

# DURABILITÉ DES BÉTONS: LA NOUVELLE APPROCHE PERFORMANTIELLE FONDÉE SUR LES INDICATEURS DE DURABILITÉ

PR.M.CARCASSES, DR.MP.CUBAYNES, DR.F.CASSAGNABÈRE, I.ALLAHIARY.

COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES LPEE ET LMDC  
**18 DÉCEMBRE 2013, RABAT.**

## **Plan de la présentation.**

**Les indicateurs de durabilité,  
ou comment caractériser la durabilité des bétons?**

- I. Le LMDC et le LPEE.**
- II. Le béton dans son environnement: La norme EN206-1.**
- III. Les méthodes de formulation: Les 2 approches.**
- IV. Les indicateurs de durabilité généraux.**
- V. Les projets de recherche en cours.**

# I. Le LMDC et le LPEE.

# I. Le LMDC et le LPEE.

## I.1. Le LMDC.

Le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC) = Laboratoire universitaire de recherche: Université Paul Sabatier et INSA de Toulouse.

Objectifs: Le LMDC propose des solutions scientifiques permettant un développement durable et une gestion éco-responsable du patrimoine immobilier, infrastructures de génie civil et habitat.

Effectifs: 38 enseignants/chercheurs, 9 personnels techniques et administratifs, 40 doctorants.

Organisation: 3 Pôles de recherche.

Pôle 1: Matériaux Innovants pour le Génie Civil.

**Pôle 2: Durabilité des Matériaux et des Ouvrages.**

Pôle 3: Requalification, diagnostic et maintenance.

4 services techniques:

Chimie-microstructure,  
Physique,  
Mécanique,  
Informatique et modélisation.



Division Transfert de Technologie:

Valorisation de l'expertise « Matériaux » et « Structure »: Contrats privés.

# I. Le LMDC et le LPEE.

---

## I.2. Collaborations entre le LPEE et le LMDC.

Quelques collaborations récentes entre les deux laboratoires:

- Etude d'un béton de structure (BHP) pour la réhabilitation de la Mosquée de Casablanca dans le cadre de la thèse de doctorat de F.Deby (*Deby, 2008*).
- Mise en place de l'essai de carbonatation accélérée basé sur le protocole AFPC-AFREM.
- Participation à la base de données AFGC.
- Utilisation de métakaolin dans la formulation de bétons pour une application en milieu marin (R.Bucher).



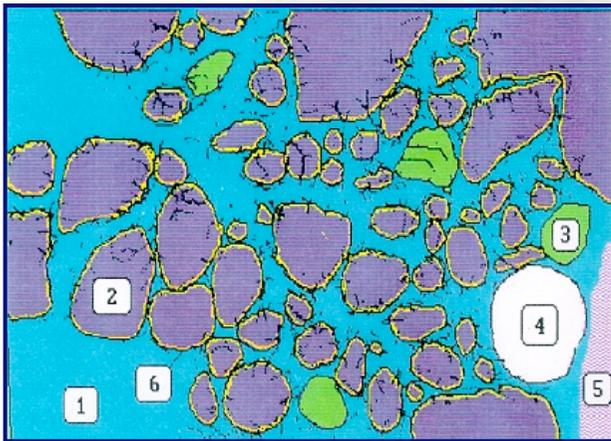
## II. Le béton dans son environnement: La norme EN206-1.

## II. Le béton dans son environnement: la norme EN206-1.

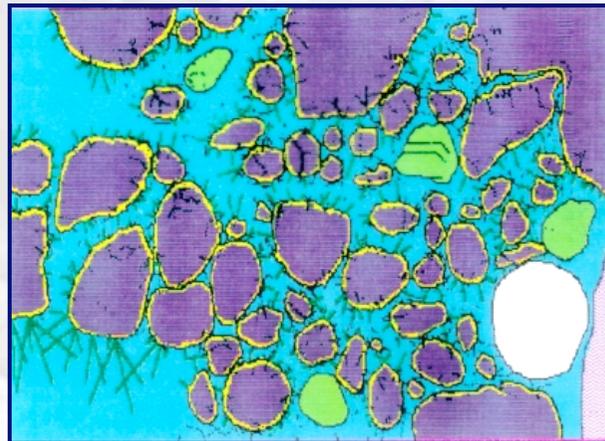
### II.1. Le Béton = matériau poreux.

Béton → Matériau synthétique = Squelette granulaire consolidé par une matrice de liant (pâte) qui s'hydrate et durcit dans le temps.

$T_0 + 1$  heure



$T_0 + 2$  heures

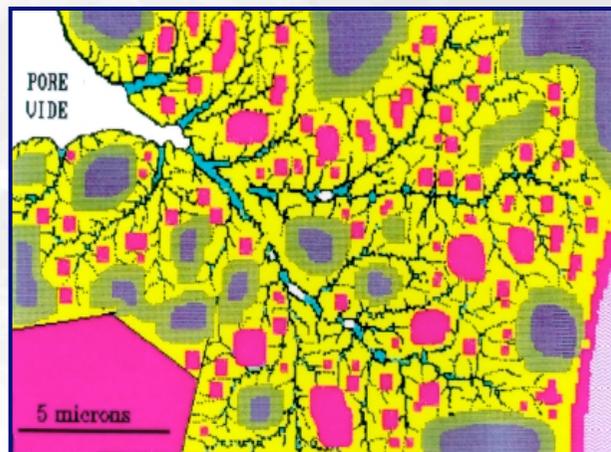


$T_0 + 5$  heures

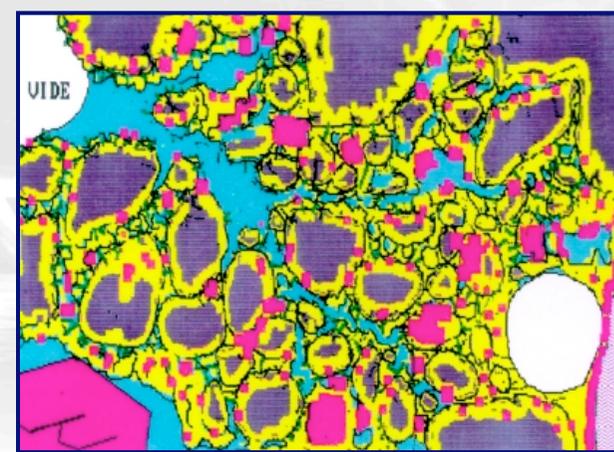


Schématisation de l'hydratation du ciment dans un béton (Vernet et Cadoret, 1992).

