

GeM CNRS UMR 6183, équipe IEG

GeM

- ▶ Création en 2004, UMR CNRS depuis 2011
- ▶ 3 thèmes de recherche principaux (2 équipes par thèmes)
 - *Calculs de structures*
 - *Matériaux et procédés*
 - *Génie Civil : équipe MOE et IEG*
- ▶ 210 membres:
 - ~ 70 Enseignants-chercheurs
 - ~ 40 BIATSS et Post-doctorants
 - ~ 100 Doctorants
- ▶ Multi-site: Nantes + Saint-Nazaire (équipes E3M et IEG)



Equipe Interactions Eau Géomatériaux : IEG

Composition

- 19 permanents
 - 4 Prof., 10 MCF, 2 Chercheuses associées
 - 1 secrétaire (FP, 80%),
 - 2 techniciens (50% ETP)
- 2 Post-doctorant,
- 15 doctorants

Cellule de valorisation Val in BTP

- 1 ingénieure de projet

Animation

Durabilité des ouvrages en remblais

Durabilité des ouvrages en béton

Ecoconstruction



Moyens

Caractérisations expé. multi échelle

Modélisations numériques

Equipe IEG – durabilité des ouvrages en terre

Caractérisation expérimentale de la sensibilité à la **suffusion** et à l'**érosion**

Oedoperméamètre



Erodimètre triaxial

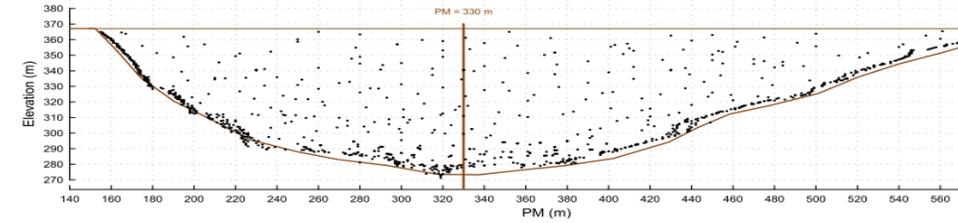


Thèse de Dinh Minh TRAN

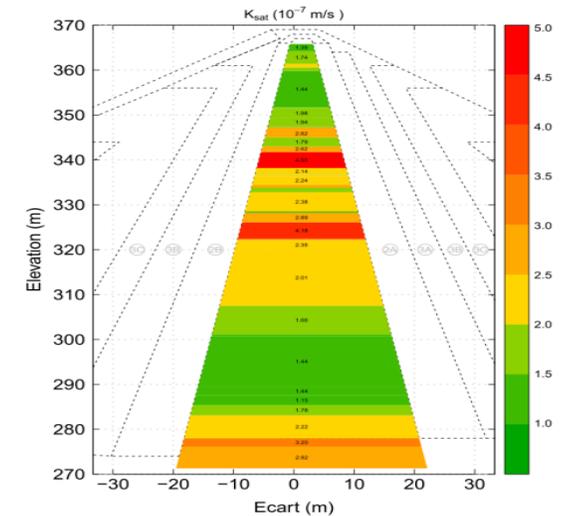
Erodimètre multidirectionnel



Jet Erosion Test



Conductivité hydraulique K_{sat}



Thèse de Alaa KODIEH

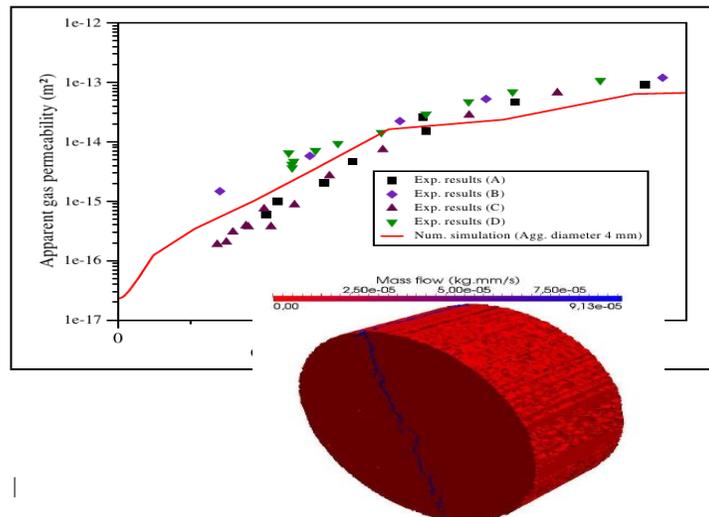
Equipe IEG – durabilité des ouvrages en béton

Caractérisation expérimentale et numérique des indicateurs de durabilité

Perméabilité au gaz : bétons sains et endommagés

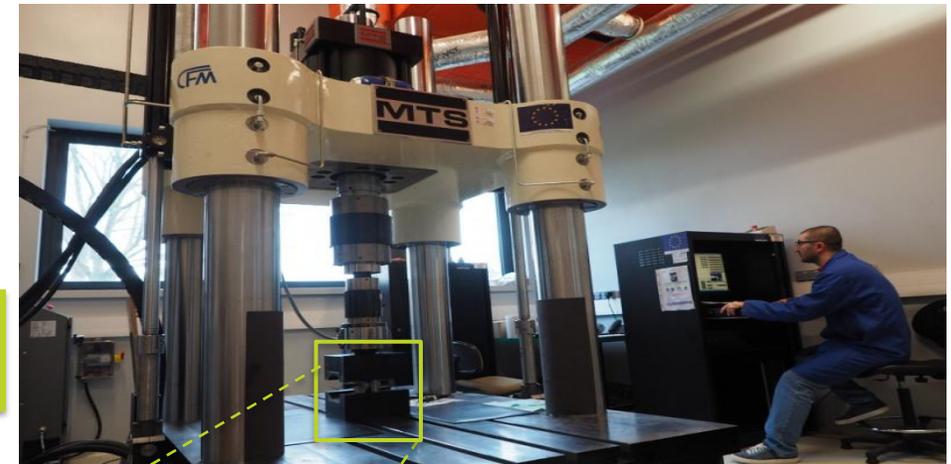


Modèle Numérique



Endommagement du béton : fissuration en traction / compression – essais asservis en déplacement / déformation

Thèse de Al-Khazraji Hayder
Thèse de Hamood Mohamed



Transport des chlorures
essai de marnage



Thèse de Quan Van Tran
Thèse de Khodor El Achrafi



Projet National
PERFDUB
APPROCHE PERFORMANTIELLE
DE LA DURABILITÉ
DES OUVRAGES EN BÉTON

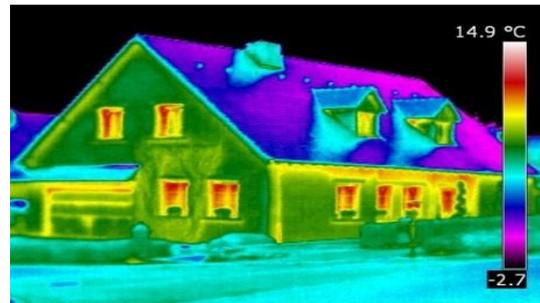
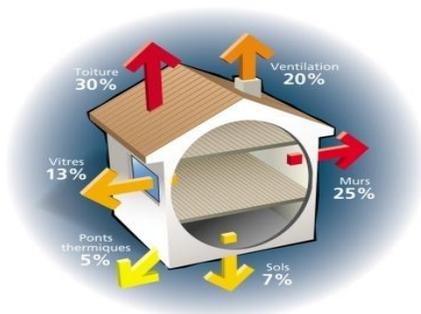
IRSN 
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION,
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Equipe IEG – Ecoconstruction

Etude de matériaux non industriels valorisation de déchets

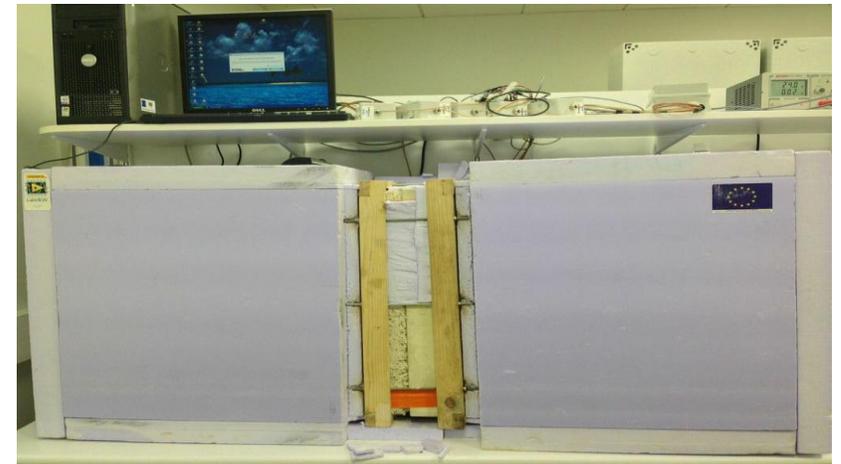
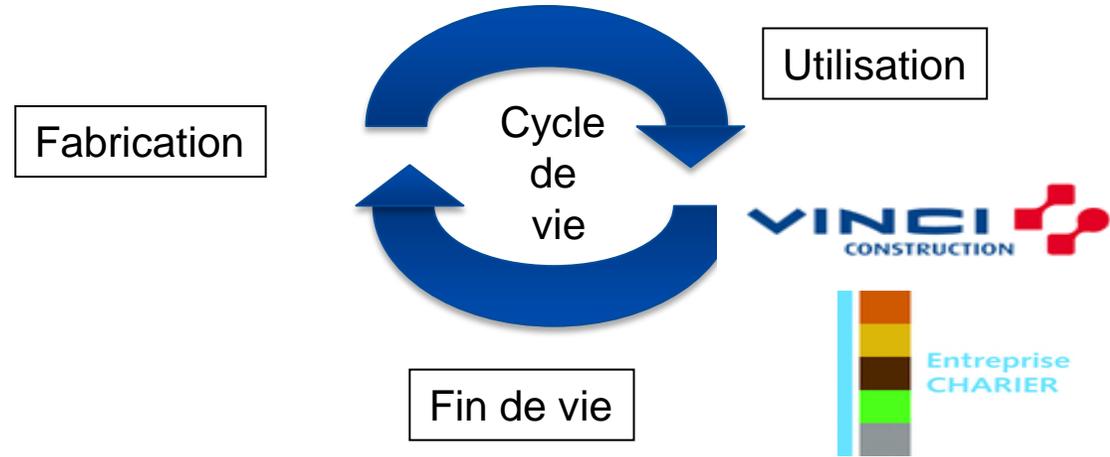


