

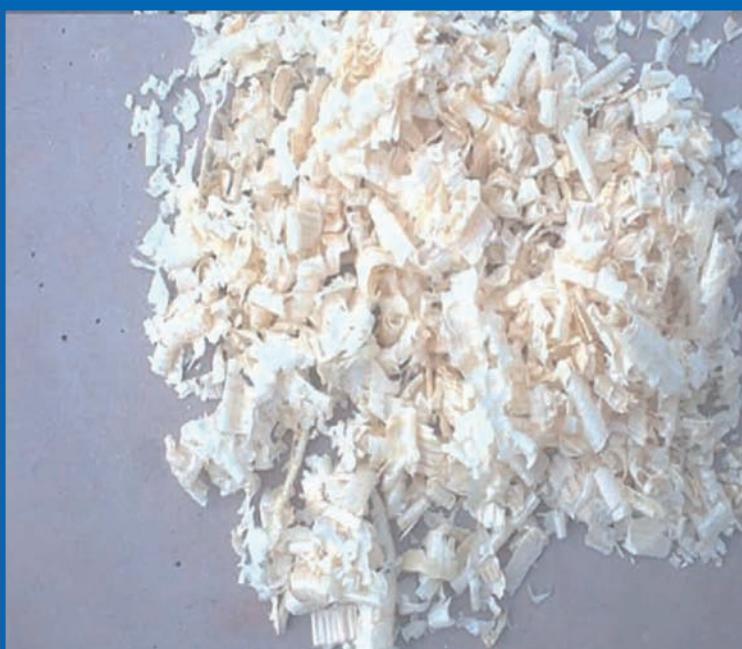


DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

AOÛT 2010 - N° 4

PRIX : 27,44 €

BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU RETRAIT ET DU FLUAGE DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DES MATERIAUX LOCAUX

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DE LA FONCTION DE VULNÉRABILITÉ ET DU RISQUE SISMIQUE POUR LES STRUCTURES EN POTEAUX POUTRES



ÉTUDE NUMÉRIQUE DU TAUX DE RECOUVREMENT THERMIQUE DES DÉBITS D'AIR D'INFILTRATION AU SEIN DE PAROIS DE BÂTIMENTS

ISSN : 1270-9840
CPPAP : 1002T77866

ISBN 978-2-7472-1738-5



9 782747 217385



COMMENCEZ DÈS MAINTENANT À APPRENDRE



22 AU 26 MARS
LAS VEGAS ÉTATS-UNIS

Le béton se fissure toujours

Évitez les appels de vos clients en éliminant ce problème récurrent.

Notions de base sur la gestion des projets

Gérez mieux vos projets en améliorant vos compétences de gestion de projets.

Posez ce magazine et allumez votre ordinateur pour visionner des webcasts gratuits de l'industrie. Ils fourmillent d'informations pratiques que vous pourrez utiliser immédiatement. L'attente de l'ouverture du salon CONEXPO-CON/AGG 2011 vous paraîtra ainsi moins longue.

Webcasts gratuits d'une valeur de 70 \$ chacun !

Payant : solutions de terrassement général pour des bénéfices importants

Choisissez le bon équipement pour augmenter vos bénéfices.

Meilleures pratiques pour la gestion du parc machines

Avec ces améliorations, économisez de 2 à 5 % sur le budget de maintenance de votre parc machines.

Inscrivez-vous pour les visionner à tout moment sur le site :

<http://www.conexpoconagg.com/intlv>

Salon partagé
avec



sommaire



ISSN : 1270-9840

SÉRIE BIMESTRIELLE N° 4/2010

(anciennement : Annales de l'I.T.B.T.P.,
Revue créée en 1948)

AOÛT 2010

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Serge KEBABTCHIEFF

RÉDACTION

Rédacteur en chef

François BUYLE-BODIN,
université de Lille

Représentant

l'Association Française
de Génie Civil AFGC



Jean-Marc TANIS (EGIS), président du CA
Bruno GODART (LCPC), président du Comité
des Affaires Générales

Patrick GUIRAUD (Cimbéton),
vice-président du CAG

Thierry KRETZ (SETRA),
Président du Comité Scientifique et Technique

Représentant l'Association

Universitaire de Génie



Civil AUGC

Denys BREYSSE
(université de Bordeaux),
président du CA

Anne PANTET (université de Poitiers),
membre du CA, chargée des publications
des rencontres de Saint-Malo

