

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

par :

**Richard GAGNÉ, ing. Ph.D.**  
**Rahma BELOUAFÀ, 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

2



# Pourquoi étudier la durabilité des tuyaux en béton armé ?

- Au Québec, **aucune défaillance prématuée** 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



3



# 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 déglaçage** ?
  - Quelles seraient **des méthodes d'essai** permettant d'évaluer la performance à long terme ?



4

# Méthodologie

## Essais normalisés utilisés comme des indicateurs de durabilité des TBA

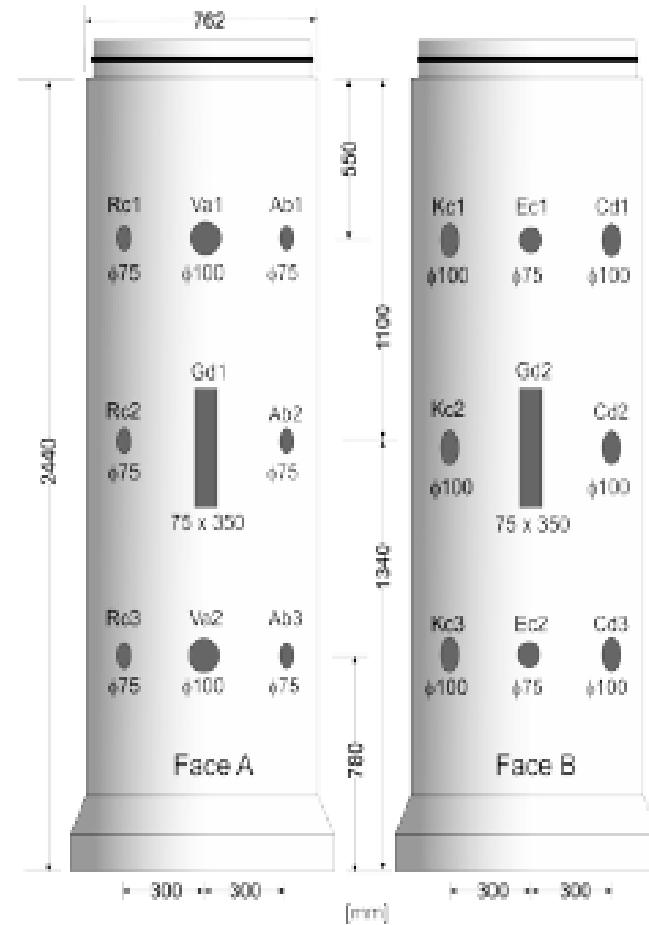
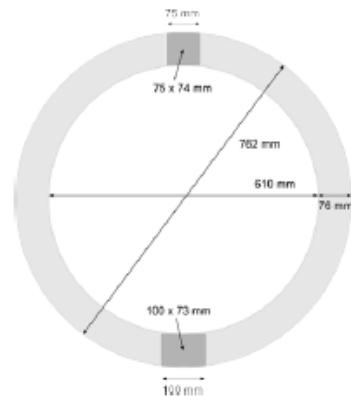
- Résistance à la compression – CSA A 231.1
- Densité et absorption – ASTM C642
- Résistance aux cycles de gel-dégel – ASTM C666
- Résistance aux cycles de gel-dégel en présence des ions chlorure – BNQ 2622 420 Annexe D
  - Utilisés pour les regards et les puisards
- Résistance à la pénétration des ions chlorure – ASTM c1202
- Coefficient de migration des ions chlorure – NT Build 492
- Caractérisation du réseau d'air – ASTM C457