Transferts hygrothermiques parois et bâtiments



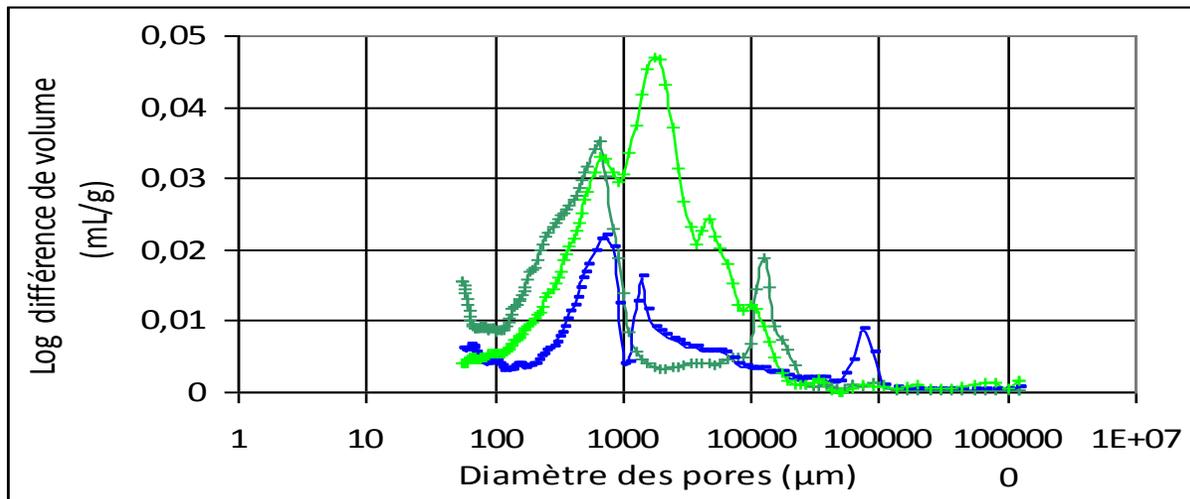
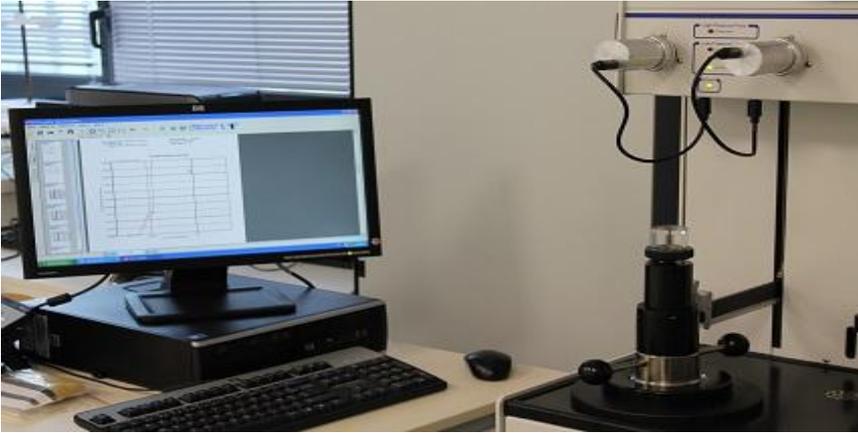
Thèse de Marie-Hélène Azam

Évaluation des performances environnementales Ecoconception

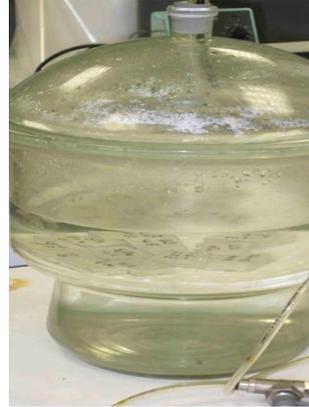


Thèse de Junior Chancel Tchiotsop
construction en terre crue (Ademe)

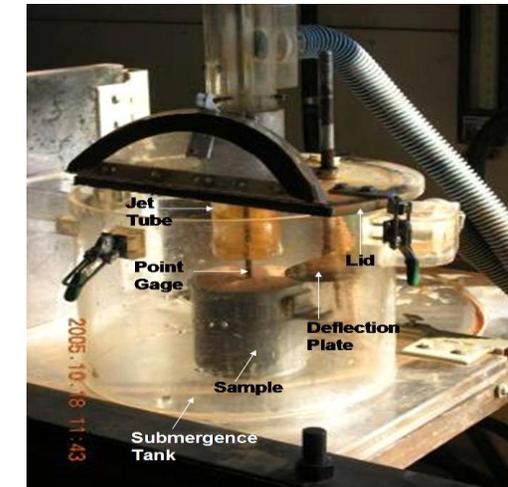
Courbes granulométriques, argilosité, limites d'Atterberg, masse volumique, porosité au mercure, capacité calorifique, identification ions, imagerie MEB, analyse DRX...



Durabilité des bétons



Sensibilité à l'érosion interne



Utilisation des évaluations non destructives (END) dans les modèles de durabilité: application aux ouvrages maritimes en béton armé

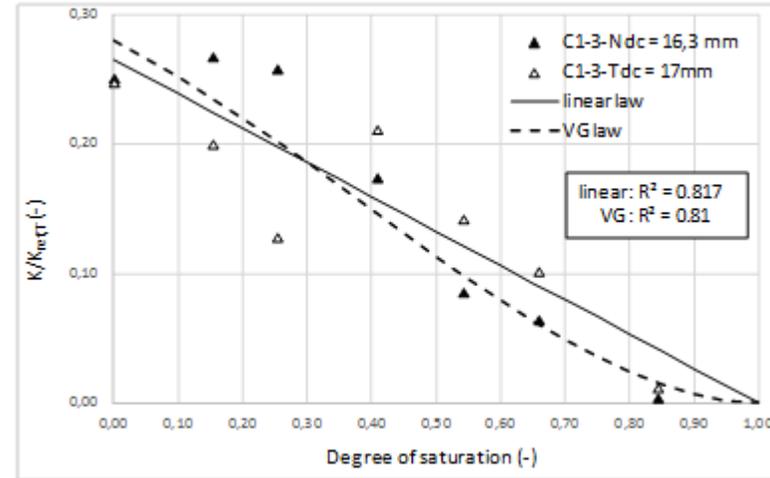
Mohamad Khodor EL-ACHRAFI , Géraldine VILLAIN, Stéphanie BONNET

Thèse : Bourse LASER, financement Libanais + complément UN

Environnement : Collaboration Structurante de Recherche (Durabilité & Corrosion) IFSTTAR

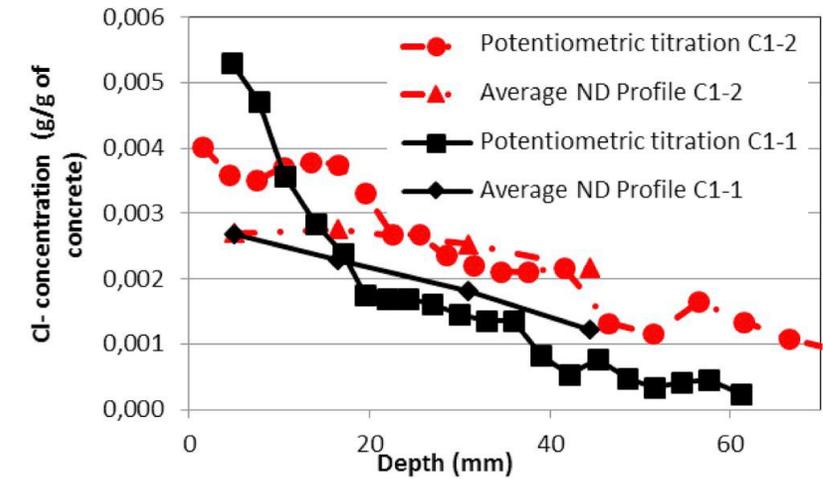
Collaboration avec l'IFSTTAR

Thèses couplage endommagement / transport : utilisation du grindosonic
ANR EvadéOs (2012 – 2015)



Bonnet & Balyssac CBM 2018

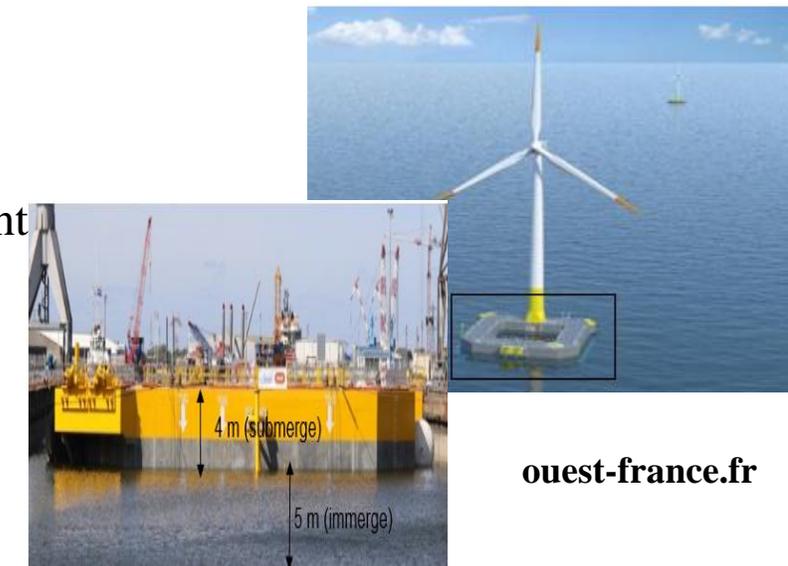
Thèse de Milia Fares (Nov 2015)