$T_0$ : contact eau/matière sèche 1: Eau 2: Phases anhydres 3: Gypse 4: Air 5: Granulats 6: Hydrates



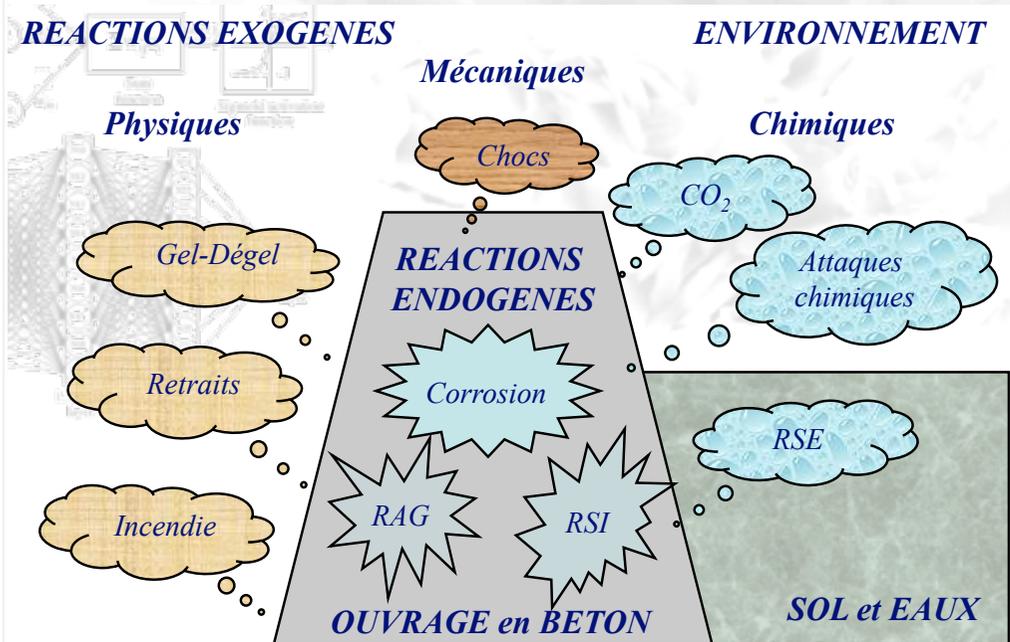
$T_0 + 28$  jours



$T_0 + 1$  jour

## II. Le béton dans son environnement: la norme EN206-1.

### II.2. Le matériau « béton » dans son environnement.



Récapitulatif des attaques du béton dans son environnement (Escadeillas, 2011)



## II. Le béton dans son environnement: la norme EN206-1.

### II.3. Le contexte normatif.

La norme « **BÉTON** » = (**NF EN- 206-1**): « Béton: Spécification, performance, production et conformité »

Les classes d'exposition: Cas courants.

Classe d'exposition	Description de l'environnement	Exemples d'application	Classe de résistance minimale	
Aucun risque de corrosion ni d'attaque				
X0	Sec et à l'abri	Béton non armé ne subissant aucune agression. Intérieur du bâtiment.	-	
Corrosion induite par carbonatation				
Classes courantes	XC1	Sec ou humide en permanence	Béton à l'intérieur du bâtiment où le taux d'humidité de l'air ambiant est faible	C20/25
	XC2	Humide, rarement sec	Surface de béton soumise au contact à long terme de l'eau	C25/30
	XC3	Humidité modérée	Béton à l'intérieur du bâtiment où le taux d'humidité de l'air ambiant est moyen ou élevé. Béton extérieur abrité.	
	XC4	Alternance d'humidité et de séchage	Surfaces soumises au contact de l'eau mais n'étant pas dans la classe XC2.	
	Attaque gel / dégel avec ou sans agent de déverglaçage		Béton en milieu humide, soumis à des attaques significatives de gel/dégel	
	XF1	Saturation modérée en eau avec agents de déverglaçage	Surfaces verticales de béton exposées à la pluie et au dégel (ex : voiles de façade)	C25/30
	XF2	Saturation modérée en eau avec agents de déverglaçage	Surfaces verticales de bétons des ouvrages routiers exposées au gel et à l'air véhiculant des agents de déverglaçage	C25/30
	XF3	Forte saturation en eau, sans agents de déverglaçage	Surfaces horizontales de bétons exposées à la pluie et au gel	C30/37
	XF4	Forte saturation en eau avec agents de déverglaçage ou eau de mer	Routes et tabliers de pont exposés aux agents de déverglaçage et au gel. Structures marines soumises aux projections et exposées au gel.	C30/37

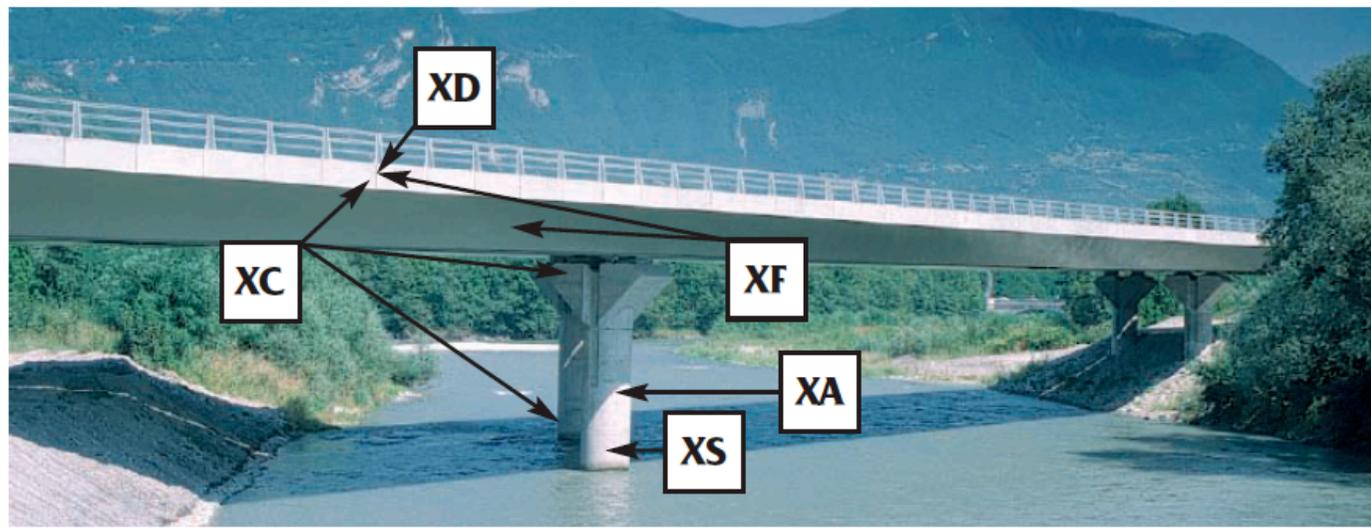
## II. Le béton dans son environnement: la norme EN206-1.

### II.3. Le contexte normatif.

La norme « **BÉTON** » = (NF EN- 206-1): « Béton: Spécification, performance, production et conformité »

Les classes d'exposition: Cas réels.

*Exemple de classes d'exposition pour un pont.*



XC: Corrosion par carbonatation.

XD: Corrosion par Cl<sup>-</sup>.

XF: Gel/Dégel.

XA: Attaque chimique.

XS: Corrosion par Cl<sup>-</sup> marin.

### III. Les méthodes de formulation: Les 2 approches.

### III. Les méthodes de formulation: les 2 approches.

#### III.1. Méthode prescriptive vs Méthode performantielle.

Deux méthodes de formulation autorisées:

##### Approche « prescriptive »

Dans la composition du béton → Limites imposées par la norme EN-2061 et/ou prescriptions dans le choix des matériaux:

*(Tableaux NAF-1 et NAF-2)*

- Rapport maximal eau/ciment.
- Dosage minimal en ciment.
- Teneur limitée en addition.

