

# ***Utilisation des ajouts cimentaires au Québec***

**Jacques Beaulieu, ing.M.Sc.A.**

**Groupe Qualitas**

**Laboratoire de Béton Itée**



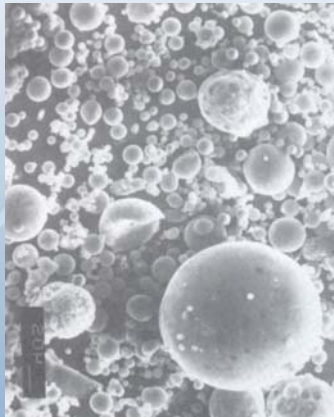
## ***Résumé de la présentation***

- 1. Ajouts cimentaires (AC) utilisés au Québec**
- 2. Bénéfices de leur utilisation**
- 3. Historique de l'utilisation des AC au Québec**
- 4. Évolution des normes et devis**
- 5. Principales réalisations au Québec**
- 6. Résumé des avantages et des faiblesses**

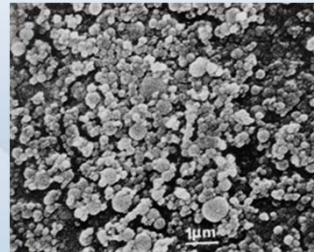
## 1 - Ajouts cimentaires (AC) utilisés au Québec

- Fumée de silice (1980 et +)
- Cendres volantes (1990 et +)
- Laitier de haut fourneau (1990 et +)

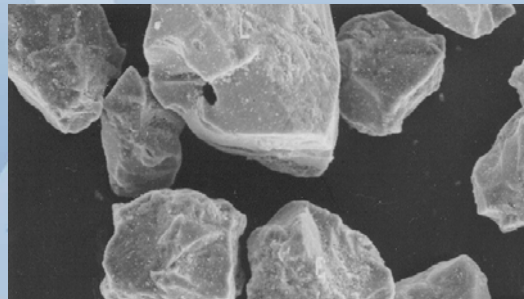
## 1 - Ajouts cimentaires (AC)



Cendres volantes



Fumée de silice



Laitier

## 1 - Ajouts cimentaires (AC)

- Fumée de silice : particules sphériques, diamètre moyen  $< 0,1 \mu\text{m}$
- Cendres volantes : particules sphériques d'un diamètre entre  $1 \mu\text{m}$  et  $100 \mu\text{m}$
- Laitier de haut fourneau : particules angulaires broyées à la finesse du ciment portland

## 1 - Analyses chimiques du ciment portland et des AC

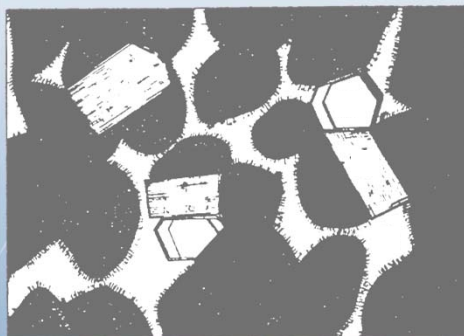
Oxyde / Caractéristique	Ciment Type GU	Laitier de haut fourneau	Cendres volantes	Fumée de silice
SiO <sub>2</sub>	20	37	49	92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	10	28	0,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	1	10	0,5
CaO	62	37	3	1,9
MgO	3	13	2	--
SO <sub>3</sub>	3	0,2	1	--
K <sub>2</sub> O	0,9	0,4	4	0,8
Na <sub>2</sub> O	0,2	0,4	2	0,3
Surface Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	410	430	380	--
Densité	3,14	2,95	2,65	2,22

Na<sub>2</sub>O equiv.= Na<sub>2</sub>O+0,66 K<sub>2</sub>O

## 1 - Ajouts cimentaires

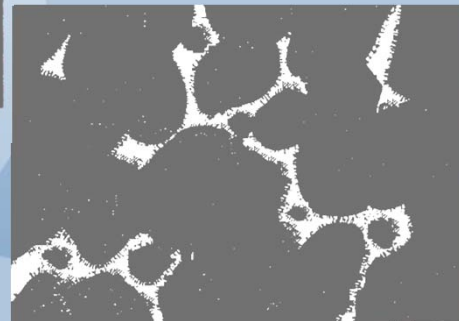
- Réaction chimique principale
  - Ciment portland +  $H_2O$  → gel de C-S-H + CH
- Réaction pouzzolanique
  - Ajouts cim. + CH → gel de C-S-H

