

**OPERATION CHAUSSEES URBAINES
DEMONTABLES**

-

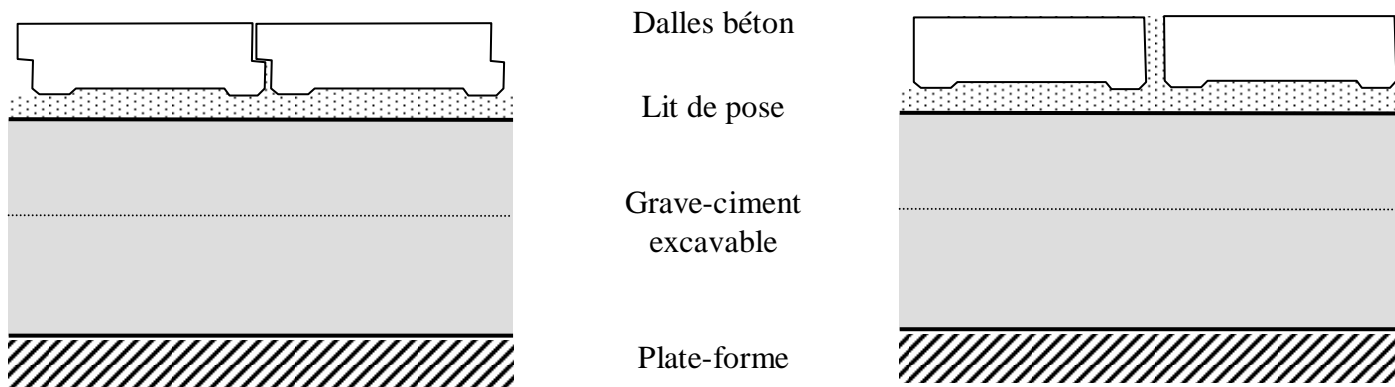
SEMINAIRE DE RESTITUTION

La grave ciment excavable

T. SEDRAN
LCPC

Une GCE pourquoi faire?

- Principe d'une structure CUD



Une GCE pourquoi faire?

- Matériau structurel permettant de résister au trafic
- Matériau excavable à l'aide d'une pelle mécanique ($\leq 7,5$ t) pour atteindre les réseaux
- Matériau lié pour obtenir des bord de tranchées nets et stables
- Les produits fluides de remblayage: la fluidité n'est pas adaptée à une mise en œuvre en grande surface:
 - Problème de pente
 - Problème de coffrage

Cahier des charges

- Résistance au trafic. A posteriori on fixe $R_{tb} > 0,16$ MPa (pour compatibilité avec l'excavabilité)
- Excavabilité à l'aide d'une pelle mécanique: ?
- Faible sensibilité au gel dégel: ?

Choix préliminaires

- D_{\max} limité à 10 mm
 - les granulats sont les points durs
- Liant composé de clinker et de filler
 - on veut une excavabilité à long terme
 - on exclut les pouzzolanes et les laitiers qui développent des performances à long terme

Excavabilité

- Pas de critère fiable pour statuer sur l'excavabilité
- Campagne d'excavation au LCPC sur 3 plots de 2m x 3,5m x 0,4m
- 3 formules à résistance croissante

Excavabilité

	GC0.5-2.24	GC1.1-2.235	GC1.7-2.23
Pontreaux 6,3/10 (%)	27	27	27
Pontreaux 2/6,3 (%)	19	19	19
Pilier 0/4 (%)	44	44	44
CEM I 52.5 St Pierre la Cour (%)	0,5	1,1	1,7
Filler Betocarb P2 Erbray (%)	9,5	8,9	8,3
W visée (%)	5,9	5,9	5,9
ρ_d visée	2,24	2,235	2,23

Excavabilité

- A trois échéances (15j, 28j, 230 j)
 - R_c , R_{tb} , E
 - Essai à la pelle
 - Critère: nombre de coups pour atteindre le fond du plot (40 cm)

