

Étude de la durabilité des bétons secs utilisés pour produire de tuyaux en béton armé

par :

Richard GAGNÉ, ing. Ph.D.

Rahma BELOUAFA, M.Sc.A



CENTRE DE CONGRÈS DE ST-HYACINTHE | 24-25 NOV. 2025



Contexte général

L'environnement canadien est caractérisé par des sollicitations climatiques sévères, avec des saisons hivernales de longue durée et des températures au-dessous de 0 °C

Des interrogations pour les tuyaux de béton:

- Le phénomène de gel-dégel
- La corrosion due aux ions chlore
- L'abrasion
- Les attaques chimiques



PODCAST - Gel/dégel : Vers un nouveau protocole d'essai



Pourquoi étudier la durabilité des tuyaux en béton armé ?

- Au Québec, **aucune défaillance prématurée** de TBA n'a été signalée
- Au-delà des propriétés du matériau, d'autres facteurs influencent la durabilité des conduites enfouies, notamment **la pose, l'installation et l'étanchéité** de l'assemblage



Pourquoi étudier la durabilité des tuyaux en béton armé ?

- Aucun essai normalisé n'existe actuellement pour évaluer la **durabilité des tuyaux en béton armé (TBA)**
 - Quelle est la **durabilité réelle** des TBA dans les conditions locales ?
 - Quelle est l'**influence des cycles gel-dégel** et des **sels de déglacage** ?
 - Quelles seraient **des méthodes d'essai** permettant d'évaluer la performance à long terme ?



Méthodologie

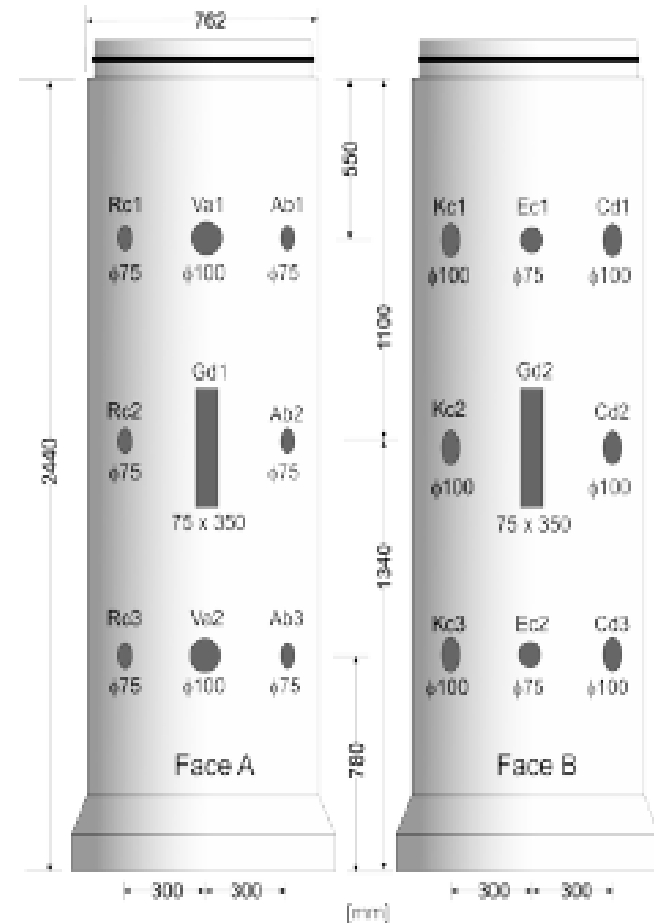
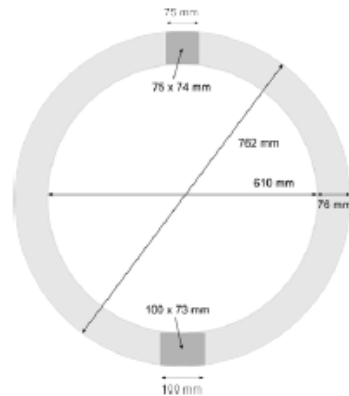
Essais normalisés utilisés comme des indicateurs de durabilité des TBA

- Résistance à la compression – CSA A 231.1
- Densité et absorption – ASTM C642
- Résistance aux cycles de gel-dégel – ASTM C666
- Résistance aux cycles de gel-dégel en présence des ions chlorure – BNQ 2622 420 Annexe D
 - Utilisés pour les regards et les puits
- Résistance à la pénétration des ions chlorure – ASTM C1202
- Coefficient de migration des ions chlorure – NT Build 492
- Caractérisation du réseau d'air – ASTM C457



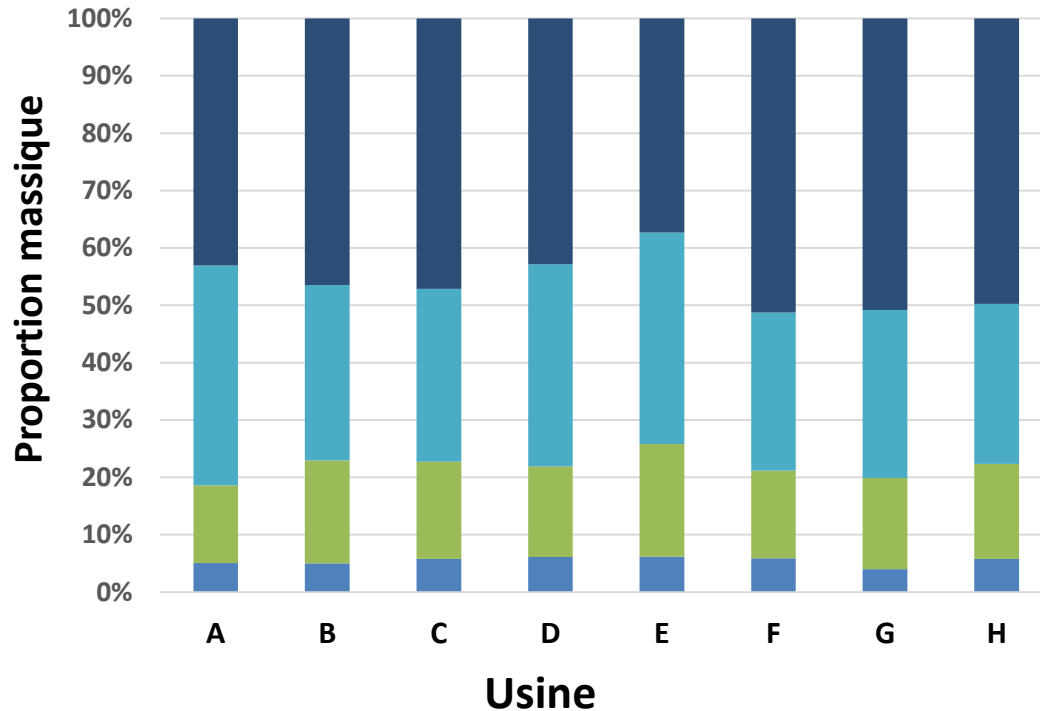
Méthodologie

- Lots d'éprouvettes provenant de huit usines au Québec
- Tuyau en béton non armé de 600 mm de diamètre et 2440 mm de longueur.