Olivier PLÉ (université de Grenoble),
membre du CA, chargé du prix jeunes
chercheurs « René Houpert »

Ahmed LOUKILI,
membre du conseil scientifique

Représentant le LCPC

Jean-Luc CLÉMENT, direction scientifique

Représentant la SMA-BTP et le GIS MRGenCi
(maîtrise des risques en génie civil)

Vincent MELACCA

ABONNEMENT :

Editions ESKA <http://www.eska.fr>

12, rue du Quatre-Septembre - 75002 PARIS
Tél. : 01 42 86 55 65 - Fax : 01 42 60 45 35

FABRICATION : AGPA EDITIONS

4, rue Camélinat - 42000 Saint-Etienne
Tél. : 04 77 43 26 70 - Fax : 04 77 41 85 04
E-mail : agpaedit@yahoo.com

PUBLICITÉ - À la rédaction

IMPRESSION

ONA Industria Grafica, Pamplona-Navarra, Spain

Dépôt légal: OCTOBRE 2010

éditorial

matériaux

Etude expérimentale du retrait et du fluage des bétons autoplaçants à base des matériaux locaux – G. BENKECHKACHE, A. CHABANE, H. HOUARI 7

Béton léger à base de granulats composites artificiels – S. BOUAZIZ, K. AIT TAHAR 16

structures

Méthodologie de l'évaluation de la fonction de vulnérabilité et du risque sismique pour les structures en poteaux poutres. Etude de cas : Wilaya de Boumerdès Algérie – M. HAMIZI, L. BOUZID, S. BOUKAIS, N. E. HANNACHI 23

physique du bâtiment

Étude numérique du taux de recouvrement thermique des débits d'air d'infiltration au sein de parois de bâtiments – H. BABIN, C. INARD 31

résumés — abstracts	5
annonces de colloques	39
recommandations aux auteurs	couv. 3
bulletin d'abonnement	2



Photos de couverture : les auteurs
Crédits photos : les auteurs



BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner aux Éditions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS
Tél. 01 42 86 55 65 – Fax 01 42 60 45 35

Nom

Raison sociale.....

Adresse

Code postal Ville Pays

Je m'abonne pour **l'année 2010** (6 numéros/an) à la revue « *Annales du BTP* » :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE individuel (TTC) : 222 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER individuel (HT) : 269 € |
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE institution (TTC) : 279 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER institution (HT) : 321 € |

À partir du 2^e abonnement :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE individuel (TTC) : 179 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER individuel (HT) : 215 € |
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE institution (TTC) : 224 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER institution (HT) : 257 € |

Surtaxe aérienne 2,90 € par volume (2,90 x 6) soit 17,40 €

Je joins : Un chèque bancaire à l'ordre des Editions ESKA

Un virement bancaire aux Editions ESKA -
BNP Paris - Champs Elysées - 30004-00804 - Compte 000101399.56

* 4/2010

LISTE DES ANNONCEURS

ÉDITIONS ESKA : 4^e de couverture

CONEXPO-CON/AGG 2011 : 2^e de couverture

éditorial

Science et technologie au service du développement

Cet éditorial s'inscrit dans le cadre d'un accord entre l'UISF et les Annales du BTP.* Son objectif est de présenter aux lecteurs une opération de coopération sur un thème essentiel et d'inviter ceux qui le souhaitent à s'y associer.

L'UISF est une ONG domiciliée à l'UNESCO et elle bénéficie du soutien de cette Organisation. Le site www.uisf.fr présente ses objectifs, sa structure, ses réseaux et ses activités.

Sur le plan international, nous privilégions actuellement le thème "Science et technologie au service du développement" qui est un axe prioritaire de l'UNESCO et nous ciblons plus particulièrement trois régions :

- ⇒ le Liban et le Proche-Orient
- ⇒ le Maghreb
- ⇒ l'Afrique subsaharienne.

En janvier 2010, nous avons remis à l'UNESCO un rapport intitulé "Science et technologie pour le développement en Afrique". Ce document est le fruit de trois ans de travaux préparatoires sous forme de séminaires organisés pour dégager les besoins, d'enquêtes pour définir les priorités, de création de réseaux africains (adhérents et partenaires) pour intervenir sur le terrain et de consultations de divers responsables ou experts pour élargir le débat. Il analyse la situation actuelle et présente un plan d'action à mettre en œuvre dès 2010 (voir notre site www.uisf.fr).