Excavabilité



Excavable
Pelle 4,5 t

Excavabilité



Excavable
Pelle 4,5 t

Opération Chaussées Urbaines Démontables

Séminaire de restitution – 9 octobre 2008



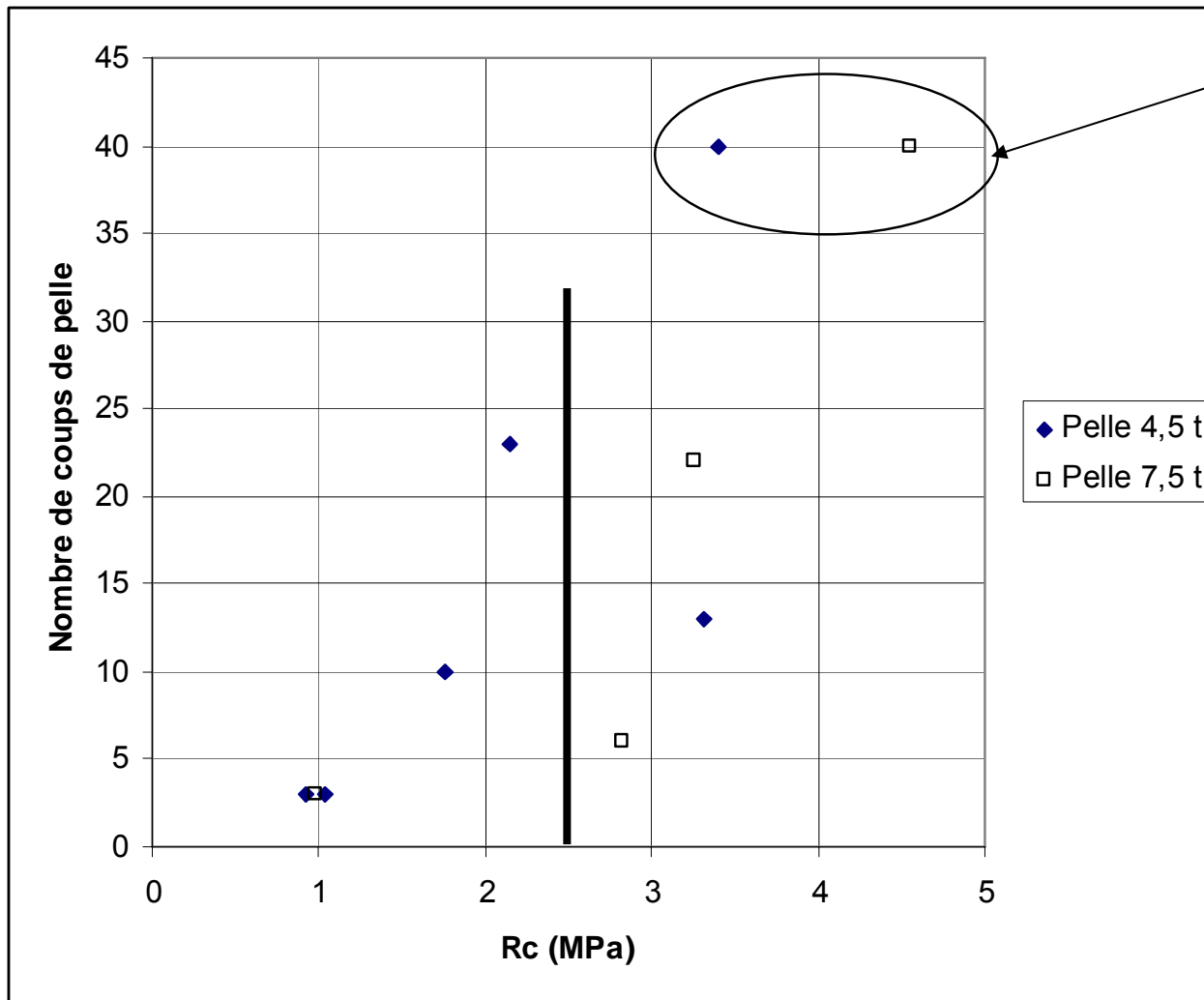
Pelle 7,5 t

Excavabilité



Non excavable

Excavabilité

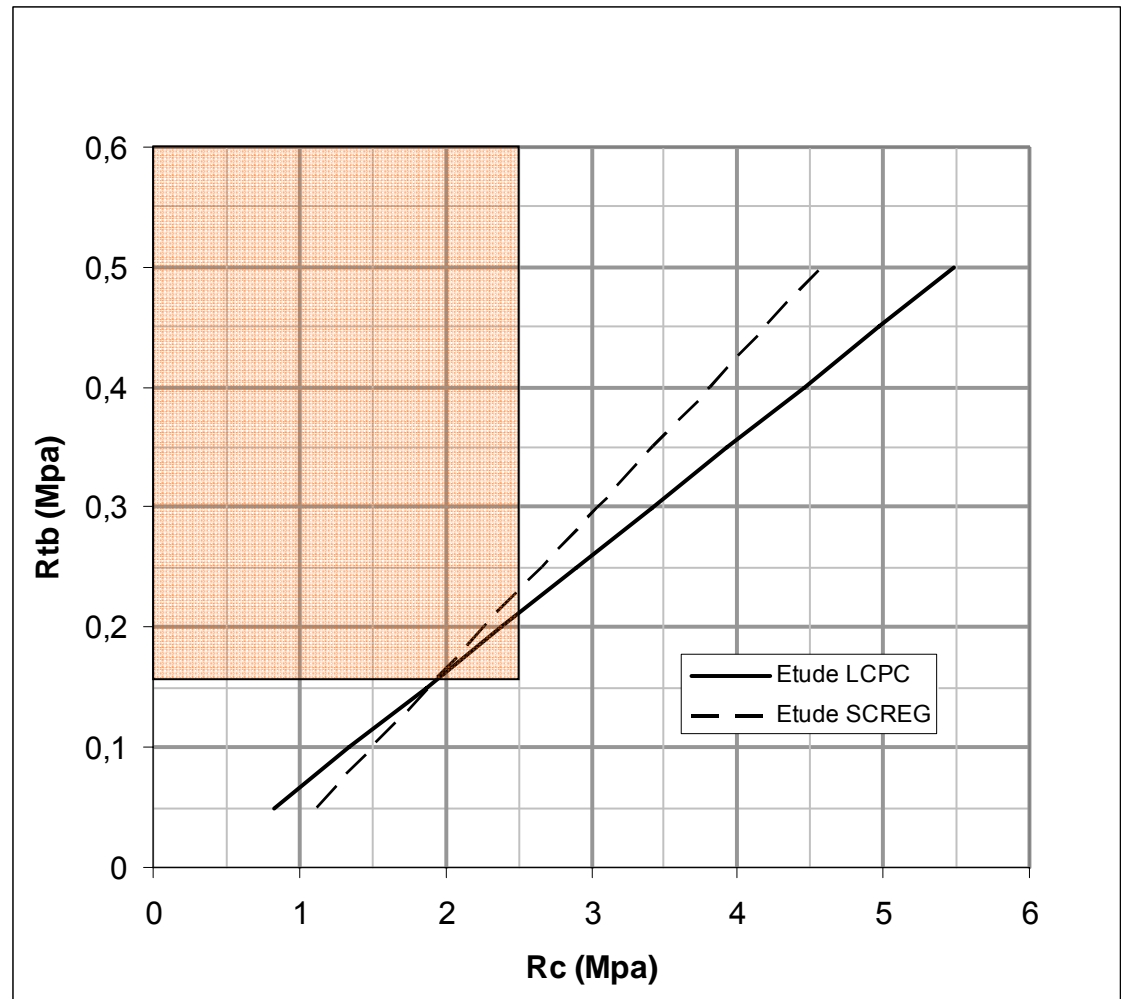


Non
excavables

Grave
Excavable
↔ $R_c < 2,5$
Mpa

Cahier des charges

- $R_c < 2,5$ MPa
- $R_{tb} > 0,16$ MPa
- → une fenêtre étroite
- → attention aux dosages en ciment



Excavabilité



- Matériau testé sur le manège de fatigue du LCPC (>120 000 passages)
- Excavable en 22 coups avec une pelle de 7,5 t