Méthodologie

■ eau ■ ciment ■ gros G. ■ Gran F.

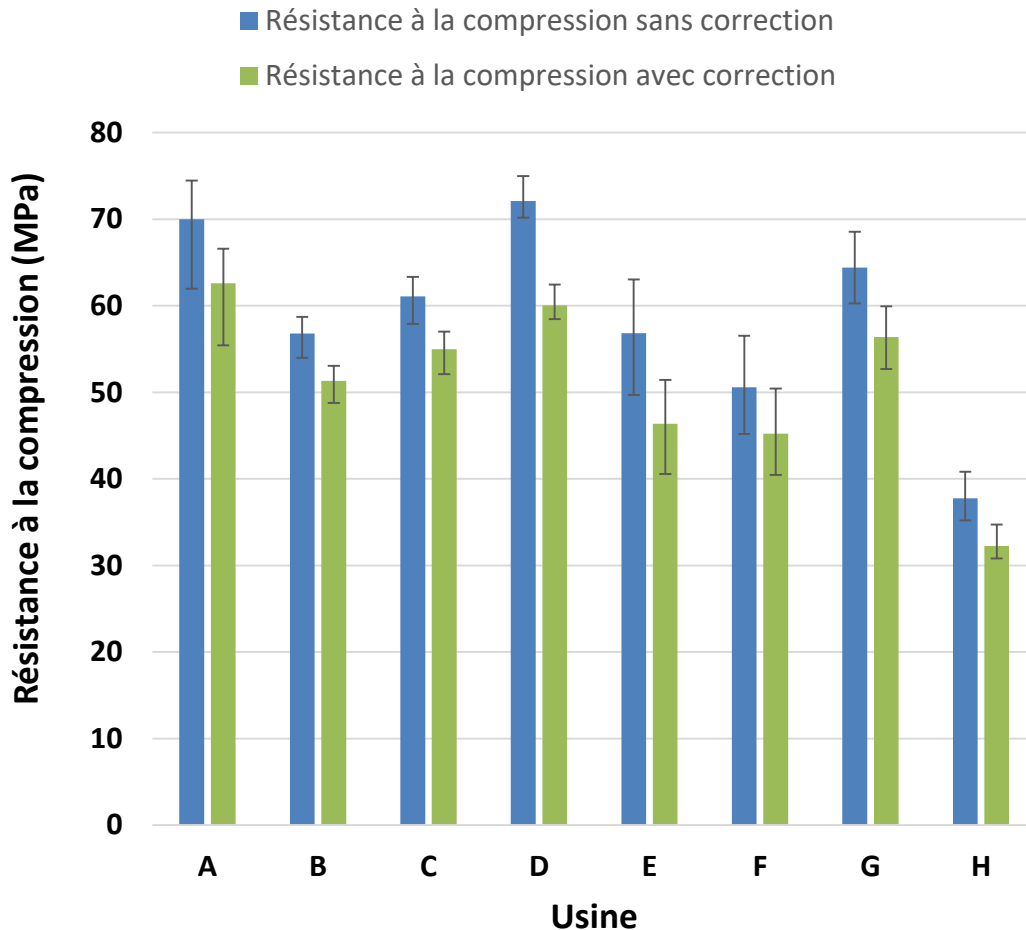


Proportions massiques relatives des formulations des bétons

- Squelette granulaire variable d'une usine à l'autre
 - 1 ou 2 sables
 - 1 ou 2 calibres de pierres
- Gâchées de 2200 à 3000 kg
- Rapport E/L compris entre 0,25 et 0,39
- Certaines usines
 - Ajout cimentaire
 - Agent entraîneurs d'air
 - Réducteur d'eau