La démarche que nous préconisons repose sur la mobilisation des Réseaux de l'UISF en Afrique et sur l'appui que nous pourrons leur apporter. Dans l'immédiat, elle consiste à organiser deux types d'actions :

- ⇒ des **Groupes de réflexion** sur des sujets en rapport direct avec le développement ;
- ⇒ des **Conférences annuelles** où seront examinés les travaux en cours et les conclusions qu'on peut en tirer.

Notre objectif est d'aboutir à des propositions concrètes qui seront remises aux autorités compétentes et aux intéressés concernés.

Les modalités de fonctionnement des Groupes de travail et des Conférences annuelles sont décrites dans les annexes 1 et 2 du rapport que nous avons remis à l'UNESCO et qui figure sur notre site.

✓ **L'annexe 1** concerne l'Afrique subsaharienne. Elle découle du colloque qui s'est tenu à Dakar en juin 2009. Son contenu a été discuté avec le Ministre des Infrastructures du Sénégal et la Délégation du Sénégal auprès de l'Unesco. En accord avec la Délégation du Gabon auprès de l'Unesco, la première Conférence annuelle pour l'Afrique subsaharienne se tiendra à Libreville en 2011.

Le siège du Secrétariat général est à Dakar.

✓ **L'annexe 2**, relative à la constitution du Groupe maghrébin "Science et Technologie pour le développement au Maghreb", à l'issue du colloque organisé à Casablanca en novembre 2009.

La première Conférence annuelle pour le Maghreb est prévue à Tunis, du 9 au 11 décembre 2010.

Le siège du Secrétariat général est à Casablanca.

* Annales n° 6 de décembre 2004

Les actions de coopération menées par l'UISF sur le plan international constituent un champ d'action vaste et varié. Elles nécessitent une mobilisation de moyens considérables qui nous a amenés à créer le "Conseil International pour l'Education, la Science et la Technologie" (ICEST), dont l'objectif est d'agir en faveur du développement. Il est constitué de membres collectifs concernés par la science, la technologie, l'ingénierie et qui partagent avec nous les mêmes ambitions.

L'ampleur de nos actions de coopération montre qu'elles répondent à un besoin et elles prennent une dimension particulière quand il s'agit de pays en développement.

Conformément à nos accords avec les Annales, tous ses lecteurs qui souhaitent apporter une contribution, quelle que soit sa forme (participation à l'organisation de séminaires, présentation de communication, ...) seront les bienvenus. A cet effet, nous nous proposons de publier régulièrement des notes d'information sur nos programmes en cours de préparation, ainsi que sur les principaux résultats obtenus.

Elie ABSI
Président de l'UISF*

*** UNION INTERNATIONALE DES INGÉNIEURS ET DES SCIENTIFIQUES UTILISANT LA LANGUE FRANÇAISE (UISF)**

C/o UATI - Maison de l'UNESCO - 1, rue Miollis - 75732 PARIS 15

Tel : 01 45 68 48 27/29 - Fax : 01 43 06 29 27

Courriel : eabsi@uisf.fr

Site : www.uisf.fr

résumés — abstracts

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU RETRAIT ET DU FLUAGE DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DES MATÉRIAUX LOCAUX

G. BENKECHKACHE, A. CHABANE, H. HOUARI

Les bétons autoplâçants constituent une nouvelle génération de matériaux. Si leurs propriétés à l'état frais ont été largement étudiées, leurs comportements mécaniques différés semblent sujet à caution. Pourtant amenés à être utilisés de manière croissante, ces caractéristiques sont essentielles pour le dimensionnement et la conception d'ouvrages.

L'objectif principal de cette étude est de maîtriser d'abord la conception des bétons autoplâçants à base de matériaux locaux à l'état frais comme à l'état durci. Une attention particulière sera attachée au comportement différé, des poutrelles de 10x10x120 cm pour le fluage sous chargement de flexion quatre points et prismatiques de 7x7x28 cm pour les essais de retrait. Les essais ont été faits parallèlement, dans le temps, sur un béton autoplâçant de résistance à la compression à 28 jours faible et moyenne de 20 et 40 MPa respectivement. Notons que dans cette étude, il n'y a pas de séparation entre les déformations propres et les déformations de dessiccation.

Le béton autoplâçant confectionné à partir des matériaux locaux (fillers calcaires) se révèle stable et satisfaisant.

