

Outil d'aide à la décision pour optimiser la logistique des projets de déconstruction de bâtiments : cas d'étude en Gaspésie

Par Félix Veillette, Tassedra Boukherroub et Jean-François Audy



CERIEC
Centre d'études
et de recherches
intersectorielles
en économie
circulaire



ÉTS
ÉCOLE DE
TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE
Université du Québec



Université du Québec
à Trois-Rivières



Réseau de recherche
en économie circulaire
du Québec

**Fonds
de recherche**

Québec 

Qu'est-ce que la déconstruction ?

- « Démontage sélectif d'installations techniques ou de certains éléments d'une construction, afin de valoriser les déchets et de réduire les mises à la décharge » - Dictionnaire Larousse



Source : <https://ritmrg.com/communiqu/>

Pourquoi faire de la déconstruction ?

- 40 % des GES mondiaux proviennent du secteur de la construction, rénovation et démolition (CRD) (Architecture 2030)
- 1 846 000 tonnes acheminées vers un centre de tri en 2021
 - 650 000 tonnes rejetées
- 1 666 000 tonnes acheminées vers l'enfouissement ou élimination en 2021 (RECYC-QUÉBEC, 2023)



Drapeau (2023) « Projet pilote de déconstruction dirigé vers le réemploi... pour en finir avec la démolition »

Contexte

- Régie intermunicipale de traitement des matières résiduelles de la Gaspésie (RITMRG)
- Déconstruction ancien bistro et quincaillerie
- Collaboration avec le CERIEC et projet de maîtrise de l'ÉTS



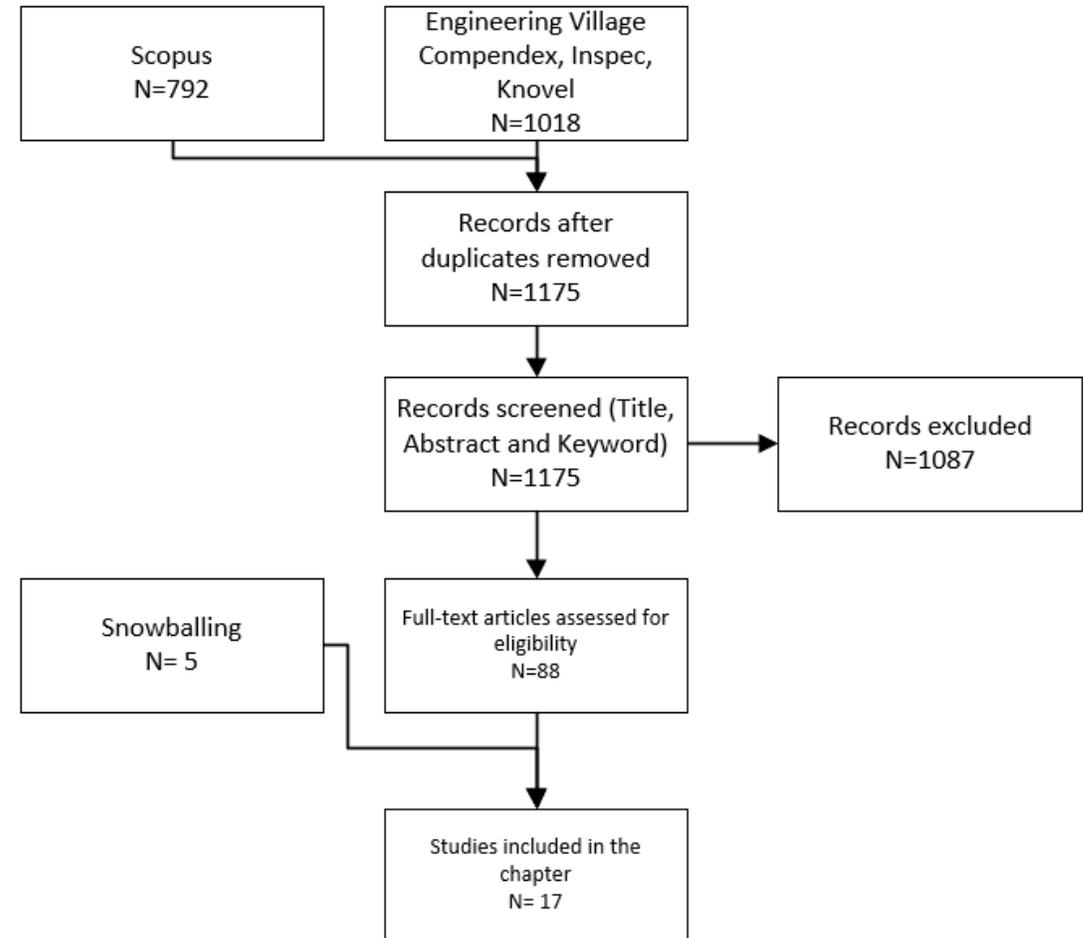
Site	Estimation des coûts démolition	Total des coûts déconstruction
Chandler	129 879 \$	123 707 \$
Grande-Rivière	161 399 \$	158 904 \$

