroélectrique lors de la production que la conduite de béton⁵. La production de déchets dangereux est très liée à l'extraction de matériau granulaire à la carrière, et dans les 2 scénarios considérés ici, la conduite de PEHD 90%RC nécessite toujours plus de matériaux granulaires que la conduite de béton.

⁵ Voir note 3

Tableau 22: Comparaison des scores d'impact des conduites de PEHD couvertes à 75% et à 100% de leur hauteur avec la conduite de béton

Catégorie d'impact		Unité	Béton	HDPE 90% RC – 75 %	Écart pr au béton	HDPE 90% RC – Couronne	Écart pr au béton
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	3.47E+04	1.94E+04	57%	2.05E+04	59%
	Biogénique	Kg CO2 eq	1.77E+02	3.81E+02	-73%	3.85E+02	-62%
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	1.07E+02	1.57E+02	-38%	1.71E+02	-40%
	TOTAL	Kg CO2 eq	3.50E+04	1.99E+04	55%	2.10E+04	56%
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	3.70E+02	1.75E+02	72%	1.81E+02	82%
Acidification		mol H+ eq	2.23E+02	1.26E+02	55%	1.32E+02	58%
Eutrophisation – eau douce		Kg P eq	2.64E+00	1.61E-00	48%	1.78E+00	42%
Eutrophisation - marine		Kg N eq	6.24E+01	5.10E+01	20%	5.26E+01	18%
Eutrophisation - terrestre		mol N- eq	6.54E+02	5.56E+02	16%	5.75E+02	13%
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	4.28E-04	2.80E-04	42%	2.97E-04	39%
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	7.19E-02	5.42E-02	28%	6.22E-02	14%
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	3.02E+05	3.00E+05	1%	3.15E+05	-4%
Potentiel de privation d'eau		m³ eq	1.47E+04	1.91E+04	-26%	2.18E+04	-34%
Indicateurs d'énergie							
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	4.75E+04	5.42E+04	-13%	5.89E+04	-20%
	Matière première	MJ, PCI	6.63E+00	0.00E+00	200%	0.00E+00	400%
	TOTAL	MJ, PCI	4.75E+04	5.42E+04	-13%	5.89E+04	-20%
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	3.79E+05	2.76E+05	32%	2.89E+05	28%
	Matière première	MJ, PCI	2.60E+04	2.42E+04	7%	2.53E+04	3%
	TOTAL	MJ, PCI	4.06E+05	3.00E+05	30%	3.15E+05	27%
Indicateurs d'inventaire							
Consommation d'eau douce		m³	5.11E+02	4.86E+02	5%	5.48E+02	-7%
Production de déchets non dangereux		kg	6.71E+03	5.88E+03	13%	6.87E+03	-2%
Production de déchets dangereux		kg	3.59E+02	4.13E+02	-14%	4.59E+02	-22%

6.2.3 Analyse de sensibilité fin de vie

Dans le scénario principal, il a été considéré que les conduites sont laissées sur place en fin de vie. Un scénario alternatif consiste à considérer que les conduites sont enfouies, ce qui implique des activités d'excavation, de transport, puis d'enfouissement des conduites. Les quantités de carburant nécessaires à l'excavation des conduites sont considérées semblables à celles utilisées pour l'installation des conduites. L'utilisation de plaques vibrantes et chargeurs est attribuée à l'installation de la nouvelle conduite (en remplacement de l'ancienne) et n'est donc pas considérée ici.

Tableau 23: Consommation de diesel pour l'excavatrice utilisée à la fin de vie des conduites

Intrants	Quantités	Unités
Consommation moyenne de diesel d'une excavatrice	1.770	kg/m ³ excavé
Quantité de sol excavé pour 1000 pieds de conduite PEHD	1109	m ³
Quantité de sol excavé pour 1000 pieds de conduite béton	1109	m ³

La distance de transport au centre d'enfouissement est estimée à 25 km. Les processus ecoinvent utilisés pour l'enfouissement des conduites sont les suivants : *treatment of waste polyethylene, sanitary landfill* et *treatment of waste concrete, inert material landfill*.