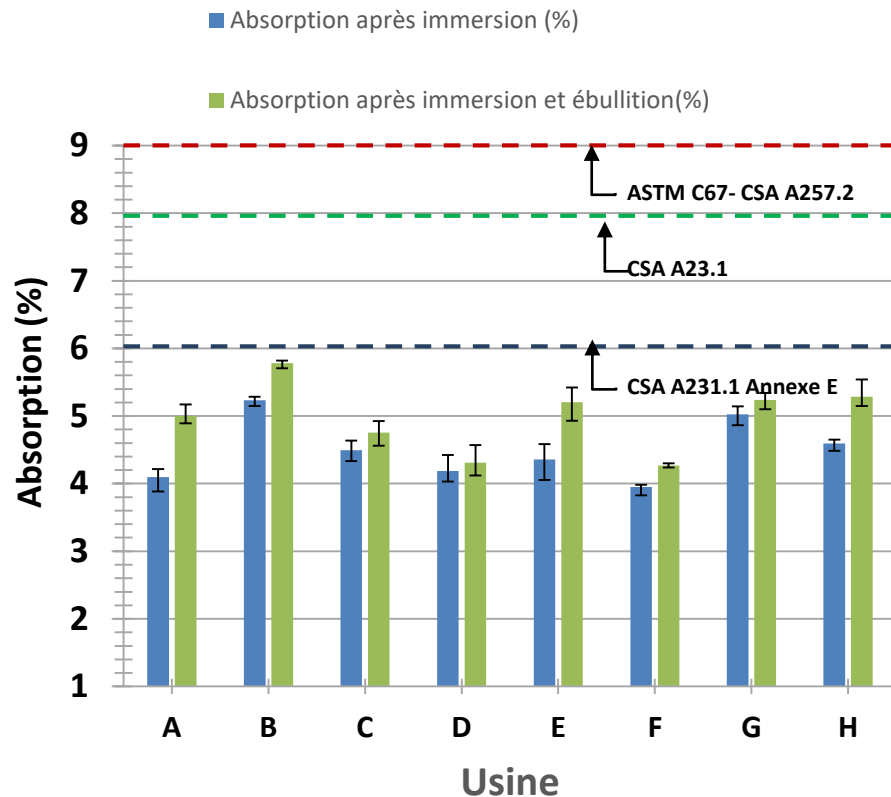
Résultats – Résistance à la compression



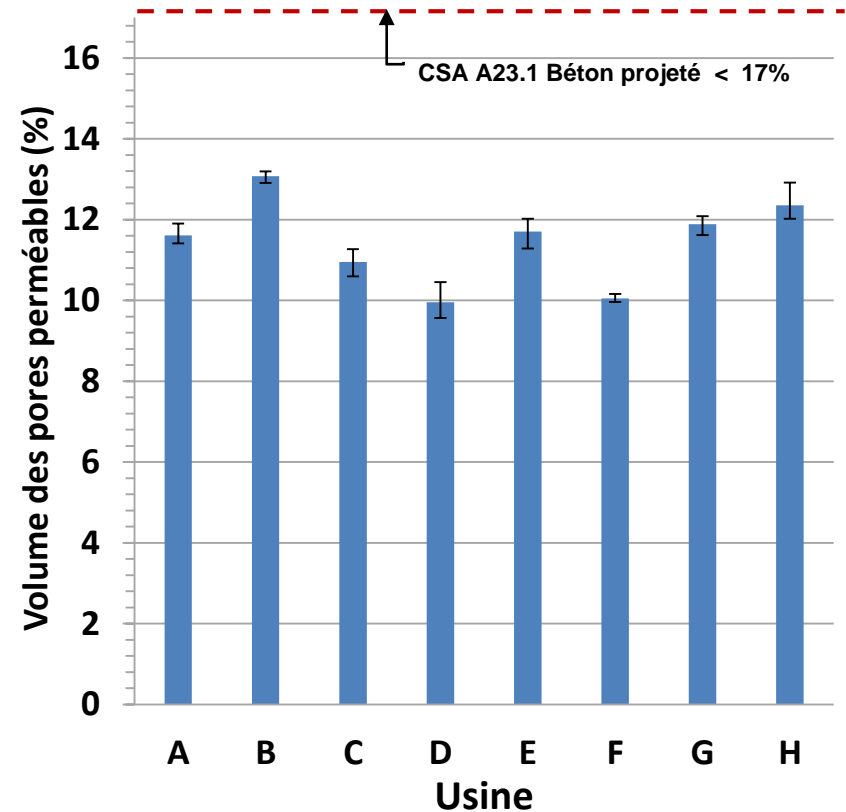
- La résistance à la compression corrigée est entre **62 MPa** et **32 MPa**
- Comparable à celle prescrite pour des bétons prêts à l'emploi des conditions d'exposition sévères
 - F1, C1 et C2



Résultats – Absorption et densité



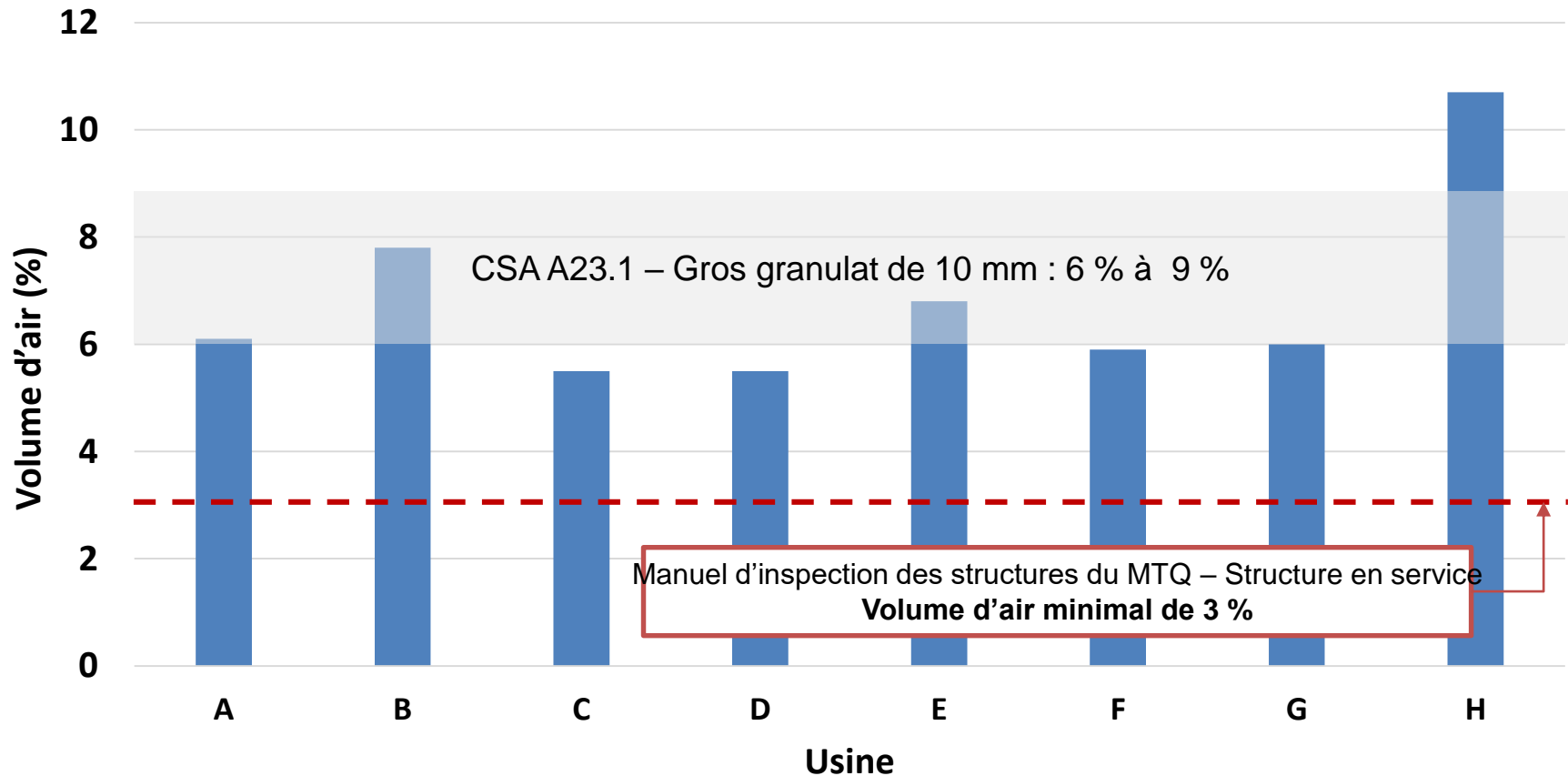
- Absorptions comprises entre **4%** et **6%**
 - Inférieur aux limites maximales de plusieurs normes de performance



- Volume des pores perméables compris entre **10%** et **13%**
 - Inférieur à la limite maximale de 17% pour le béton projeté