5

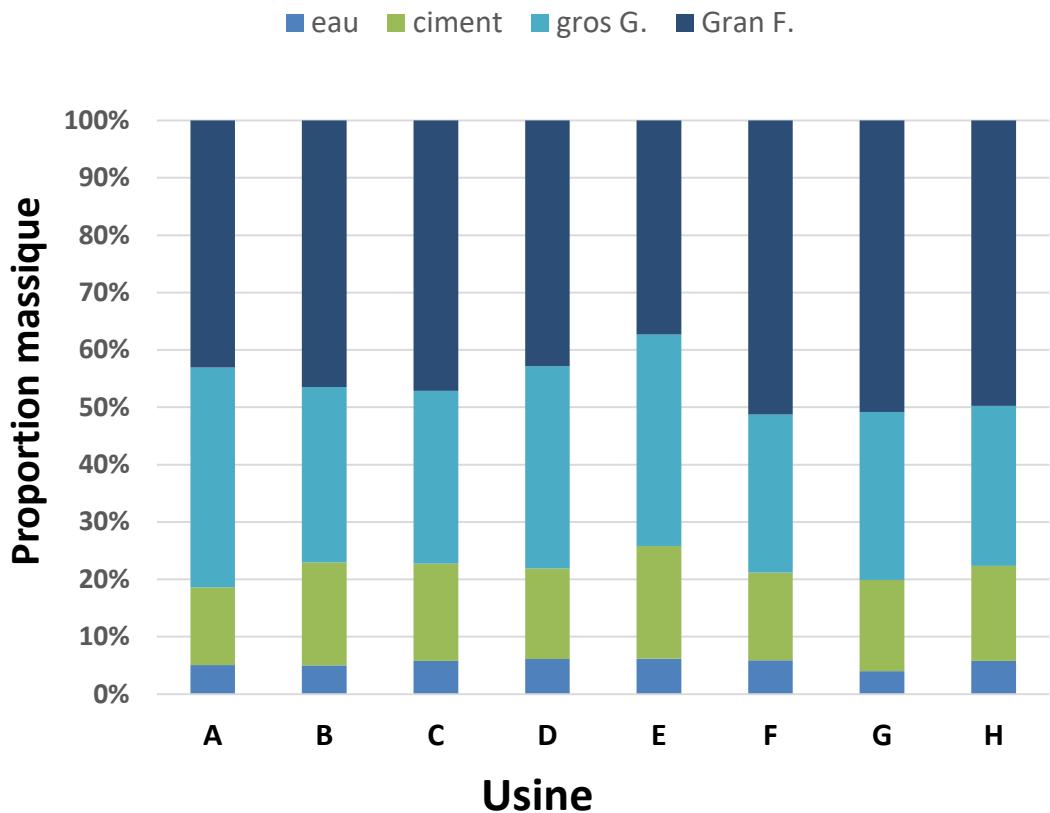


# Méthodologie

- 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

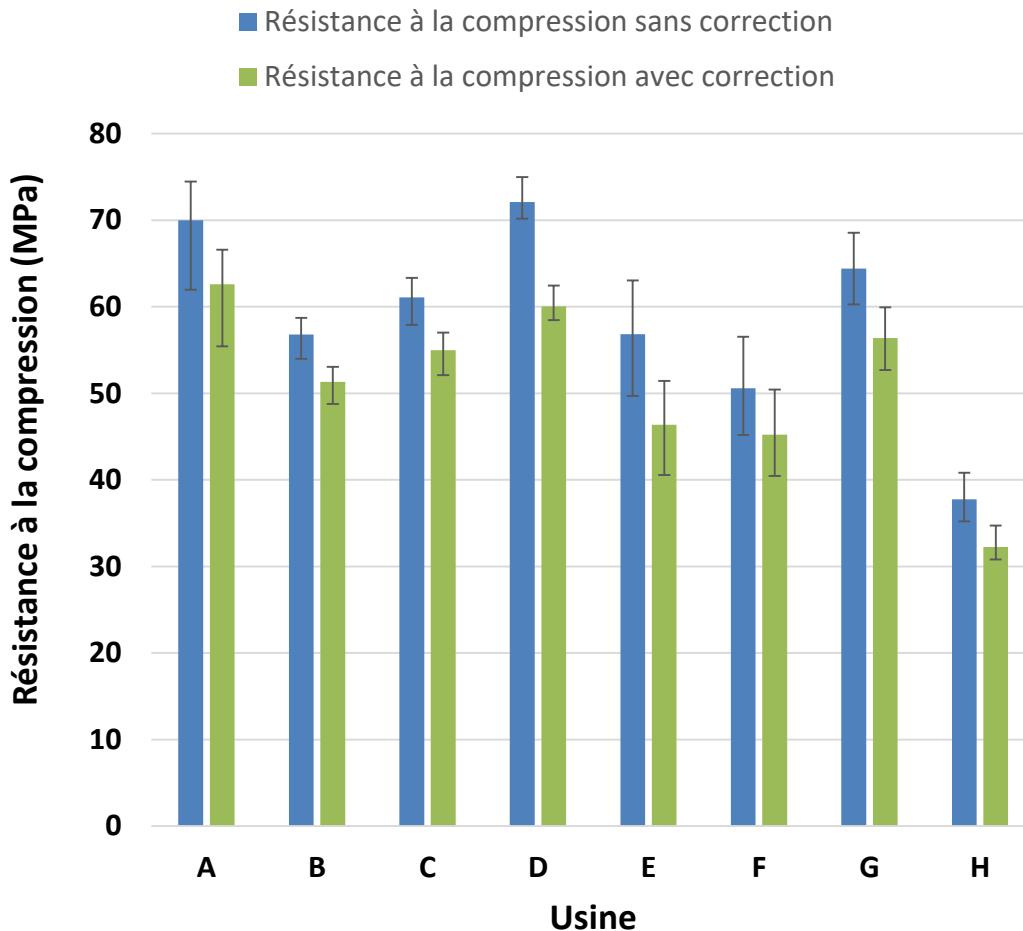


Proportions massiques relatives des formulations des bétons



- 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

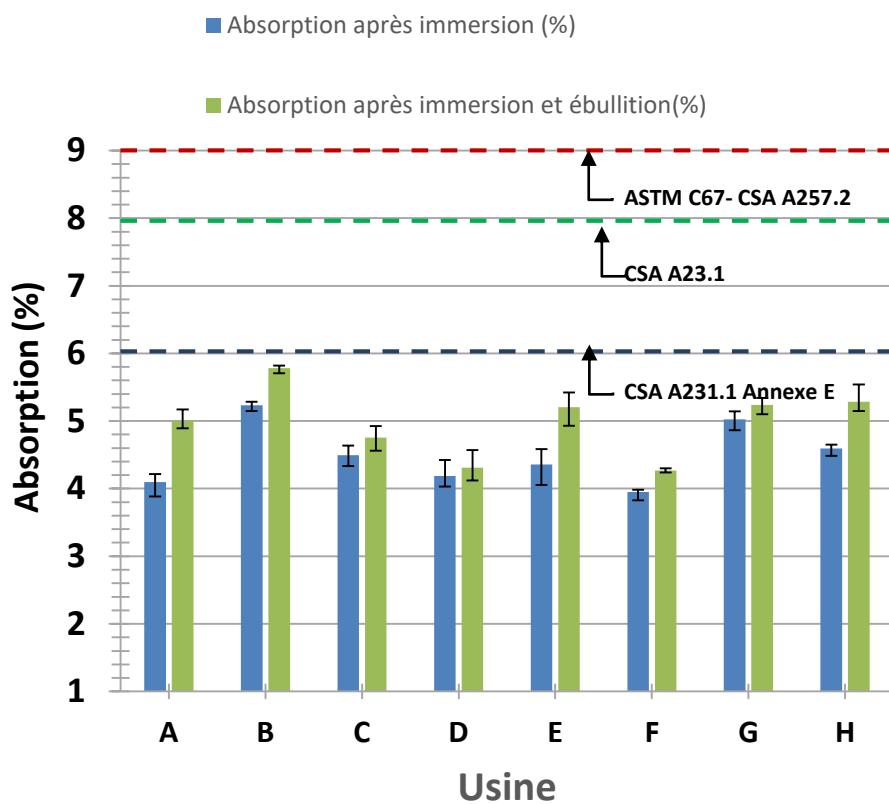
# Résultats – Résistance à la compression