L'outil d'aide à la décision

- Problématique
 - Difficile de comparer démolition vs déconstruction
 - Analyse de beaucoup de facteur pour trouver le meilleur compromis
 - Temps élevé pour effectuer l'analyse
- Besoin de la RITMRG
 - Aide pour la rédaction d'appels d'offres selon divers scénarios
- Objectifs visés :
 - Réduire la durée du projet
 - Réduire les coûts du projet
 - Favoriser le réemploi des matériaux
 - Réduire le volume des résidus ultimes (enfouissement, incinération, etc)

Revue de la littérature

- Incertitudes majeures
 - Quantité, qualité, prix
- Recherche actuel concentré sur la conception et fabrication
- Absence de nomenclature
- Diversité des matériaux



Boukherroub et al.(2025)

Présentation de l'outil - Hypothèse

- Modèle mathématique d'optimisation
- Tous les matériaux réemployés sont vendus avec profit
- La nomenclature des matériaux est connue
- Démolition vs Recyclage vs Réemploi
- Les conteneurs ont tous la même capacité
- On connaît la durée
- On ne peut pas arrêter une activité
- Le temps est en heure
- On connaît les destinations possibles
- On connaît les ressources nécessaires pour réaliser le projet

Présentation de l'outil - Variable

- X_a : Date de début de l'activité $a \in A$
- U_{ai} : Variable binaire, 1 si le mode $i \in I$ est utilisé pour l'activité $a \in A$, sinon 0
- N_{im} : Nombre de conteneurs requis pour transporter les matériaux $m \in M$ selon le mode $i \in I$
- V_{dm} : Nombre de conteneurs avec les matériaux $m \in M$ qui sera envoyé aux destinataires $d \in D$
- W_{art} : Nombre de ressource $r \in R$ utilisé par l'activité $a \in A$ à la période $t \in T$
- P_{at} : Indicateur binaire, 1 quand a commencé l'activité $a \in A$, sinon 0

Présentation de l'outil - Paramètre

Paramètre	Type	Définition
$dureAct_{ai}$	Integer	Durée de l'activité $a \in A$ selon le mode $i \in I$ en heure (h);
$predAct_{ap}$	Boolean	Paramètre binaire, 1 si l'activité $a \in A$ est un prédécesseur immédiat de l'activité $p \in A$, sinon 0
$ressRequis_{air}$	Integer	Indique les ressources $r \in R$ nécessaires pour faire l'activité $a \in A$ selon le mode $i \in I$ (unité)
$dispoRess_{rt}$	Integer	Disponibilité des ressources $r \in R$ selon les heures (unité);
$qteDispo_{am}$	Integer	Quantité totale de matériaux $m \in M$ issue de l'activité $a \in A$ (unité)
$capCont$	Integer	Capacité d'un conteneur (unité)
$limiteMat_{dm}$	Integer	Limite qu'un destinataire $d \in D$ peut recevoir en matériaux $m \in M$ (unité)
$ratio_i$	Float	Pourcentage minimal de matériaux qu'il faut récupérer lors du projet selon le mode $i \in I$
$destiPoss_{id}$	Boolean	Destination $d \in D$ possible selon le mode $i \in I$
$remp_{im}$	Integer	Indique s'il est possible de recycler ou réemployer ce matériau.