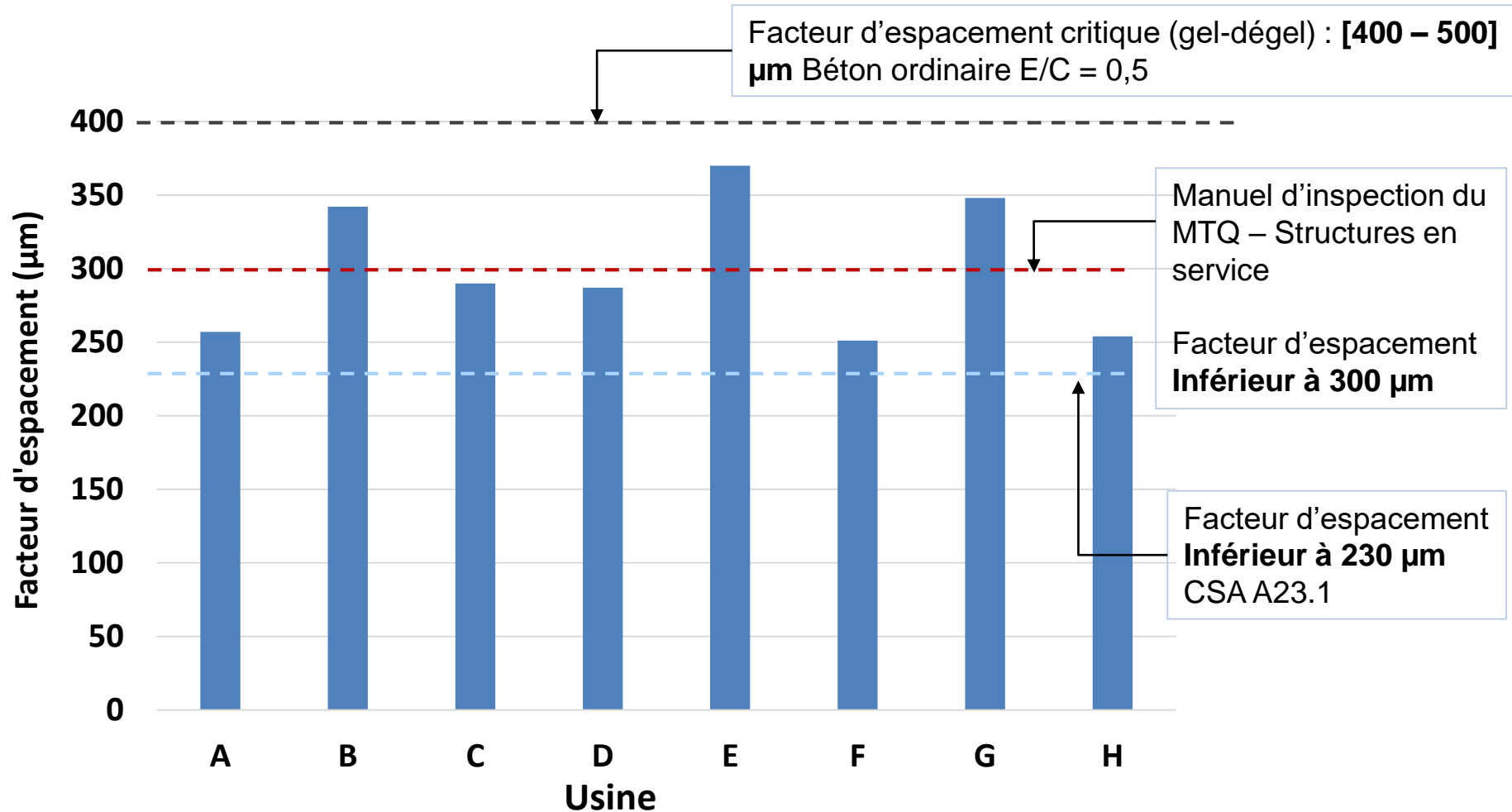
Résultats – Réseau de bulles d'air



10



Résultats – Réseau de bulles d'air

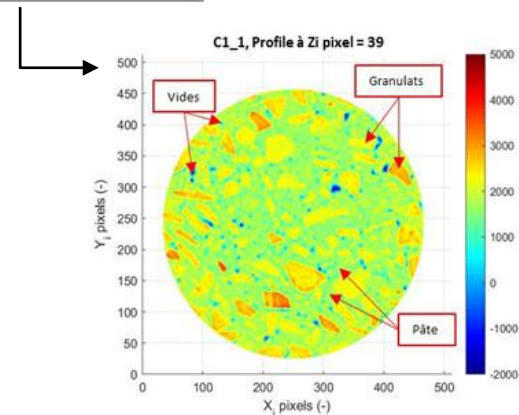
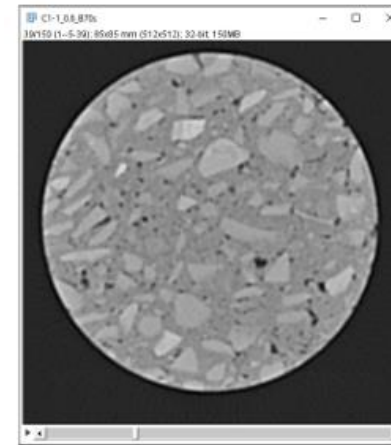