Fares & al CCC 2018



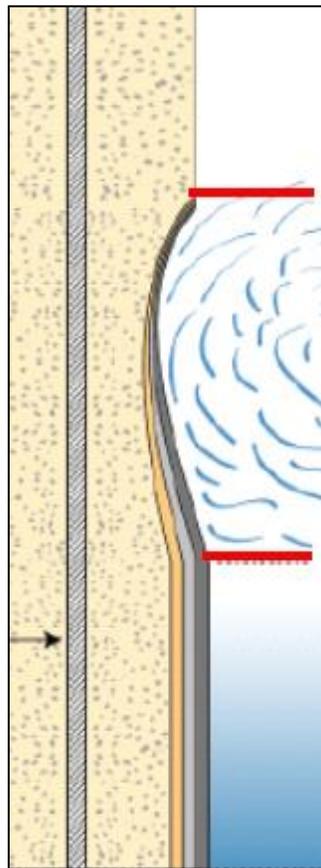
- Financement: projet **WeAMEC-Amorçage** Fev-Aout 2018
- **CA2M-COM** : Critical Analysis for Monitoring and Modelling chloride penetration in **CO**ncrete structures in **MA**rine environment
- Stage de Master 2 : Mohamad Khodor EL ACHRAFI



Thèse de Khodor EL ACHRAFI : problématique

débutée en Décembre 2019 et soutenance prévue en Nov/Dec 2022

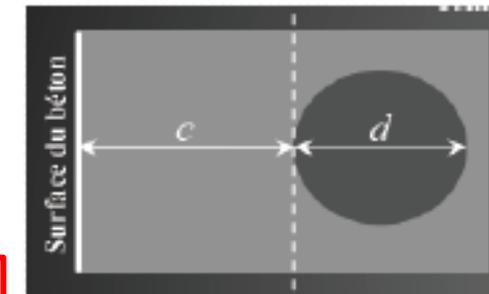
Classes d'exposition [norme EN 206-1]



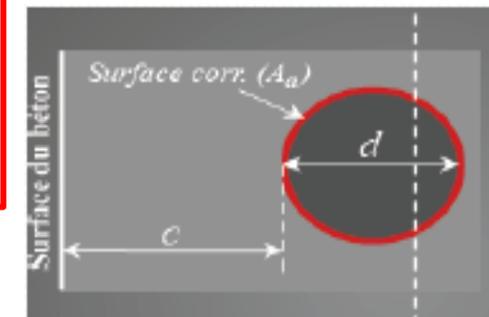
XS3: zone de marnage soumise aux marrées et aux éclaboussures

XS2: zone immergée en permanence

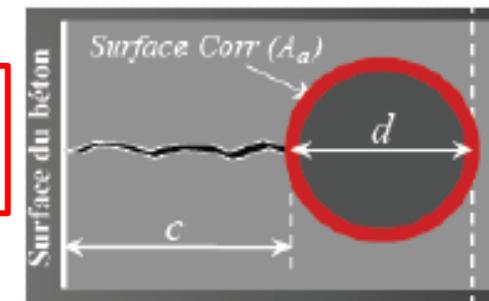
Phases de détérioration



! Incubation



Initiation

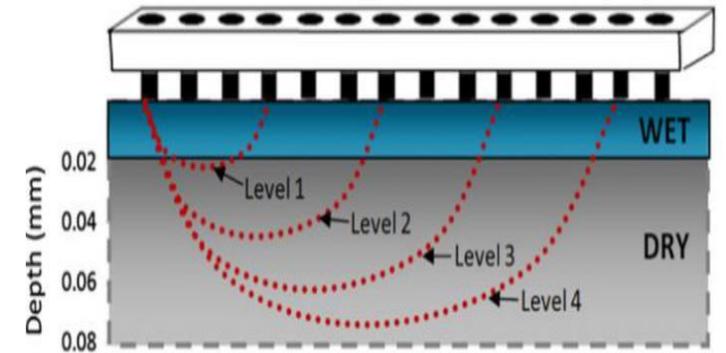
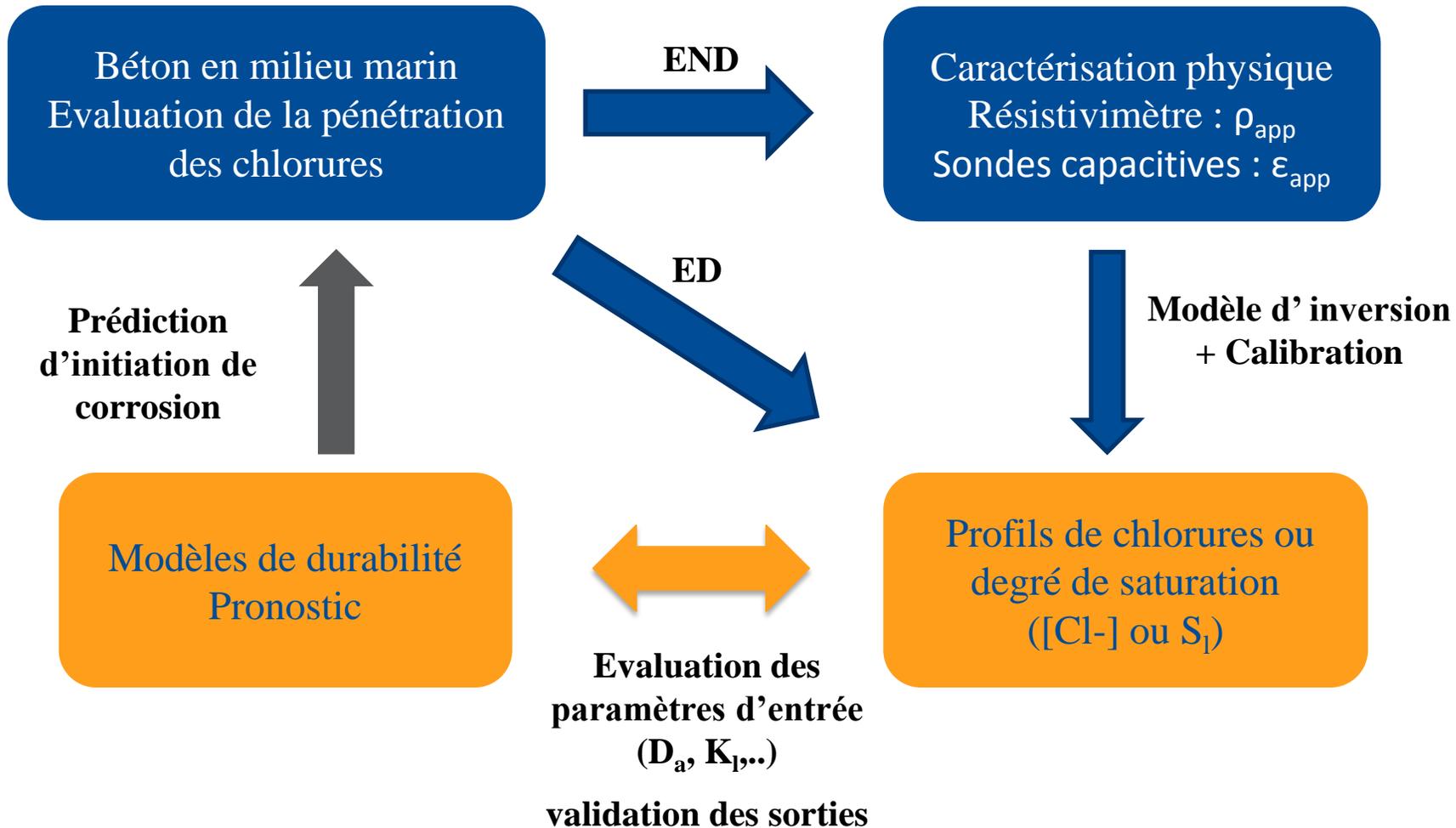


Propagation

Zones envisagées pendant la thèse
Modèle plus complexe

! **Zone visée pendant la thèse**

Méthodologie à valider dans le cadre de la thèse



Différents niveaux d'investigation possibles
[Du Plooy et al. 2013]

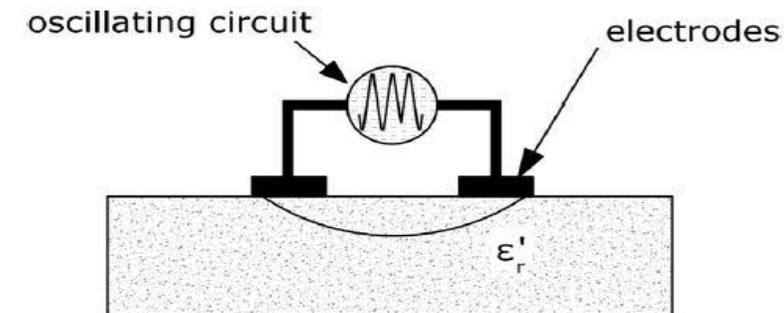


Schéma des électrodes capacitatives
Niveau d'investigation / taille des électrodes [Fares et al. 2015]

ED et END utilisées

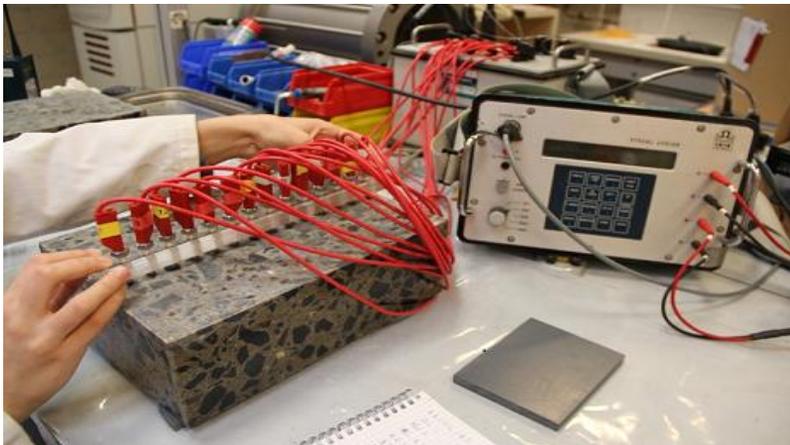
Méthode ED :

- Prélèvements d'échantillons pour la mesure de la teneur en chlorures dans le béton par titration [Othmen et al 2018] ,
- Prélèvements d'échantillons pour la mesure de la teneur en eau dans le béton par la méthode gamma-densimétrie [Villain et al. 2006],

Méthodes END :