Il a été mis en évidence une cinétique de fluage du BAP de bâtiment semblable à celle du BAP d'ouvrage, alors que cette cinétique est notablement différente de celle du béton vibré. Les résultats obtenus sont comparables à ceux obtenus dans la littérature.

Cette étude apporte un éclairage sur les déformations différées de ces nouveaux bétons et devrait aider à terme, à la mise en place de règles de formulation des bétons autoplâçants.

EXPERIMENTAL STUDY OF SCC INCLUDING LOCAL MATERIALS SHRINKAGE AND CREEP

The self-compacting concrete SCC is a new generation of materials. If their properties to the state charges have been widely studied, their mechanical behaviors deferred seem questionable. Still have to be used increasingly; these characteristics are essential for the design and structural design.

The main objective of this study is first to master the design of self-compacting concrete based on local materials fresh as in the cured state. Particular attention will be paid in deferred behavior, the poutrelles 10x10x120cm for creep loading under four-point bending and prismatic 7x7x28 cm for the shrinkage tests. The tests were made in parallel, in time, out of self-compacting concrete compressive strength at 28 days and an average low of 20 and 40 MPa respectively. Note that in this

study, have no separation between basic and drying deformations.

The self-compacting concrete made from local materials (limestone fillers) proved stable and satisfactory.

It has been demonstrated kinetics of creep SCC building similar to that of SCC to work, while this kinetics is notoriously different from that of vibrated concrete. The results obtained are comparable to those obtained in the literature.

This study sheds light on the delayed deformations of these new concretes and should help eventually to the establishment of rules for the formulation of self-compacting concrete.

BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS

S. BOUAZIZ, K. AIT TAHAR

Les travaux d'élaboration présentés dans cette étude représentent une innovation. Ils sont principalement axés sur les procédés de réalisation d'agrégats artificiels composites hybrides à base d'un mélange copeaux - sciure de bois et polypropylène, destinés à la substitution en volume apparent équivalent des fractions granulaires ordinaires dans le but d'alléger le matériau béton sans compromettre d'une manière significative ses propriétés et performances mécaniques.

Deux types de bétons composites ont été étudiés, avec substitution de la fraction granulaire 3-8 mm pour le béton composite BCI et des deux fractions 3-8 et 8-15 mm pour le béton BCII. L'analyse des résultats d'essais a permis de mettre en évidence le mode de comportement en flexion et en compression d'un béton léger incluant ces granulats composites artificiels.

LIGHTWEIGHT CONCRETE CONTAINING ARTIFICIAL COMPOSITE AGGREGATES

The work of development presented in this study, which is an innovation, is mainly centered on the methods for realization of hybrid composite artificial aggregates containing chips - sawdust mixture and polypropylene, intended to substitute lightening equivalent volume of the ordinary granular fractions with the aim of reducing the material concrete without compromising in a significant way its mechanical properties and performances.

Two types of composite concrete were studied, with substitution of the granular fraction 3-8 mm for composite concrete BCI and of the two fractions simultaneously 3-8 and 8-15 mm for concrete BCII the analysis of the test results, allows highlighting the behavior in bending and compression of a light concrete artificial composite aggregates.

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DE LA FONCTION DE VULNÉRABILITÉ ET DU RISQUE SISMIQUE POUR LES STRUCTURES EN POTEAUX POUTRES.

ÉTUDE DE CAS : WILAYA DE BOUMERDÈS ALGÉRIE

M. HAMIZI, L. BOUZID, S. BOUKAIS, N. E. HANNACHI

Ce travail présente une méthodologie pour l'évaluation de la fonction de vulnérabilité et du risque sismique pour les structures en bâtiments. Ceci a exigé l'étude des effets du séisme de Zemmouri - wilaya de Boumerdès de mai 2003 ($M=6.8$) sur les constructions en poteaux poutres.

L'analyse des données qui sont représentées par des niveaux de dommages par rapport à divers critères pathologiques, nous a permis de déterminer une corrélation entre les dommages et la vulnérabilité.

L'évaluation de la vulnérabilité et du risque sismique qu'encourent les bâtiments est nécessaire dans les zones sismiques actives et permet de conforter le bâti existant, d'améliorer la qualité des matériaux utilisés et de maîtriser les procédés de constructions. L'approche utilisée est une approche qualitative, qui consiste à affecter des indicateurs numériques à chaque bâtiment, appelés indices de vulnérabilité.

