

Présentation du master

Master 2 ID-RIMS Ingénierie de la durabilité – recherche et innovation en matériaux et structures



Plan de la présentation

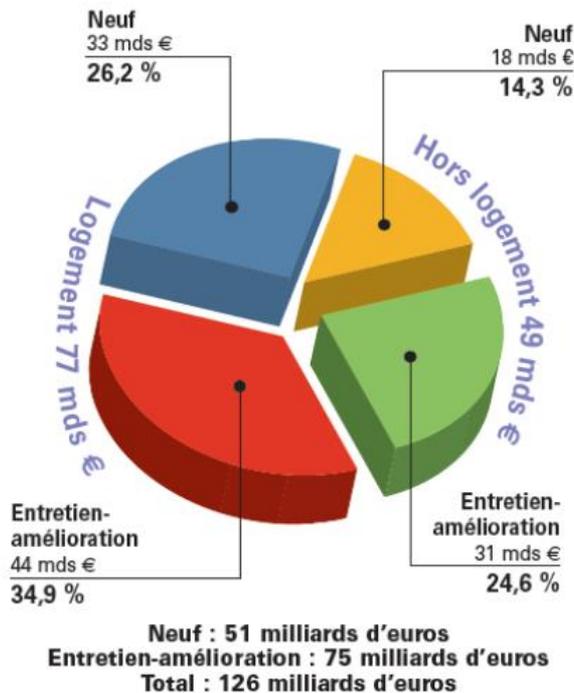
- I. Contexte de la formation**
- II. Structure du M2**
- III. Modules de formation**
- IV. Fonctionnement du master**

Pourquoi ce parcours ?

Ingénierie de la durabilité – recherche et innovation en matériaux et structures

La production

Travaux de bâtiment: 126 milliards d'euros

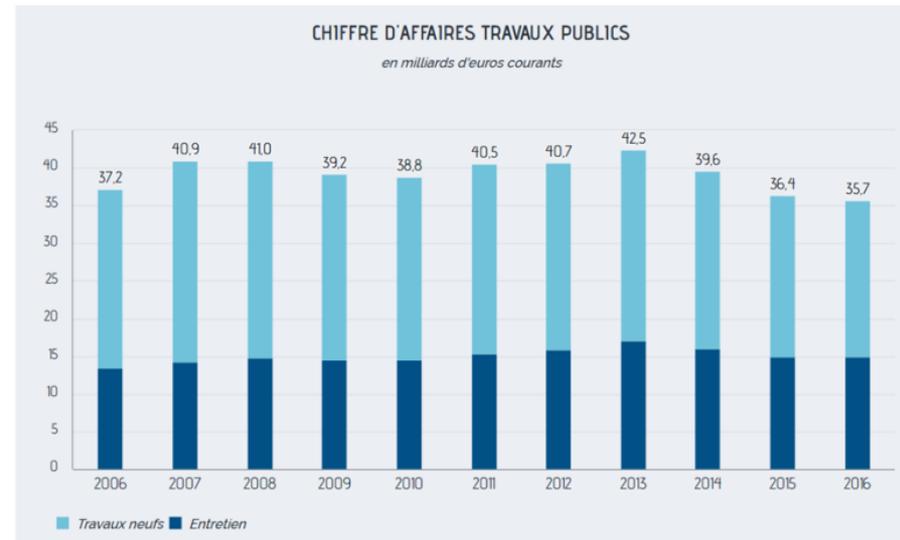


FFB 2016

Estimations FFB

Parts de marché **Entretien du patrimoine bâti** 2016 (en % de CA) :

- **Bâtiment = 60 %**
- **Travaux Publics : 41 %**
- **Tous secteurs confondus : 50,5 %**



FNTP 2016

I. Contexte de la formation

1. Contexte de la formation

Entretien du patrimoine bâti :

- Emergence de nouveaux métiers
- Nécessite des ingénieurs aux compétences approfondies et transversales

Une formation qui s'appuie sur les compétences des EC du LMDC

- Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (<http://www-lmdc.insa-toulouse.fr/>)
- Laboratoire et chercheurs reconnus internationalement

Métiers possibles (non-exhaustif)

- Ingénieur expert BTP, contrôleur ou inspecteur technique du BTP, ingénieurs Recherche et développement, ingénieur de maintenance en infrastructure, responsable d'entretien d'ouvrages.
- Ce parcours est adapté pour une poursuite en doctorat.