	Essais à 28 jours (cure à 20°C)	Essais à 105 jours (cure in situ)
R _c (MPa)	2,66 MPa	3,25 MPa
R _t (MPa)	0,21 MPa	0,23 MPa
E (MPa)	5700 MPa	5900 MPa

Résistance au gel

- Constat: la surface des plots pour $C=0,5\%$ et $1,1\%$ on tendance à s'effriter après un premier hiver sans aucune étanchéité, ni protection thermique
- Sur une CUD, il sera difficile d'éviter complètement les arrivées d'eau et les dalles ne font pas un bouclier thermique important
- → nécessité d'étudier le comportement au gel de la GCE

Résistance au gel

- Essai de gélifraction NF P 98 234-2:
 - essai pour grave traitée
 - évolution de R_{tb} après des cycles de gel dégel
- Essai de cryosuccion NF P 98 234-1:
 - essai de sol
 - suivi du gonflement pour des éprouvettes soumises à une arrivée d'eau par le bas et un front de gel par le haut

Résistance au gel

Préparation des éprouvettes
avant mise en cellule



Appareillage de congélation
de mesure de gonflement



Démoulage des
éprouvettes après essai



Immersion dans l'eau
pendant 24h à $20 \pm 5^\circ\text{C}$



Cycle de gel-dégel dans
l'enceinte climatique



Fendage des éprouvettes



Opération Chaussées Urbaines Démontables

Séminaire de restitution – 9 octobre 2008

Résistance au gel

- Essais réalisés au LR de Nancy

	%
Pontreaux 6,3/10 (%)	27
Pontreaux 2/6,3 (%)	19
Pilier 0/4 (%)	44
Ciment 52.5 St Pierre la Cour (%)	1,1
Filler calcaire Betocarb P2 Erbray (%)	8,9
W totale* visée (%)	5,9
ρ_d visé	2,2

- Gélifraction: $0,116 \text{ MPa} / 0,125 \text{ MPa} = 93\%$ → peu gélif
- Cryosuccion: $0,54 \text{ mm}/(^{\circ}\text{C.h})^{-0,5}$ → très gélif ($>0,4$)

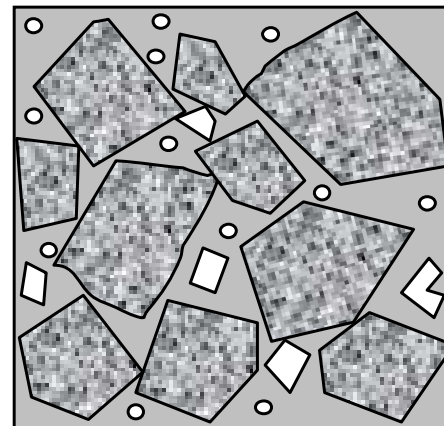
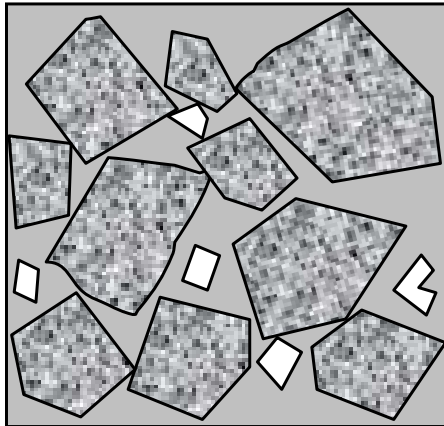
Résistance au gel

- Eprouvette après cryosuccion



Résistance au gel

- Nécessité d'adapter la formule de grave
- Rôle de l'air entrainé connu pour protéger les bétons
- Incorporation d'un agent entraîneur d'air dans la grave



Résistance au gel

	%
Pontreaux 6,3/10 (%)	27
Pontreaux 2/6,3 (%)	19
Pilier 0/4 (%)	44
Ciment 52.5 St Pierre la Cour (%)	1,1
Filler calcaire Betocarb P2 Erbray (%)	8,9
Agent entraîneur d'air Cimpore AE260 (% par rapport à C+F)	0,3
W totale visée (%)	4,8
ρ_d visé	2,12