Présentation de l'outil - Paramètre

Paramètre	Type	Définition
$ctDecSel_{aim}$	\$/unité	Coût pour le tri des matériaux qui seront réemployés
$ctEnf$	\$/unité	Coût d'enfouissement des résidus ultimes
$ctExp_d$	\$/unité	Coût d'expédition d'un conteneur vers un destinataire
$ctDec_{ai}$	\$	Coût pour réaliser l'activité selon le mode choisi
rev_{dm}	\$/unité	Revenu généré par la vente de matériaux
$ctLocat$	\$/unité	Coût de location d'un conteneur
$salaire$	\$/heure	Coût de la main-d'œuvre
$equiCost_r$	\$/équipement	Coût des équipements
$ctFixe$	\$	Coût fixe qui comptabilise les permis, assurances, etc
$fraisJour$	\$/heure	Coût par heure pour le projet

Présentation de l'outil – Fonction objectif

- Minimisation de la durée

$$\min \sum_{a \in A} X_a$$

- Minimisation des coûts

$$\begin{aligned} & \min \sum_{m \in M} N_{im} * ctLocat + \sum_{i \in I} ctLiv + ctExp_d * V_{md} + \sum_{a \in A} \sum_{i \in I} ctDec_{ai} * U_{ai} \\ & + \sum_{a \in A} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} W_{a1t} * dureAct_{ai} * U_{ai} + \sum_{a \in A} \sum_{r \in R | r > 1} \sum_{m \in M | m > 1} W_{art} \\ & * equipCost_r + \sum_{a \in A} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M | m > 1} qteDispo_{am} * ctDecSel_{aim} * remp_{3m} * U_{ai} \\ & + \sum_{a \in A} \sum_{m \in M} qteDispo_{am} * U_{ai} * ctEnf + ctJOUR + \left(X_A \sum_{i \in I} dureAct_{Ai} * U_{Ai} \right) \\ & * fraisJour + \sum_{m \in M | m > 1} \sum_{a \in A} qteDispo_{am} * U_{a2} * recycCout_m * remp_{2m} \\ & - \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} rev_{dm} * qteDispo_{am} * U_{a3} * remp_{3m} \end{aligned}$$

Présentation de l'outil – Contrainte

1. Respect des prédécesseurs

$$X_p \geq predAct_{ap} * \left(X_a + \sum_{i \in I} dureAct_{ai} * U_{ai} \right) \forall a, p \in A$$

2. Un seul mode par activité

$$\sum_{i \in I} U_{ai} = 1 \forall a \in A$$

3. On doit démolir le restant du projet dès qu'une activité est démolie

$$U_{p2} \geq U_{a2} * predAct_{ap} \forall a, p \in A$$

Présentation de l'outil – Contrainte

4. Permet de lier X et P

$$X_a = \sum_{t \in T} P_{at} * t \quad \forall a \in A$$

5. Chaque activité ne peut commencer qu'une fois

$$\sum_{t \in T} P_{at} = 1 \quad a \in A$$

6. Respect des ressources nécessaires pour chaque activité selon le mode

$$\sum_{t \in T} W_{art} \geq \text{ressRequis}_{air} * U_{ai}, \forall r \in R, \forall i \in I, \forall a \in A$$

Présentation de l'outil – Contrainte

7. Limite de ressource disponible à chaque heure

$$\sum_{a \in A} W_{art} \leq \text{dispoRess}_{rt} \quad \forall r \in R, \forall t \in T$$

8. Limite de ressource utilisée par chaque activité

$$W_{art} \leq \text{dispoRess}_{rt} * P_{at} \quad \forall a \in A, \forall r \in R, \forall t \in T$$

9. Quantité minimale des matériaux à recycler ou réemployer

$$\sum_{a \in A} \sum_{m \in M} QTEDispo_{am} * U[a][i] * \underline{\text{remp}_{im}} \geq \text{ratio}_i * \sum_{a \in A} \sum_{m \in M} QTEDispo_{am} \quad |m > 1 \forall i \in I | i > 1$$