I. Contexte de la formation

2. Informations générales

- Master 2
- Co-habilitation INSA - Université Paul Sabatier
- Promotions mixtes INSA-UPS-étudiants étrangers : ≈ 24 étudiants
- Le master ID-RIMS est adapté à :
 - Aux métiers du secteur professionnel
 - Une poursuite d'études en thèse
- Procédure admission et inscription :

https://drive.google.com/file/d/12xVvMmo21UG-8Hm_I2CPBKa9FIUq_ETW/view

- Responsables de la formation : G. SAMSON (samson@insa-toulouse.fr),
M. CYR (martin.cyr@insa-toulouse.fr)

II. Structure de la formation

A

Ingénierie de
la durabilité
des **matériaux**

B

Ingénierie de
la durabilité
des **structures**

C

Ingénierie du
diagnostic et de la
préservation des
matériaux et
structures

II. Structure de la formation



A - Ingénierie de la durabilité des matériaux

- Aspects physico-chimiques des matériaux du Génie Civil
- Pathologies matériaux : corrosion, réactions alcali-silice, réactions sulfatiques, carbonatation, chlorures...
- Formulation vs durabilité (norme EN 206)
- Transferts de masse et de chaleur
- Indicateurs de durabilité

II. Structure de la formation

B
Ingénierie de
la durabilité
des **structures**

B - Ingénierie de la durabilité des structures

- Aspects mécaniques au sens très large...
- Pathologie d'origine mécanique
- Recalcul / Requalification
- Renforcement



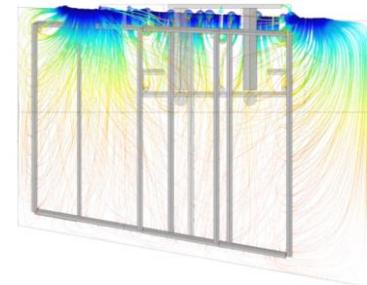
II. Structure de la formation

C

Ingénierie du
diagnostic et de la
préservation des
matériaux et
structures

C - Ingénierie du diagnostic et de la préservation des matériaux et des structures

- **Inspection visuelle et Contrôles non destructifs**
- **Caractérisations physico-chimiques sur prélèvements**
- **Maintenance électrochimique (anti-corrosion) : protection cathodique**
- **Contexte normatif**



III. Modules de formation

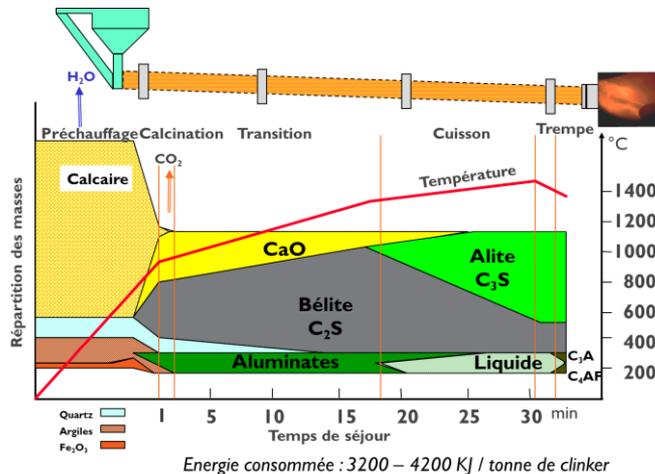
1. Formulation et microstructure

Responsable d'UF : M. Cyr

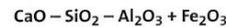
Mots-clés : Rhéologie, formulation, béton, hydratation, microstructure, contexte normatif, jeune âge, dilatation thermique