La comparaison des impacts environnementaux des conduites de PEHD 90%RC et de béton dans le cas d'un scénario d'enfouissement en fin de vie est présentée au Tableau 24. La conduite de PEHD 90%RC présente des impacts inférieurs à celle du béton pour les catégories réchauffement climatique, formation d'ozone photochimique, acidification, eutrophisation (eau douce), destruction de la couche d'ozone, consommation d'énergie non renouvelable et production de déchets non dangereux. La conduite de béton présente des impacts inférieurs à ceux de la conduite de PEHD 90%RC pour les catégories potentiel de privation d'eau, consommation d'énergie renouvelable, consommation d'eau douce et production de déchets dangereux.

Tableau 24 : Comparaison des scores d'impact des conduites de PEHD 90%RC et de béton dans le cas où les conduites sont enfouies en fin de vie

Catégorie d'impact		Unité	PEHD 90% RC - Landfill	Béton - Landfill	Écart
Réchauffement climatique	Fossile	Kg CO2 eq	3.32E+04	4.51E+04	31 %
	Biogénique	Kg CO2 eq	3.95E+02	1.79E+02	-75 %
	Utilisation des terres	Kg CO2 eq	2.05E+02	1.09E+02	-6 1%
	TOTAL	Kg CO2 eq	3.38E+04	4.54E+04	29 %
Formation d'ozone photochimique		Kg NMVOC eq	3.26E+02	5.09E+02	44 %
Acidification		mol H+ eq	2.32E+02	3.16E+02	31 %
Eutrophisation – eau douce		Kg P eq	2.48E+00	3.02E+00	20 %
Eutrophisation - marine		Kg N eq	9.91E+01	1.04E+02	6 %
Eutrophisation - terrestre		mol N- eq	1.06E+03	1.11E+03	5 %
Destruction de la couche d'ozone		Kg CFC11 eq	4.88E-04	6.051E-04	21 %
Épuisement des ressources minérales		Kg Sb eq	8.48E-02	7.73E-02	-9 %
Épuisement des ressources fossiles		MJ, PCI	3.75E+05	4.49E+05	-6 %
Potentiel de privation d'eau		m³ eq	2.85E+04	1.51E+04	-62 %
Indicateurs d'énergie					
Consommation d'énergie renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	7.09E+04	4.84E+04	-38 %
	Matière première	MJ, PCI	0	6.63E+00	200 %
	TOTAL	MJ, PCI	7.09E+04	4.84E+04	-38 %
Consommation d'énergie non renouvelable	Vecteur énergétique	MJ, PCI	4.35E+05	5.14E+05	16 %
	Matière première	MJ, PCI	3.94E+04	3.95E+04	0 %
	TOTAL	MJ, PCI	4.75E+05	5.53E+05	15 %
Indicateurs d'inventaire					
Consommation d'eau douce		m³	7.07E+02	5.39E+02	-27 %
Production de déchets non dangereux		kg	1.54E+04	1.38E+05	160 %
Production de déchets dangereux		kg	6.73E+02	4.80E+02	-33 %

7. Conclusion

La présente étude visait à comparer les impacts environnementaux d'une conduite de diamètre intérieur 24" en PEHD 90%RC produite par Soleno avec ceux d'une conduite de béton de diamètre intérieur 24" produite au Québec.

Dans le scénario principal, il a été considéré que les conduites sont installées en respectant les normes du BNQ 1809-300, et que les conduites sont laissées sur place en fin de vie.

La conduite de PEHD 90% recyclé présente donc des impacts inférieurs à la conduite de béton pour les catégories réchauffement climatique (total), formation d'ozone photochimique, eutrophisation (eau douce et marine), destruction de la couche d'ozone et la consommation d'énergie non renouvelable (total).

La conduite de béton présente des impacts inférieurs à ceux de la conduite de PEHD 90% RC pour les catégories épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales, potentiel de privation d'eau, la consommation d'eau douce sur le cycle de vie, la production de déchets (dangereux et non dangereux) et la consommation d'énergie renouvelable (total).

A noter cependant que les 3 catégories épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales et potentiel de privation d'eau doivent être considérées avec précaution, étant donné leur incertitude élevée.

Les catégories pour lesquelles les impacts de la conduite en PEHD 90%RC sont supérieurs à ceux de la conduite de béton sont dominées par l'étape d'installation, et plus précisément, l'utilisation des matériaux de recouvrement.

Or les normes encadrant la hauteur de matériaux de recouvrement nécessaire par type de conduite peuvent varier selon le donneur d'ouvrage. Ainsi le MTQ exige une hauteur de matériau de recouvrement similaire pour les conduites de PEHD et de béton.