- Gélifraction: $0,118 \text{ MPa} / 0,149 \text{ MPa} = 79\% \rightarrow$ peu gélif
- Cryosuccion: $0,01 \text{ mm}/(^{\circ}\text{C.h})^{-0,5} \rightarrow$ non gélif

Résistance au gel

- ➔ entraîner 4 à 5% d'air avec un agent entraîneur d'air permet de rendre la grave excavable non gélive

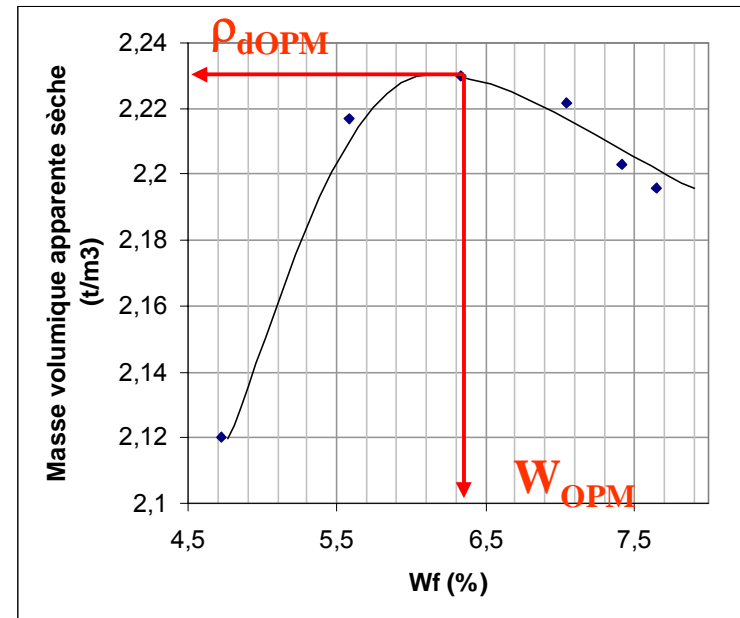
Formulation d'une GCE

- $D_{max} < 10$ mm
- Choix d'une granularité dans le fuseau de l'annexe B de la norme NF EN 14227-1
- Liant composé de clinker et de filler
- Teneur en clinker de l'ordre de 1%
- Choix d'un agent entraîneur d'air puissant

Formulation d'une GCE

- Détermination de l'optimum proctor de la formule sans agent entraîneur d'air →
 W_{opm} et ρd_{opm}

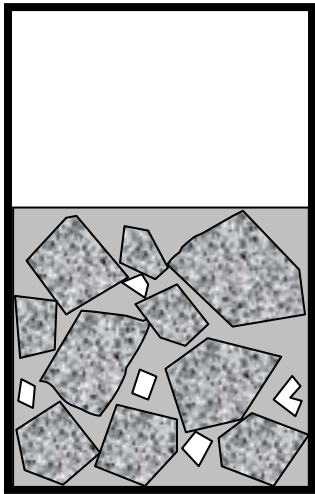
W_f = teneur en eau
finale après
compactage



Formulation d'une GCE

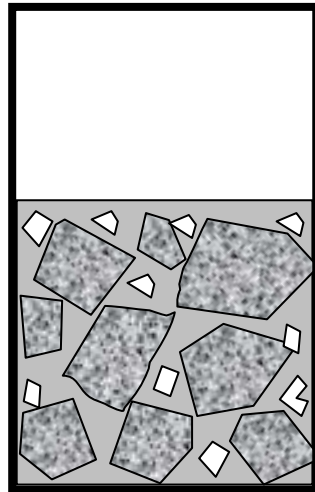
- Insertion d'un fort dosage d'agent entraîneur d'air: de l'ordre de 1,5 fois la dose max par rapport au ciment+filler pour avoir 4% d'air
- $W \approx W_{opm} - 1\%$
 - rôle lubrifiant de l'ai entraîné
 - à ajuster pour un compactage aisé
- $\rho d = (1-A) \rho d_{opm}$ avec $A \approx 4\%$
 - Hyp: la baisse de densité est due uniquement à l'air entraîné