Présentation de l'outil – Contrainte

10. Lorsqu'on démolit une activité, les matériaux vont dans le conteneur à déchet

$$\sum_{a \in A} \sum_{m \in M \mid m > 1} QTEDispo_{am} * U_{a1} + \sum_{i \in I \mid i > 1} QTEDispo_{am} * U_{ai} * (1 - remp_{im}) \leq capCont * N_{1,1}$$

11. Calcul du nombre de conteneur nécessaire pour chaque matériau selon le mode

$$\sum_{a \in A} \sum_{m \in M \mid m > 1} QTEDispo_{am} * U_{ai} * remp_{im} + \leq capCont * N_{im} \quad \forall i \in I$$

12. Il faut livrer l'ensemble des conteneurs

$$\sum_{d \in D} V_{md} = \sum_{i \in I} N_{im} \quad \forall m \in M$$

Présentation de l'outil – Contrainte

13. Limite qu'un destinataire peut recevoir pour chaque matériau

$$V_{md} * capCont \leq limiteMat_{dm} \quad \forall d \in D, \forall m \in M$$

14. Les destinataires peuvent recevoir ce type de matériaux selon le mode

$$V_{md} = \sum_{i \in I} destiPoss_{id} N_{im} \quad \forall m \in M, \forall d \in D$$

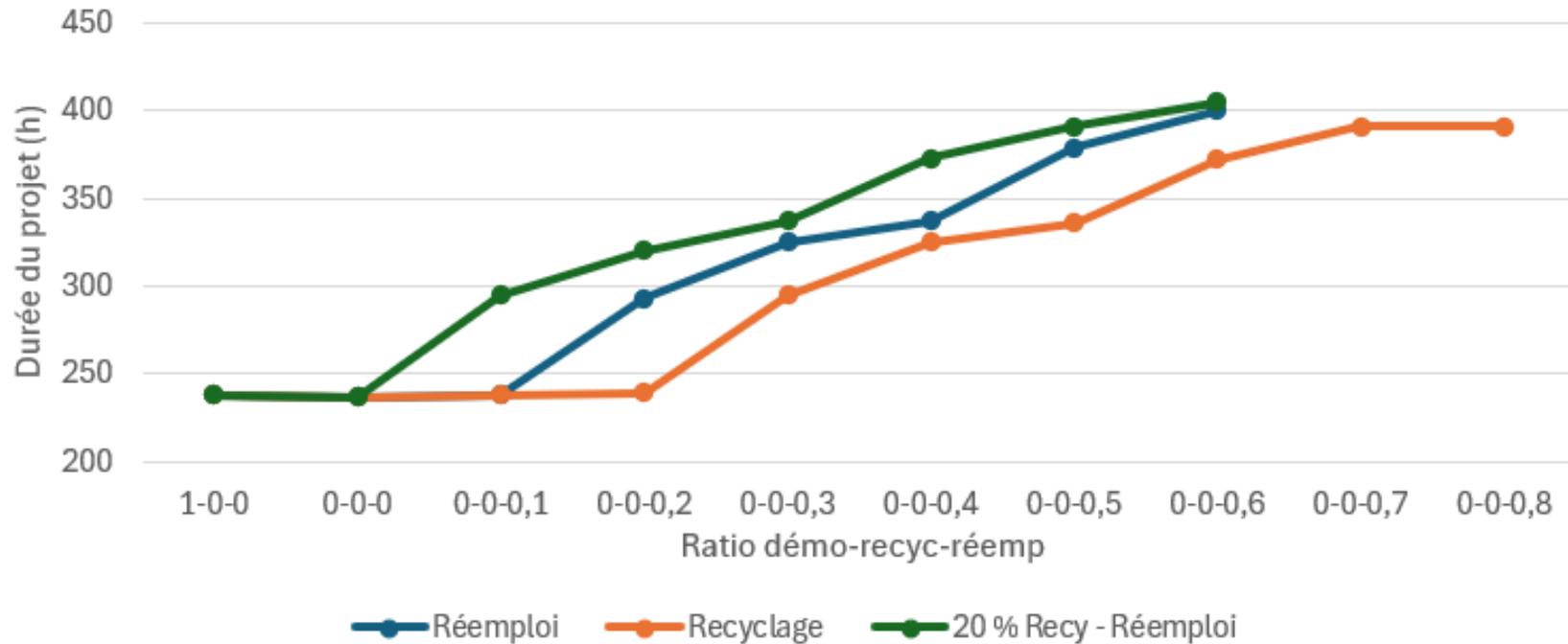
Étude de cas fictif

- Maison 3 étages
- 22 activités
- 16 matériaux
- Total de 4 150 unités de matériaux
- Scénarios :
 - S0: Démolition à 100 %
 - S1: Minimiser la durée
 - S2: Minimiser les coûts
 - S3: Maximiser le réemploi
 - S4: Maximiser le recyclage