Ayant pris comme document pour notre étude, les fiches d'évaluation des services du CTC (organisme Algérien de contrôle technique de la construction) établies les semaines qui ont suivies le séisme du 23 mai 2003.

METHODOLOGY TO DEVELOP A VULNERABILITY FUNCTION AND EVALUATE THE SEISMIC RISK FOR COLUMN-BEAM STRUCTURES

CASE STUDY: BOUMERDES, ALGERIA

This paper presents a methodology to develop a vulnerability function and evaluate the seismic risk for the structures. This has required the analysis of the effects of the 23 may 2003 Boumerdès earthquake ($M = 6.8$) on beam and column structures.

The analysis of the data obtained, which are represented by different degrees of damage in respect to various pathologic

criteria, has allowed us to determine a correlation between damage and the vulnerability.

The evaluation of the vulnerability and the seismic risk that subject the structures is necessary in the active seismic zones and allow to reinforce the existing buildings, improve the quality of constructions materials and to master the procedures of construction.

ÉTUDE NUMÉRIQUE DU TAUX DE RECOUVREMENT THERMIQUE DES DÉBITS D'AIR D'INFILTRATION AU SEIN DE PAROIS DE BÂTIMENTS

H. BABIN, C. INARD

Cette étude traite de la problématique des échanges de chaleur entre les débits d'air infiltrés et des parois poreuses isolantes. Pour cela, la notion de taux de recouvrement a été introduite et une étude numérique a permis de déterminer les valeurs du taux de recouvrement pour 4 types de paroi. La principale conclusion est que le taux de recouvrement dépend du débit d'air de fuite à savoir plus le débit de fuite est faible plus le taux de recouvrement est élevé. De plus, le taux de recouvrement dépend du type de paroi.

Enfin, un exemple d'application sur une maison individuelle est présenté. Les résultats montrent que, dans ce cas, le phénomène de recouvrement au sein des parois peut représenter de 18,2% à 23,4% des déperditions conventionnelles par infiltration c'est-à-dire sans tenir compte du taux de recouvrement.

NUMERICAL STUDY OF INFILTRATION HEAT RECOVERY IN BUILDING WALLS

This study deals with heat transfer phenomena between infiltrated air and porous media used for building insulation. For that, the heat recovery factor was introduced and a numerical study allowed to evaluate the heat recovery factor of 4 types of walls. The main conclusion is that heat recovery factor is a function of the infiltrated air flow rate i.e. lower is the air flow rate higher the heat recovery factor is. Furthermore, the heat recovery factor varies with the wall type.

Last, the method was applied to a single family house. In this case, the heat recovery phenomena could represent from 18,2% to 23,4% of the infiltration heat losses calculated without tagging into account the heat recovery phenomena.

ÉTUDE EXPÉIMENTALE DU RETRAIT ET DU FLUAGE DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DES MATÉRIAUX LOCAUX

Ghofrane BENKECHKACHE, Abdelhafid CHABANE, Hacène HOUARI

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions - Université Mentouri, Constantine – Algérie

1. INTRODUCTION

Réaliser un béton autoplâtant (BAP) est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles et le dosage convenable de chacun de ces constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP.

Il existe une très grande variété de matériaux dans le monde, et il est clair que les matériaux utilisés peuvent conduire à des comportements différents à tous les niveaux (frais et durci).

Cependant, si ses avantages à l'état frais sont indéniables, le peu de recul sur son comportement à long terme (retrait et fluage) peuvent freiner son choix. Surtout que pour atteindre sa spécificité autoplâtant. [Liu 08][RILEM 07][Turcrys 04] le béton autoplâtant possède beaucoup plus de fines qu'un béton vibré et par conséquent plus de pâte. Cette dernière constitue le siège de l'évolution des comportements différés [Chabane 08] [Benboudjema 05]. Les expériences réalisées à travers le monde concernent surtout les sollicitations en compression, celles en traction ou en flexion sont rares [Bissonnette 95][Bažant 08] [Kovler 99] [Li 01][Benkechkache 08].

De nombreuses contradictions entre les résultats obtenus démontrent qu'il est encore difficile de maîtriser de façon précise le comportement différé des BAP [Bouasker 07] [Mazzotti 01].