Compétences

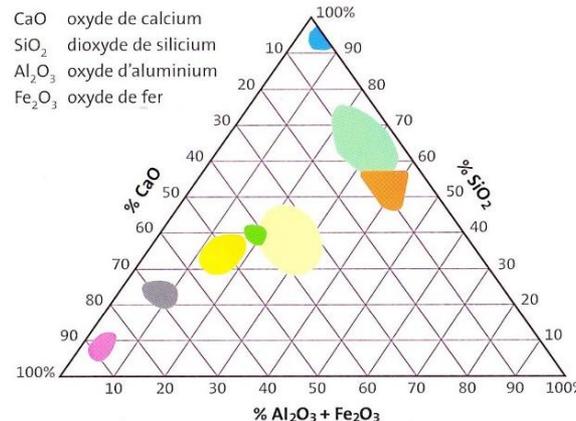
- Comprendre l'impact de la formulation d'un béton sur ses propriétés à l'état frais et durci.
- Comprendre les relations entre les propriétés mesurées à l'échelle macroscopique et microscopique.
- Prévenir les pathologies d'un béton en fonction de son environnement.



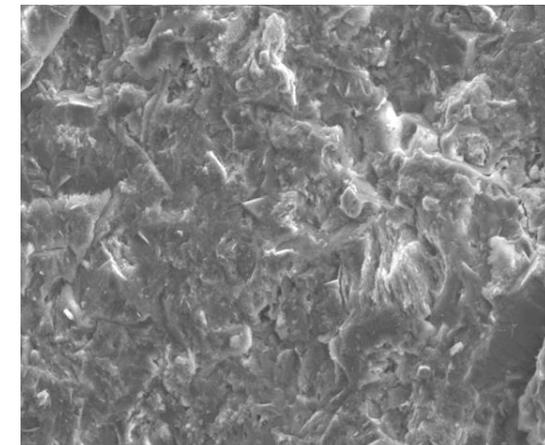
Fabrication du clinker



CaO oxyde de calcium
 SiO₂ dioxyde de silicium
 Al₂O₃ oxyde d'aluminium
 Fe₂O₃ oxyde de fer



Additions minérales



Observations microscopique de C-S-H

III. Modules de formation

1. Formulation et microstructure



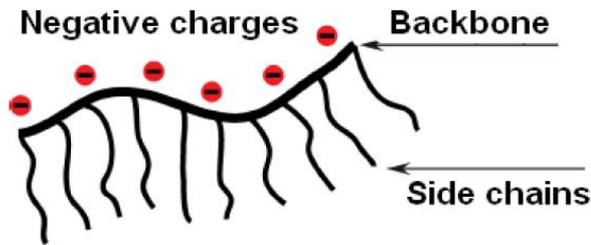
Etat frais



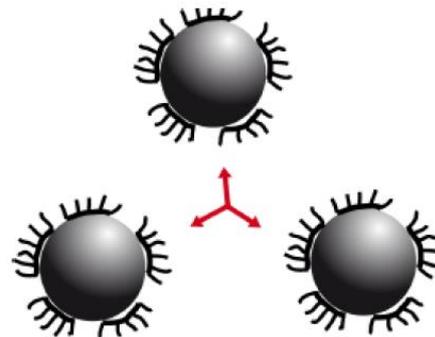
Etat durci



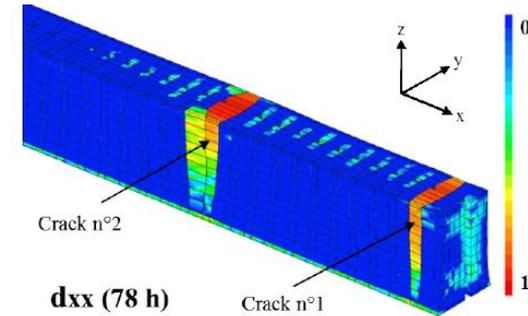
Ouvrage massif avec risque de fissuration par dilatation thermique empêchée