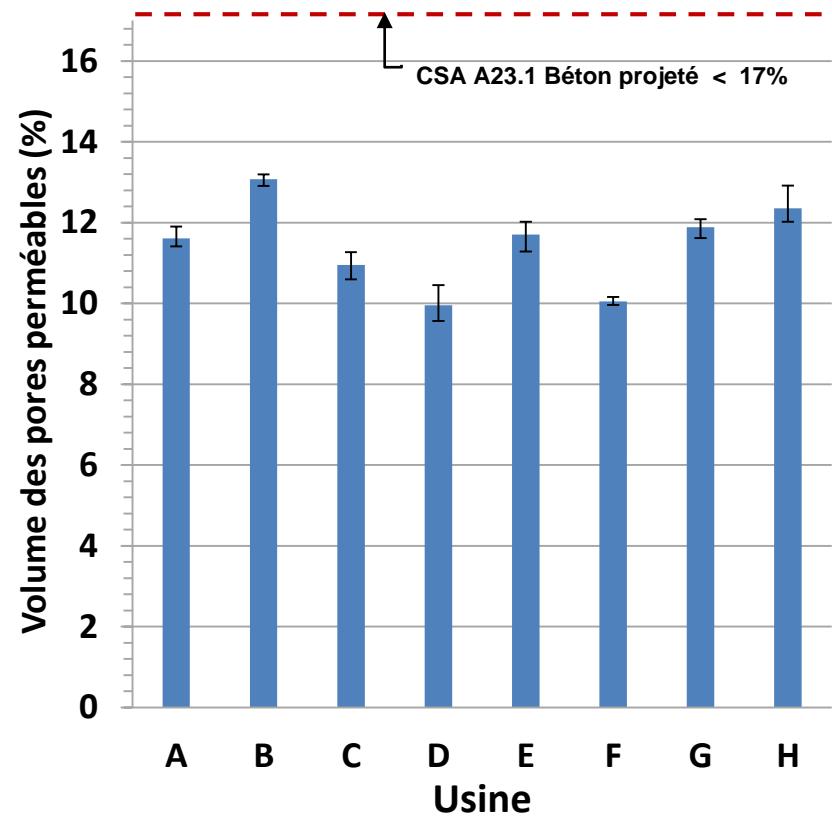
- La résistance à la compression corrigée est entre **62 MPa** et **32 MPa**
- Comparable à celle prescrite pour des bétons prêts à l'emploi des conditions d'exposition sévères
  - F1, C1 et C2



# Résultats – Absorption et densité



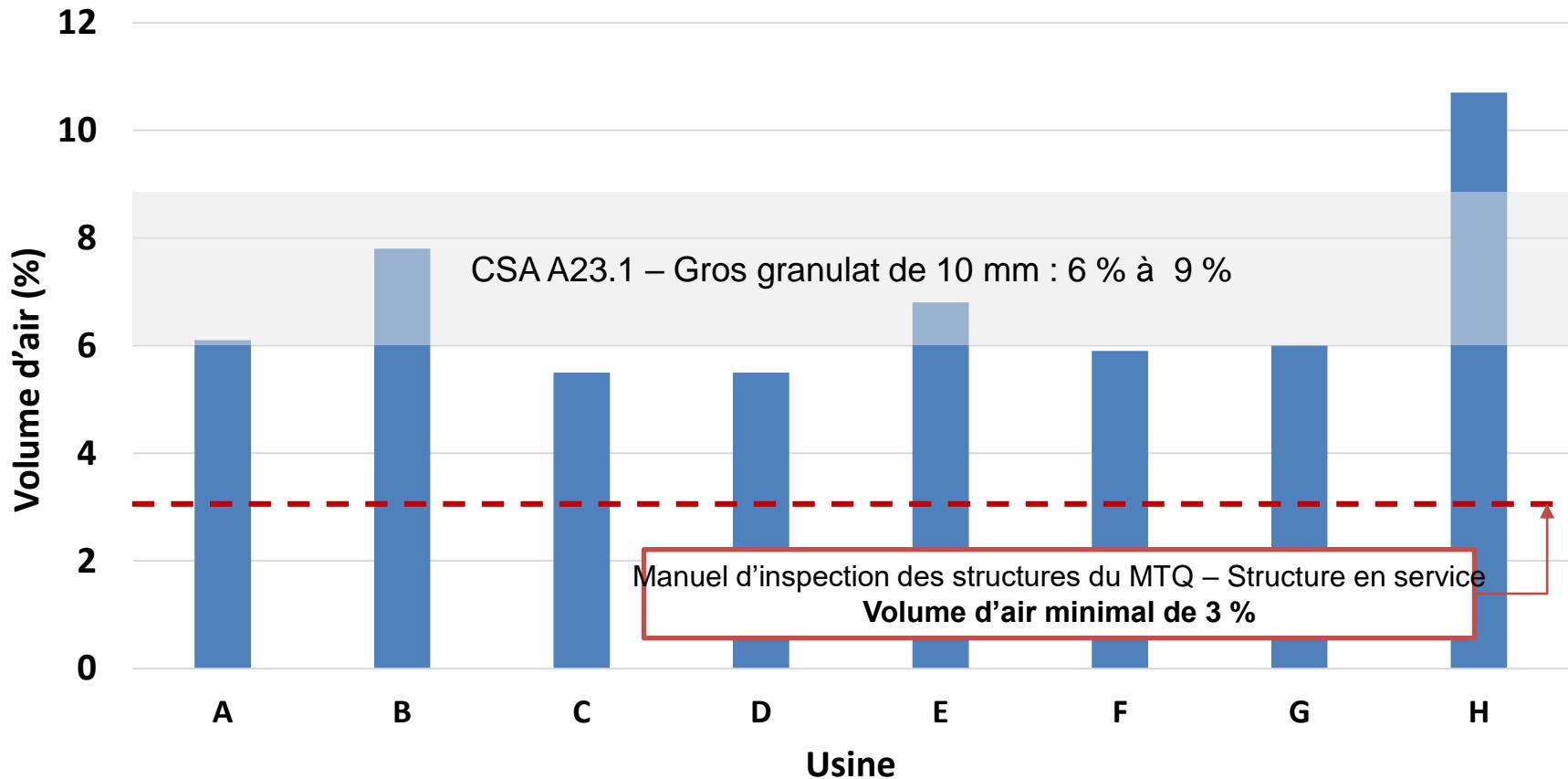
- Absorptions comprises entre 4% et 6%
  - Inférieur aux limites maximales de plusieurs normes de performance