## 2 - Bénéfices de l'utilisation des AC



Sans ajouts cimentaires

Avec ajouts cimentaires



## ***2 - Bénéfices de l'utilisation des AC***

- une microstructure dense et compacte, de faible perméabilité, de faible porosité, avec de très bonnes propriétés mécaniques
- adhésion améliorée entre la pâte de ciment et les granulats (portlandite consommée dans la zone de transition)
- Effet filler – remplissage des vides dans la pâte de ciment avec les particules des ajouts minéraux

## ***3 - Historique de l'utilisation des AC au Québec***

**1958-1960 Essais sur l'utilisation des  
cendres volantes pour Hydro-Québec en  
collaboration avec CANMET à  
Manicouagan 2**

### *3 - Historique de l'utilisation des AC au Québec*

- **1980 Travaux de Pierre-Claude Aïtcin sur la fumée de silice**
- **1990 Ciments composés avec de la fumée de silice, utilisation des cendres volantes sur certains projets spéciaux**

### *3 - Historique de l'utilisation des AC au Québec*

- **De 1989 à 1996, recherche en partenariat avec CANMET, HQ, Ciment St-Laurent et Lafarge réalisée par Qualitas - Laboratoire de Béton Ltée**
- **Construction de 6 blocs de 50 m<sup>3</sup> à Laval (2,5 x 4 x 5 m)**

### *3 - Historique de l'utilisation des AC*

- **2000 Ciments mélangés avec la fumée de silice et les cendres volantes ou les laitiers de haut fourneau (ciments ternaires)**
- **2004 Ciments mélangés avec cendres volantes ou laitiers de haut fourneau (ciments binaires)**

### *4 - Évolution des normes et devis*

- **CAN3-A23.1-M77 Béton – Constituants et exécution des travaux**
- **CAN3-A266.3-M78 Adjuvants minéraux pouzzolaniques pour le béton de ciment portland**
- **CAN3-A23.5-M82 Supplementary cementing materials and their use in concrete construction**
- **CAN3-A362-M1977 Blended hydraulic cements**
- **CSA A363-M1977 Cementitious hydraulic slag**

## *4 - Évolution des normes et devis*

- **CAN3-A23.1-M77 Béton – Constituants et exécution des travaux**

### **Supplément n° 1-1986**

#### **Art. 2.1**

- ajout des définitions du ciment, des ajouts cimentaires
- modification de la définition de la pouzzolane et du rapport eau/constituants cimentaires

#### **Art. 30.3.1.4**

- dosage en fumée de silice limité à 10 %

## *4 - Évolution des normes et devis*

- **1986 CCDG art. 12.01.4 Adjuvants**

- c) La teneur en fumée de silice dans le béton limitée à 6 % en masse de ciment (ajout à l'usine) et à 8 % (ajout à la cimenterie)

**CAN3-A23.5M « Constituants secondaires cimentaires utilisés dans les constructions en béton »**

## *4 - Évolution des normes et devis*

### **CSA A23.1-M90**

#### Art. 3.2

Introduction des ciments hydrauliques composés :

10 S portland au laitier de haut fourneau

10 SM portland à faible teneur en laitier de haut fourneau

10 F portland aux cendres volantes

10 FM portland à faible teneur en cendres volantes

10 SF portland aux fumées de silice

## *4 - Évolution des normes et devis*

### **1993 CCDG, art. 12.01.4 Adjuvants**

#### – 12.1.4.1 Ajouts cimentaires

« les pouzzolanes, les cendres volantes, les laitiers granulés de haut fourneau et les fumées de silice »

CAN3.A23.5M «Ajouts cimentaires» et CAN / CSA-A363-M «Laitier hydraulique cimentaire»

#### *4 - Évolution des normes et devis*

##### **Devis 3VM-10 Béton conventionnel – Ville de Montréal**

- 1998  
20 à 30 % de GUb-SF + 70 à 80% de GU
- 2001  
20 à 30 % de GUb-SF, GUb-F/SF ou de GUb-S/SF + 70 à 80% de GU

#### *4 - Évolution des normes et devis*

##### **Devis 3VM-20 pour le BHP – Ville de Montréal**

- 1995 - premier devis
- 1998 - version élaborée  
GUb-SF à 100%
- 2001 - ciments ternaires GUb-S/SF  
et GUb-F/SF sont permis

## 4 - *Évolution des normes et devis*

### **Compendium des matériaux liants CAN/CSA A3000-98**

CSA A5 Ciments portlands	CSA A456.1 Essais chimiques
CSA A23.5 Ajouts cimentaires	CSA A456.2 Essais physiques
CSA A362 Ciments hydrauliques composés	CSA A456.3 Matériaux et équipements
CSA A363 Laitier hydraulique cimentaire	

## 4 - *Évolution des normes et devis*

### **CAN/CSA **A3001-03** - Changements pour les ciments hydrauliques composés**

- Ciments hydrauliques composés peuvent contenir jusqu'à trois ajouts cimentaires (binaires, ternaires et quaternaires)
- Exigences chimiques et physiques ont été établies pour les ciments composés.