Superplastifiant



Répulsions stérique et électrostatique



Modélisation numérique de la fissuration au jeune âge

III. Modules de formation

2. Transfert de masse

Responsable d'UF : S. Ginestet

Mots-clés : rénovation thermique, matériaux isolants, transferts de vapeur d'eau

Objectifs

- Connaître les grandes typologies de rénovation thermique des bâtiments
- Calculer le risque de condensation dans une paroi multicouche
- Evaluer l'impact de différentes solutions de rénovation

Compétences

- Effectuer un diagnostic sur un bâtiment existant
- Proposer des solutions de rénovation et évaluer les améliorations obtenues (consommation, analyse économique)

III. Modules de formation

2. Transfert de masse



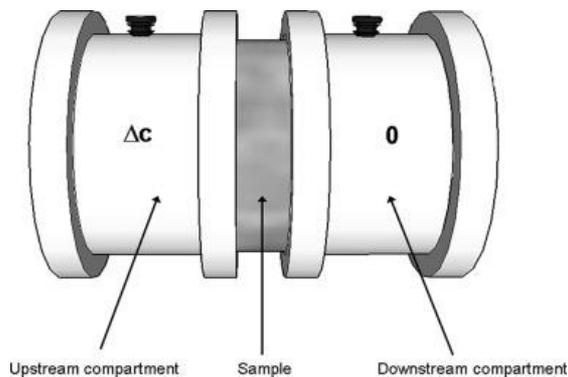
Mesure de perméabilité au gaz



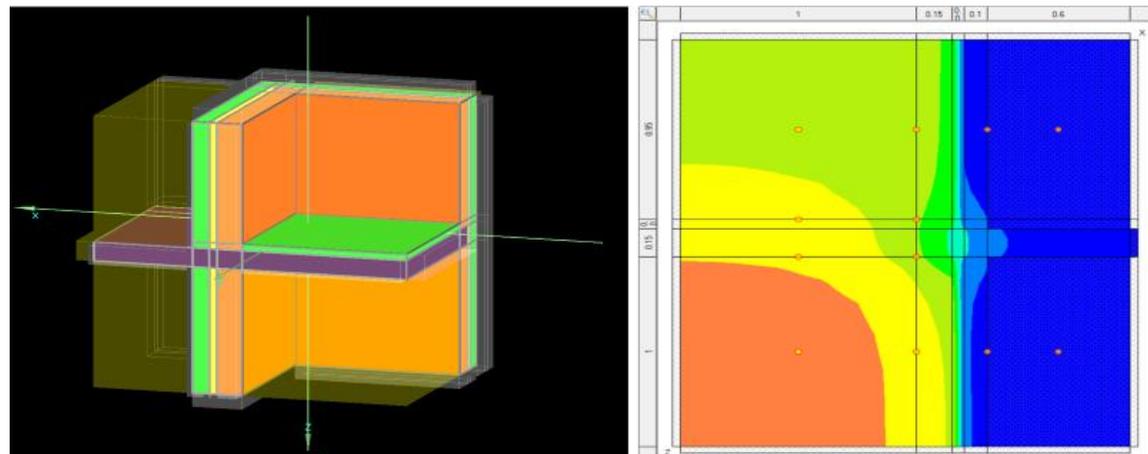
Moisissure sous isolant thermique



Parois légères hygroscopiques



Cellule de diffusion du Tritium



Modélisation des transferts de masse dans les ponts thermiques

III. Modules de formation

3. Physico-chimie de la durabilité

Responsable d'UF : A. Bertron

Mots-clés : matériaux cimentaires, attaques exogènes : attaque acide, lixiviation, carbonatation, attaque sulfatique externe, biodétérioration, gel-dégel, pathologies endogènes : RAG, RSI, EN 206, approche performantielle, corrosion des armatures, méthodes électrochimiques