*Obligation de moyens*

##### Approche « performantielle »

Basée sur la définition d'indicateurs:

- Comparaison de ces indicateurs avec des valeurs seuils (*Baroghel-Bouny, 2008*).
- Utilisation de modèles décrivant des mécanismes de dégradation (*Hyvert, 2009*).
- Application du concept de performance équivalente (*Rosière & Cussigh, 2009*).

*Obligation de performances*

**Justification de l'utilisation d'indicateurs de durabilité** ←

### III. Les méthodes de formulation: les 2 approches.

#### III.2. Méthode performantielle: Utilisation de seuils.

Méthode basée sur une durabilité potentielle établie à partir de seuils d'indicateurs généraux ou de substitution. Selon (Baroghel-Bouny, 2004), 5 classes de durabilité potentielle selon:

- porosité,
- résistivité,
- diffusivité,
- perméabilité.

		Classes et valeurs limites				
Durabilité potentielle →		Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
G	Porosité accessible à l'eau (%) $P_{eau}$		14 à 16	12 à 14	9 à 12	6 à 9
S	Porosité mesurée par intrusion de mercure ( $P_{Hg\ max} = 400\ MPa$ et prétraitement par étuvage à $T = 45\ ^\circ C$ pendant 14 jours en présence de gel de silice) (%) $P_{Hg}$	> 16	13 à 16	9 à 13	6 à 9	3 à 6
S	Résistivité électrique ( $\Omega.m$ ) $\rho$	< 50	50 à 100	100 à 250	250 à 1000	> 1000
G	Coefficient de diffusion <i>effectif</i> des chlorures ( $10^{-12}\ m^2.s^{-1}$ ) $D_{eff}$	> 8	2 à 8	1 à 2	0,1 à 1	< 0,1
G	Coefficient de diffusion <i>apparent</i> des chlorures (mesuré par essai de migration) ( $10^{-12}\ m^2.s^{-1}$ ) $D_{app(mig)}$				1 à 5	< 1
G	Coefficient de diffusion <i>apparent</i> des chlorures (mesuré par essai de diffusion) ( $10^{-12}\ m^2.s^{-1}$ ) $D_{app(dif)}$	> 50	10 à 50	5 à 10		< 5
G	Perméabilité apparente aux gaz (à $P_{entrée} = 0,2\ MPa$ et après étuvage à $T = 105\ ^\circ C$ ) ( $10^{-18}\ m^2$ ) $K_{gaz}$	> 1000	300 à 1000	100 à 300	10 à 100	< 10
G	Perméabilité à l'eau liquide (à $P_{max}$ , par mesure directe du flux, après saturation, cf. § 7.2.4.1 et 7.2.4.2) ( $10^{-18}\ m^2$ ) $k_{liq}^{(*)}$	> 10	1 à 10	0,1 à 1	0,01 à 0,1	< 0,01
Type de béton (indicatif et pour des formules simples)			B25 à B40	B30 à B60	B55 à B80	> B80

## III. Les méthodes de formulation: les 2 approches.

---

### III.3. Méthode performantielle: Modèles prédictifs.

Utilisation de modèles prédictifs pour les comportements de matériaux cimentaires dans des cas précis de dégradations spécifiques.

Quelques exemples de travaux récents:

- Thèse de doctorat de F.Deby (2008). *Approche probabiliste de la durée des bétons en environnement marin.*
- Thèse de doctorat de N.Hyvert (2009). *Application de l'approche probabiliste à la durabilité des produits préfabriqués en béton.*
- Thèse de doctorat J.Mai Nhu (2013). *Corrosion des armatures du béton: couplage carbonatation/chlorures en présence de cycles hydriques.*

### III. Les méthodes de formulation: les 2 approches.

#### III.4. Méthode performantielle: Concept d'équivalence.

Méthode basée sur les **indicateurs spécifiques** associés à une dégradation.

Comparaison entre un **béton de référence** et un **béton à qualifier**.

- formulé conformément selon la méthode prescriptive.
- pour un environnement donné (classe d'exposition).

- ne répondant pas à la méthode prescriptive (teneur en addition élevée, utilisation de constituants non normalisés...),
- que l'on cherche à qualifier pour une application.
- dans un environnement donné (classe d'exposition).

Environnement donné → Dégradation spécifique du matériau.

Utilisation d'essai de dégradation accélérée conduisant au même mécanisme pathologique.

Plusieurs exemples :

Gel/Dégel



Carbonatation



Réaction Sulfatique Externe



### III. Les méthodes de formulation: les 2 approches.

#### III.5. Les indicateurs de durabilité.

Les indicateurs généraux à tous les bétons.

Les indicateurs spécifiques relatifs à certaines dégradations du matériau dans son environnement.

##### **Les indicateurs de durabilité généraux** (Baroghel-Bouny, 2008)

- Porosité accessible à l'eau (NFP 18 459)
- Absorption par capillarité (AFPC-AFREM, 1998)
- Perméabilité aux gaz (AFPC-AFREM, 1998)
- Coefficient de diffusion des Cl<sup>-</sup> (NTBuild492)
- Teneur en Ca(OH)<sub>2</sub> (LCPC M48)

##### **Les indicateurs de durabilité spécifiques** (Rosière et Cussigh, 2009)

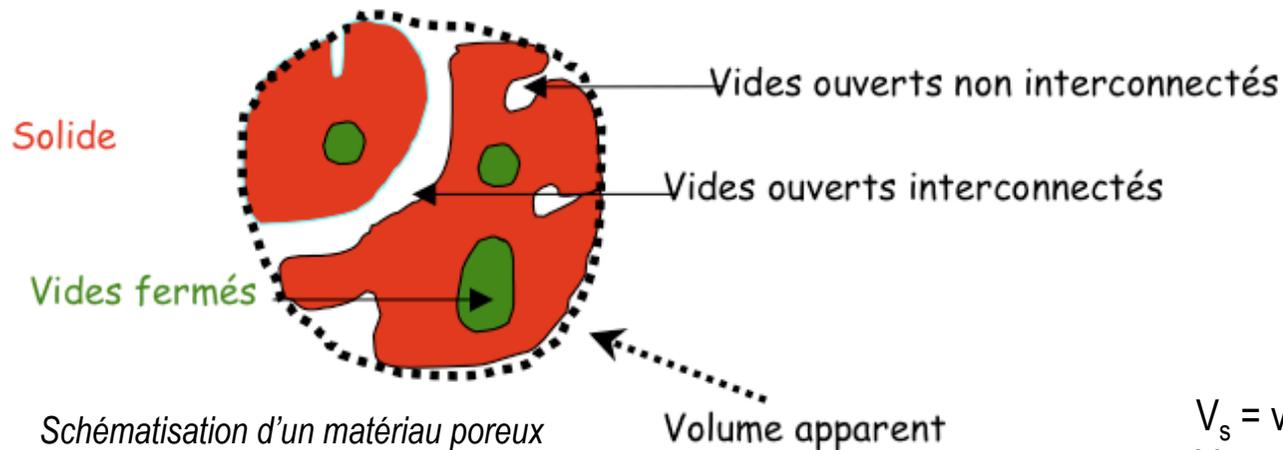
- Résistance aux cycles de gel-dégel (LCPC M22)
- Résistance aux attaques sulfatiques (LCPC M59, Messad 2009)
- Résistance à la carbonatation (NFP18B, AFPC-AFREM, 1998).
- ...