Dans ce cas, la conduite de PEHD 90%RC présente des impacts inférieurs (ou non significativement différents) à ceux de la conduite de béton pour toutes les catégories, à l'exception du potentiel de privation d'eau.

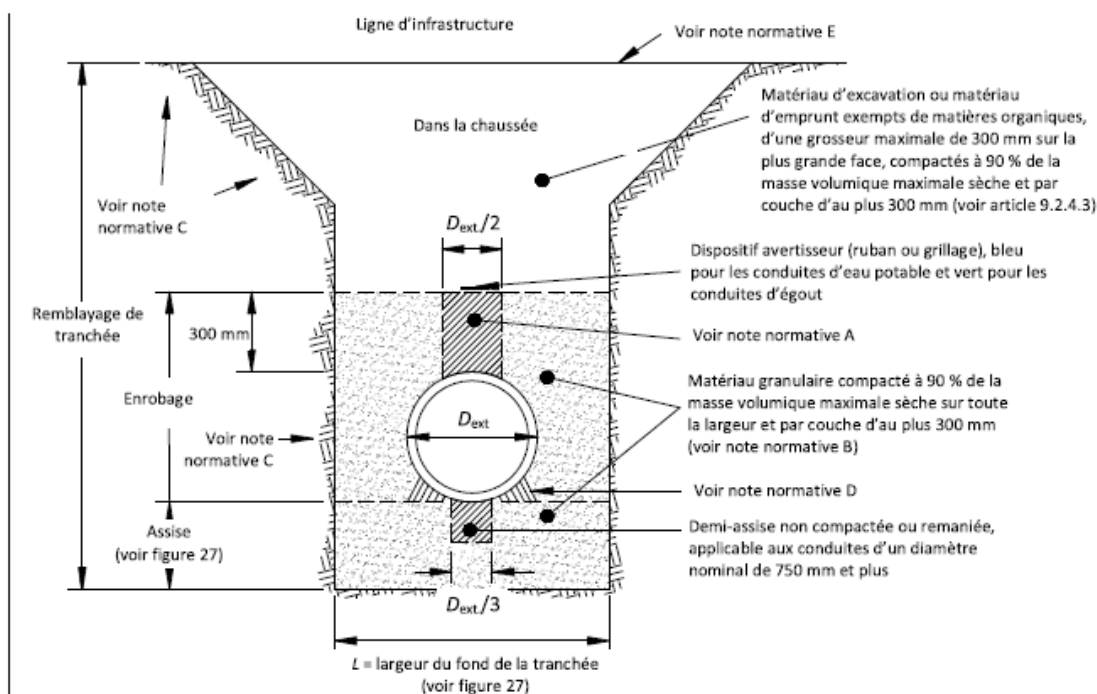
Il est donc important de prendre en compte le contexte dans lequel les conduites sont installées lorsque l'on compare les conduites de PEHD 90%RC et de béton.

8. Références

- [1] The Plastics Pipe Institute, «Life Cycle Assessment of North American municipal stormwater pipe systems,» Franklin Associates, 2020.
- [2] CNRC - In support of the Canadian Construction PCI Project, «A regionalized Industry-Average Cradle-to-Gate LCA of Precast Concrete Products produced by CCPPA Members,» 2022.
- [3] BNQ 1809-300, *Travaux de construction - conduites d'eau potable et d'égout - clauses techniques générales,*, 2023.
- [4] ISO 14040, «Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework,» 2006.
- [5] ISO 14044, «Environment Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines,» 2006.
- [6] BNQ 3624-115, «Polyethylene (PE) Pipe and Fittings for Soil and Foundation Drainage,» 2016.
- [7] BNQ 3624-120, «Tuyaux à profil ouvert et à paroi intérieure lisse en polyéthylène (PE) et raccords en polyéthylène (PE) pour les égouts pluviaux, les ponceaux et le drainage des sols,» 2016.
- [8] CSA B1800:21, «Thermoplastic nonpressure piping compendium,» 2021.
- [9] BNQ 3840-100, «Produits à contenu de plastique recyclé,» 2023.
- [10] CSA A23.4-16, « Precast concrete - Materials and construction,» 2021.
- [11] ICC Evaluation Service, «PCR for Rigid and Flexible Building Piping Systems In North America,» 2019.
- [12] EN 15804+A2, «Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction,» 2019.
- [13] R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, T. Heck, S. Hellweg, R. Hischier, T. Nemecek, G. Rebitzer, M. Spielmann et G. Wermet, «Overview and Methodology,» 2007.
- [14] Slag Cement Association, «An Industry Average Environmental Product Declaration for Slag Cement,» 2021.
- [15] Concrete reinforcing steel institute, «EPD Steel Reinforcement Bar,» 2022.