Contexte

- Cette UF a pour cadre l'éventail des situations dans lesquelles la durabilité des matériaux et structures en béton (armé) est susceptible d'être compromise du fait d'attaques de nature physico-chimique. Elle concerne directement :
- des ouvrages massifs tels que les barrages, les ponts, les centrales nucléaires, etc., susceptibles d'être soumis à des agressions chimiques externes : lixiviation, corrosion etc., et des pathologies internes (RAG, RSI)
- les ouvrages industriels et agro-industriels, d'assainissement, soumis à des agressions chimiques et biologiques et à de la corrosion
- les ouvrages maritimes (corrosion des armatures, etc)
- les ouvrages de stockage des déchets radioactifs

III. Modules de formation

3. Physico-chimie de la durabilité

Compétences

- Connaître les grands principes des réactions physico-chimiques relatives aux pathologies exogènes (attaques acides, carbonatation, attaques sulfatiques...) et endogènes (RAG, RSI) et les conséquences sur les propriétés des matériaux.
- Appréhender les principes des méthodes calcul permettant d'estimer l'altération des bétons dans des cas simples (lixiviation) et la durée de vie des ouvrages.
- Appréhender l'environnement normatif relatif à la durabilité des structures (EN 206) et pratiquer les approches prescriptives et performantielles de formulation des bétons, connaître l'éventail des essais normalisés pour caractériser les performances des bétons dans les différentes situations agressives.
- Dans le cas particulier de la corrosion des armatures de béton armé, connaître la phénoménologie et les méthodes classiques d'investigation électrochimique.

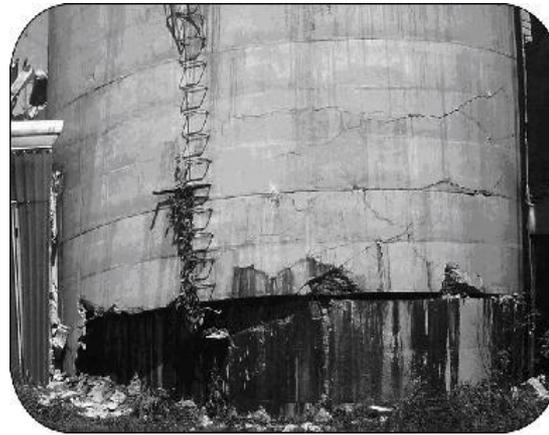
A noter : Le cours sur les réactions physico-chimiques est en anglais.

III. Modules de formation

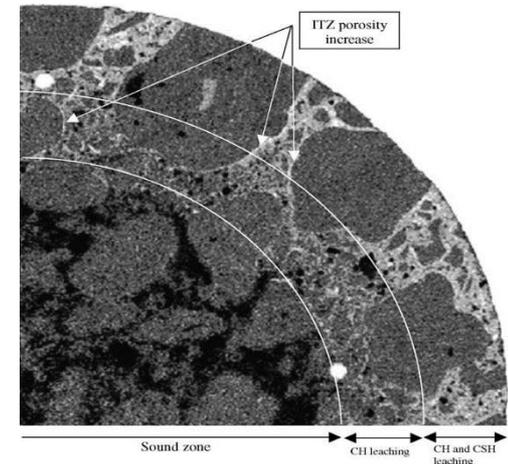
3. Physico-chimie de la durabilité



Zone de marnage



Les effets de la corrosion ?



Visualisation MEB



Traitement de l'eau



Unleached mortar

After 28 days of immersion in NH_4NO_3

After 56 days of immersion in NH_4NO_3

■ Sound zone

■ Leached zone

Lixiviation dans une solution modèle

III. Modules de formation

4. Mécanique des matériaux et des structures

Responsable d'UF : A. Sellier

Mots-clés : mécanique, structure, des couplage chimie-mécanique, éléments finis, mécanique de la rupture, de plasticité et d'endommagement

Objectifs : savoir évaluer de façon précise l'état mécanique d'une structure de génie civil.