## IV. Les indicateurs de durabilité généraux.

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: *la porosité.*

### IV.1. Béton, un matériau poreux: *la porosité.*



$$\begin{aligned}V_s &= \text{volume du solide} \\V &= \text{volume des vides} = v_o + v_f \\V_a &= \text{volume apparent} = v_s + v\end{aligned}$$

### IV.2. Les porosités.

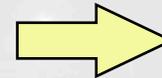
La porosité ouverte

$$p_o = \frac{v_o}{V_a}$$

+

La porosité fermée

$$p_f = \frac{v_f}{V_a}$$



La porosité totale

$$p = \frac{v}{V_a} = p_o + p_f$$

→ Méthode retenue = Porosité accessible à l'eau

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: *la porosité.*

### IV.3. Le protocole (NFP 18 459).

Porosité accessible à l'eau :  $p_o$

- saturation sous vide 48 heures avec  $P=25$  mBar,
- pesée :  $m_{sat}$
- mesure du volume apparent par pesée hydrostatique:  $V_a$
- séchage à  $105^\circ\text{C}$  :  $m_s$

$$p_o = \frac{v_o}{V_a} = \frac{m_{sat} - m_s}{V_a}$$



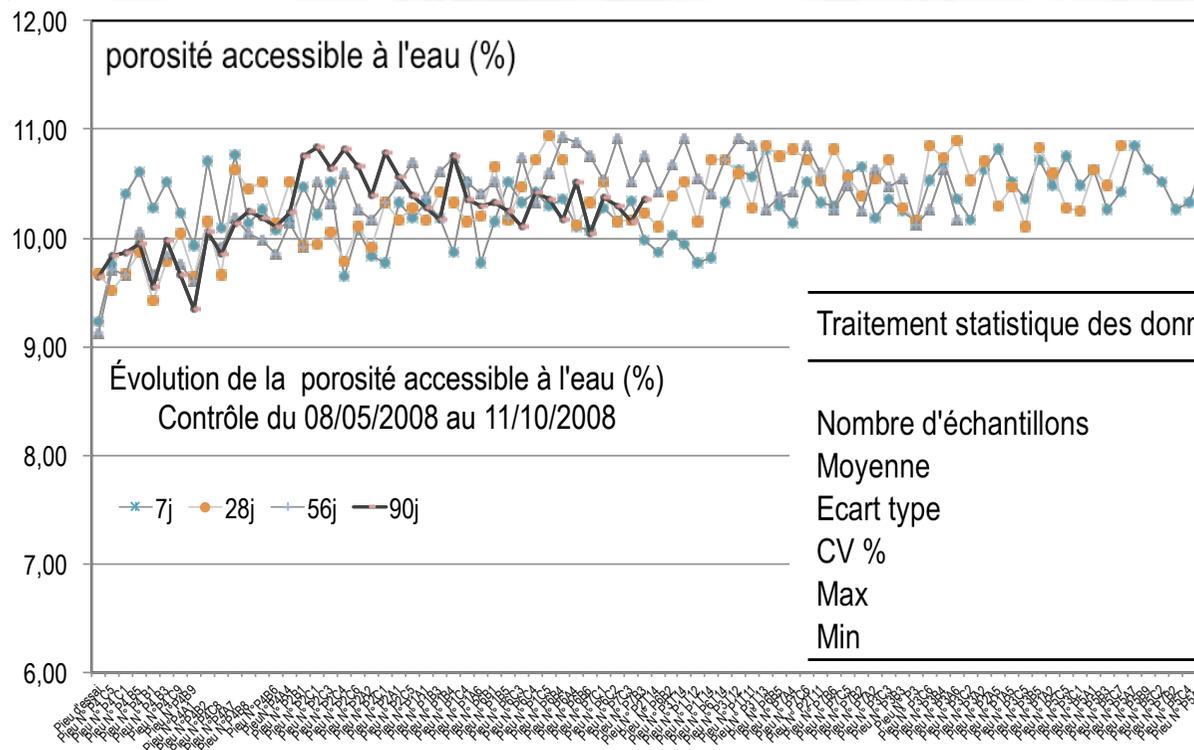
*Dispositif de saturation.*

Gamme de mesures: qqes % à 25% à 0,1% près.  
Mesure très reproductible et répétable.

Autre méthode pour la porosité totale: le broyage.

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: la porosité.

### IV.4. Résultats: Etudes sur un béton de pieux.



Etude de suivi de contrôle qualité d'un béton sur le chantier de la Mosquée Hassan II de Casablanca.

Traitement statistique des données de porosité à l'eau.

	7j	28j	56j	90j
Nombre d'échantillons	82	76	64	41
Moyenne	10,28	10,34	10,36	10,23
Ecart type	0,31	0,36	0,38	0,35
CV %	2,97	3,48	3,68	3,42
Max	10,82	10,94	10,93	10,83
Min	9,24	9,42	9,12	9,34

Chantier: Réhabilitation de la Mosquée Hassan II de Casablanca.

Utilisation: Béton de structure BHP ( $420 < L < 450 \text{ kg/m}^3$  dont 5%FS et 5% CV).

Suivi d'étude: LPEE.

Objectif: Autocontrôle de qualité.

Suivi de l'évolution de  $p_0$  sur 5 mois d'exécution.

4 échéances (de 7 à 90j).

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: la diffusion des Cl<sup>-</sup>.

### IV.1. Définition de la diffusion.

A l'échelle microscopique: transfert aléatoire des particules.

A l'échelle macroscopique: transport d'une espèce généré par un gradient de concentration.

Transport d'espèces → de la région de forte concentration vers les régions à concentration plus faible.

### IV.2. Loi de Nernst-Planck en conditions saturées.

Les processus de transport décrits selon l'équation de Nernst-Planck, pour chaque espèce ionique présente dans la solution interstitielle.

$$J_i = - \underbrace{D_i(\text{grad}(c_i))}_{\text{Diffusion}} - \underbrace{c_i(\text{grad } v_i)}_{\text{Activité}} + \underbrace{\frac{n_i F}{RT} c_i \text{grad}(\psi)}_{\text{Migration}}$$

### IV.3. Plusieurs méthodes expérimentales.

Essai en diffusion pure en régime permanent.

Essai en diffusion naturelle en régime transitoire par immersion (NTB492)

Essai de migration en régime permanent.

**Essai de migration en régime transitoire (NTBUILD492)**



Cellules de diffusion.

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: la diffusion des Cl<sup>-</sup>.

### IV.4. Migration en régime transitoire (NTBUILD492)

Méthode la plus employée à l'heure actuelle.