Activité	Prédécesseur
Ameublement	-
Plomberie	-
Item électrique	-
Comptoir	Plomberie
Salle de bain	Comptoir
Rideau	-
Porte	-
Fenêtre	Rideau
Parement mur	Comptoir
Laine minérale	Parement mur
Revêtement plancher	Ameublement
Revêtement extérieur	-
Toiture	Item électrique, Salle de bain, Laine minérale, Revêtement plancher, Revêtement extérieur
Mur 3 ^e étage	Porte, Fenêtre, Toiture
Plancher 3 ^e étage	Mur 3 ^e étage
Escalier 3 ^e étage	Plancher 3 ^e
Mur 2 ^e étage	Escalier 3 ^e
Plancher 2 ^e étage	Mur 2 ^e étage
Escalier 2 ^e étage	Plancher 2 ^e étage
Mur RDC	Escalier 2 ^e étage
Plancher RDC Fondation	Mur RDC Plancher RDC

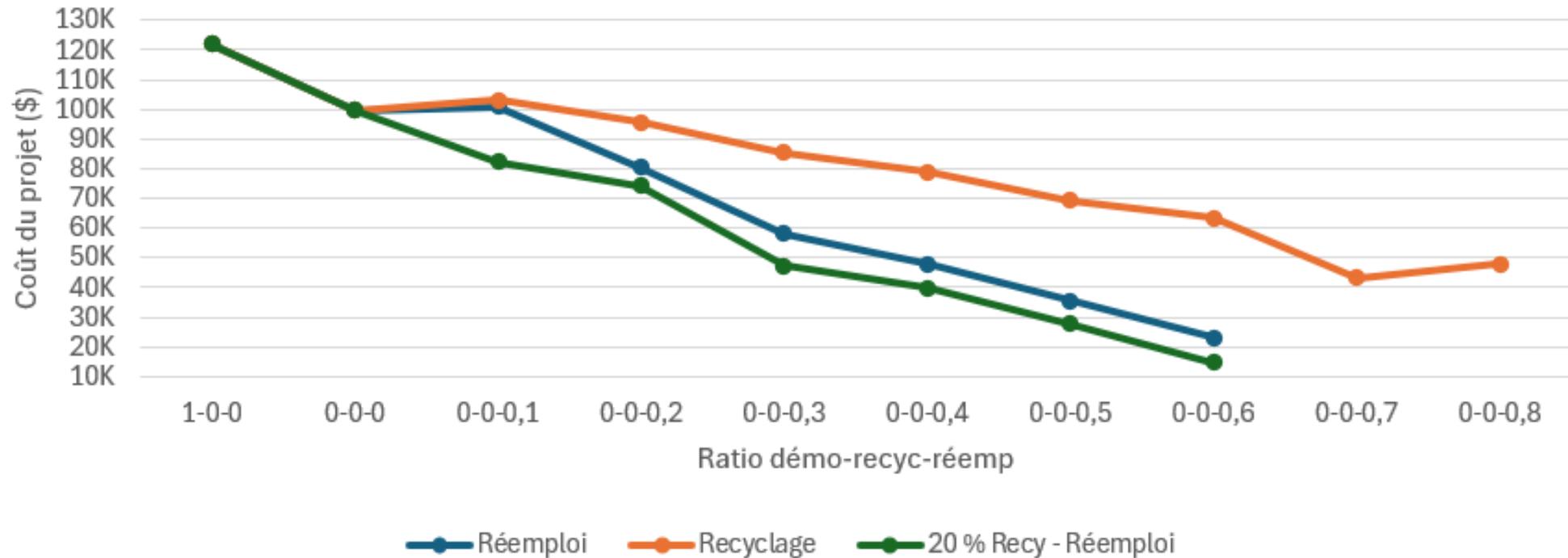
Résultats préliminaires – Min durée – S1