- [16] European Federation of Concrete Admixtures Associations, «EPD - Concrete Admixtures - Air entrainers,» 2021.
- [17] EPD Norge, «NPCR 019 Part B for Piping systems for use in sewage and storm water systems (under gravity),» 2018.
- [18] Releaf Carbon, «Le voyage vers la durabilité : décrypter la norme EN 15804,» 2023. [En ligne]. Available: <https://www.releafcarbon.com/quest-ce-que-la-norme-en-15804/>.
- [19] Environdec, «Environmental performance indicators,» 2022. [En ligne]. Available: <https://www.environdec.com/resources/indicators>.
- [20] A. Edelen et W. Ingwersen, «Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data,» EPA, 2016.
- [21] Ministère des Transports du Québec, «Installation des Tuyaux en PEHD, Tome III, Chapitre 4,» 2022.
- [22] Ministère des Transports du Québec, «Installation des tuyaux en béton armé (TBA) et non armé (TBNA) - Assise en matériaux granulaires (réseau routier), Tome III, Chapitre 4,» 2023.
- [23] National Renewable Energy Laboratory, «U.S. Life Cycle Inventory Database,» 2012. [En ligne]. Available: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>.
- [24] A. Ciroth, S. Muller et B. Weidema, «Refining the pedigree matrix approach in ecoinvent,» 2012.