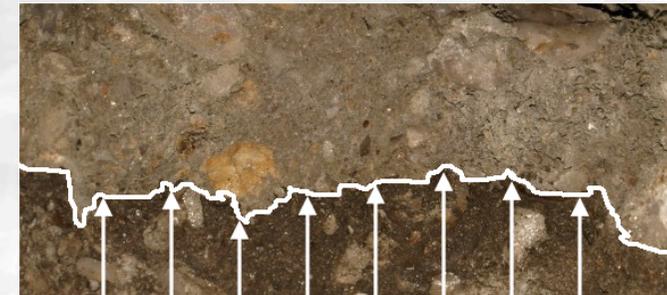
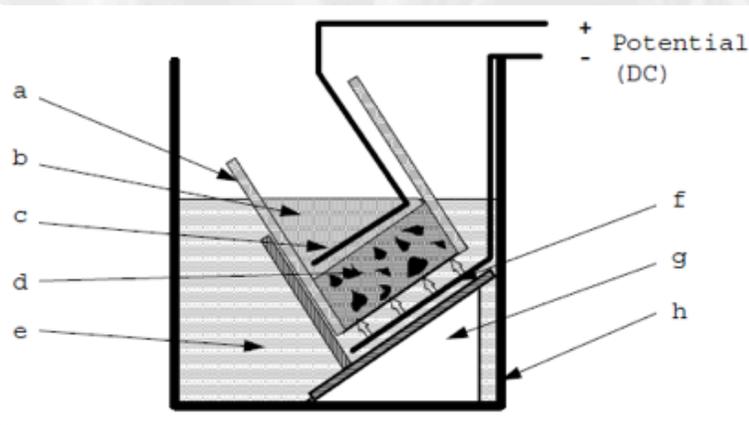
#### a. Principe.

L'essai se déroule sur un jour.

La DDP appliquée est de 12 à 30V pour un échantillon de (∅11×h5)cm<sup>3</sup>.

Pour la mesure, l'échantillon est rompu par fendage et chaque face obtenue est vaporisée avec une solution de nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>), ce qui permet d'obtenir la profondeur de pénétration des Cl<sup>-</sup> notée x<sub>d</sub>.

- a : Machon en caoutchouc,
- b : Anolyte (solution à 0.3N de NaOH),
- c : Anode,
- d : Spécimen,
- e : Catholyte (solution à 10% de NaCl),
- f : Cathode,
- g : Support en plastique,
- h : Boîte en plastique



Profondeur de pénétration x<sub>d</sub>.

Dispositif expérimental.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239 \cdot (273 + T) \cdot L}{(U - 2) \cdot t} \cdot \left\{ x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T) \cdot L \cdot x_d}{(U - 2)}} \right\}$$

#### b. Détermination du coefficient de migration D<sub>nssm</sub>

D<sub>nssm</sub>: Coefficient de migration non-stationnaire, (10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s),

U: valeur absolue de la tension appliquée, V,

T: température moyenne initiale et finale de l'anolyte (°C),

L: épaisseur de l'échantillon (mm),

t: durée du test (h),

x<sub>d</sub>: valeur moyenne des profondeurs de pénétration (mm)

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: la diffusion des Cl<sup>-</sup>.

### IV.5. Corrélations entre coefficient de migration et la porosité.

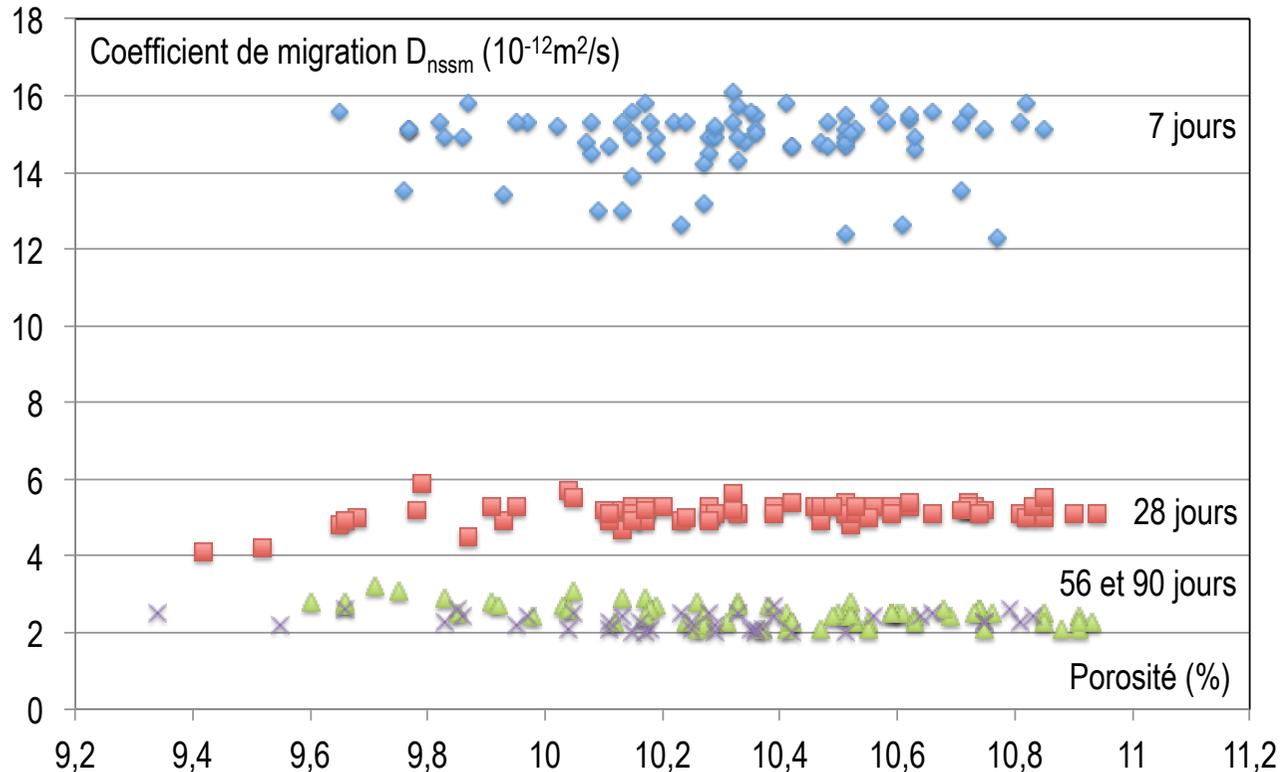
Chantier: Pont Hassan II de Rabat.

Période d'essai: 2008-2011

Contexte: Contrôle qualité.

Laboratoire: LPEE.

Evolution du coefficient de migration de ions Cl<sup>-</sup> en fonction de la porosité pour des maturités différentes (7 à 90 jours).



Dans le temps (de 7 à 90j), la diffusivité diminue tandis que la porosité caractérisant le volume global poreux reste stable → Effet de la structuration dans le temps du réseau poreux (variation de l'hydratation de la matrice) avec l'évolution de:

- du réseau capillaire,
- la connectivité,
- la tortuosité.

## IV. Les indicateurs de durabilité généraux: la teneur en Portlandite.

### IV.1. La matrice cimentaire.

La poudre de ciment, composé initialement anhydre ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ , gypse), réagit en présence d'eau pour former des hydrates.

Par simplification, Ciment Portland + Eau  $\rightarrow$  C-S-H +  $Ca(OH)_2$  +  $C_xAH_y$  + ...