11



Étude - SIMCO Technologies

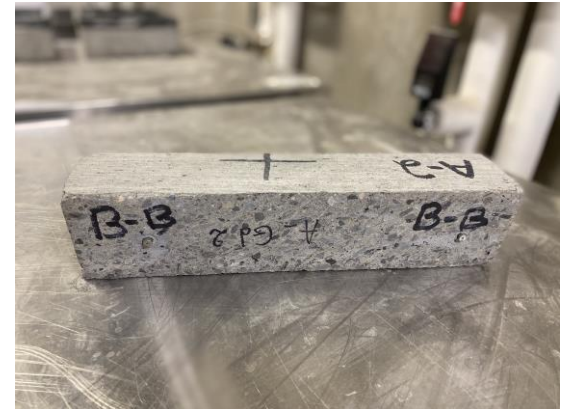
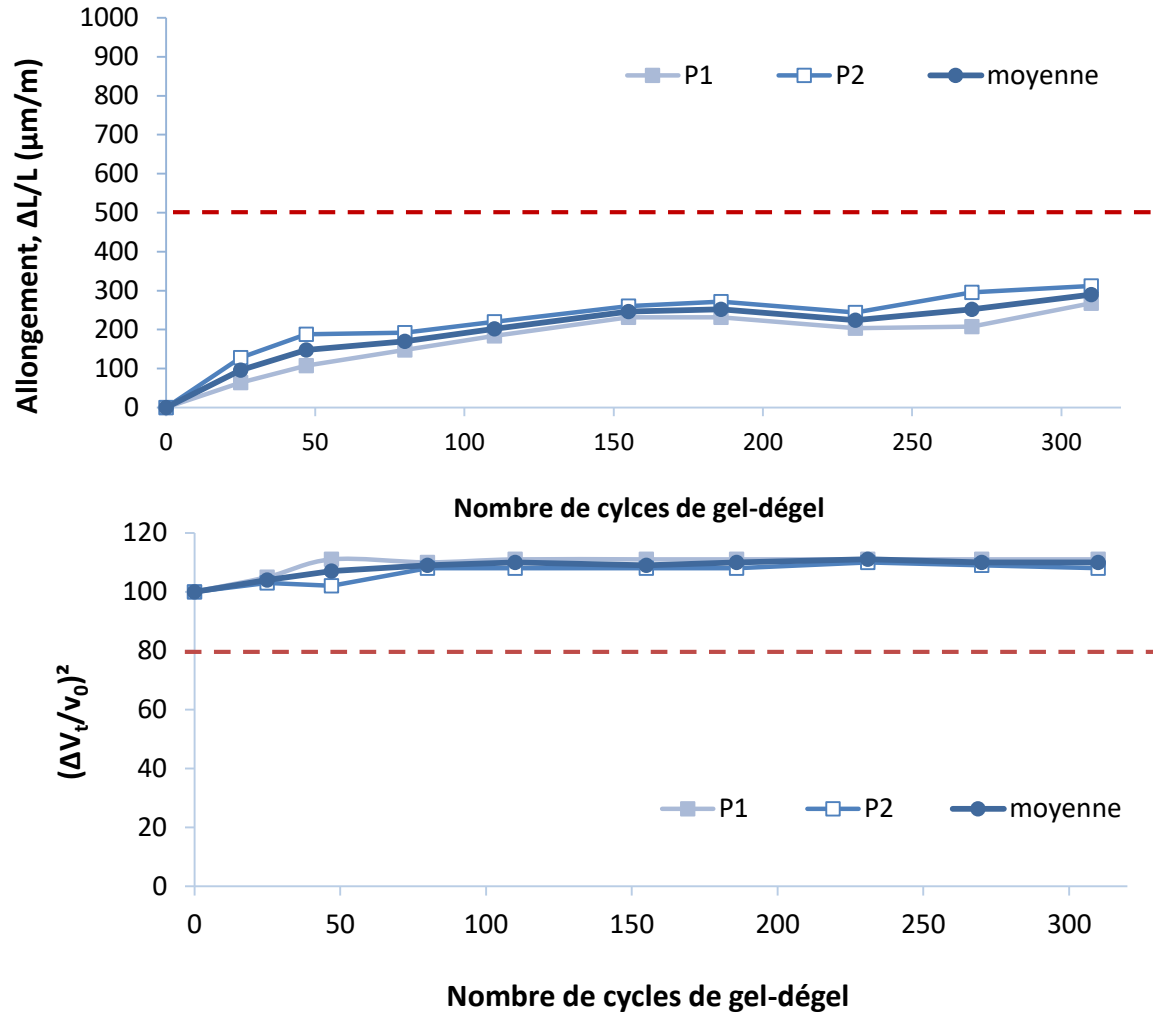
- **Bulles d'air sphériques entraînées**
 - $\leq 1,5 \%$
- En incluant les **vides de compaction**, le volume d'air total atteint **1,7 à 5,0 %**
 - Facteur d'espacement moyen : $388 \mu\text{m}$
 - Inférieur à la valeur critique de $500 \mu\text{m}$ (Ok !)
- Le **CT-Scan** montre une **distribution assez uniforme des vides**
 - Légères variations près des armatures et selon la profondeur
- La plupart des vides $< 1 \text{ mm}$
 - **Plus gros que dans le béton prêt à l'emploi**
 - **Mais contribuent à la résistance au gel-dégel**



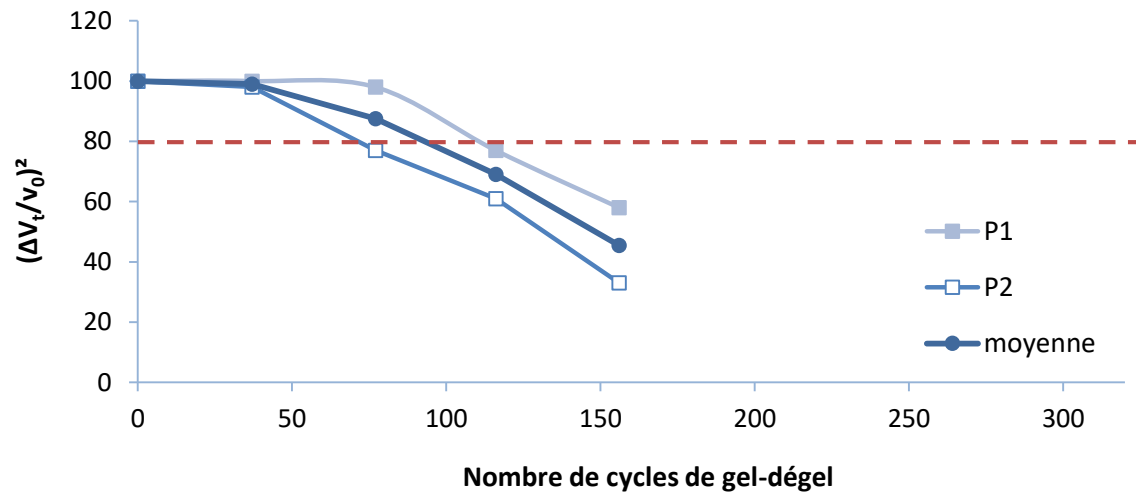
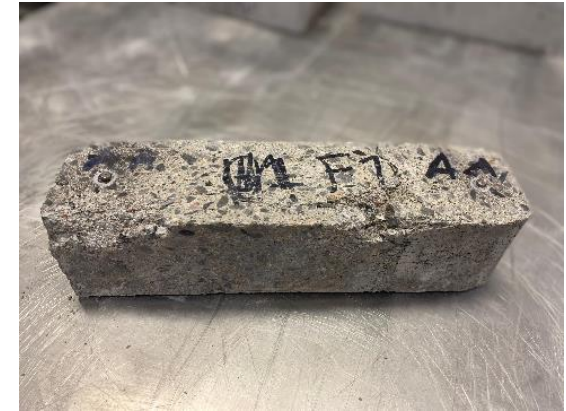
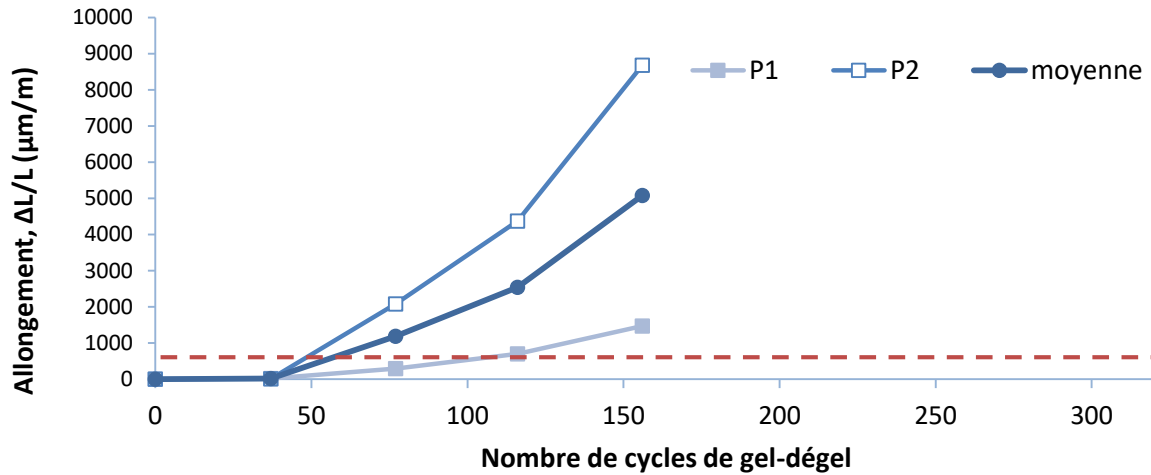
TUBÉCON

ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES
PRÉFABRICANTS D'INFRASTRUCTURES
EN BÉTON

Résultats – Gel-dégel – Fissuration interne – Usine A



Résultats – Gel-dégel – Fissuration interne – Usine F



14

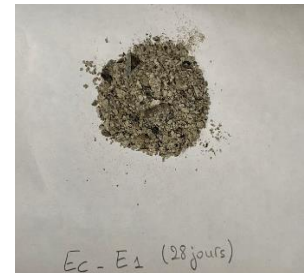
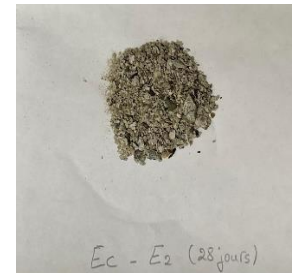
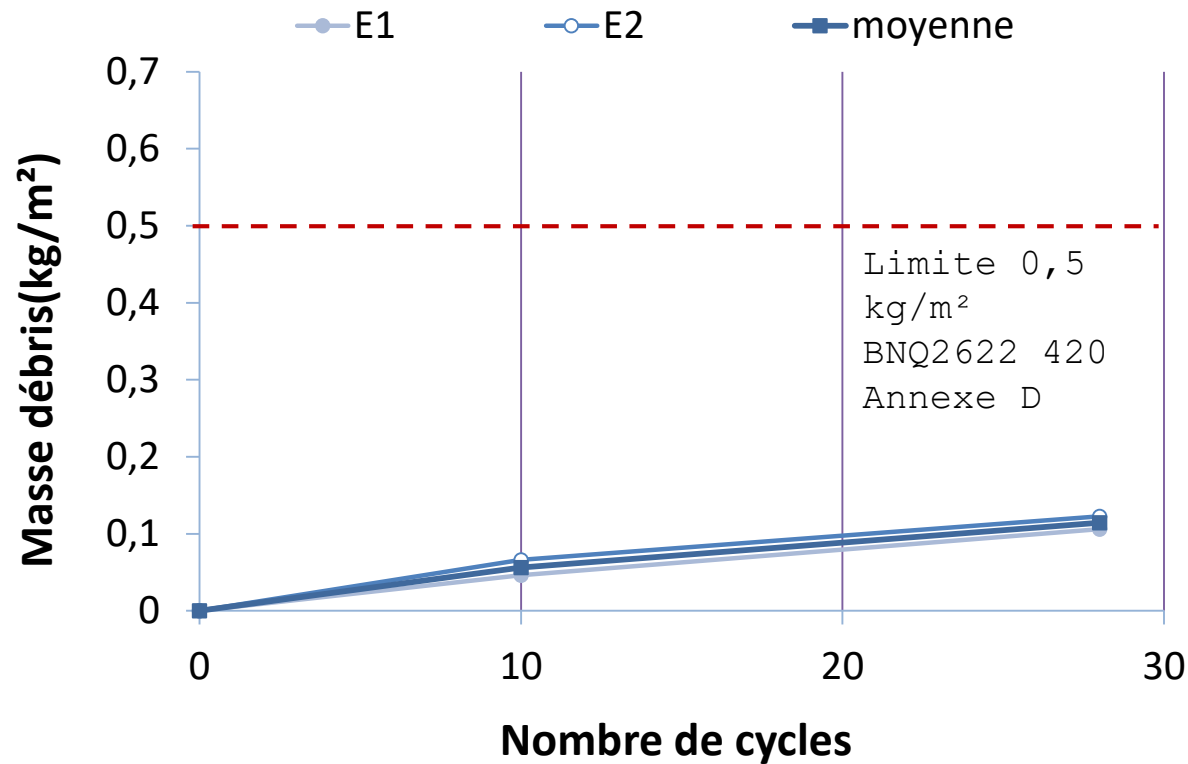