- Electromagnétiques (sondes capacitives), Tomographie par Résistivité Electriques (TRE)
- Electromagnétiques (sondes capacitives), Tomographie par Résistivité Electriques (TRE)

Electriques (TRE)



Dispositif de tomographie de
résistivité électrique (TRE)
[Fares et al. 2018]

Electromagnétiques (sondes capacitives)



Sondes capacitives à 33 MHz
avec 4 patins d'électrodes
[Fares et al., 2016]

Profils en chlorure obtenu par sondes capacitives

Inversion

$$\varepsilon_{\text{réelle}} = f(z)$$



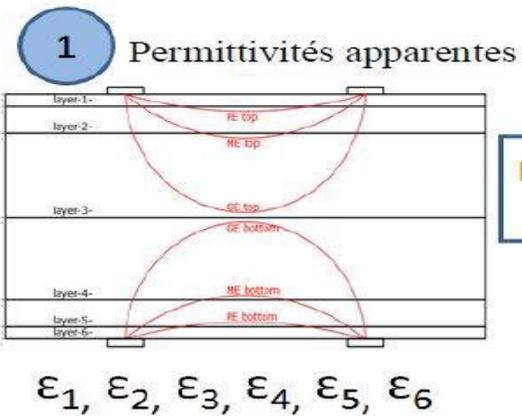
Calibration

$$\varepsilon_{\text{réelle}} = f([\text{Cl}^-])$$

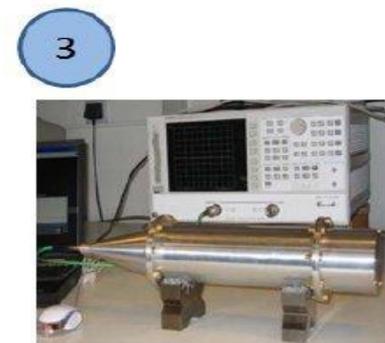
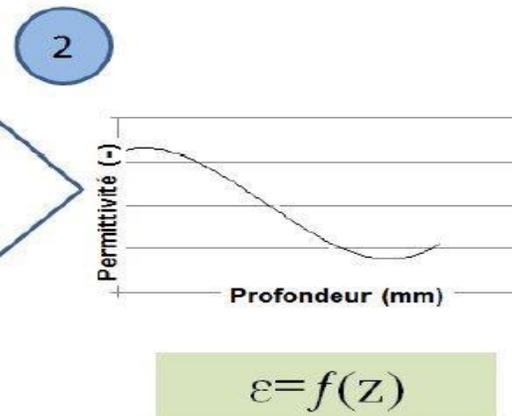


Profils d'ions chlorure

$$[\text{Cl}^-] = f(z)$$

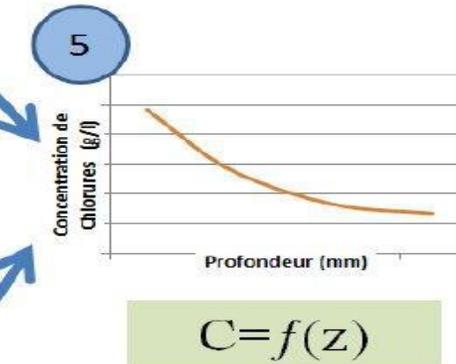
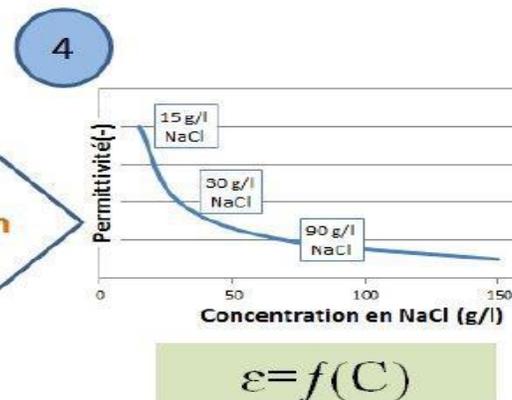


Inversion
CAPEX



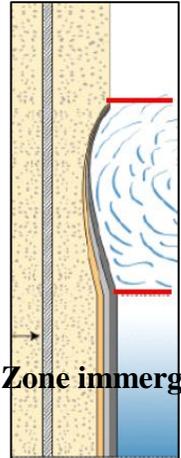
≠ Concentrations

Calibration



[Fares, 2015]

Modèle de transfert : béton immergé



- les chlorures pénètrent par **diffusion** sous un gradient de concentration.

Loi de Fick

$$1^{\text{ère}} \text{ loi de Fick : } J_e = -D_e \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

$$C_T = C_B + C_F = C_B + p \cdot c_F$$

$$2^{\text{ème}} \text{ loi de Fick : } \frac{\partial c}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$D_a = \frac{D_e}{\phi + (1 - \phi) \rho_s \frac{\partial C_b}{\partial c_f}}$$

Modèles de durabilité pour la pénétration des chlorures par **diffusion** (Solution de la loi de Fick) :

Modèle de Colleparidi
[Colleparidi et al., 1970]

$$C(x, t) = C_s \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_a \cdot (t - t_0)}} \right) + C_{ini}$$

- $C(x, t)$: Concentration en chlorures (g/g du béton),
- C_s : Concentration surfacique (g/g du béton),
- C_{ini} : Concentration initiale dans le béton (g/g du béton),
- D_a : Coefficient de diffusion apparente (m^2/s),

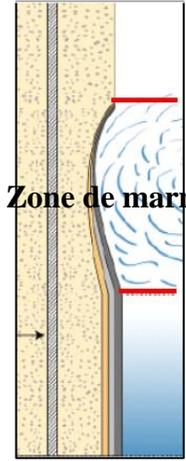
Modèle False de Tang et Nilson
[Tang et al., 1992]

$$C(x, t) = C_s(t) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_a(t) \cdot (t - t_0)}} \right) + C_{ini}$$

avec

$$\begin{cases} C_s(t) = A \ln t + B \\ D_a(t) = D_{a0} \left(\frac{t_0}{t} \right)^\alpha \end{cases}$$

Modèle de transfert : Zone de marnage



- L'eau entre par un effet de gradient de pression par absorption capillaire (imbibition ou perméation) et les chlorures pénètrent par convection avec la phase liquide et par diffusion

Résoudre les équations de conservation

[Baroghel-Bouny et al., 2011]/[Wang, 2012] et [Achour, 2018]

Transfert hydrique
(Perméation et Diffusion)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\phi s_l c_w + \phi (1 - s_l) \frac{\rho_v}{M_v} \right) = -div(w_w + w_v)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} w_w = v_l c_w + J_w \quad (w = \text{eau liquide}) \\ w_v = v_g c_v + J_v \quad (v = \text{vapeur d'eau}) \end{array} \right.$$

Transfert ionique
(Convection et Diffusion)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\phi s_l c_{i,f} + c_{i,b}) = -div(w_j)$$

$$\left\{ w_j = v_l c_i + J_i \quad (i = \text{ions}) \right.$$

Transfert air sec
(Advection et Diffusion)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\phi (1 - s_l) \frac{\rho_a}{M_a} \right) = -div(w_a)$$

$$\left\{ w_a = v_g c_a + J_a \quad (a = \text{air sec}) \right.$$

Modèle de transfert : Zone de marnage

a) Transfert **hydrique**
(**Perméation** et **diffusion**)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\phi s_l c_w + \phi(1 - s_l) \frac{\rho_v}{M_v} \right) = -div (w_w + w_v)$$

$$\begin{cases} w_w = v_l c_w + J_w ; (w = \text{eau liquide}) \\ w_v = v_g c_v + J_v ; (v = \text{vapeur d'eau}) \end{cases}$$

- $V_l = - \frac{k k_{rl}}{\eta_l} grad p_l ;$

(extention loi de kelvin)

- $p_c = - \frac{\rho_w}{M_v} RT (\ln h_r) ; [Nguyen et al., 2007]$

- $p_c = p_g - p_l ;$

- $p_g = \text{constante}$

- $k_{rl} = \sqrt{S_l} \cdot \left[1 - \left(1 - (S_l)^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 ; [Van Genuchten, 1980]$

- $J_v = - \frac{P_{atm}}{RT} f(\phi, S_l) D_v grad \left(\frac{p_v}{p_g} \right)$

- $\rho_v = \frac{M_v}{RT} p_v$ (gaz parfait) ; $p_v = p_{vs} \cdot HR(w)$

- $p_{vs} = P_{vs}^{ref} e^{\left(-\frac{T_{ref}}{T} \right)}$ (formule de Rankine)

- $f(\phi, S_l) = \phi^x (1 - S_l)^y ; [Millington et al., 1970]$

- $D_v = D_{v0} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1.88} ; [De Vries et al., 1966]$

Equation finale :
$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\phi s_l c_w + \phi(1 - s_l) \frac{\rho_v}{M_v} \right) = -div \left(\frac{\rho_w}{M_w} \frac{k k_{rl}}{\eta_l} \frac{\partial p_c}{\partial S_l} grad S_l + f(\phi, S_l) D_v grad \left(\frac{\rho_v}{M_v} \right) \right)$$

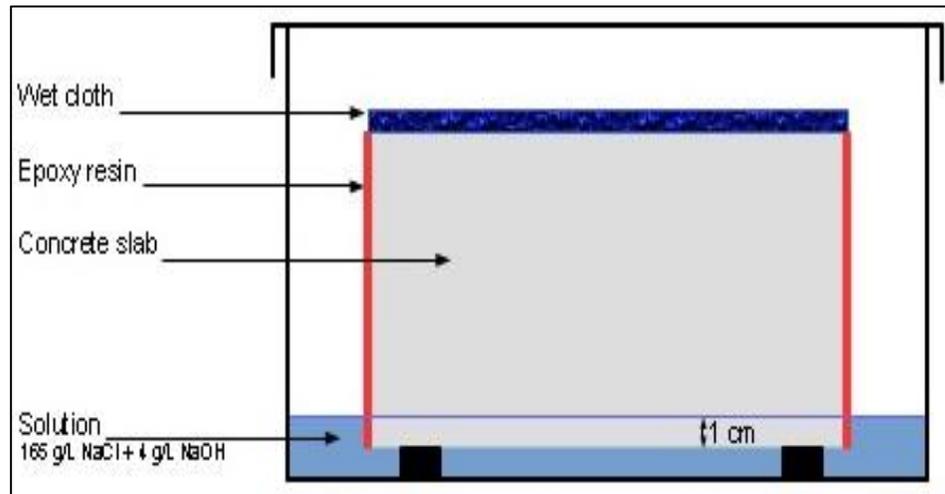
Complexité : nombre de paramètres d'entrée

Possibilité de les déterminer par END?