Variation de la durée lors de minimisation de la durée

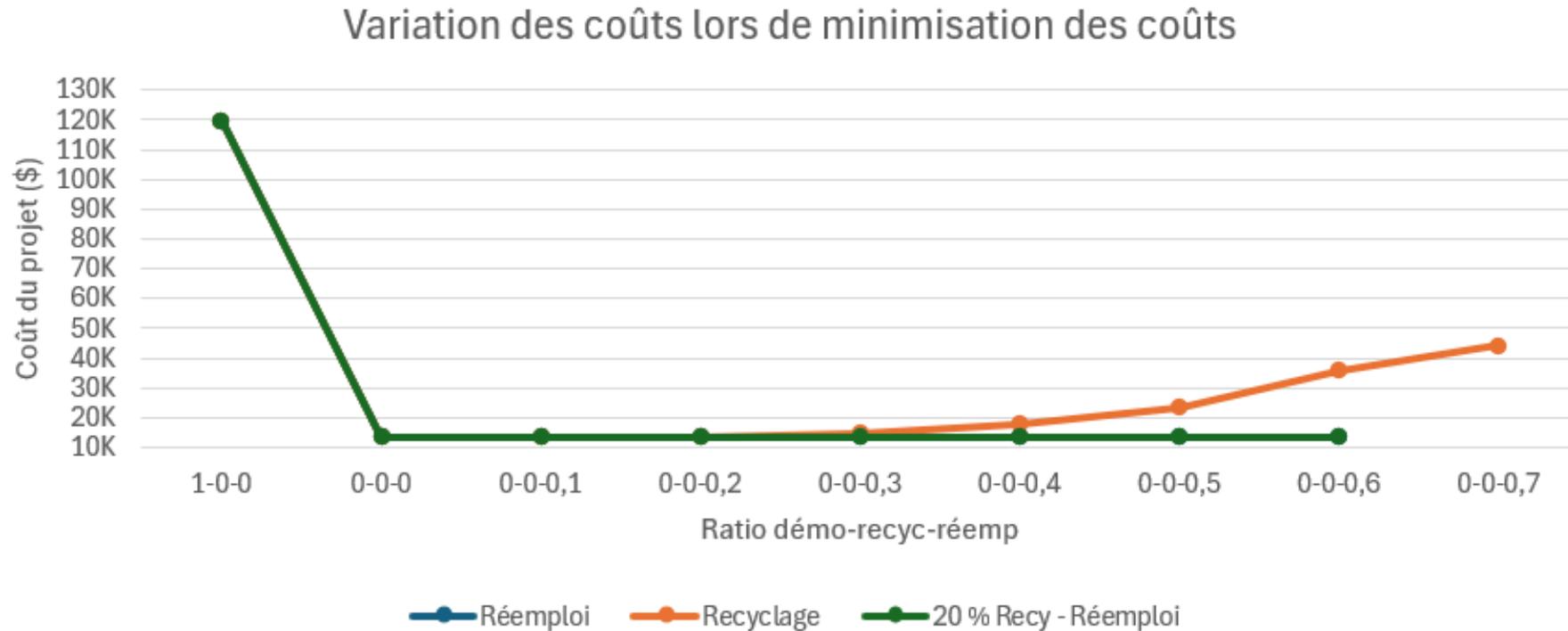


Résultats préliminaires – Min durée S1 avec

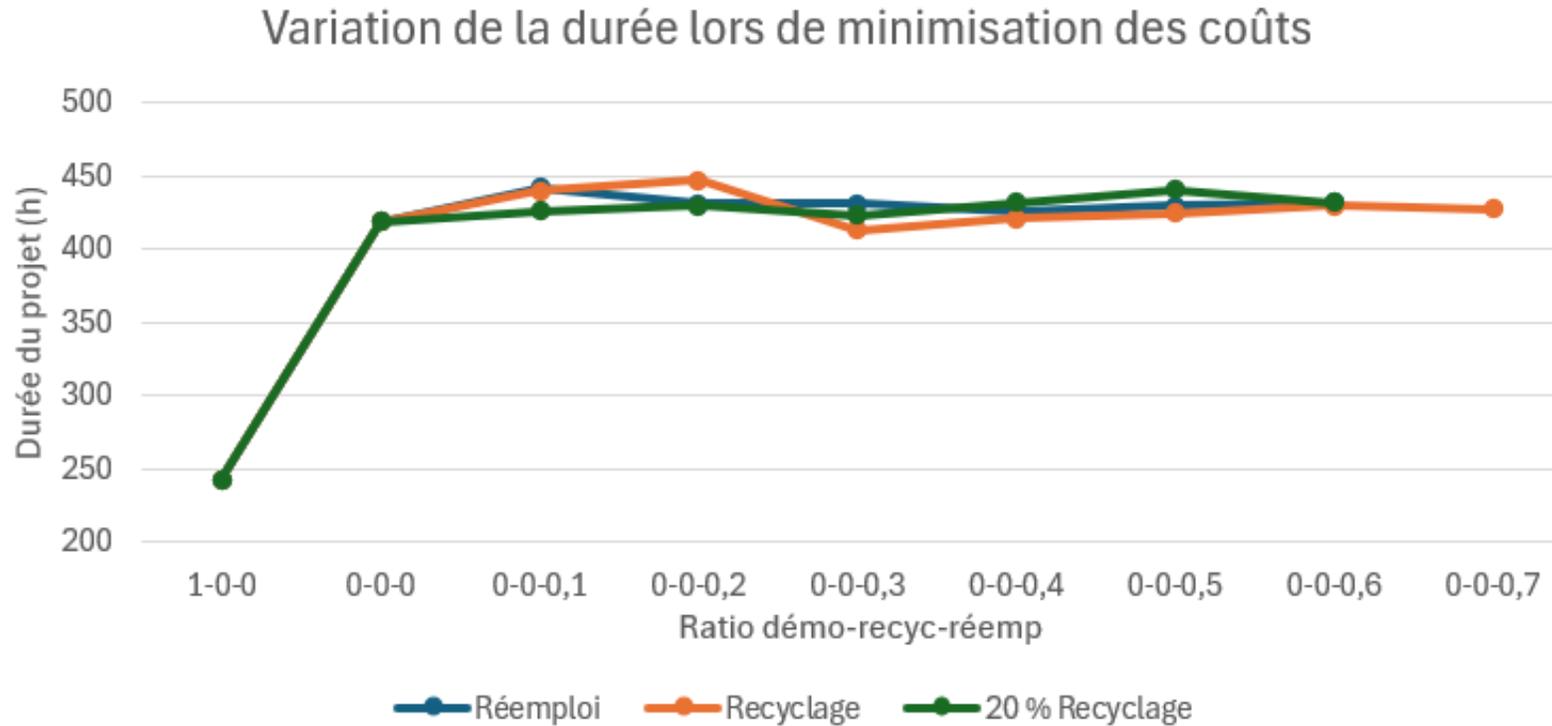
Variation des coûts lors de minimisation de la durée



Résultats préliminaires – Min Coût – S2



Résultats préliminaires – Min Coût – S2



Discussion et conclusion

- Avoir un marché
- Légifération de la part des gouvernements
- PESTEL
- Surmonter incertitudes
- Terminer l'outil :
 - Multi-objectif
 - Capacité de poids et de volume pour les conteneurs
 - Validation avec étude de cas réel
 - Mettre contrainte vente aux citoyens



Source

- Architecture 2030 (2025). Why the built environment?. Repéré à <https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/>
- Boukherroub, T. et al. (2025), Decision-making approaches for deconstruction operations optimization : a literature review. Dans Jarboin, B., Toumi, S. & Siarry, P. (Éds), *Data-Driven Waste Revolution*. Springer Singapore
- RECYC-QUÉBEC(2023). Bilan 2021 de la gestion des matières résiduelles au Québec. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2021-complet.pdf>
- RITMRG(2023), Déconstruction de bâtiments menant vers le réemploi des matériaux. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/rapport-deconstruction-ritmrg.pdf>



Grands partenaires



Partenaire des activités scientifiques