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

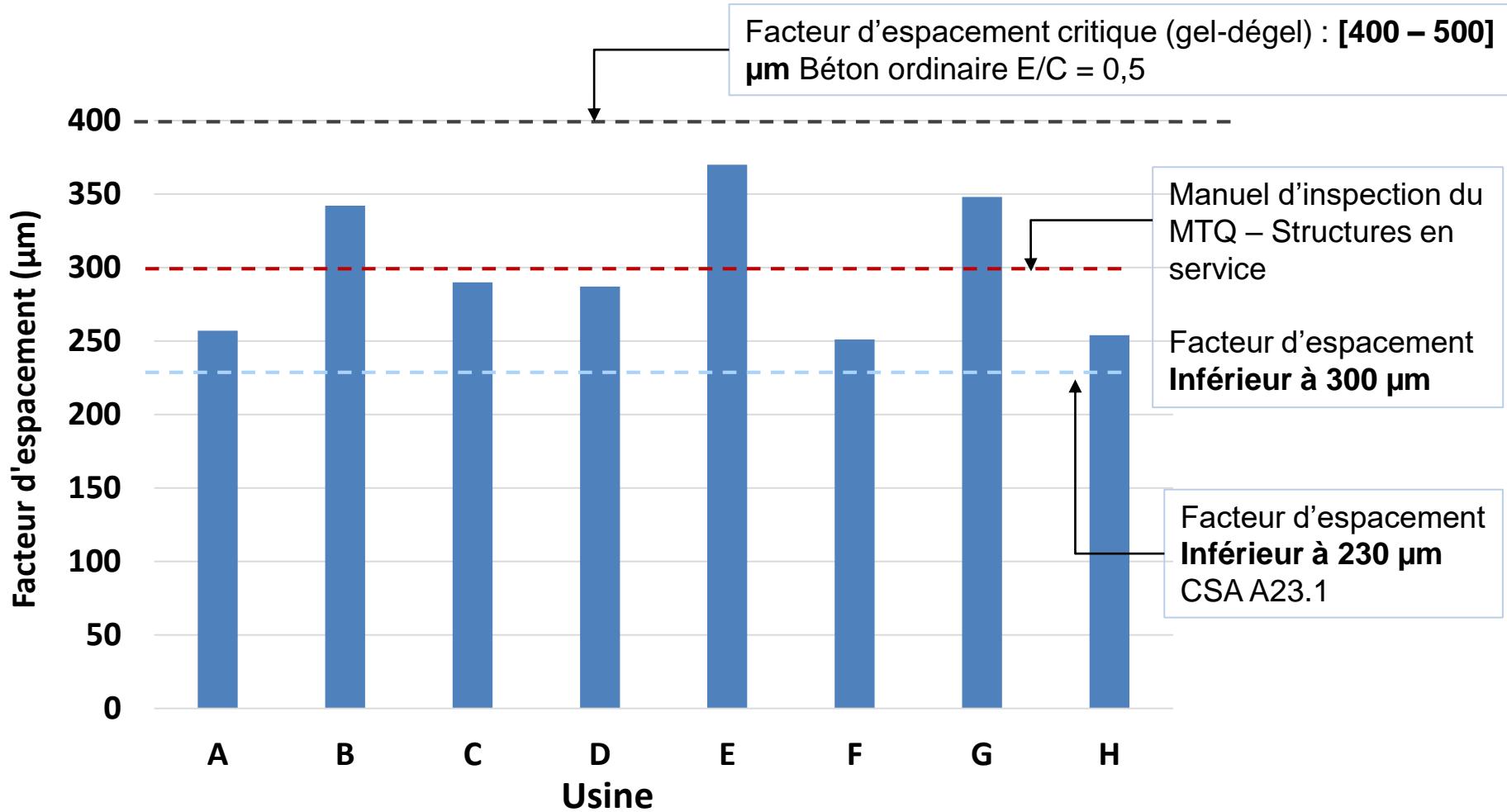
9

# Résultats – Réseau de bulles d'air



10

# Résultats – Réseau de bulles d'air

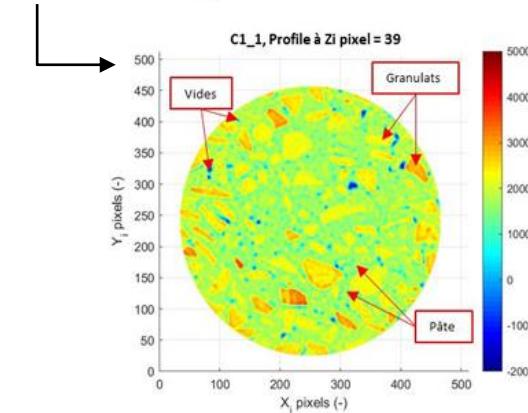
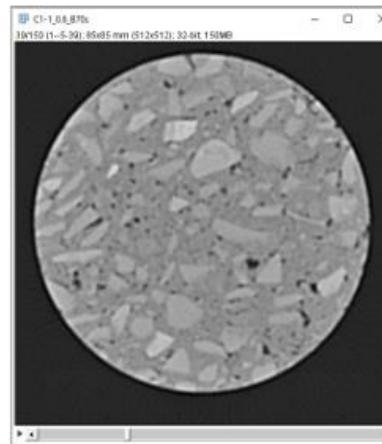