Simplification du modèle / découplage

Démarche : sondes capacitives

Diffusion : Béton CEM I / dalle APOS

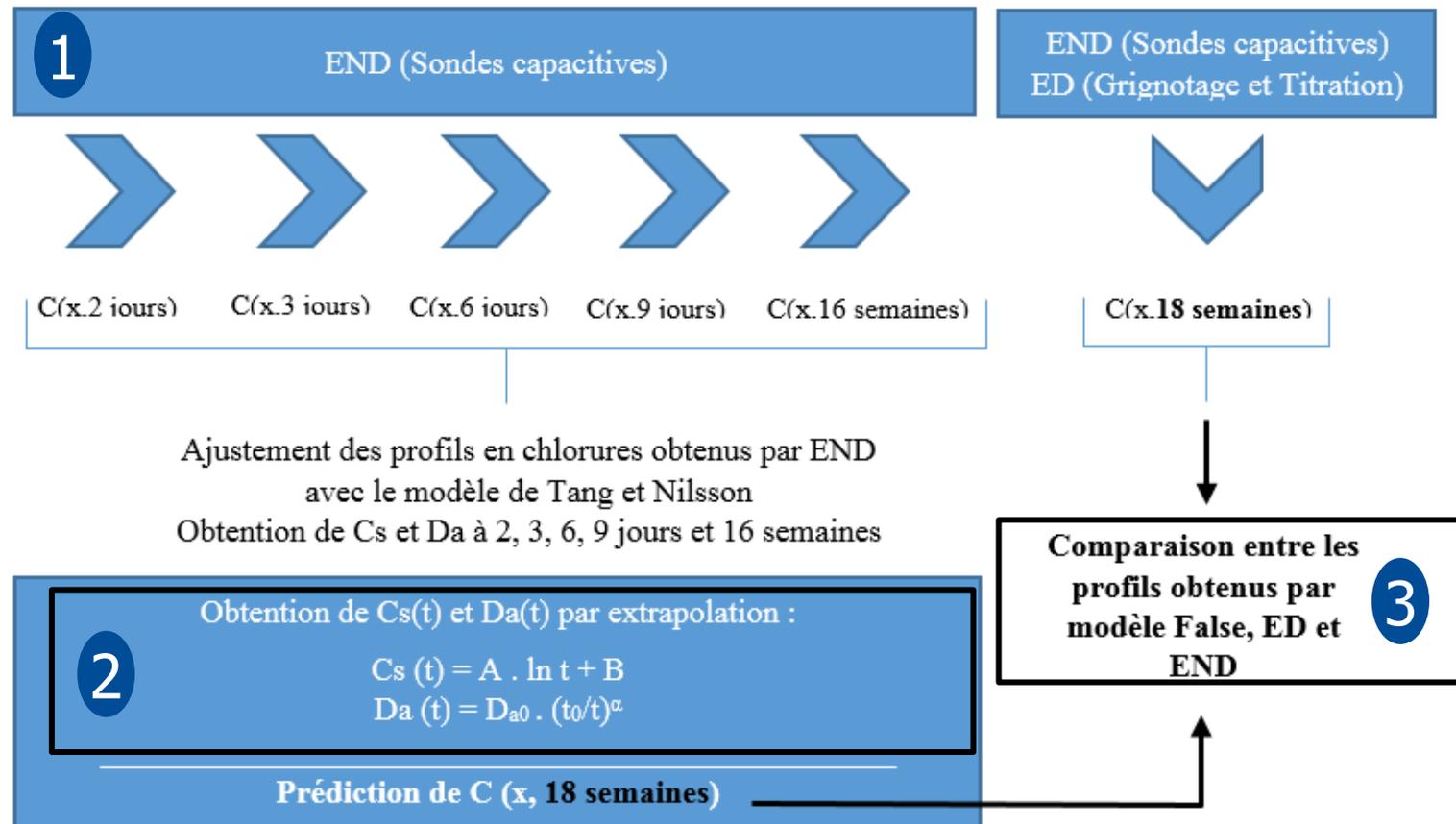


[Fares et al., 2018]

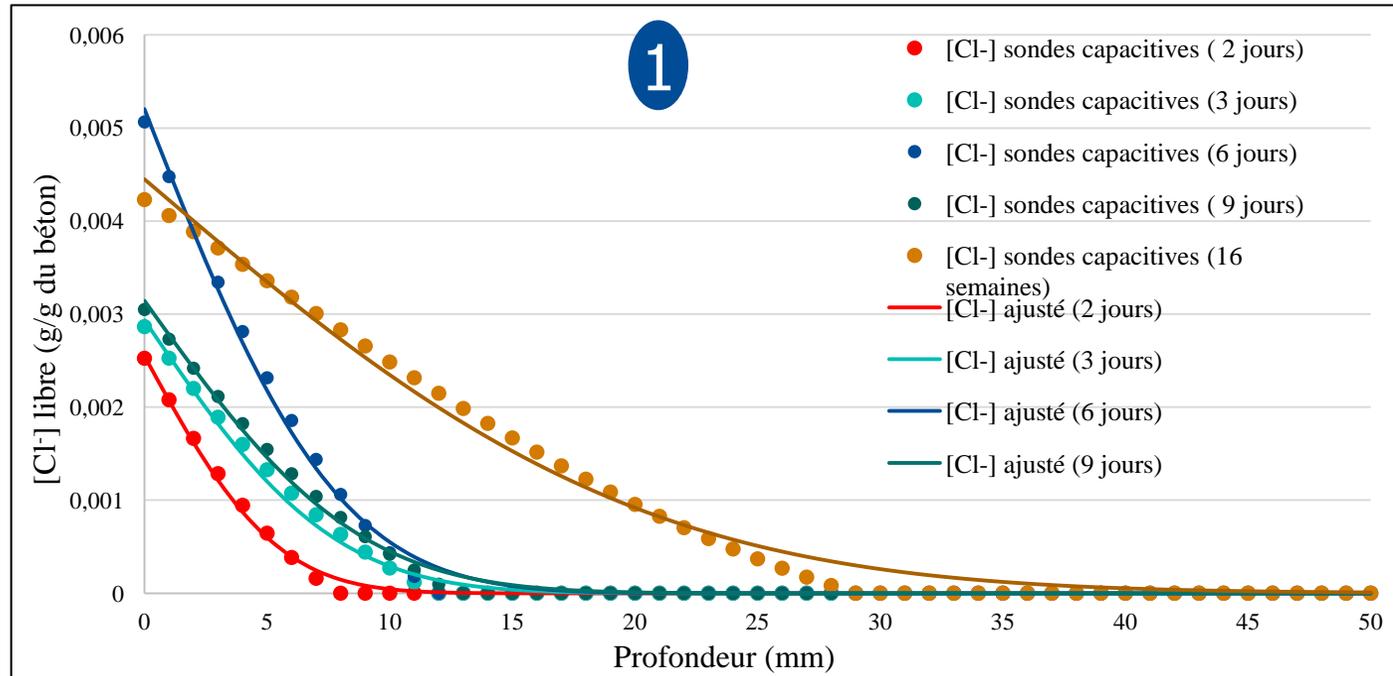
Modèle False [Tang et Nilsson, 1992]

$$C(x, t) = C_s(t) \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_a(t)(t-t_0)}}\right) + C_{ini}$$

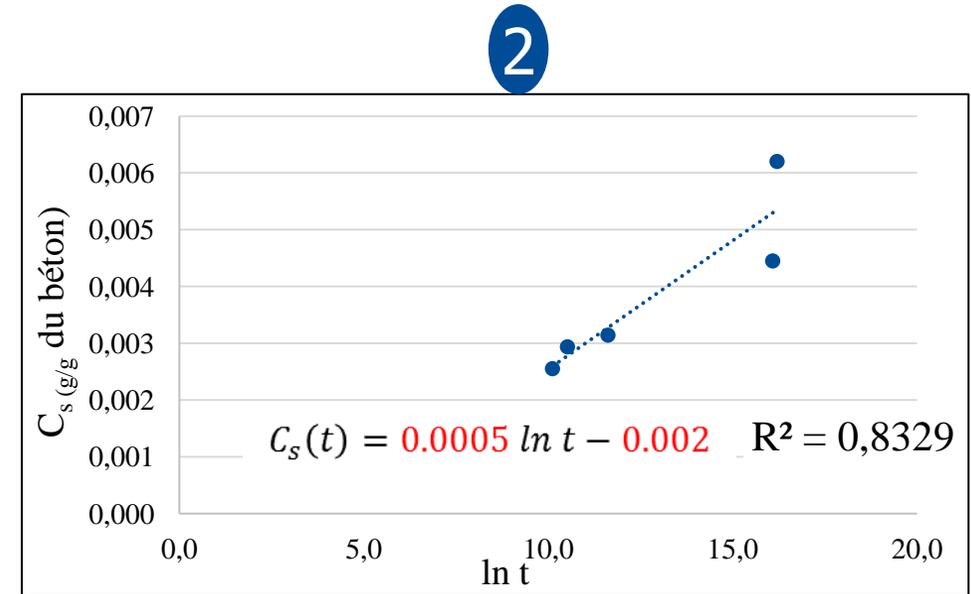
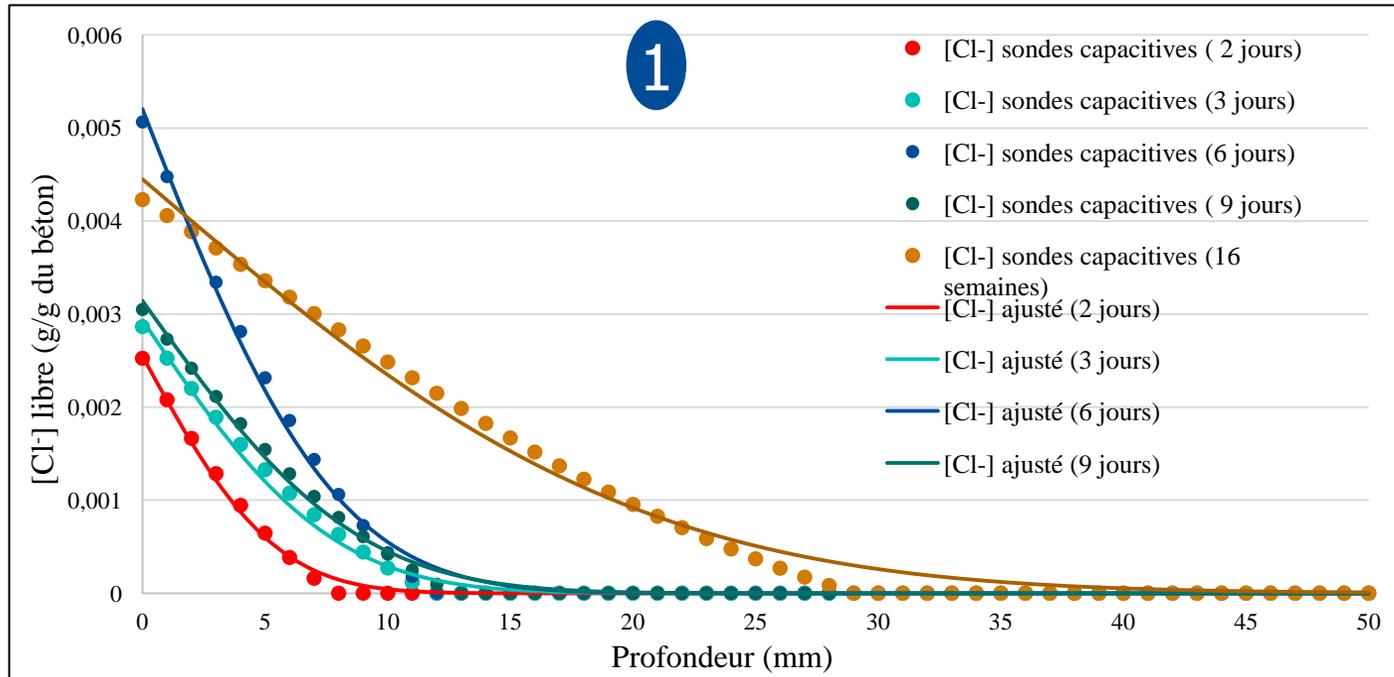
Méthodologie : Etapes pour obtenir les profils d'ions chlorures par utilisation des END et du modèle False