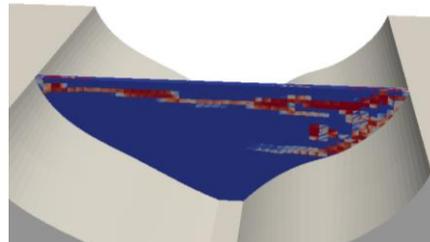
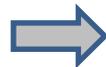
Compétences : Maîtrise des outils d'évaluation de structures et des notions théoriques sous-jacentes (mécanique de l'endommagement, du fluage, des couplages chimie-mécanique et des méthodes de calcul par éléments finis).

➔ Trois exemples de questions à fort enjeux économiques et sociétaux en lien direct avec la tenue mécanique d'un ouvrage

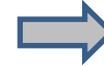
Exemple 1 : L'état d'altération d'un barrage atteint de réaction sulfatique interne est-il compatible avec la continuité de son exploitation hydro-électrique ? Avec les enjeux de sécurité civile ?



Barrage



Modélisation numérique



Comparaison modèle / observations

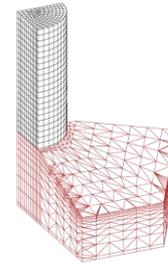
III. Modules de formation

4. Mécanique des matériaux et des structures

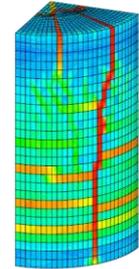
Exemple 2 : L'état d'altération d'un pilier de pont autoroutier affectée par une réaction chimique délétère est-il compatible avec son exploitation sécuritaire ? Faut-il le réparer ou le remplacer ?



Pilier



Maillage 3D

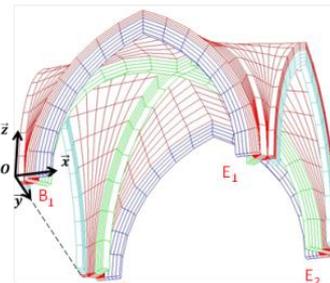


Résultats du modèle

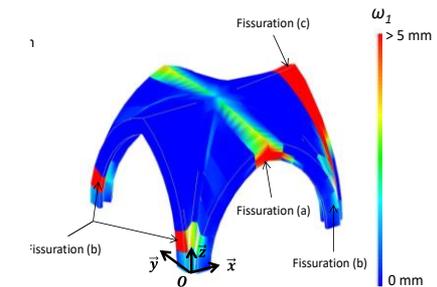
Exemple 3 : L'état de fissuration d'une voute en croisée d'ogive d'un ouvrage du XII^{ème} siècle est fissurée, son état permet-il encore de recevoir du public ?



Eglise



Maillage 3D



Résultats du modèle

III. Modules de formation

4. Mécanique des matériaux et des structures

Démarche et outils communs pour analyser ces différents problèmes :

- Auscultation de l'ouvrage
- Prélèvement d'échantillons
- Identification des propriétés physico-chimiques et mécaniques
- **Modélisation par la méthode des éléments finis non linéaires**
- **Contrôle de la modélisation par confrontation avec résultats sur l'ouvrage**
- **Prédiction de l'évolution de l'ouvrage sur plusieurs décennies**
- Prise de décision concernant les méthodes de remédiation

III. Modules de formation

5. Physique du contrôle non destructif

Responsable d'UF : J-P. Balayssac

Mots-clés : techniques de contrôle non destructif, ondes, radar, ultrasons, corrosion, électrochimie

Objectifs : déterminer de façon non destructive l'état d'une structure du GC afin de planifier de façon optimale la surveillance et la maintenance
savoir évaluer de façon précise l'état mécanique d'une structure de génie civil.

Compétences : Maîtrise de nombreux outils de caractérisation par CND

- Peu utilisé ces dernières décennies mais le patrimoine bâti est vieillissant.
- Part de plus en plus importante dans la maintenance bâti de Génie Civil.
- Besoin des gestionnaires d'ouvrages de contrôler leur patrimoine afin de planifier de façon optimale la surveillance et la maintenance.
- Croissance importante d'opérateurs de contrôle non destructif dans différents secteurs (nucléaire civil, ouvrages d'art, bâtiment, etc...).
- Avantages CND : nombre élevé d'informations sans altérer l'intégrité de l'ouvrage et à des coûts modérés.