#### Gel tobermoritique:

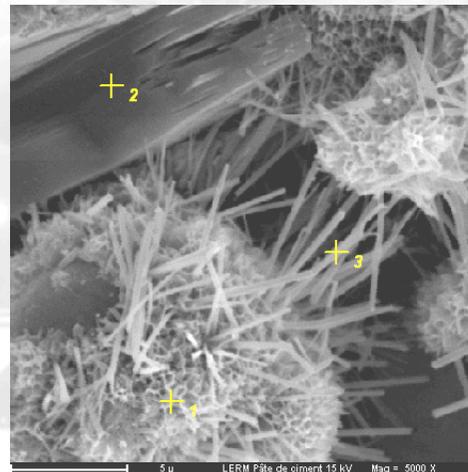
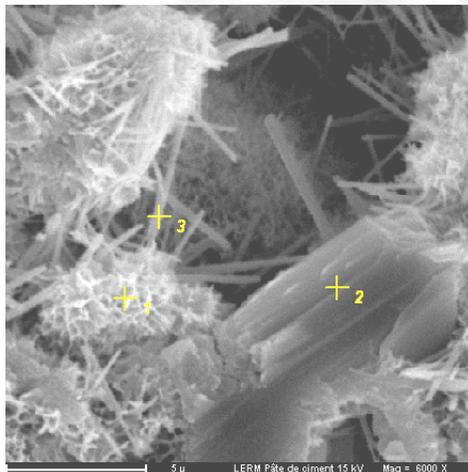
- 60 à 70% des hydrates,
- Structure résistante,
- Structure poreuse.

#### Portlandite:

- 20 à 25% des hydrates,
- Basique: pH >12,
- Soluble: 1,2 g/l.

#### Aluminates de Calcium

#### Hydratés



Observation au MEB d'une pâte de ciment:

- 2- Portlandite
- 3- Ettringite

#### **Écriture des cimentiers:**

C = CaO	F = Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
S = SiO <sub>2</sub>	H = H <sub>2</sub> O
A = Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S (barre)=SO <sub>3</sub>

# IV. Les indicateurs de durabilité généraux: la teneur en Portlandite.

## IV.2. Méthodes de détermination.

Une des méthodes de détermination expérimentale → Analyse Thermique Gravimétrique (ATG) et sa courbe dérivée (LCPC M48).

Echantillonnage du béton

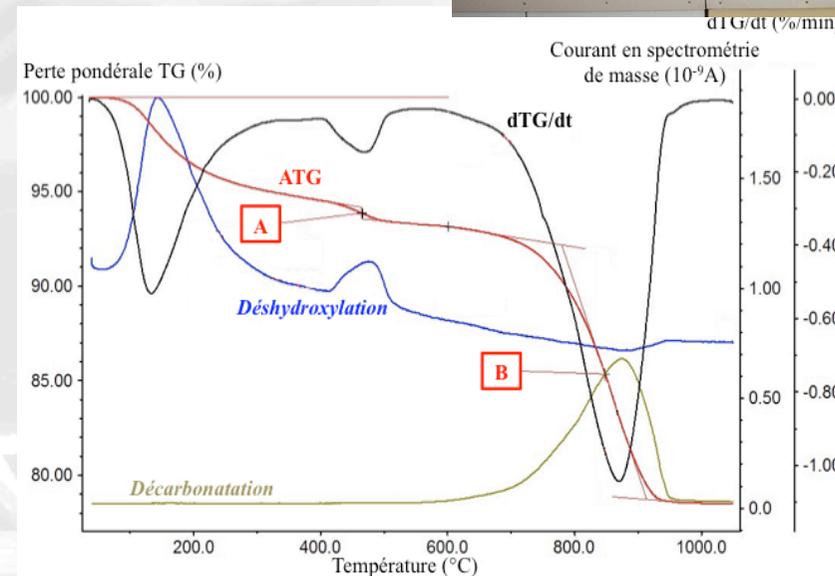
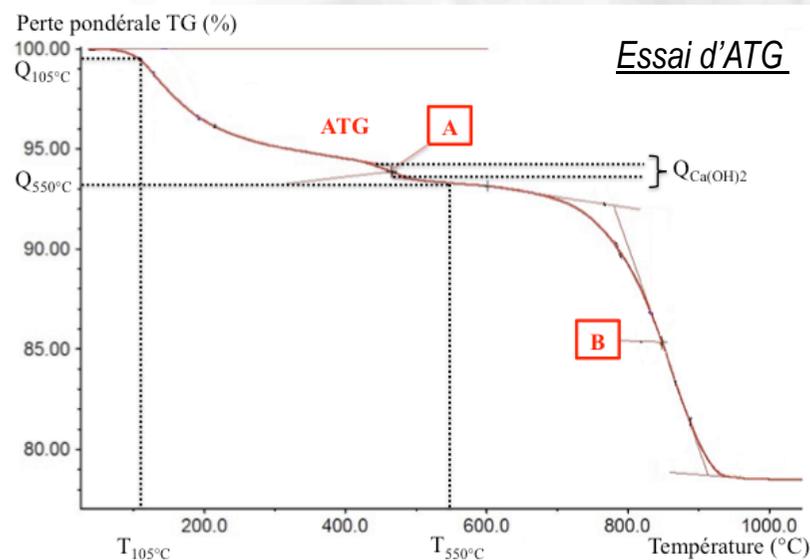
↓  
Poudre (80µm) + séchage à 80°C

### a. L'essai.

Mesure de la perte de masse en fonction de l'élévation de la température.

Selon les températures (Leas, 2001):

- déshydroxylation des hydrates,
- décarbonatation de phases.



### b. Exploitation et détermination de Ca(OH)<sub>2</sub>.

Entre 450 et 550°C, déshydroxylation de la CH:



Après calcul, on peut déterminer la quantité de Portlandite pour 1m<sup>3</sup> de béton.



## V. Les projets de recherche en cours.

## V. Les projets de recherche en cours.

---

### V.1. Contexte.

Changement normatif → Comprendre et anticiper les conséquences sur les propriétés des bétons actuels.

Questionnements sur la fiabilité des indicateurs de durabilité (IdD):

- Est-on capable de faire émerger des seuils de performance en termes d'IdD pour les différentes classes d'exposition de la norme EN206-1?
- Identifier des lois de distributions pour les IdD afin de mieux appréhender leur variabilité.
- Etablir des liens entre les paramètres de formulation et les valeurs des IdD.

Pour répondre à ces problématiques → Projet National **PerfDub** (*Approche PERFormantielle de la DUraBilité des ouvrages en béton*).

Pilotage: IREX (*Institut pour la Recherche appliquée et l'EXpérimentation en Génie Civil*).

Le LMDC impliqué dans plusieurs axes de recherche:

- Doctorat I.Allahiary: «Approche performantielle des bétons: Vers une meilleure caractérisation des indicateurs de durabilité
- GT AFGC (Association Française de Génie Civil): **Base de données des indicateurs de durabilité**,
- Projet ANR Modévie (MODElisation du Vieillissement des ouvrages en béton),
- Mise au point d'un essai de vieillissement de l'attaque sulfatique externe: Application du concept de performance équivalente.

## V. Les projets de recherche en cours.

---

### V.2. Base de données des indicateurs de durabilité.

Elaboration d'une Base de données concernant les indicateurs de durabilité s'articulant en 4 parties :

- Construction de la BdD.
- Approvisionnement.
- Traitement des données.
- Etudes expérimentales complémentaires.

#### Partie 1: Construction de la BdD des indicateurs de durabilité.

Réfléchir à la structure :

- création de fiches type de renseignement,
- le choix d'un outil d'analyse de gestion et d'extraction des données recueillies.

Points fondamentaux à intégrer :

- les indicateurs de durabilité et méthode de mesure (protocole, production, cure, âge...)
- les paramètres de formulation (compositions des béton et les informations sur les constituants de base).