Ajustement des profils obtenus par sondes capacitatives: obtention de $C_s(t)$ et $D_a(t)$

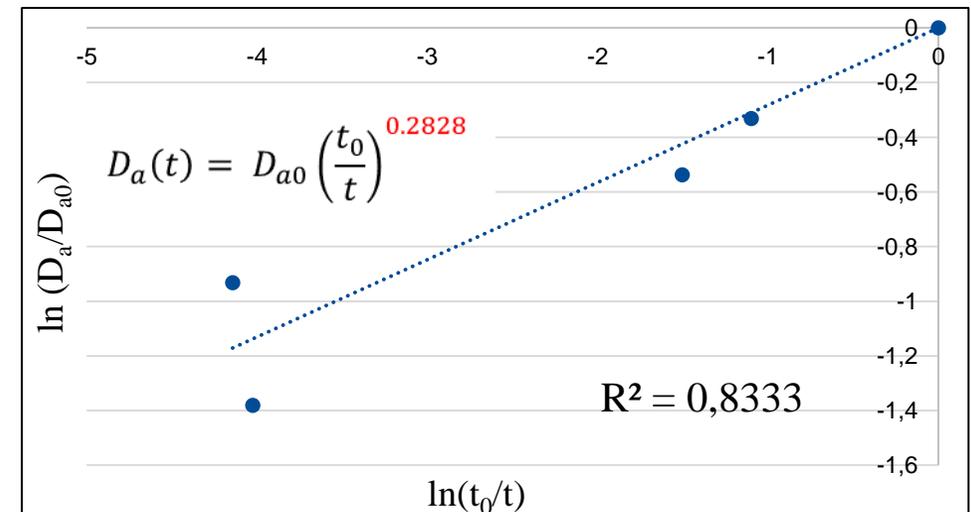


Ajustement des profils obtenus par sondes capacitives: obtention de $C_s(t)$ et $D_a(t)$

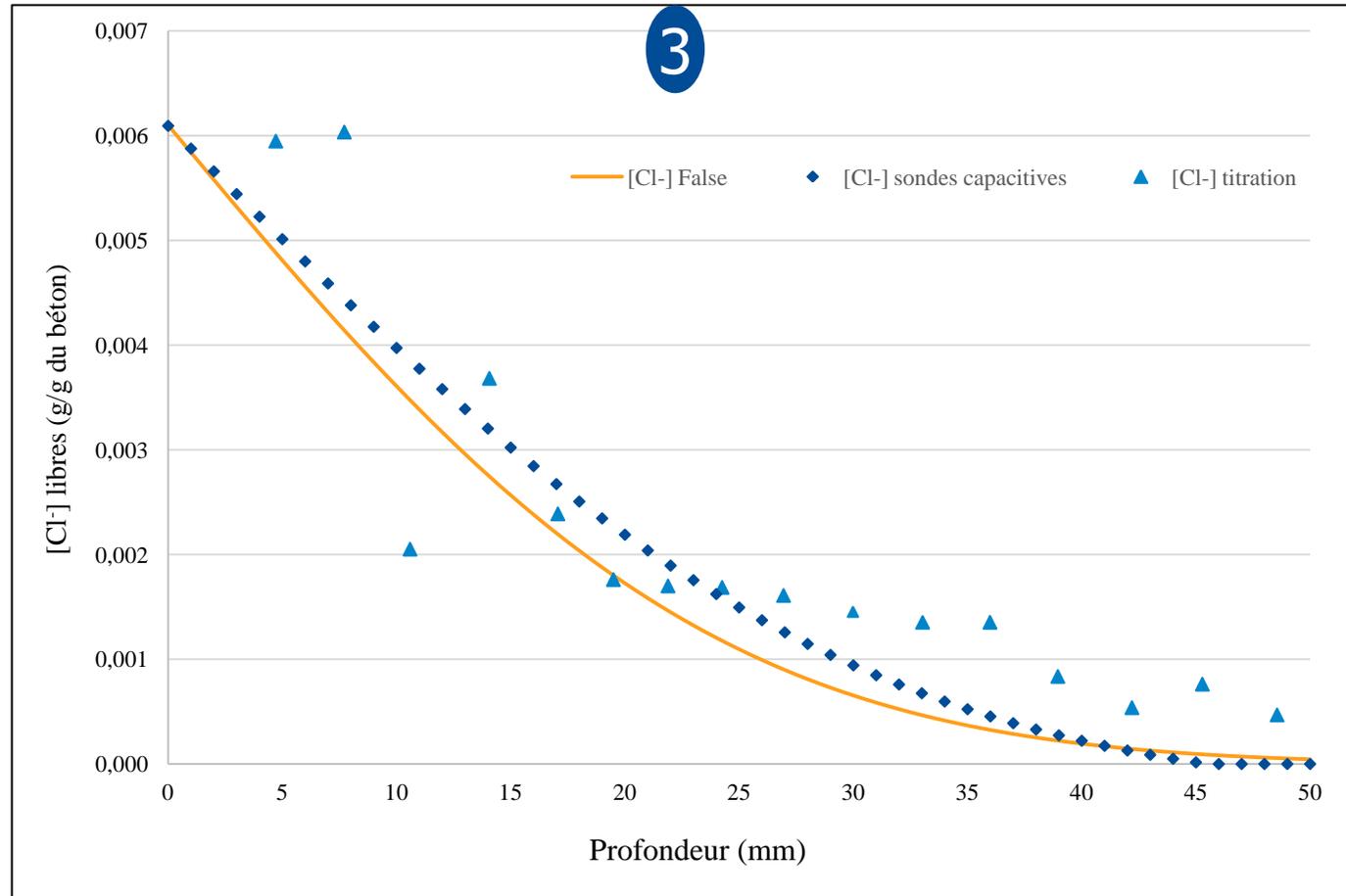


Valeurs de C_s et D_a

	2 jours	3 jours	6 jours	9 jours	16 semaines
C_s (g/g du béton)	0,00255	0,00293	0,0052	0,00314	0,00444
D_a (m ² /s)	5,1E-11	7,0E-11	3,6E-11	3 E-11	1,2E-11



Prédiction du profil à 18 semaines C (x,18 s) et comparaison avec les mesures ED



Bonne concordance entre les différents profils

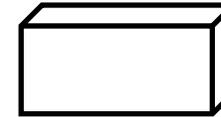
Validité de la démarche

**Essais en cours pour
Prédiction à 4 ans**

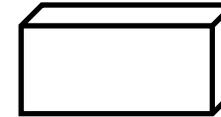
Plan expérimental

Essais de diffusion / imbibition et marnage

[NaCl]	0 g/L		35 g/L		90 g/L	
Béton	C1	C3	C1	C3	C1	C3
Diffusion	-	-	17-H	7-H	17-B	7-B
Imbibition d'eau	18-H	8-H	12-H	2-H	12-B	2-B
Marnage			14-H	4-H	14-B	4-B
Dalles restantes	18-B	Possibilité de carottages pour C1				
	8-B					
	6	Grande dalle (n'est pas sciée)				



Haut (H)



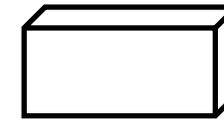
Bas (B)

- Utilisation dalles du Projet APOS

Plan expérimental

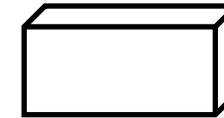
Essais de diffusion / imbibition et marnage

[NaCl]	0 g/L		35 g/L		90 g/L	
Béton	C1	C3	C1	C3	C1	C3
Diffusion	-	-	17-H	7-H	17-B	7-B
Imbibition d'eau	18-H	8-H	12-H	2-H	12-B	2-B
Marnage			14-H	4-H	14-B	4-B
Dalles restantes	18-B	Possibilité de carottages pour C1				
	8-B					
	6	Grande dalle (n'est pas sciée)				



Haut (H)

- Utilisation dalles du Projet APOS



Bas (B)