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

Trottoirs de béton (1983) – FS ajoutée à l'usine jusqu'à 20 % de remplacement du ciment, E/L élevé → écaillage

Par la suite, l'industrie limite l'ajout de FS à 10 % maximum de remplacement du ciment Portland et préconise le mélange à la cimenterie → amélioration marquée

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

1990

Béton à haute résistance (> 70 MPa)

Utilisation de ciment avec FS et superplastifiants

1990 et +

Utilisation courante par le MTQ pour les ouvrages routiers (glissières et tablier de viaducs et de ponts) de béton contenant un ciment avec fumée de silice et superplastifiant tout en limitant le rapport E/L à 0,40-0,45 maximum en fonction de la résistance à la compression → très bon succès

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

**Principaux avantages : faible perméabilité aux ions chlore et très bonne résistance mécanique**

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

**1984**

**Colonne expérimentale dans l'édifice  
La Laurentienne à Montréal**

**6 % de FS (100 MPa)**

## 5 - Principales réalisations au Québec

1989 - Construction de 6 blocs de 50 m<sup>3</sup> (2,5 x 4 x 5 m)

	<i>Bloc # 1 Type 10</i>	<i>Bloc # 2 maigre 10+CV</i>	<i>Bloc # 3 riche 10+CV</i>	<i>Bloc # 4 Type 20M</i>	<i>Bloc # 5 maigre 10+CV</i>	<i>Bloc # 6 10+LHF</i>
<b>Ciment (kg/m<sup>3</sup>)</b>	365	125	170	330	125	132
<b>CV (kg/m<sup>3</sup>)</b>	-	155	220	-	155	-
<b>Laitier HF (kg/m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-	-	190
<b>% Ajouts</b>	-	56%	56%	-	56%	60%
<b>Eau (kg/m<sup>3</sup>)</b>	181	128	125	175	115	120
<b>E/L</b>	0,50	0,45	0,32	0,53	0,41	0,37

## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.1 Fumée de silice (FS)

**1993**

**Maîtrise sur le remplacement de 10 %  
de ciment de type 20M par de la fumée  
de silice**

## 5 - Principales réalisations au Québec

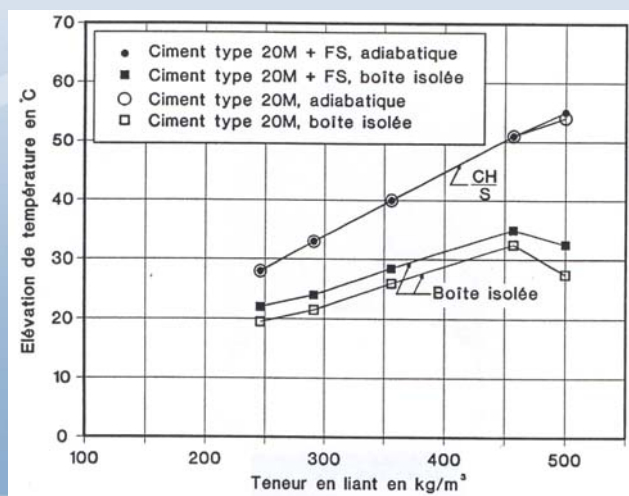


### 5.1 Fumée de silice (FS)



## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.1 Fumée de silice (FS)



## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

1994 Pont Wellington (ciment type 10 SF)



## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

**Viaduc Edouard Montpetit (2000)**



## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.1 Fumée de silice (FS)**

#### **Autoroute Décarie (2000 à 2003)**



## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.2 Cendres volantes**

1993-1994

Lac Robertson (Béton compacté au rouleau,BCR)

- Bande d'essais (450 m<sup>3</sup>)
- Évacuateur de crues (1 500 m<sup>3</sup>)
- Barrage (27 800 m<sup>3</sup>)



Lac Robertson

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.2 Cendres volantes**

**2000 et 2003**

Dérivation partielle de la rivière Manouane - digues et barrage ( BCR )

Digue 1 957 m<sup>3</sup> de béton

Barrage 3 000 m<sup>3</sup> de béton



## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.2 Cendres volantes**

**1995 et 2001**

Massifs d'entreposage des déchets radioactifs à  
la centrale nucléaire de Gentilly 2 ( BCR )