#### Partie 2: Approvisionnement de la BdD.

Revue bibliographique et du retour d'expérience des différents partenaires (laboratoires et chantiers).

## V. Les projets de recherche en cours.

---

### V.2. Base de données des indicateurs de durabilité.

#### Partie 3: Traitement des données.

##### Objectifs:

- synthétiser les résultats → Identifier des seuils pour chaque classe d'exposition.
- Établir des liens entre les paramètres de formulation et les valeurs des IdD.
- construire des lois de distribution statistiques permettant d'alimenter les outils probabilistes couplés aux modèles physiques faisant appel aux IdD.

#### Partie 4: Etudes expérimentales complémentaires.

Etudes complémentaires éventuelles pour mieux appréhender les relations existantes entre les paramètres de formulation (type de liant, E/C, volume de pâte, qualité des granulats...) et les valeurs d'IdD.

## V. Les projets de recherche en cours.

### V.3. Phase de développement de la BdD.

#### a. Les partenaires.

Pilotage: AFGC.

Industriels: Vinci, Bouygues, Lafarge, Holcim, Vicat, Cemex, Chryso,

Institutionnels: CERIB, ANDRA, CEA, FNTP, ATHIL

Laboratoires publics et privés: LPEE, IFFSTAR, LERM, CEBTP, CEMETE, DIR Sud Est.

Académiques: LMDC, GEM,

#### b. Développement informatique.

Société: Isimédia (Montpellier).

Logiciel: WebDev générant des BdD avec accès sécurisé Internet.

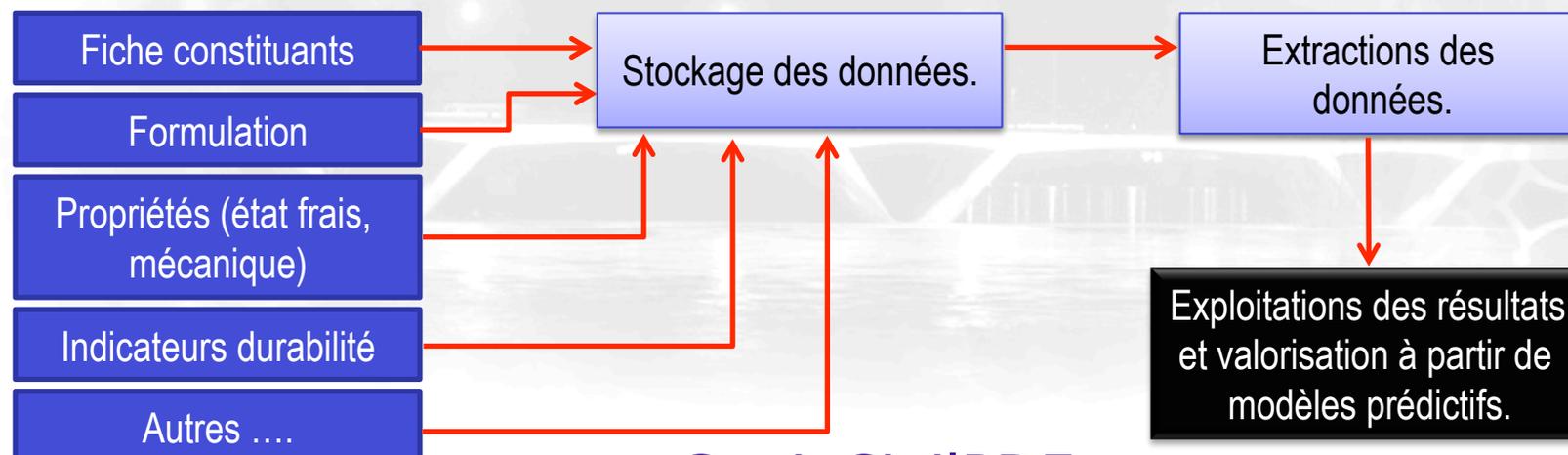
Cout: 25k€.

Cahier des charges réalisé et dossier de spécification en cours.

Hébergeur: Université Paul Sabatier, Toulouse III.

#### c. Arborescence de la BdD.

Mode simplifiée.

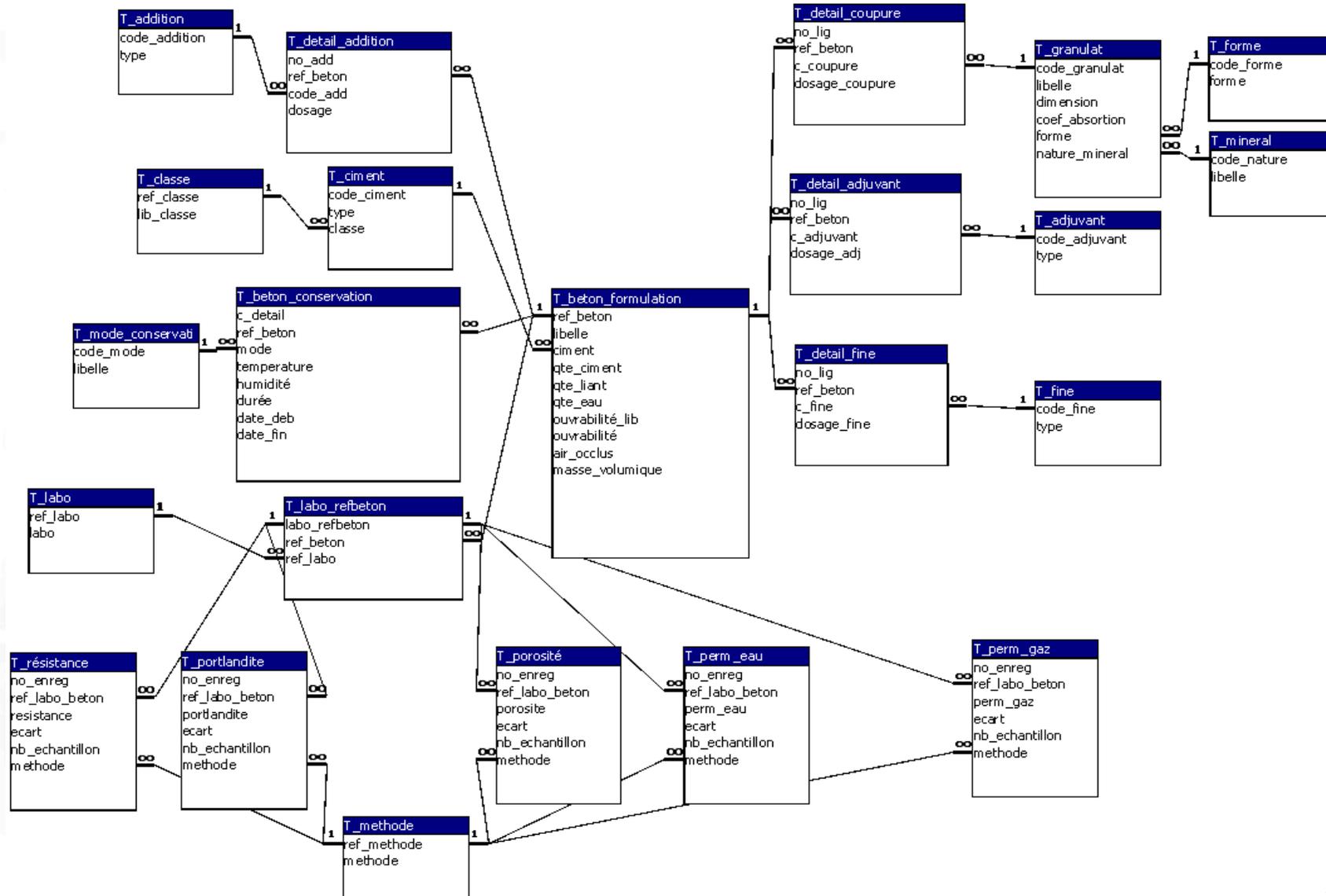


# V. Les projets de recherche en cours.

## V.3. Phase de développement de la Bdd.

### c. Arborescence de la Bdd.

Mode élaboré.