Les objectifs de notre recherche sont multiples : maîtriser la conception des bétons autoplâtant à base de matériaux locaux à l'état frais comme à l'état durci. Elle consiste à préciser les connaissances relatives à la caractérisation de ce type de béton et prouver notre capacité à étudier son comportement différé expérimentalement en utilisant un dispositif d'essai consistant en un bâti de fluage en flexion mis en place au niveau de notre laboratoire. Nous avons travaillé sur deux types de bétons de résistance différente :

- Une résistance faible, prévue aux alentours de 20 MPa conduisant à l'obtention de bétons classés dans la catégorie « bétons de bâtiment » BAP20.
- Une résistance moyenne, proche de 40 MPa, caractéristique des bétons de type « bétons d'ouvrage » BAP40. Nous avons étudié les déformations différées de ces bétons autoplâtant en les comparant au comportement de bétons traditionnels vibrés de résistance mécanique équivalente. Les mélanges sont des compositions dites locales car elles utilisent des matériaux locaux de la région de Constantine.

Notre programme expérimental comporte quatre compositions, dont l'une renforcée de fibres métalliques.

2. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

2.1. Matériaux et compositions

La majorité de nos bétons intègrent des matériaux locaux. Nous étions tributaires des matériaux de base les plus utilisés en Algérie sur les chantiers.

Les constituants utilisés dans les mélanges sont : un ciment de type CPJ 42,5 produit par la cimenterie Hamma Bouziane, avec une surface spécifique de 3891 cm²/g, un sable 0/5, un gravier 5/15 concassé de la carrière HEDNA de Ain Smara, un filler calcaire UF20 de la carrière ENG Khoub, un superplastifiant Sp40 à base de polymélamine sulfané de Granitex, des fibres métalliques MEDAFAC de Granitex de 5 cm de longueur, et de l'eau de ville .

Nos bétons ont été formulés selon l'approche japonaise. C'est une méthode empirique purement expérimentale, qui consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite à procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton les meilleures performances [Okamura 00]. Elle nous a permis de retenir deux compositions de BAP à partir desquelles, ont été formulés le béton vibré et le BAP renforcé de fibres métalliques, en conservant des quantités de ciments et des proportions granulaires identiques.

Le critère de comparaison choisi étant la résistance mécanique en compression, nous avons travaillé sur deux types de béton de résistance différente : une résistance faible de type béton autoplaçant de bâtiment et une résistance moyenne de type béton autoplaçant d'ouvrage.

Le tableau 1 présente les notations qui seront utilisées pour désigner les différents bétons testés.

La quantité d'eau des BAP20 et BV a été ajustée lors des gâchées d'essai afin d'obtenir respectivement un étalement et un affaissement désirés ainsi qu'un aspect homogène (comme préconisé par les recommandations pour un béton autoplaçant). Quant aux BAP40 et BAPFM, nous avons repris la même quantité d'eau que pour le BAP20 afin d'étudier les spécificités apportées par le caractère autoplaçant.

La composition pour un mètre cube de mélange est regroupée dans le tableau 2.

2.2. Caractérisation des bétons

2.2.1. À l'état frais

De nombreuses mesures ont été effectuées afin d'appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons.

Pour caractériser le caractère autoplaçant, l'essai d'étalement a été pratiqué. Il s'agit de démoluer un cône type DIN de béton frais et de mesurer le diamètre de la galette de béton obtenue. Il faut rappeler qu'est considéré comme autoplaçant un béton qui forme une galette de diamètre supérieur à 60 centimètres.

Signalons que pour la formulation des BV20, c'est le test traditionnel d'affaissement au cône d'Abraams qui s'est substitué à celui d'étalement.

La teneur en air des bétons a été déterminée à l'aide d'un aéromètre (norme NF P 18-353).

Les essais de ségrégation (stabilité au tamis) et de taux de remplissage (essai de la boîte en L) ont été effectués selon les recommandations AFGC-BAP.

Différentes compositions utilisées dans la recherche	
Notations	Désignations
BAP20	Béton autoplaçant de référence avec un rapport filler/liant = 0.33
BAP40	Béton autoplaçant avec un rapport filler/liant= 0.16
BAPFM	BAP20 renforcé de fibres métalliques 0.5% de volume total
BV20	Béton vibré témoin à égale résistance que le BAP20

Tableau 1. Différentes compositions utilisées dans la recherche.