Formulation d'une GCE

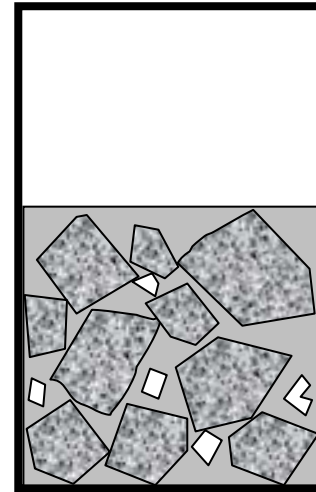


$$\rho_d > \rho_{d_{opm}}$$

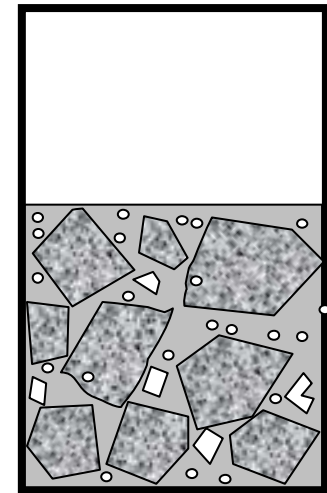
Sans entraîneur d'air



$$\rho_d < \rho_{d_{opm}}$$



$$\rho_d > \rho_{d_{opm}}$$



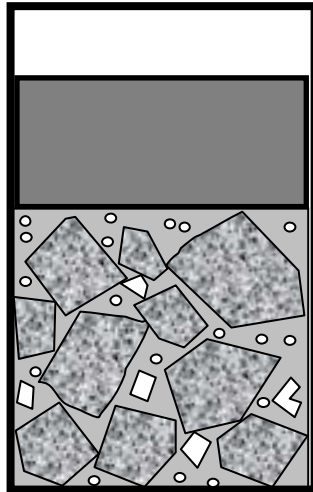
$$\rho_d < \rho_{d_{opm}}$$

Avec entraîneur d'air

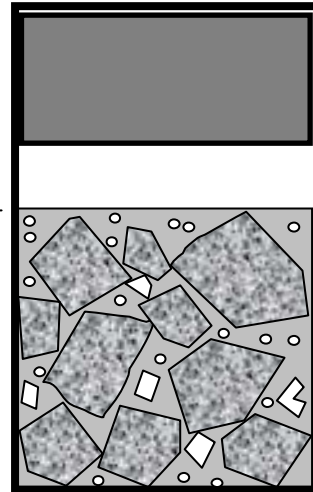
Formulation d'une GCE

- On ne sait pas mesurer directement l'air entraîné: pas de distinction entre vides de compactage et air entraîné
- Observation au microscope (facteur d'espacement) impossible car polissage impossible (Etude au LRPC de Lyon)
- Ajustement de l'agent entraîneur d'air:
 - par observation du « retour élastique » dû à l'air entraîné lors du compactage