11



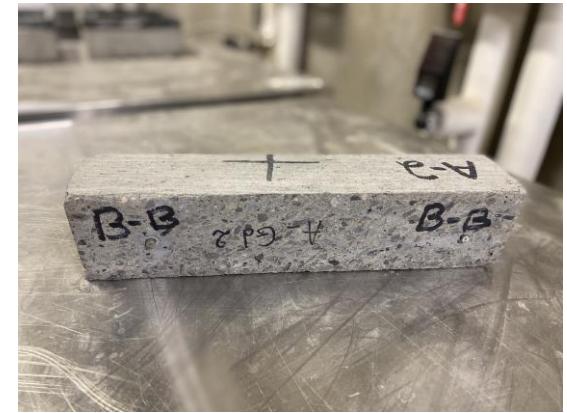
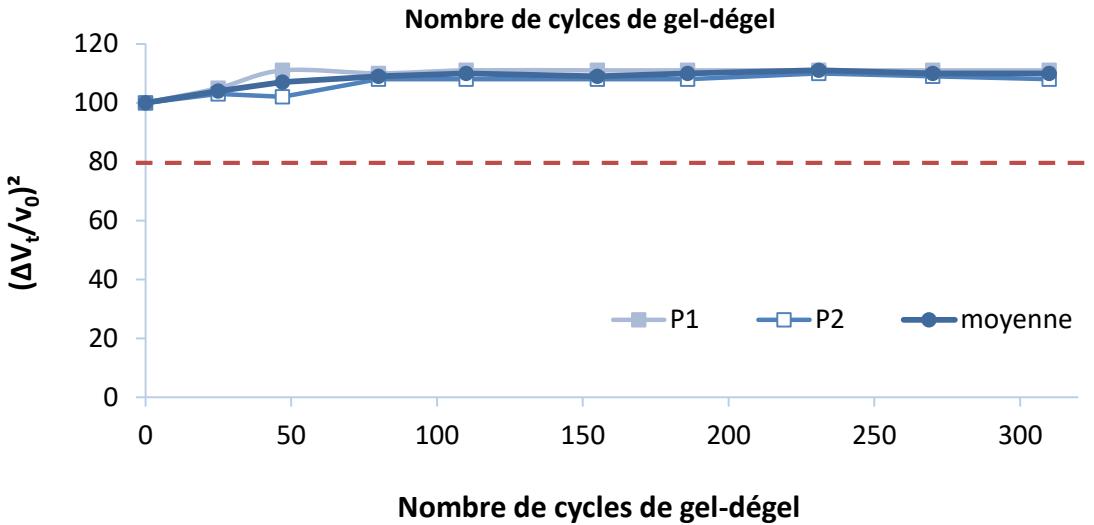
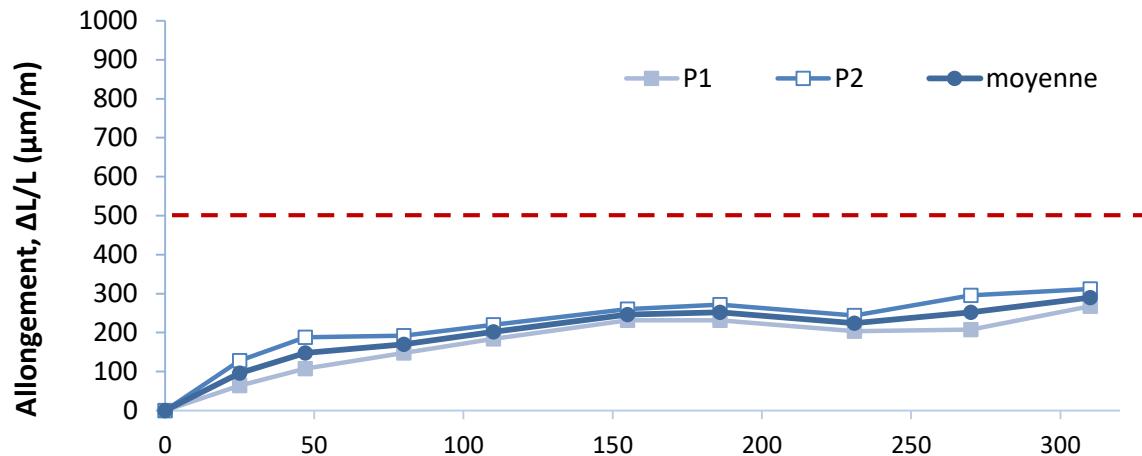
# Étude - SIMCO Technologies