III. Modules de formation

5. Physique du contrôle non destructif

Les problématiques sont nombreuses :

- Reconnaissance de la géométrie externe (mesure d'épaisseurs) ou interne (recherche de défauts enfouis, localisation d'éléments métalliques comme des inserts ou des aciers de renforcement).
- Caractérisation du matériau (teneur en eau, propriétés mécaniques).
- Pathologies (alcali-réaction, corrosion, etc).

Contenu pédagogique

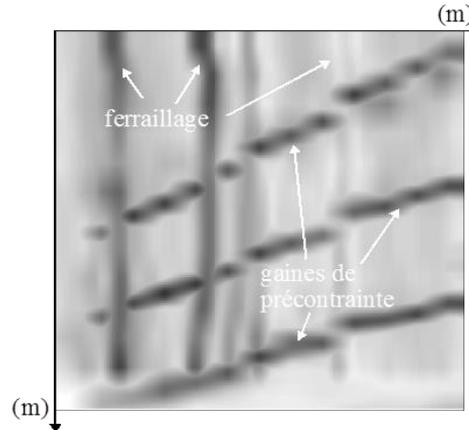
- Découverte des principales familles de techniques de contrôle non destructif appliquées aux ouvrages de génie civil et plus particulièrement aux ouvrages en béton armé.
- Approfondissement sur trois méthodes essentielles :
 - Ultrasonores
 - Électromagnétiques
 - Electrochimique
- Mesures expérimentales (nombreux TP) et modélisation numérique
- Forte interaction avec l'UF Maintenance
- Deux intervenants extérieurs

III. Modules de formation

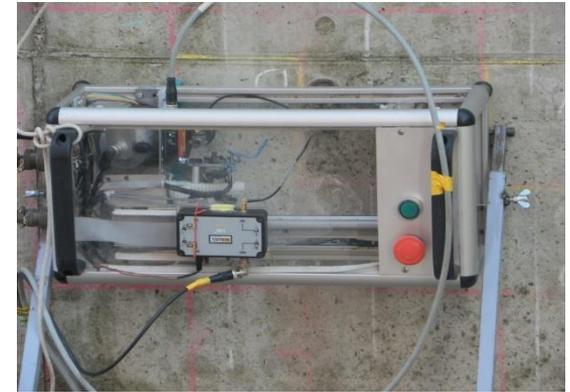
5. Physique du contrôle non destructif



Auscultation radar



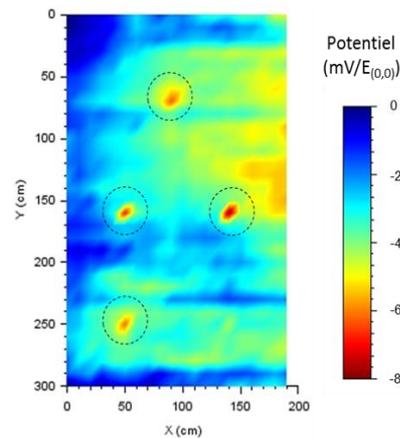
Visualisation des armatures



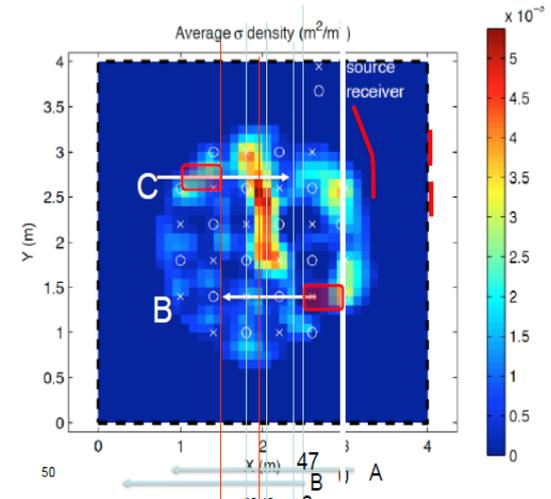
Robot pour auscultation du béton (ultrasons de surface)