Matériaux	La composition des bétons locaux			
	BAP20	BAP40	BAPFM	BV20
Ciment CPJ 42,5 (Kg)	400	500	400	400
Fillers Calcaires UF20(Kg)	200	100	200	0
Sables 0/5 (Kg)	772	772	745	914,35
Gravillon 5/15 (Kg)	762	762	762	850,92
Superplastifiant Sp 40 (Kg)	9,6	10,8	9,6	0
Fibres Métalliques (Kg)	0	0	27	0
Eau Totale (Kg)	211	221	211	228,5
E/L	0,352	0,368	0,352	0,571
G/S	1,01	1,01	0,978	1,074
Volume Pâte	422	428	422	357
Granulats %	57,8	57,2	57,8	64,3

Tableau 2. Composition des bétons à base de matériaux locaux.

Le tableau 3 récapitule les résultats obtenus pour l'ensemble de nos gâchées.

Nous pouvons constater que l'ensemble des bétons auto-plaçants respectent le critère d'étalement et sont susceptibles à ce titre d'être des bétons réalisistes d'un point de vue industriel.

On observe un étalement de 64 cm pour le BAPFM, ce qui permet de le classer dans les bétons autoplaçants. Toutefois, on constate un ressuage trop important, un temps d'étalement t_{50} (le temps mesuré en secondes pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre) proche des valeurs couramment rencontrées (3 secondes) et on a visualisé un rayon de courbure de la galette trop faible. On note que plus l'étalement est important et plus le pourcentage d'air occlus est faible. En effet, un grand étalement traduit un béton moins visqueux. Par conséquent, les bulles d'air peuvent se libérer plus facilement lors de la mise en œuvre.

D'après l'étude de quelques propriétés des bétons frais, nous pouvons retenir une diminution de la quantité d'air occlus pour les bétons contenant les fillers calcaires. Cette diminution se traduit par une meilleure compacité des bétons frais [Bensebti 08].

Ceci est très accentué en comparant le BAPFM et le BAP20. Le BAPFM a 1,36 fois plus d'air occlus que le BAP20. L'air serait donc piégé dans le béton frais par les fibres.

On peut donc conclure que : les caractéristiques intrinsèques (densité, air occlus, résistances mécaniques) sont similaires à celles des bétons usuels.

le béton confectionné à partir des matériaux locaux se révèle stable et satisfaisant.

2.2.1. À l'état durci

Les éprouvettes cylindriques et prismatiques sont conservées dans une chambre humide pendant 24 heures. Une fois démoulées, elles subissent une rectification et sont conservées dans l'eau.

Avant chaque essai, les éprouvettes sont pesées pour déterminer la masse volumique apparente afin de vérifier l'homogénéité du béton.

Une série de mesures mécaniques sont faites pour chaque type de béton à différentes échéances :

A 1 jour, au début des mesures de retrait,

A 7 jours, à la mise en charge instantanée et maintenue (statique et fluage)

A 28 jours.

La presse utilisée pour ces essais à une capacité de 2000 kN et la vitesse de chargement est fixée à 5kN/s soit 0,5 MPa/s (conformément à la norme NF P 18-406 et aux recommandations CPC4 de la RILEM).

Le tableau 4 donne les résultats obtenus pour la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion.

Les formulations de chantier visaient des résistances caractéristiques (c'est-à-dire la résistance moyenne moins 15%) à 28 jours de 20 MPa pour la formulation des bétons de bâtiment et de 40 MPa pour la formulation des bétons d'ouvrage. Compte tenu des résistances moyennes obtenues à 28 jours, on peut considérer que l'objectif est largement atteint.

Le calcaire n'est pas strictement inerte du point de vue chimique en présence d'un liant hydraulique puisqu'il conduit à la formation d'hydrates avec les alumates et les silicates du ciment. Un accroissement significatif des résistances est relevé entre 7 et 28 jours. Le surcroît de résistance peut être attribué au taux de substitution [Attiogbe 02] [Neville 00].

Quand on compare les résultats entre BAP20 et BAP40, on note que les résistances mécaniques finales sont plus élevées pour le BAP40, ce qui s'explique par un dosage en ciment plus fort pour le BAP40 pour un même rapport E/L. Les effets du superplastifiant sont plus marqués lorsque la quantité de ciment est importante.

Le BAPFM a des résistances plus élevées que le BAP20. Cela est logique puisqu'on a incorporé des fibres métalliques [Grünewald 06].

Caractérisation des bétons (à l'état frais)					
Notations		BAP20	BAP40	BAP FM	BV20
Étalement	Diamètre Moyen (cm)	69	67	64	8
	t_{50} (secondes)	2,5	2,3	3	-
Stabilité au tamis (%)		19	22	21	-
Boite en L		0,89	0,84	-	-
Air occlus (%)		2,5	2,7	3,4	3

Tableau 3. Caractérisation des bétons à l'état frais.