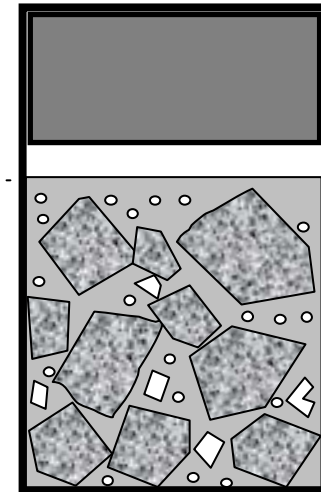
Formulation d'une GCE



$$\rho_d = 0,96 \rho_{d_{opm}}$$



$$\rho_d = 0,96 \rho_{d_{opm}}$$



$$\rho_d < 0,96 \rho_{d_{opm}}$$

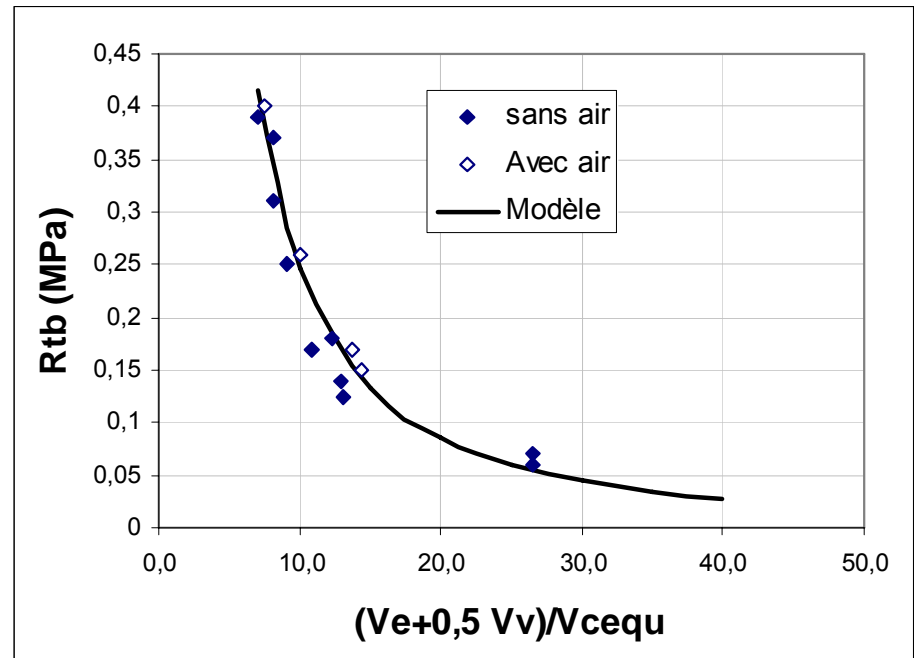
→ dosage d'agent
entraîneur d'air trop
élevé

Performances mécaniques

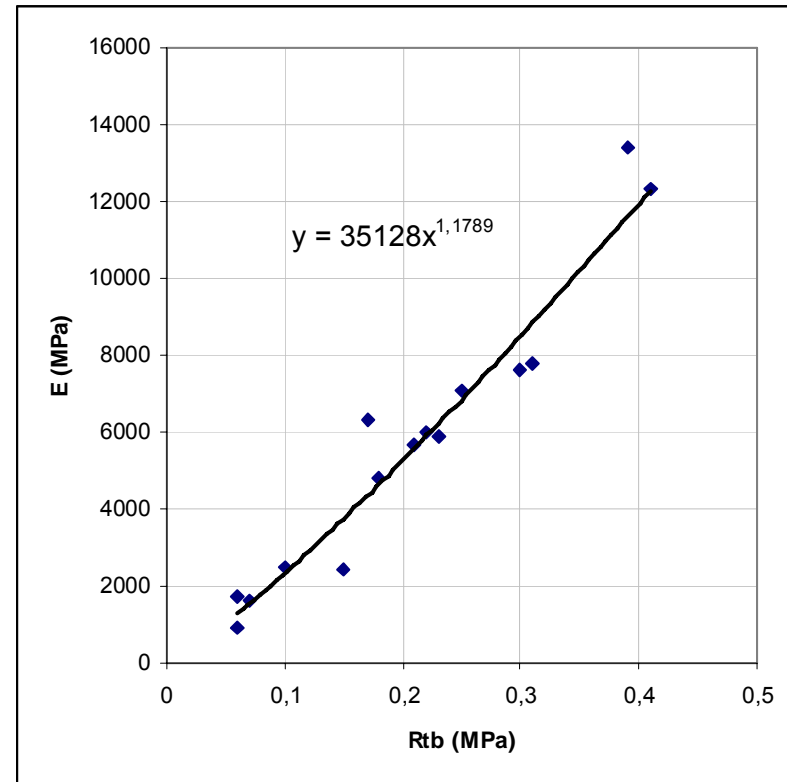
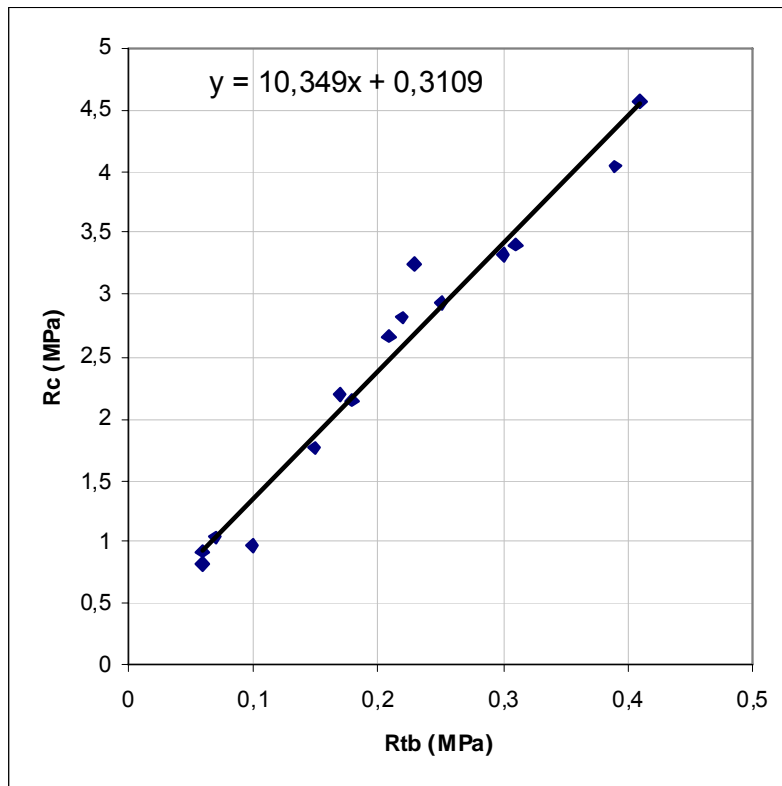
$$R_{tb} = 12,6 \left(1 + \rho_c \frac{V_E + 0,5V_v}{C_{equ}} \right)^{-1,64}$$