Annexe 1 Extrait du BNQ 1809-300 – Figure 33

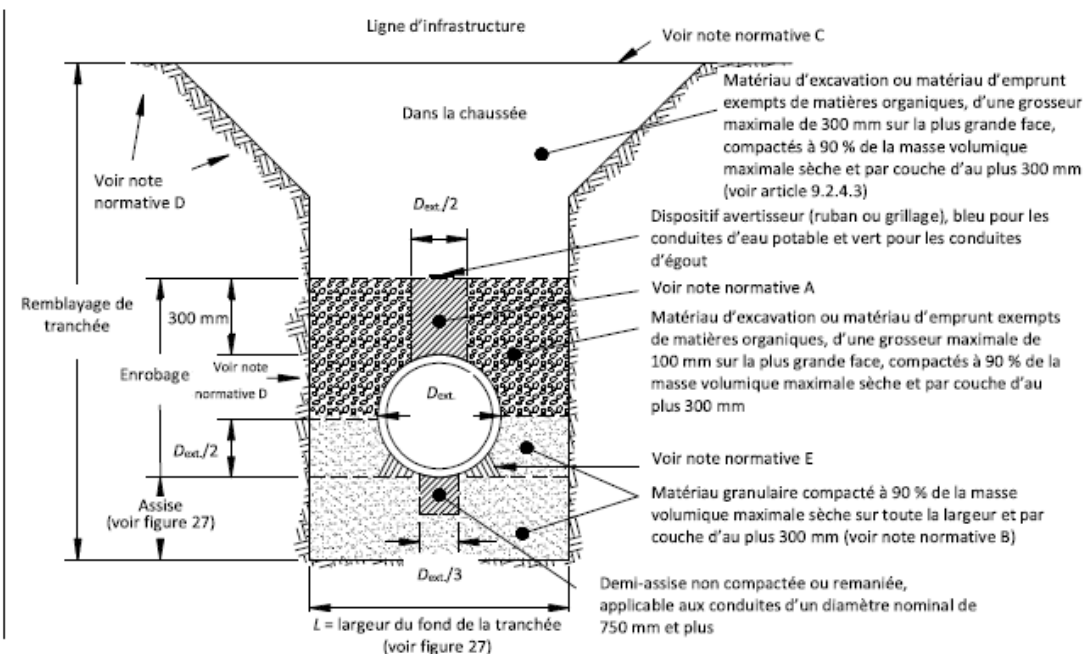


NOTES NORMATIVES —

- A L'équipement de compactage ne doit jamais circuler dans cette zone.
- B Un matériau granulaire CG 14 doit être utilisé selon les exigences de la partie III de la norme BNQ 2560-114 (voir article 6.5 du présent cahier des charges normalisé). Pour l'utilisation des matériaux recyclés, voir figure 66.
- C Les pentes de l'excavation ne sont pas restreintes aux seules pentes illustrées à la figure ci-dessus. L'excavation doit respecter les dispositions du *Code de sécurité pour les travaux de construction*, notamment en matière d'entreposage de matériel, de circulation de véhicules aux abords d'un creusement et stabilité des pentes.
- D Il est important de placer et de bien tasser les matériaux de remblai dans cette zone afin d'assurer un support adéquat à la conduite.
- E Dans la zone de 300 mm sous la ligne d'infrastructure la dimension maximale des particules doit être inférieure à 150 mm.
- F D_{ext} est le diamètre extérieur de la conduite.
- G Pour le premier mètre au-dessus de la conduite, les seuls équipements de compactage acceptés sont la dameuse, la plaque vibrante, les rouleaux à tambours vibrants, dont la force totale appliquée ne doit pas dépasser 50 000 N.

FIGURE 33 — ASSISE ET ENROBAGE POUR CONDUITES EN PVC-U, EN PVC-O, EN PEHD, EN PP, EN PRV, EN TÔLE ONDULÉE D'ACIER ALUMINISÉ EN TÔLE ONDULÉE D'ACIER GALVANISÉE AVEC REVÊTEMENT DE POLYMÈRES OU EN TÔLE NERVURÉE D'ACIER ALUMINISÉ — CAS : TRANCHÉE DANS UNE CHAUSSEE EXISTANTE OU PROJETÉE

Annexe 2 Extrait du BNQ 1809-300 – Figure 35



NOTE — Lorsque les conduites sont recouvertes d'une enveloppe de PE, il est recommandé de respecter la conception de la figure 33 (voir article 6.2.2.2).

NOTES NORMATIVES —

- A L'équipement de compactage ne doit jamais circuler dans cette zone.
- B Un matériau granulaire CG 14 doit être utilisé selon les exigences de la partie III de la norme BNQ 2560-114 (voir articles 6.5 et 6.6 du présent cahier des charges normalisé). Pour l'utilisation des matériaux recyclés, voir figure 66.
- C Dans la zone de 300 mm sous la ligne d'infrastructure la dimension maximale des particules doit être inférieure à 150 mm.
- D Les pentes de l'excavation ne sont pas restreintes aux seules pentes illustrées à la figure ci-dessus. L'excavation doit respecter les dispositions du *Code de sécurité pour les travaux de construction*, notamment en matière d'entreposage de matériel, de circulation de véhicules aux abords d'un creusement et de stabilité des pentes.
- E Il est important de placer et de bien tasser les matériaux de remblai dans cette zone afin d'assurer un support adéquat à la conduite.
- F $D_{ext.}$ est le diamètre extérieur de la conduite.
- G Pour le premier mètre au-dessus de la conduite, le seul équipement de compactage accepté est soit la dameuse, soit la plaque vibrante, soit les rouleaux à tambours vibrants, dont la force totale appliquée ne doit pas dépasser 50 000 N.
- H Cette tranchée correspond à une installation SIDD (*Standard Installation Direct Design*) de type 1 pour les applications des tuyaux en béton armé ou en béton non armé.
- I Dans la zone comprise entre le mi-diamètre de la conduite et 300 mm au-dessus de celle-ci, lorsqu'une méthode de protection contre la corrosion, notamment une gaine de polyéthylène de type « LLDPE » doit être utilisée, l'entrepreneur doit prendre les précautions nécessaires pour ne pas endommager cette protection.