- **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**

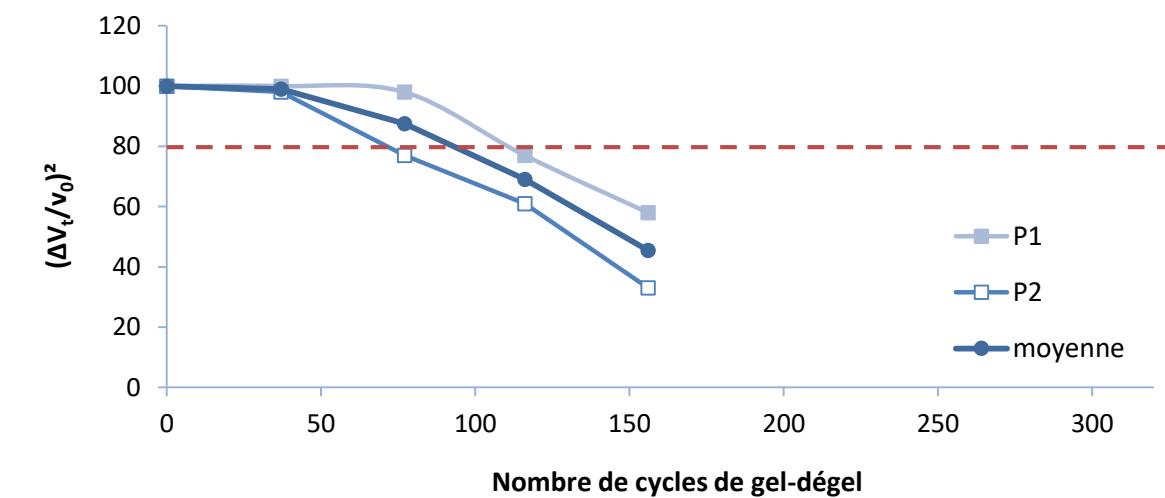
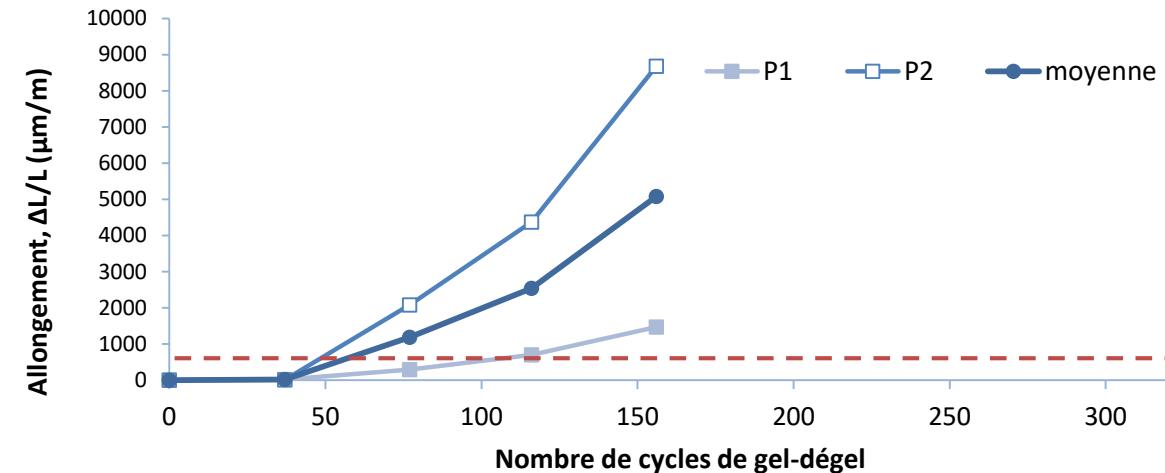


12

# Résultats – Gel-dégel – Fissuration interne – Usine A



# Résultats – Gel-dégel – Fissuration interne – Usine F



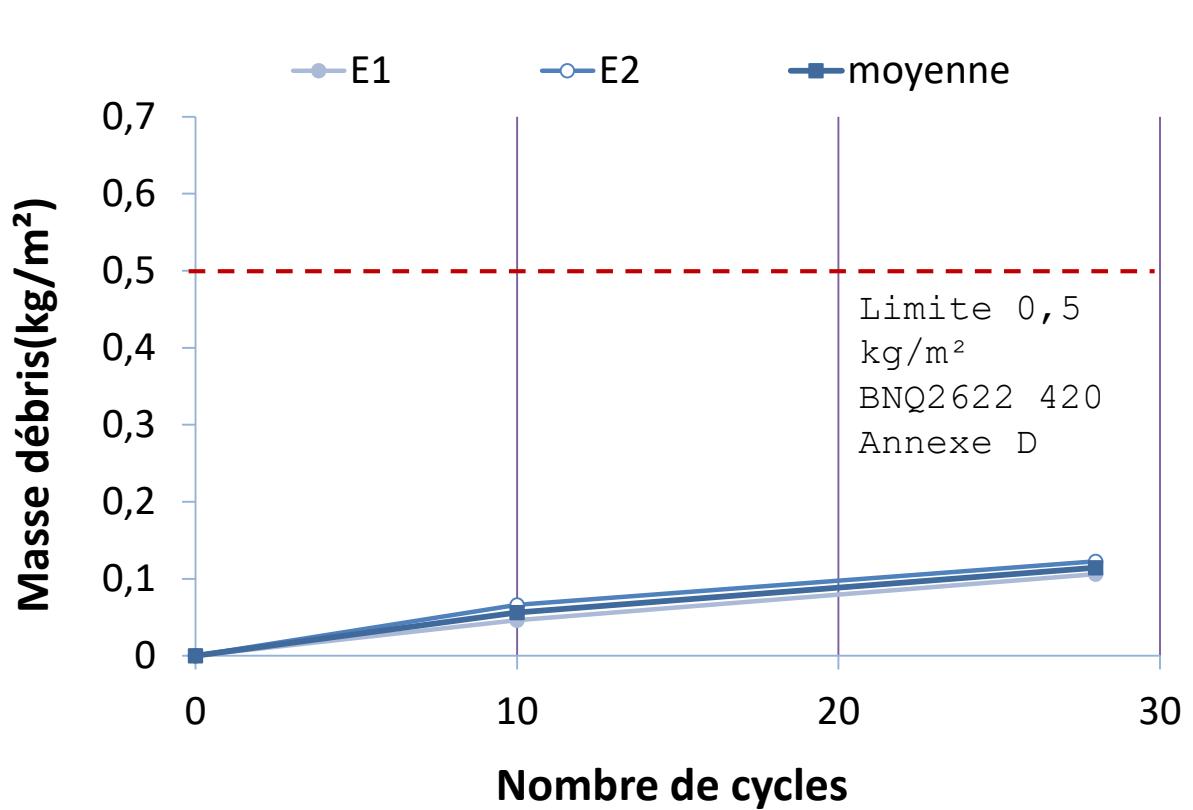
# Résultats – Bilan – Fissuration interne