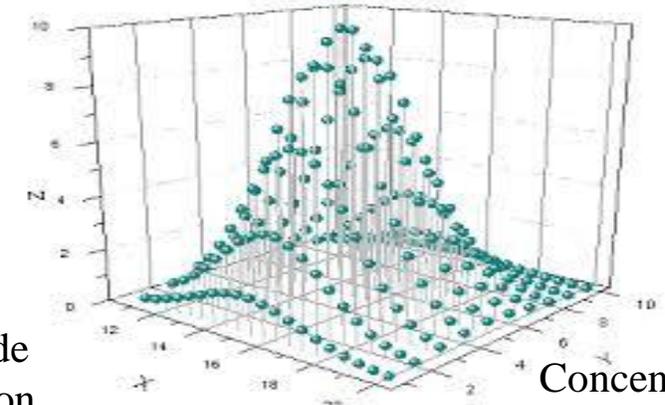
Calibration

1 Observable
/ 2 Indicateurs



- Obs (ρ ou ε) = f ([NaCl], S),

Permittivité ou résistivité (ε ou ρ)

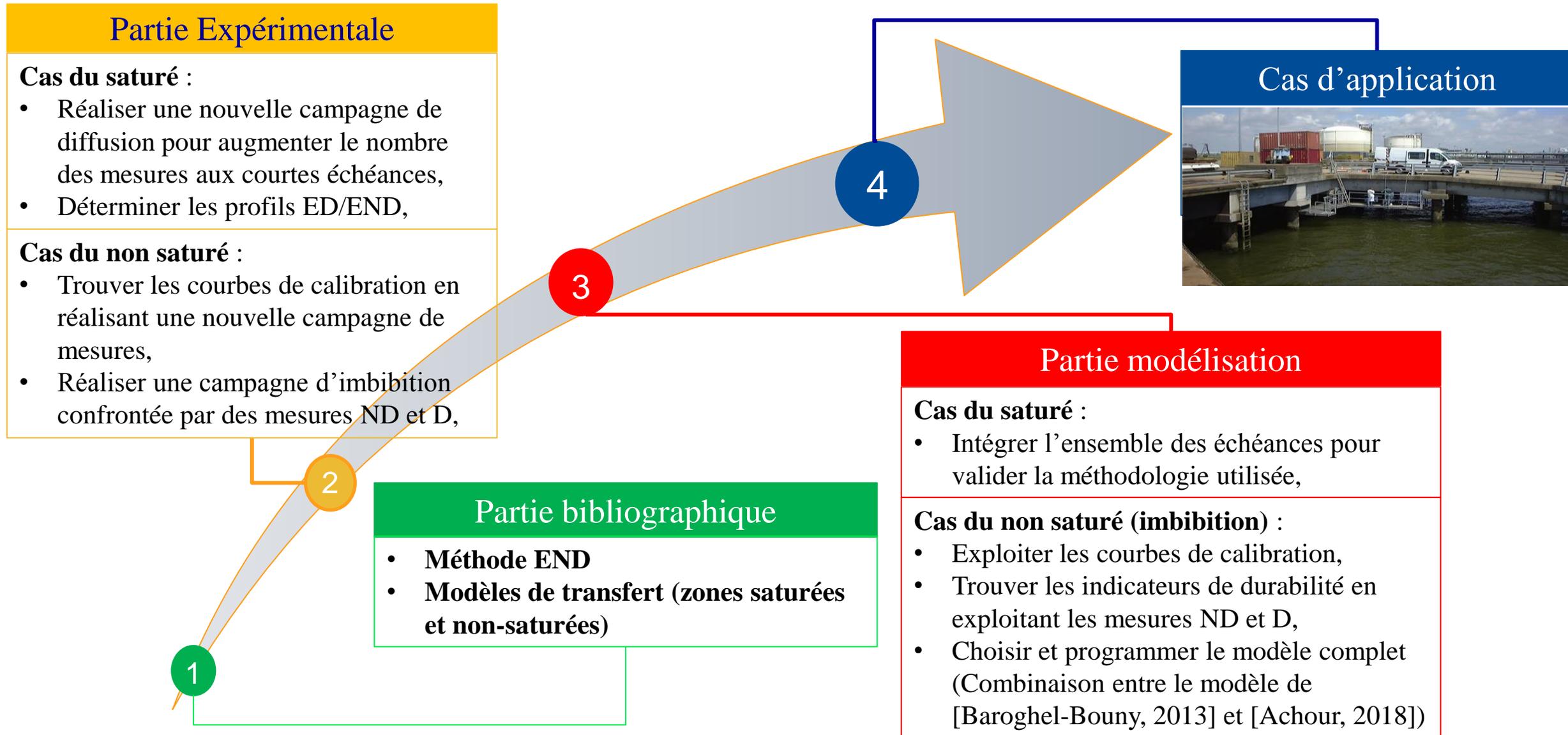


Degré de saturation

Concentration en chlorure



Obs (ρ ou ε) = f ([NaCl], S)

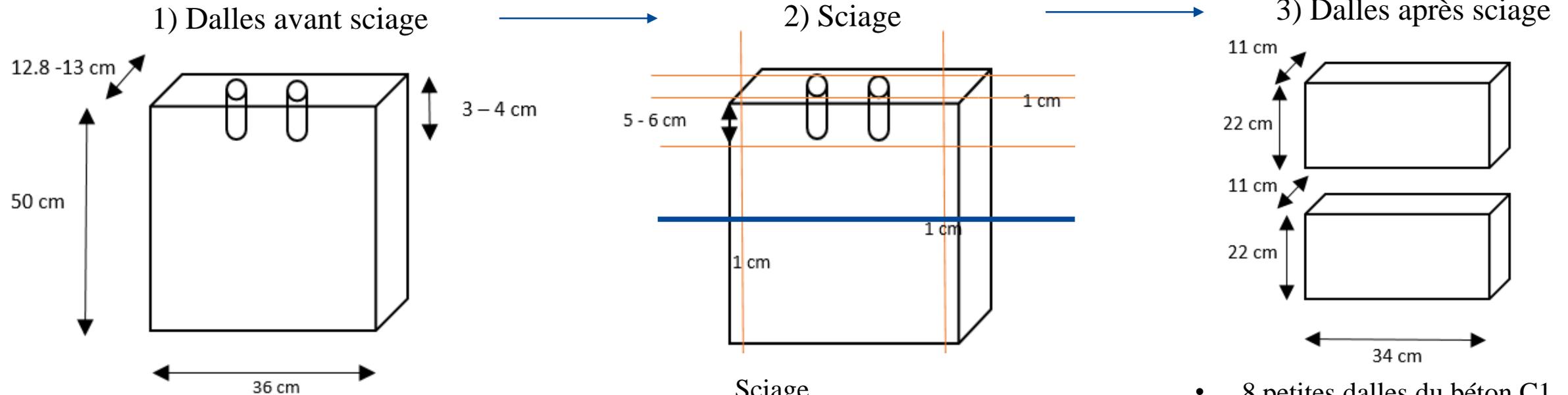


Dépôt phase 1 : AAPG2019-ANR DEMCOM (déjà déposé en 2018, accepté en phase 1)

PARTENAIRES (Etablissement / Laboratoire)	COMPÉTENCES ET INTÉRÊT POUR LE PROJET
Porteur : UBL UN GEM (équipe IEG)	Stéphanie Bonnet : Durabilité du béton armé et modélisation de la pénétration des chlorures dans le matériau Francois Bignonnet : Transport dans les milieux poreux Abdelhafid Khelidj : durabilité du béton
IFSTTAR / MAST	Géraldine Villain: Utilisation des END pour déterminer les indicateurs de durabilité du béton armé Sergio Palma-Lopes : physicien de la mesure de résistivité Anne Ventura : ACV des structures BA en milieu marin André Orcesi : Optimisation économique des choix
INRA de Rennes / SAS	Tristan Senga-Kiesse : Analyse statistique et probabiliste en GC
Bouygues Construction / PIM	Christian Crémona: Durabilité du béton, structures marines offshore Stéphanie Vildaer: END appliqué aux bétons

Merci pour votre attention
Questions

- **Préparation pour la partie expérimentale** (scier les dalles APOS et les couvrir latéralement par de la résine)



- 4 grandes dalles du béton C1
- 5 grandes dalles du béton C3

Sciage

- 4 grandes dalles du béton C1
- 4 grandes dalles du béton C3

- 8 petites dalles du béton C1
- 8 petites dalles du béton C3
- 1 grande dalle du béton C3

Couvrir les dalles latéralement par la résine



- Assurer un transfert de chlorure unidirectionnel
- Empêcher la dalle de sécher

Résine Sikafloor 156

I. Introduction

II. Partie bibliographique

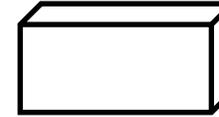
III. Cas saturé : Béton APOS

IV. Travail prévu

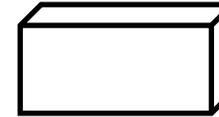
VI. Conférences, formations

- Plan expérimental (Mesures D et ND sur les nouvelles dalles sciées)

[NaCl]	0 g/L		35 g/L		90 g/L	
Béton	C1	C3	C1	C3	C1	C3
Diffusion	-	-	17-H	7-H	17-B	7-B
Imbibition d'eau	18-H	8-H	12-H	2-H	12-B	2-B
Marnage			14-H	4-H	14-B	4-B
Dalles restantes	18-B	Possibilité de carottages pour C1				
	8-B					
	6	Grande dalle (n'est pas sciée)				



Haut (H)



Bas (B)

- Dalles coulées verticalement
- Risque de ségrégation dans la partie inférieure

	Note	Mesures réalisées marquées en jaune		
Diffusion	[NaCl] = 35 g/L et 90 g/L			
	Dalles : 17- (H et B) et 7- (H et B)			
	TRE/Capa	Destructive	TRE/Capa	Destructive
Echéances	0		16 sem	
	1j		18 sem	Da et K ₁
	3j		22 sem	
	6j		27 sem	
	1 sem		30 sem	
	2 sem		35 sem	Da et K ₁
	4 sem		40 sem	
	6 sem		44 sem	Da et K ₁
	8 sem		48 sem	Da et K ₁
	10 sem		52 sem	
	14 sem		55 sem	Da et K ₁