Volumes approximatifs : 8 171 m<sup>3</sup> et 8 320 m<sup>3</sup>

## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.2 Cendres volantes Centrale nucléaire de Gentilly 2



## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.2 Cendres volantes

<u>Projet</u>	<u>Ciment Portland</u>	<u>Ajout cimentaire</u>
Robertson	20 BA	Cendres volantes classe F
Gentilly 2	20 M	Cendres volantes classe F
Manouane	20 M	Cendres volantes classe F
Proportion	50 %	50 %

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.2 Cendres volantes**

**Principal avantage : diminution de la chaleur d'hydratation**

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.3 Ciments ternaires (2000 et + )**

Ciment portland (70 % ±)

Fumée de silice (7 % ±)

Cendres volantes ou laitier de haut fourneau (20 à 25 %)

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.3 Ciments ternaires**

Infrastructures routières : glissières de sécurité, tablier de viaducs et de ponts, dalles d'autoroutes

Principaux avantages : faible perméabilité aux ions chlore et bonne résistance mécanique

## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.3 Ciments ternaires**

Faiblesse : résistance à l'écaillage en présence de sels déglaçants

Résultats en laboratoire : perte élevée à l'écaillage (1 kg/m<sup>2</sup> et plus)

Performance en chantier : bonne à date (depuis 5 ans et +) (exceptions)





## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.3 Ciments ternaires – Autoroute 40**



## *5 - Principales réalisations au Québec*

### **5.4 Ciments binaires**

- ciments composés avec fumée de silice (très bonne performance avec 10 % de fumée de silice max, et  $E/L \leq 0,45$ )
- ciments composés à l'usine avec laitier de haut fourneau – 15 à 20 % de laitier, (l'utilisation a débuté et la performance semble être bonne mais la recherche et les essais se poursuivent)

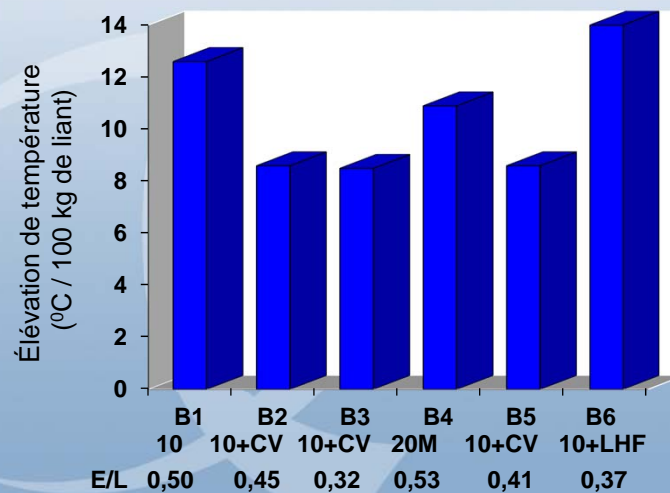
## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.4 Ciments binaires

- ciments composés avec cendres volantes : peu d'utilisation à date, sauf sur des projets spéciaux

## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.4 Ciments binaires (blocs de béton)



## 5 - Principales réalisations au Québec

### 5.4 Ciments binaires (blocs de béton)

Bloc	E/L	Liant kg/m <sup>3</sup>	Pertes d'écaillage kg/m <sup>2</sup>		
			dalles	carottes	125 épandages 1995-96 É.V. 2000
T 10	0,50	365	0,6	0,4	1
T10+CV	0,45	280	10,5	17,8	5
T10+CV	0,32	390	2,1	5,5	1
T20M	0,53	330	1,9	2,7	1
T10+CV	0,41	280	10,3	-	-
T10+L	0,37	322	0,6	0,2	1

É.V. – évaluation visuelle

## 6 - Résumé des avantages et des faiblesses

- réduction de la chaleur d'hydratation (réduction du retrait thermique)
- réduction de la perméabilité (réduction de la corrosion, amélioration de la résistance aux sulfates, à la RAG, à l'eau de mer)
- avantage environnemental (une tonne de ciment → une tonne de CO<sub>2</sub>)

## **6 - Résumé des avantages et des faiblesses**

- retard de prise, résistance à la compression à jeune âge plus faible
- mûrissement plus long
- résistance à l'écaillage controversée

## **Conclusion**

- Chacun de ces ajouts cimentaires présentent des avantages certains mais également certaines faiblesses
- Respecter les rapports E/L maximum spécifiés
- Contrôle de la qualité des ajouts cimentaires
- Contrôle de la qualité en chantier
- Recherche et essais

**MERCI DE VOTRE ATTENTION !**