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

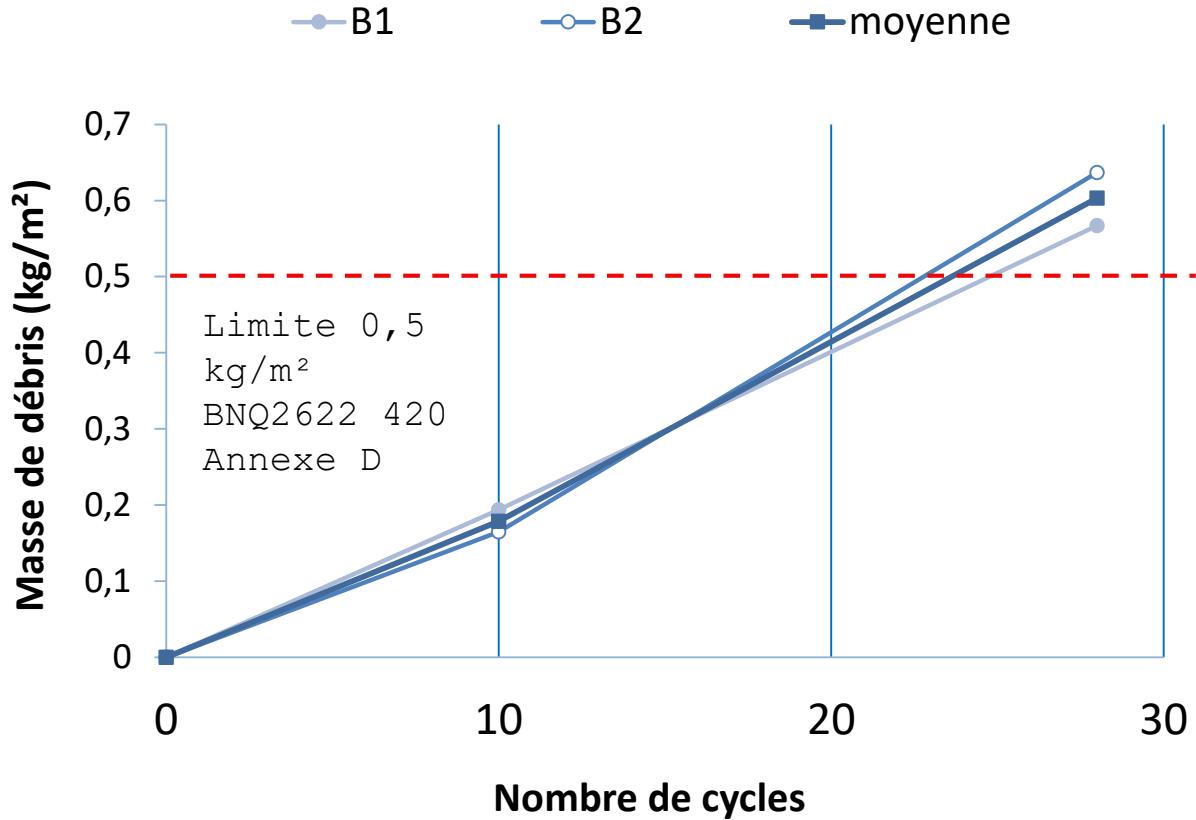


15

# Résultats – Écaillage – Usine E



# Résultats – Écaillage – Usine B

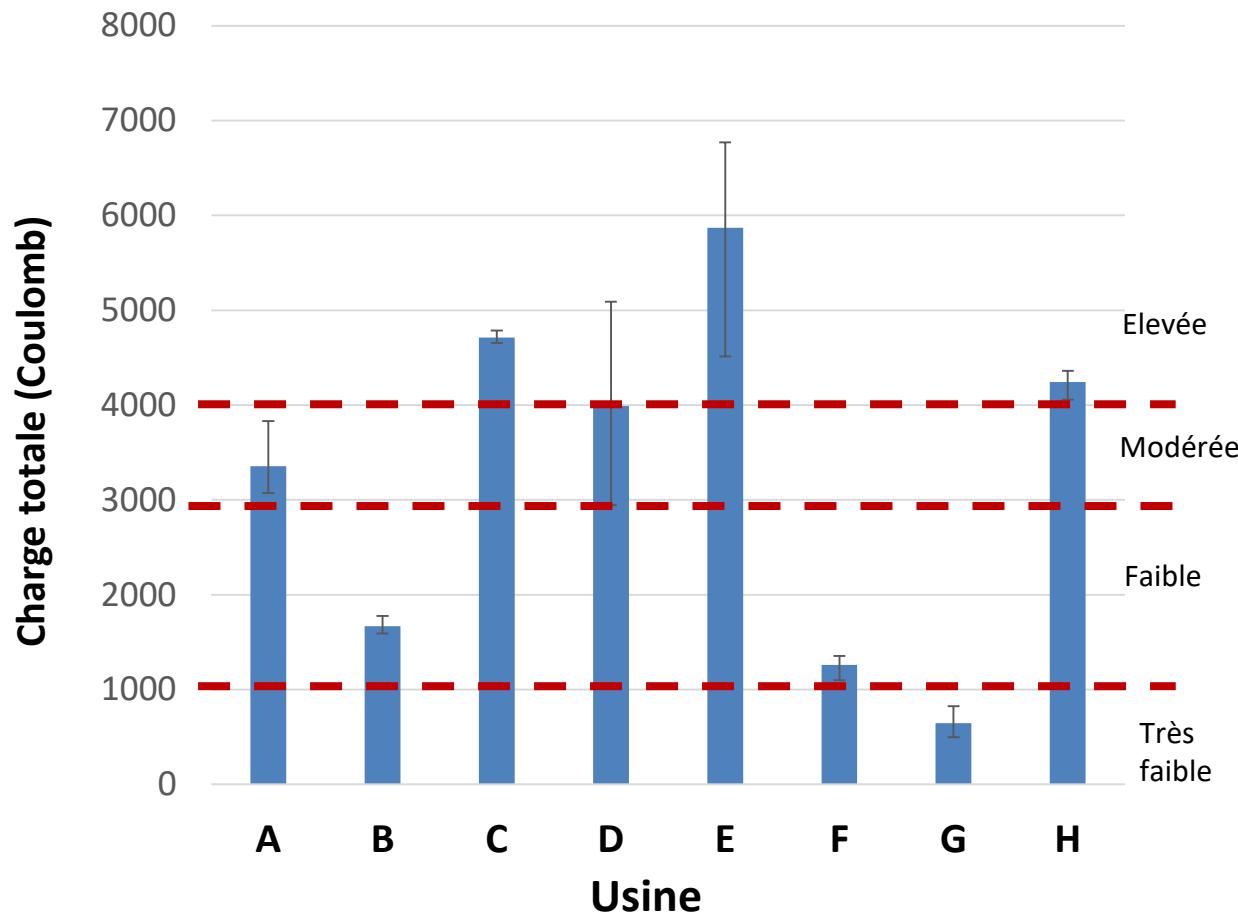


# Résultats – Bilan – Écaillage

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



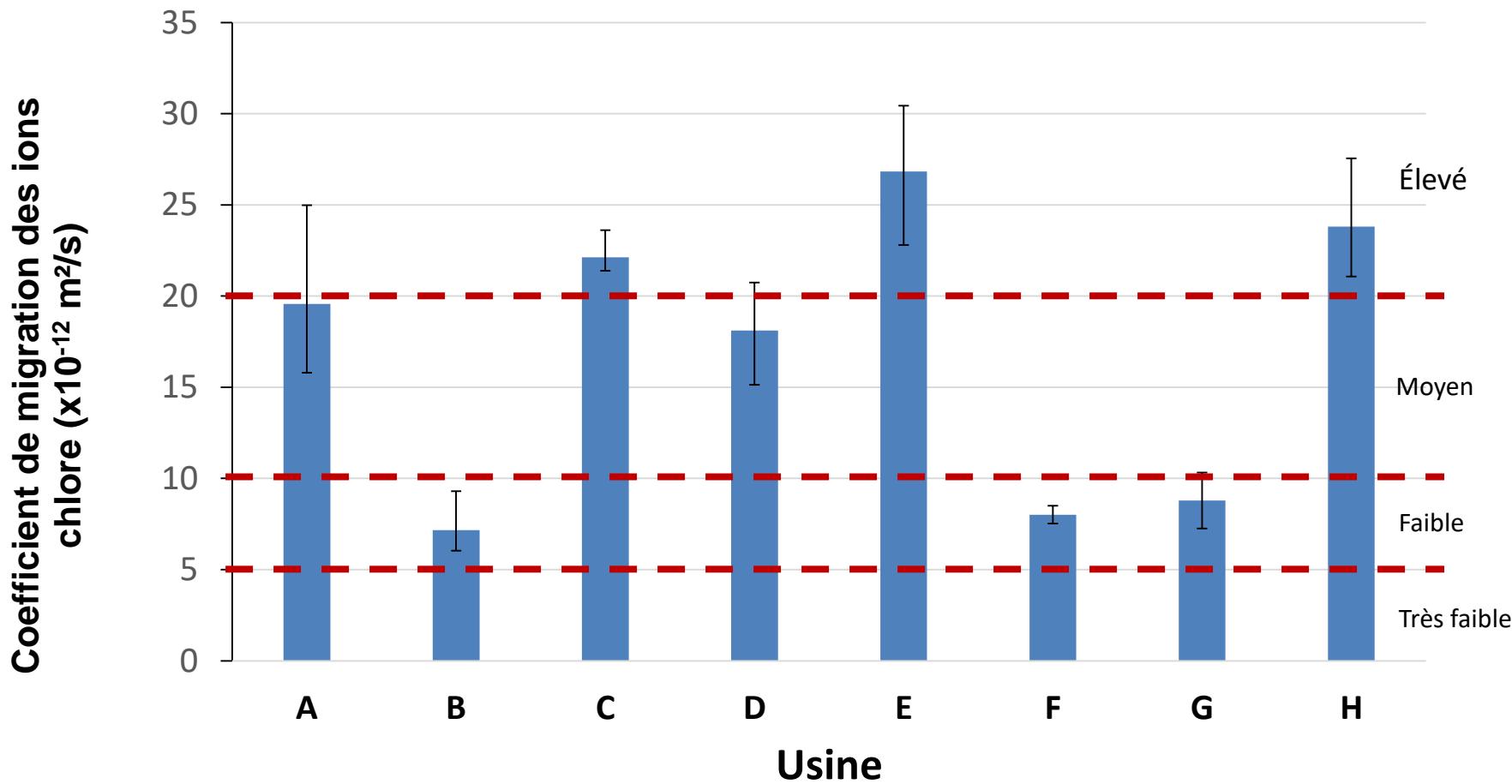
# Résultats – Perméabilité aux ions chlorure



- 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 (%)<br>Exigence : > 80%                      | 110  | 124  | 108  | 115  | 117  | 27   | n.d. | 107  | Durable               | Non durable |                |
| Écaillage (g/m <sup>2</sup> )<br>Exigence : < 500 g/m <sup>2</sup> | 86   | 603  | 13   | 150  | 115  | 42   | 97   | 37   | Durable               | Non durable |                |
| Perméabilité aux ions chlorure (Coulomb)                           | 3355 | 1670 | 4711 | 3990 | 5871 | 1260 | 647  | 4529 | Faible et très faible | Modérée     | Élevée         |
| Facteur d'espacement (μm)  | 257  | 342  | 290  | 287  | 370  | 251  | 348  | 254  | Faible < 230 μm       | Moyen       | Élevé > 400 μm |



# 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  $\mu\text{m}$**  (moy. : 300  $\mu\text{m}$ )
- 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  $\text{Cl}^-$ 
    - Ajouts cimentaires favorables



22



## MEMBRES DE L'ASSOCIATION



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

Merci pour votre attention  
Questions ?