FIGURE 35 — ASSISE ET ENROBAGE POUR CONDUITES EN BÉTON, EN BÉTON AVEC CYLINDRE D'ACIER ET EN FONTE DUCTILE — CAS : TRANCHÉE DANS UNE

Annexe 3 : Catégories d'impacts de la méthodologie EN15804 Add-on

Indicateurs de catégorie d'impact selon EN15804	Terme français dans le corps du rapport	Substance de référence	Description
Global Warming potential, fossil	Réchauffement climatique, fossile	kg CO ₂ eq.	Potentiel de réchauffement climatique intégré sur 100 ans dû aux émissions de carbone fossile
Global Warming potential, biogenic	Réchauffement climatique, biogénique	kg CO ₂ eq.	Potentiel de réchauffement climatique intégré sur 100 ans dû aux émissions de carbone biogénique
Global Warming potential, GWP land use and land use change	Réchauffement climatique, utilisation des terres	kg CO ₂ eq.	Potentiel de réchauffement climatique intégré sur 100 ans dû aux émissions de carbone lors de l'utilisation et de la transformation des terres
Global Warming potential, total	Réchauffement climatique, total	kg CO ₂ eq.	Potentiel de réchauffement climatique intégré sur 100 ans dû aux émissions de gaz à effet de serre listés par IPCC
Photochemical ozone formation	Formation d'ozone photochimique	Kg NMVOC eq	Impact potentiel de la création d'ozone à basse altitude suite à la réaction de certains gaz avec le rayonnement solaire
Acidification	Acidification	Mol H ⁺ eq	Impact potentiel d'acidification des sols et des eaux suite à la transformation des polluants atmosphériques en acides
Eutrophication aquatic freshwater	Eutrophisation, eau douce	Kg PO ₄ - eq	Impact potentiel d'eutrophisation des eaux de surface suite à l'émission d'éléments nutritifs (phosphore)
Eutrophication aquatic marine	Eutrophisation, marine	Kg N- eq	Impact potentiel d'eutrophisation des milieux marins suite à l'émission d'éléments nutritifs (azote)
Eutrophication terrestrial	Eutrophisation, terrestre	Kg N- eq	Impact potentiel d'eutrophisation des milieux marins suite à l'émission d'éléments nutritifs
Ozone Depletion	Destruction de la couche d'ozone	Kg CFC11 eq	Impact potentiel de la déplétion d'ozone stratosphérique
Depletion of abiotic resources – Elements	Épuisement des ressources minérales	Kg Sb eq	Impact potentiel de la réduction de la quantité globale de matières premières non renouvelables (minéraux)
Depletion of abiotic resources – fossil fuels	Épuisement des ressources fossiles	MJ, net caloric value	Impact potentiel de la réduction de la quantité globale de matières premières non renouvelables (combustibles fossiles)
Water deprivation potential	Potentiel de privation d'eau	m ³ world eq. deprived	Impact potentiel du déficit de la ressource en eau

Indicateurs de catégorie d'impact selon EN15804	Terme français dans le corps du rapport	Substance de référence	Description
Primary energy resources – Renewable – Use as energy carrier	Consommation d'énergie renouvelable – vecteur énergétique	MJ, net calorific value	Consommation d'énergie primaire renouvelable (solaire, éolienne, hydro, biomasse) sous forme de flux énergétique
Primary energy resources – Renewable – Use as raw material	Consommation d'énergie renouvelable – matière première	MJ, net calorific value	Contenu énergétique (renouvelable) du produit et de son emballage (et non valorisé énergétiquement par la suite)
Primary energy resources – Renewable – Total	Consommation d'énergie renouvelable	MJ, net calorific value	Consommation d'énergie primaire renouvelable (solaire, éolienne, hydro, biomasse) totale
Primary energy resources – Non Renewable – Use as energy carrier	Consommation d'énergie non renouvelable – vecteur énergétique	MJ, net calorific value	Consommation d'énergie primaire non renouvelable (pétrole, charbon, gaz, uranium) sous forme de flux énergétique
Primary energy resources – Non Renewable – Use as raw material	Consommation d'énergie non renouvelable – matière première	MJ, net calorific value	Contenu énergétique non renouvelable du produit et de son emballage (et non valorisé énergétiquement par la suite)
Primary energy resources – Non Renewable – Total	Consommation d'énergie non renouvelable	MJ, net calorific value	Consommation d'énergie primaire non renouvelable (pétrole, charbon, gaz, uranium) totale
Net use of fresh water	Consommation d'eau douce	m ³	Utilisation d'eau sur l'ensemble du cycle de vie, non associée à des contextes géographiques particuliers.
Non hazardous waste disposal	Production de déchets non dangereux	kg	Quantité brute de déchets non dangereux sortant des limites du système
Hazardous waste disposal	Production de déchets dangereux	kg	Quantité brute de déchets dangereux sortant des limites du système