Résultats – Bilan – Fissuration interne

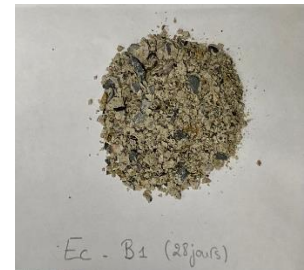
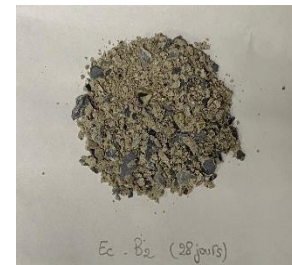
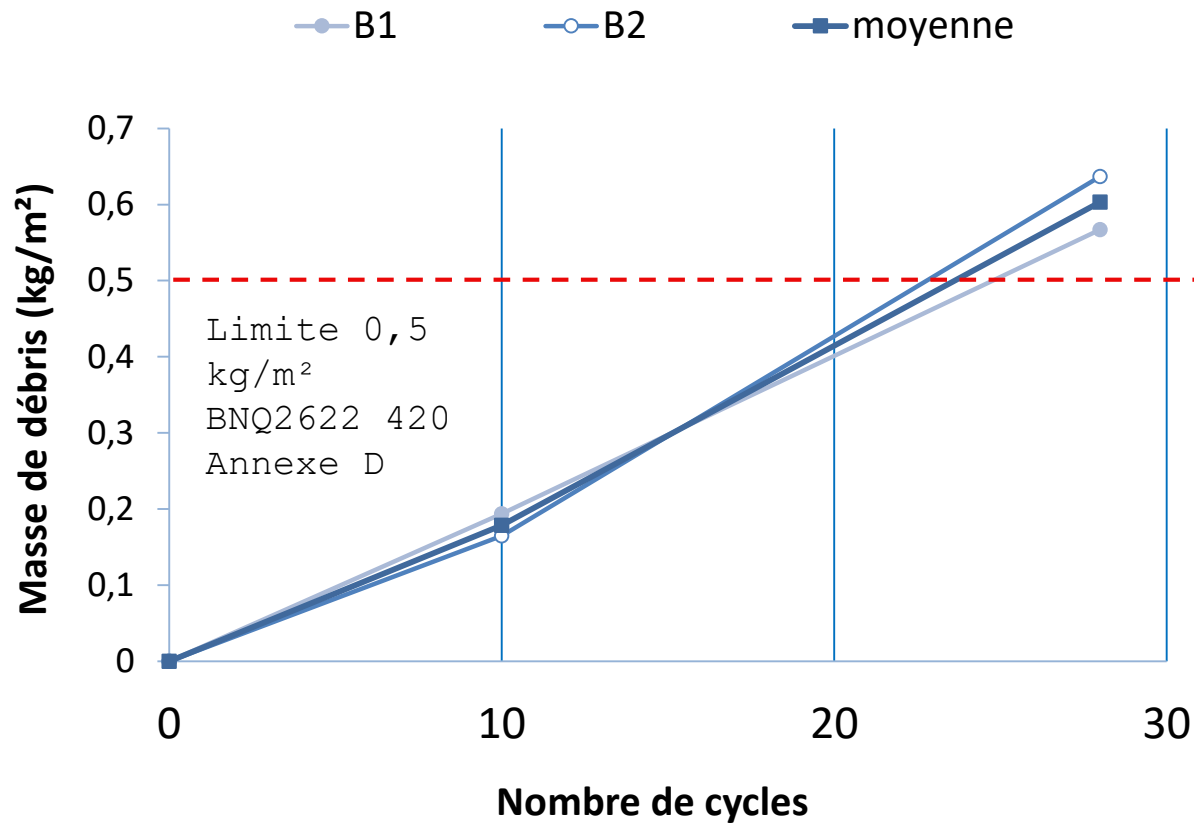
Usine	A	B	C	D	E	F	G	H
Allongement à 300 cycles ($\mu\text{m}/\text{m}$) Exigence : $< 500 \mu\text{m}/\text{m}$	290	372	228	338	260	> 5000	n.d.	78
Facteur de durabilité (%) Exigence : $> 80\%$	110	124	108	115	117	27	n.d.	107



Résultats – Écaillage – Usine E



Résultats – Écaillage – Usine B

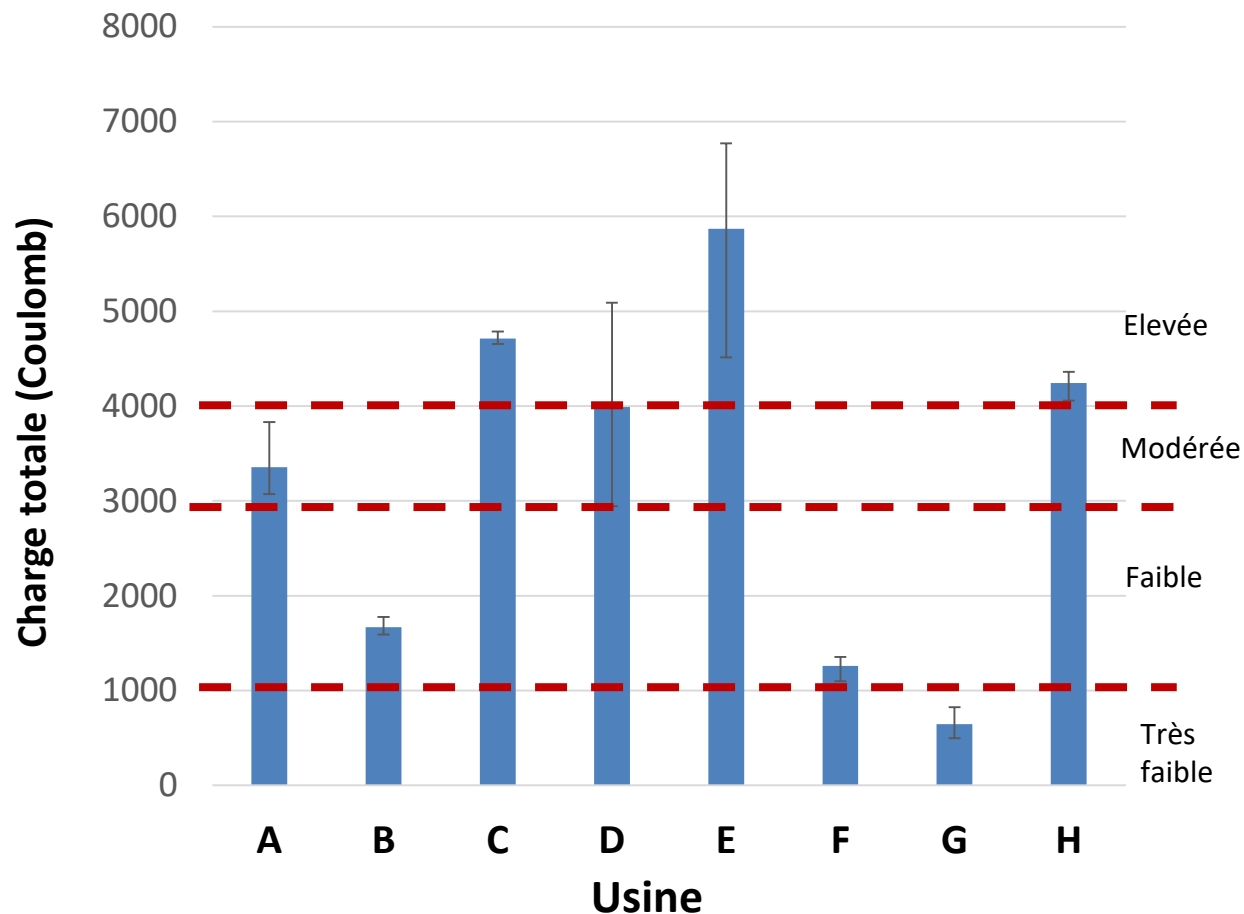


Résultats – Bilan – Écaillage

Usine	A	B	C	D	E	F	G	H
Perte de masse après 28 cycles Exigence : < 500 g/m ²	86	603	13	150	115	42	97	37