	Note	On attendre la séchage des dalles		
Imbibition	[NaCl] = 35 g/L et 90 g/L			
	Dalles : 12-(H et B) et 2-(H et B)			
	TRE/Capa/ultrasonore	Destructive	TRE/Capa/ultrasonore	Destructive
Echéances	0 h		1 sem	Φ, Da et K ₁
	1 h		2 sem	
	4 h		3 sem	
	6 h		4 sem	Φ, Da et K ₁
	9 h		6 sem	
	11 h		8 sem	
	25 h		10 sem	Φ, Da et K ₁
	28 h		16 sem	
	30 h		20 sem	
	33 h		30 sem	Φ, Da et K ₁

I. Introduction

II. Partie bibliographique

III. Cas saturé : Béton APOS

IV. Travail prévu

VI. Conférences, formations

• Plan de calibration (zone non saturée)

1 Observable
1 Indicateur

1 Observable
/ 2 Indicateurs

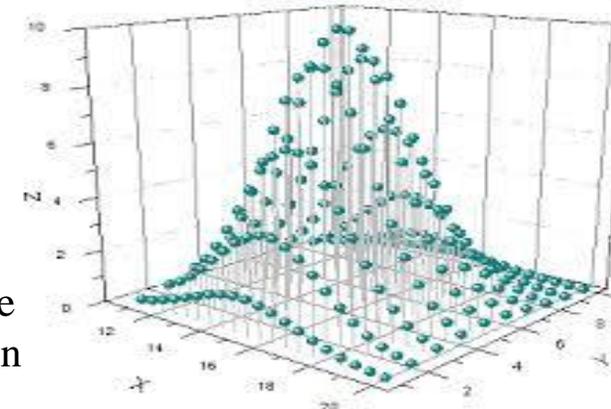
• Obs (ρ ou ϵ) = f ([NaCl], S),

Resistivité		[NaCl] (g/L)			
		0.00	15.00	35.00	90.00
S (%)	10.00	✗	✓	✓	✓
	20.00	✓			
	30.00	✓			
	40.00	✓			
	60.00	✓	✓	✓	✓
	80.00	✓	✓	✓	✓
	100.00	✓	✓	✓	✓

Permittivité		[NaCl] (g/L)			
		0.00	15.00	35.00	90.00
S (%)	10.00	✗	✓	✓	✓
	20.00	✓			
	30.00	✓			
	40.00	✓			
	60.00	✓	✓	✓	✓
	80.00	✓	✓	✓	✓
	100.00	✓	✓	✓	✓

— *Milia Fares* — *Khodor El Achrafi*

Permittivité ou résistivité (ϵ ou ρ)



Degré de saturation

Concentration en chlorure

Déduire une relation entre les observables (résistivité et permittivité) et les teneurs en chlorures et en eau (Ajustement par Matlab)

Tableaux d'analyses : Zone non-saturée

Modèle Baroghel-Bouny (2011)						
	Definition des parametres d'entrées	Symbol	Unités	Remarques	ED	END
Perméation de l'eau liquide(Loi de Darcy)	Permeabilité intrinsèque	K	m ²	Obtenir K par analyse inverse après l'obtention de S _l [Modèle Thiery]		X
	Degree de saturation	S _l	%	S_l trouver par END : TRE et sondes capacitives / S_l utiliser pour trouver K_{rl}		X
	Humidité relative	Hr	(-)	Obtenir par l'obtention de degré de saturation S_l		X
	Vitesse de Darcy	v _l	m/s			
Transfert de l'humidité (Diffusion de vapeur d'eau)	Facteur de resistance	f(∅,S _l)	(-)	Obtenir ∅ par impact-écho ou ultrasonore / Obtenir S_l par TRE ou les sondes capacitives		X
	Humidité relative	Hr	(-)	Obtenir par l'obtention de degré de saturation S_l		X
	Flux de l'humidité	J _α (α=vapeur ou air)	mol. m ² .s ⁻¹			
Transfert des ions chlorures (Diffusion)	Concentration d'ions chlorures totaux	c _i	mol/m ³ of solution	Obtenir c _i par TRE ou les sondes capacitives		X
	Humidite relative	hr	(-)	S_l trouver par END : TRE et sondes capacitives / S_l utiliser pour trouver K_{rl}		X
	Concentration des ions fixes	S _j	mol/m ³ of material	Obtenir S_j par END et ED	X	X
	Coefficient de Diffusion (S _l = 1)	D _i (S _l)	m ² /s		X	X
	Flux de ions chlorures transférées	J _i	mol. m ² .s ⁻¹			

1. Cas d'application : dalles Apos

Formulation du béton
APOS (C1 et C3)

Constituants (kg/m ³)	Origine	Masse (kg/m ³ du béton)	
		APOS-C1	APOS-C3
Granulats (11,2/12,4)	Carrière du Pont de Pierre (22)	760	760
Granulats (6,3/10)	Carrière de Trègueux (22)	320	320
Sable (0/2)	Carrière de Gouviard (22)	560	430
Sable (0/4)	Sablière du Moulin (56)	300	430
CEMI 52,5 N CE CP2 NF	Lafarge - Saint-Pierre La Cour	305	-
CEM III / 52.5 L PMES CP1 NF	Lafarge - Le Havre	-	260
Additon Calcaire	Erbray	-	50
Adjuvants	Sika Prise SC2	0.70	-
	Sikaplast Techno 80	-	1.9
Eau efficace E	-	190	177

Campagnes expérimentales
(Diffusion et imbibition)
[Fares, 2015]

Projet	Bétons	Dalles	Dimensions	Essais	Conditions
APOS	C1	16_1	11x22x30 (cm)	Diffusion de [Cl-]	165 g/l NaCl
		16_2			35 g/l NaCl
		15_1			165 g/l NaCl
		15_2			35 g/l NaCl
	C3	5_1	11x22x30 (cm)	Imbibition d'eau douce	165 g/l NaCl
		5_2			35 g/l NaCl
	C1	11	11x22x30 (cm)	Imbibition d'eau douce	
		13			
C3	1	11x22x30 (cm)	Imbibition d'eau douce		
	3				



Béton Apos : Indicateurs de durabilité et caractéristiques physiques

Mesures réalisées par Cerema à Saint-Brieuc

	Porosité accessible à l'eau (%)				Coefficient de diffusion apparent CI- (x10 ⁻¹²)				Permeabilité à l'eau liquide (Kg. m ⁻² .s ^{-0,5})			
	APOS_C1		APOS_C3		APOS_C1		APOS_C3		APOS_C1		APOS_C3	
	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22
Valeur 1	17.7	15.1	15.6	15.1	23.3	14.2	5.5	2.5	1.63	2.61	0.76	0.73
Valeur 2	14.8	16.2	15.9	15.3	29.3	17.2	5.3	1.8	1.32	2.38	0.64	0.74
Valeur 3	16.1	16.3	16.4	15.5	32.3	15.3	6.7	1.9	1.37	2.42	0.6	0.76
Moyenne	16.2	15.9	16.0	15.3	28.3	15.6	5.8	2.1	1.4	2.5	0.7	0.7
Ecart-type	1.5	0.7	0.4	0.2	4.6	1.5	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1	0.02
	Coefficient d'adsorption capillaire à 24 h (Kg / m ²)				Masse volumique (Kg . m ³)				Résistivité électrique (W. m)			
	APOS_C1		APOS_C3		APOS_C1		APOS_C3		APOS_C1		APOS_C3	
	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22	Φ 74	11*22
Valeur 1	7.71	7.02	3.17	3.61	2264.5	2358.7	2331.4	2351.1	39	53	176	355
Valeur 2	6.18	7.42	2.99	3.67	2368	2321.3	2319.9	2337.8	44	51	191	365
Valeur 3	6.71	7.44	3.77	3.74	2328.7	2317.2	2316.7	2350.1	38	53	153	345
Moyenne	6.9	7.3	3.3	3.7	2320.4	2332.4	2322.7	2346.3	40.3	52.3	173.3	355.0
Ecart-type	0.8	0.2	0.4	0.1	52.2	22.9	7.7	7.4	3.2	1.2	19.1	10.0
	Essai compression Module d'Young (Mpa)				Essai 12390-3 (Mpa)							
	APOS_C1		APOS_C3		APOS_C1			APOS_C3				
	Φ 74	16*32	Φ 74	16*32	Φ 74 (300j)	11*22 (28j)	11*22 (90j)	Φ 74 (300j)	11*22 (28j)	11*22 (90j)		
Valeur 1	36.3	31.8	28.5	48.6	40	35.4	39.7	33.2	34.5	42		
Valeur 2	35.6	31	26.2	47.5	39.8	37.1	40.8	33.2	35.3	40.3		
Valeur 3	39.5	30.8	26.8	47.8	41.2	36.5		32.3	34.8			
Valeur 4	36.2	31.2	28.3	49.7								
Valeur 5	39.7		26.1									
Moyenne	37.5	31.2	27.2	48.4	40.3	36.3	40.3	32.9	34.9	41.2		
Ecart-type	2.0	0.4	1.1	1.0	0.8	0.9	0.8	0.5	0.4	1.2		



- Financement: projet **WeAMEC-Amorçage Fev-Aout 2018**
- **CA2M-COM** : **Critical Analysis for Monitoring and Modelling chloride penetration in COncrete structures in Marine environment**
- Stage de Master 2 : Mohamad Khodor EL ACHRAFI



1. Bibliographie sur les modèles de diffusion + END utilisée en milieu maritime + EMR (éolienne flottante)

2. Construire une base des données ED et END (résistivité + permittivité)
Projet Européen Medachs (2005-2008), Projet ORSI-APOS
thèse de Milia FARES (2015)

3. Calculer les paramètres d'entrées du modèle de diffusion sélectionné à partir de l'ajustement des profils d'ions chlorures obtenus par tomographie de résistivité

4. Prédire la propagation des ions chlorures à partir de ce modèle et comparer les profils obtenus avec ceux obtenus par tomographie de résistivité et ED

5. Validation de la démarche : comparer les profils obtenus avec ceux obtenus par tomographie de résistivité et ED à partir de l'auscultation des quais en 2020/2021



[<https://www.ouest-france.fr>]



Villain et al CBM 2012
résultats de l'auscultation de 2007