$$C_{equ} = C \left[1 + 0,054 t_{C3A} \left(1 - \exp \left[-19,16 \frac{F}{t_{C3A} \cdot C} \right] \right) \right]$$

Relation valable sur la plage observée
Erreur moy 0,02 MPa



Performances mécaniques



Relations valables sur la plage observée

Fabrication et mise en oeuvre

- Attention au dosage en ciment:
 - Dosage de l'ordre de 25 kg/m^3
 - $\pm 2 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \pm 0,3 \text{ Mpa}$
 - Intérêt de gâchées de 2 m^3
 - Fabrication en centrale continue a priori impossible
 - Possibilité d'utiliser du ciment composé mais uniquement de type L ou LL, ou un premix
- Importance d'un essai de convenance:
 - Précision du dosage du ciment
 - Définition de l'atelier de compactage
 - Vérification de l'excavabilité
 - Eventuellement essais de gel

Conclusion

- La GCE: une nouvelle famille de matériaux résistants au trafic et excavables
- On vise $R_{tb_{28}} > 0,16$ MPa
- Critères d'excavabilité:
 - $R_{c_{28}} < 2,5$ MPa, pour l'instant pour une pelle de 7,5 t
 - à affiner
- Une teneur en clinker faible (≈ 25 kg/m³) → point positif sur le bilan carbone

Conclusion

- Une fabrication qui nécessite de pouvoir peser le ciment $\approx 25 \pm 2,5 \text{ kg/m}^3$:
 - Réalisable en BPE (mais limite)
 - Augmenter les pesées visées → utiliser
 - un CEM II L ou LL
 - un premix clinker+filler mais attention au dosage précis du ciment!!
- Une méthode de formulation proposée
- Comment mieux contrôler l'air entraîné?

Conclusion

- Une formule type

	En kg/m ³ en place (sur granulats secs)
Gneiss 6,3/10	580
Gneiss 2/6,3	408
Pilier 0/4	946
Ciment CEM I 52.5 N	23,7
Filler calcaire	191,4
Agent entraîneur d'air	0,6
W d'ajout	102,6
Densité sèche ρ_d visée en place	2,15
Rc attendu (MPa)	2,1
Rtb attendu (MPa)	0,17
E attendu (MPa)	4200

Merci de votre attention !