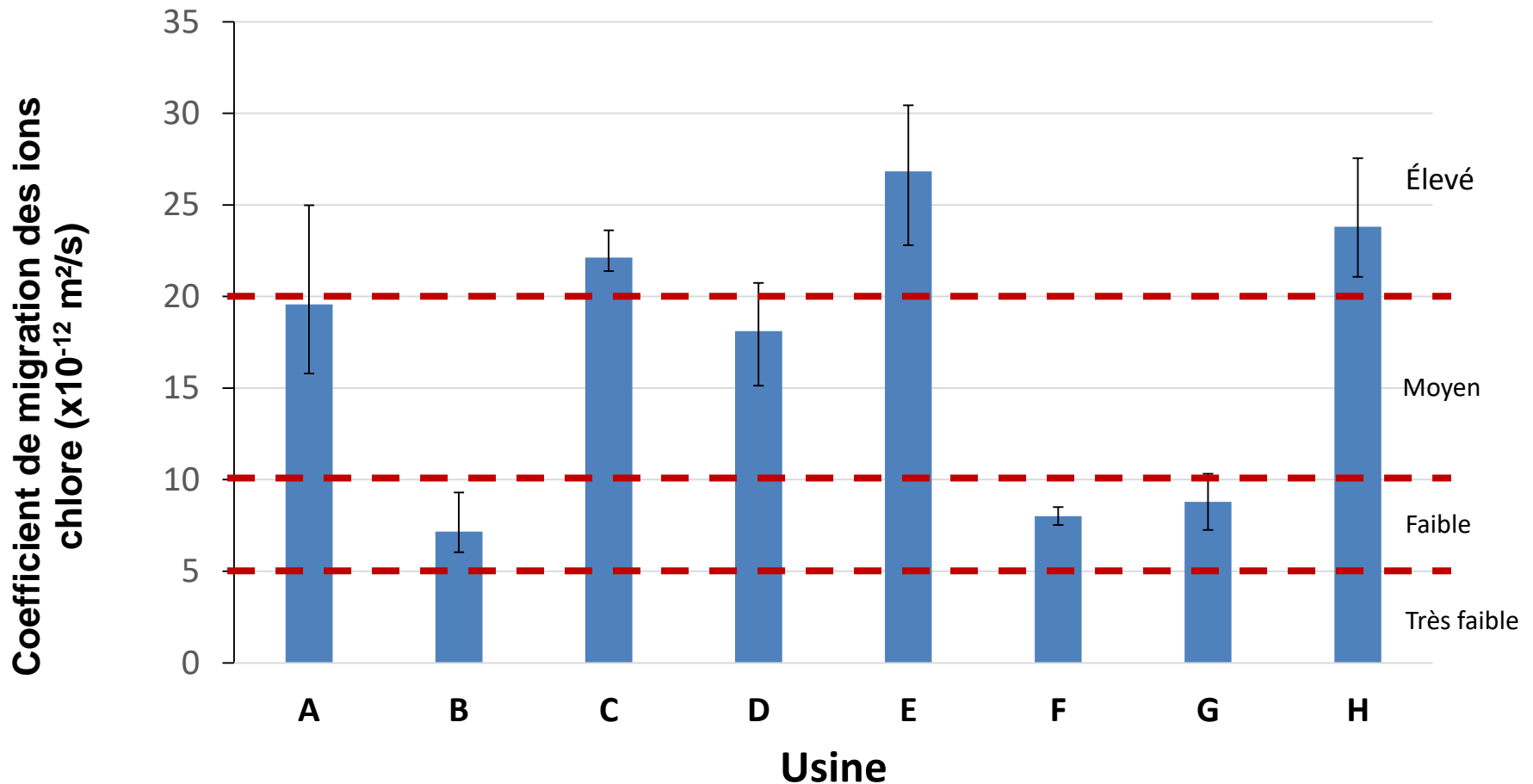
Résultats – Perméabilité aux ions chlorure



- Variation importante d'une usine à l'autre.
- **< 6000 Coulombs**
 - Typique des bétons prêts à l'emploi
 - $E/C < 0,5$



Résultats – Coefficient de migration des ions chlorure



Analyse globale du potentiel de durabilité

Usine	A	B	C	D	E	F	G	H
Facteur de durabilité (%) Exigence : > 80%	110	124	108	115	117	27	n.d.	107
Écaillage (g/m ²) Exigence : < 500 g/m ²	86	603	13	150	115	42	97	37
Perméabilité aux ions chlorure(Coulomb)	3355	1670	4711	3990	5871	1260	647	4529
Facteur d'espacement (µm)	257	342	290	287	370	251	348	254

Durable	Non durable	
Durable	Non durable	
Faible et très faible	Modérée	Élevée
Faible < 230 µm	Moyen	Élevé > 400 µm

21



Conclusions

- À partir des résultats des essais indicateurs de durabilité
 - Les bétons des TBA produits au Québec sont globalement durables ($\phi=600$ mm)
 - Résistance à la compression élevée : **35 à 60 MPa**
 - E/L bas : **< 0,40**
 - Faible absorption : **< 6%**
 - Réseau d'air marginal, mais néanmoins protecteur
 - Rôle protecteur des vides de compactage
 - Volume : **5,5% à 10%**
 - Facteur d'espacement : **< 400 μm** (moy. : 300 μm)
- Même si aucun de ces essais n'est prescrit pour les TBA (NQ 2622-126)
 - Durable au gel-dégel (fissuration interne)
 - Durable à l'écaillage
 - Résistance à la pénétration des Cl^-
 - Ajouts cimentaires favorables





Université de
Sherbrooke



MEMBRES DE L'ASSOCIATION

Efficacité
 Sécurité Intégrité
 Résilience
 Économique Qualité Stabilité Éprouvé
 Développement durable
 Adaptation Étanche Rigueur
 Certification Rigueur
 Analyse des risques Solide Durabilité Local
 Robuste
 Infrastructures critiques
 Normes Gestion des actifs
 Confiance Structural Hydraulique
 Résistance
 Pérennité
 Changements climatiques
 Fiable



TUBECON.QC.CA

Merci pour votre attention
Questions ?