Electrodes à roues (mesure potentiel)



Visualisation surfacique



Cartographie fissure (ondes ultrasonores de surface)

III. Modules de formation

6. Maintenance des ouvrages

Responsable d'UF : R. François

Mots-clés : maintenance, protection cathodique, réparation, renforcement, recalcul, béton armé, maçonnerie

Objectifs : appréhender différentes approches de préservation du patrimoine bâti existant selon les pathologies observées, comprendre les spécificités liées au renforcement et au recalcul d'un ouvrage ancien

Compétences : Anti-corrosion (protection cathodique...), calcul d'ouvrage ancien



Fissure de corrosion



Armature attaquée par les chlorures

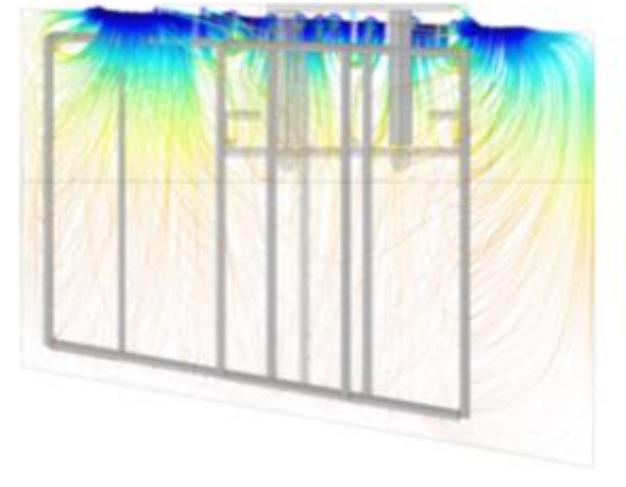
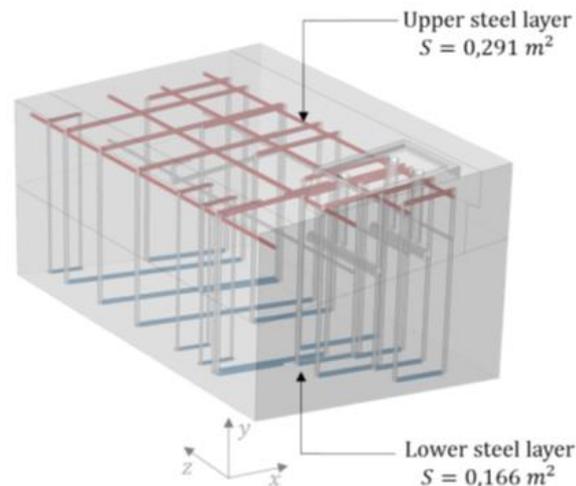
III. Modules de formation

6. Maintenance des ouvrages

Contenu :

- Techniques de maintenance électrochimique du béton armé
- Pathologie structurelle et techniques de réparation / renforcement
- Evaluation des ouvrages maçonnerés
- Mécanique des interfaces
- Projet Maintenance : Diagnostic et protection cathodique
- Projet Recalcul structurel d'ouvrage ancien et renforcement

Conception assistée par ordinateur des systèmes de maintenance électrochimique... Anti-corrision



Modèles numériques

III. Modules de formation

	ECTS	
FORMULATION ET MICROSTRUCTURE	4	S1
TRANSFERTS DE MASSES ET DE CHALEUR	4	
PHYSICO-CHIMIE DE LA DURABILITÉ	6	
MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX ET DES OUVRAGES	5	
PHYSIQUE DU CONTRÔLE NON DESTRUCTIF	4	
MAINTENANCE DES OUVRAGES	5	
ANGLAIS	2	S2
TRAVAIL D'ETUDE ET DE RECHERCHE (TER) - BIBLIOGRAPHIE	6	
STAGE EN LABORATOIRE	24	

Chaque année, une vingtaine de **stages** est proposée au LMDC (<http://www-lmdc.insa-toulouse.fr/>). De nombreuses **thèses** sont également proposées à l'issue des stages.