## V. Les projets de recherche en cours.

### V.3. Phase de développement de la BdD.

#### c. Exemple de feuilles de saisie.

Feuille de saisie d'un ciment

**AFGC** Association française de génie civil Vous êtes connecté en tant que Frédéric Puset (Groupe : ISIMEDIA)

Composants Formulations Extraction Administration

Référence du ciment	Ciment 2		
Origine			
Fournisseur			
Appellation commerciale			
* Référentiel normatif	EN 197-1	Paramètres de la fiche issus	de fiches techniques
* Type de ciment	CEM II		
Sous catégorie de composition	A		
Constituants Principaux	S	--	--
Classe de RC	42,5		
Sous classe de RC	N		
Caract. annexes NF EN 197-1 version 2011	LH	SR 0	
Caractéristiques ASTM C150 (ciments SR)	SR P		
Caractéristiques complémentaires NF	CP1	--	--
* Masse volumique	g/cm3		
Composition chimique du ciment	C3S clinker (EN196-2)	Valeur	%
	C3S clinker (EN196-2)	Valeur	%
	C3S clinker (EN196-2)	Valeur	%
	C3S clinker (EN196-2)	Valeur	%
	C3S clinker (EN196-2)	Valeur	%
Résistance méca moy. sur mortier (EN 196-1)	2 jour (EN196-1)	Valeur	MPa
	2 jour (EN196-1)	Valeur	MPa
	2 jour (EN196-1)	Valeur	MPa
Régulateur de prise	gypse	Valeur	%
Finesse blaine (EN196-6)	cm2/g		
Chaleur d'hydratation à 41 heures (EN196-9)	J/g		
Autre propriété	Diamètre médian (granulo laser)	Valeur	

## V. Les projets de recherche en cours.

### V.3. Phase de développement de la BbD.

#### c. Exemple de feuilles de saisie.

Feuille de saisie d'une gâchée

Général Ciment Additions Eau Granulats Adjuvants Fibres Caractéristiques Formule **Gâchées**

### Gâchées

Fabrication	Type de gâchée	Date de fabrication

Supprimer Modifier Ajouter

### Détail de la gâchée sélectionnée

Origine de la fabrication: Laboratoire  
Date de fabrication:   
Type de gâchée: Eprouvette  
Traitement:   
Durée d'étuvage:   
Mode de conservation: Salle humide 20°C  
Mode de serrage: piqué

Ouvrabilité: Slump  
Valeur mesurée (mm):  mm  
Teneur en air mesurée:  %  
Masse volumique mesurée (kg/m3):  kg/m3

Résistance à la compression moyenne

Géométrie des éprouvettes	Echéance	Mesure
11x22	7	<input type="text"/> MPa
11x22	7	<input type="text"/> MPa
11x22	7	<input type="text"/> MPa
11x22	7	<input type="text"/> MPa
11x22	7	<input type="text"/> MPa

Valider Annuler

### Indicateurs de la gâchée sélectionnée

Indicateurs	Valeur	Echéance

Supprimer Modifier Ajouter

# V. Les projets de recherche en cours.

## V.3. Phase de développement de la BdD.

### c. Exemple de feuilles de saisie.

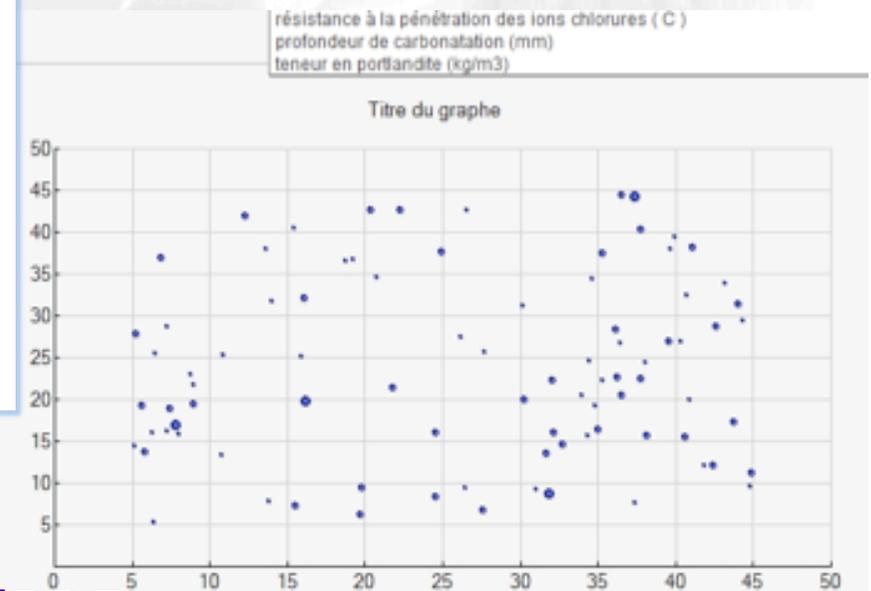
The screenshot shows the AFGC web application interface. At the top, the logo and name 'Association française de génie civil' are visible, along with the user information 'Vous êtes connecté en tant que Frédéric Puset (Groupe : ISIMEDIA)'. The navigation menu includes 'Composants', 'Formulations', 'Extraction', and 'Administration'. The main content area is divided into several sections:

- Critères de recherche:** A section for defining search criteria. It includes dropdown menus for 'Critère' (set to 'Ciment.Référence') and 'Type' (set to 'Référence'), and an 'Ajouter' button.
- Liste des critères de recherche:** A table listing search criteria. The first entry is selected and highlighted in blue: 'Le ciment utilisé dans la formulation à un régulateur de prise dans "gypse anhydre"'. Other entries include dosage ranges and material types.
- Critères d'affichage:** A section for display settings. It includes dropdowns for 'Indicateur de durabilité' (set to 'résistivité électrique (W.m)') and 'Paramètre de formulation' (set to 'C'). There are also radio buttons for 'Représentation des échantillons (gachées)' with options 'Points distincts' and 'Un seul point'.
- Recherche:** A section with a 'Rechercher' button and a 'Graphique' tab.

At the bottom of the interface, there is a table titled 'Liste des formulations répondant aux critères' with columns for 'Nom de la formulation', 'Valeur indicateur', and 'Valeur paramètre'. Below the table are buttons for 'Détails', 'Export en XLS', and 'Export en CSV'.

Affichage d'une recherche en vue d'une extraction.

Affichage de l'extraction au format graphique



---



**Merci de votre attention**