Caractérisation classique (à l'état durci)						
Notations	Compression 16x32 cm (MPa)			traction/flexion 7x7x28 cm (MPa)		
	1 jour	7 jours	28 jours	1 jour	7 jours	28 jours
BAP20	4,56	11,68	23,07	1,5	3,60	6,7
BAP40	6,27	19,92	39,10	2,3	4,05	8,3
BAPFM	5,08	16,83	26,53	3,21	5,6	11,9
BV20	4,47	12,3	24,04	2,1	4,3	9,4

Tableau 4. Caractérisation classique (à l'état durci).

Enfin, la formulation BAP40 développe des résistances initiales au jeune âge importantes.

2.3. Comportement différé

2.3.1. Essais de retrait

Les éprouvettes ont été coulées dans des moules à trois alvéoles prismatiques ($7 \times 7 \times 28$ cm) munies de plots en laiton à leurs extrémités qui serviront à les positionner sur l'appareil de mesure. Trois éprouvettes sont coulées à l'occasion de chaque gâchée qui serviront pour la mesure du retrait total.

Après démoulage, les éprouvettes sont recouvertes de plastique et conservées dans une ambiance à 20° de température et une hygrométrie de 80%. Elles sont par la suite entreposées dans une chambre dont l'ambiance est contrôlée en température ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) et en hygrométrie ($55 \pm 5\%$). Les mesures sont effectuées, suivant un rythme adapté à la cinétique du phénomène observé, sur un rétractomètre digital de précision de ± 0.02 mm. Le protocole expérimental pour les essais de mesure du retrait total suit les recommandations de la RILEM – TC 107-CSP.

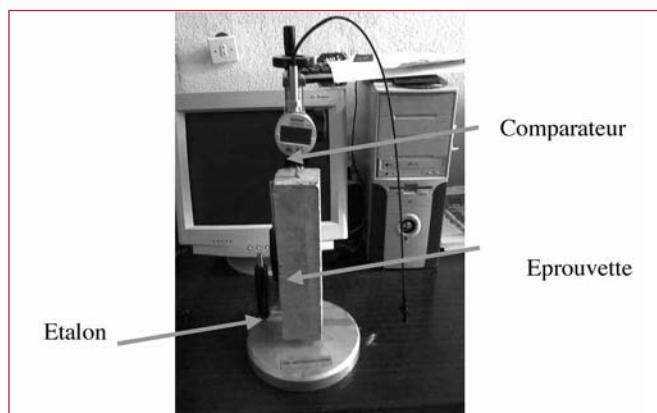


Figure 1. Appareil de mesure du retrait (rétractomètre).

2.3.2. Essais sous charge maintenue (flugeage)

Des poutrelles ont été coulées dans des moules prismatiques de dimension $10 \times 10 \times 120$ cm. Après démoulage,

elles sont entreposées dans la salle de flugeage où la température est maintenue à $(20 \pm 1^\circ\text{C})$, et l'humidité relative à $(55 \pm 5\%)$. Des essais sous chargement statique de flexion quatre points permettent de qualifier le niveau de chargement en flugeage en fonction de la charge de rupture et sont réalisés avant chaque campagne de flugeage. Trois éprouvettes de chaque composition serviront à déterminer la charge de rupture, selon le dispositif de la figure 2.

Trois autres éprouvettes de chaque composition sont installées sur des bâts de flugeage pour chaque taux de chargement, comme montré sur la figure 3. La charge appliquée sur les bâts de chaque mélange est déterminée par la valeur moyenne de la charge de rupture sous sollicitation statique de flexion pure à 7 jours. Trois taux de charge de 0 %, 25 % et 45 % de cette valeur sont appliqués. Chaque bâti est indépendant et peut donc recevoir une charge différente. L'ensemble des bâts de flugeage mis au point au laboratoire permet de solliciter en même temps 15 poutrelles.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des résultats du comportement différé est présentée en deux parties.

Dans la première partie les résultats de variations dimensionnelles sous l'effet du retrait libre sont exposés et discutés.

La seconde partie est consacrée à l'analyse des résultats expérimentaux des essais sous charge maintenue de flugeage.

3.1. Retrait total

Le retrait total cumule le retrait endogène et le retrait de dessiccation.

L'observation des courbes montre que les quatre bétons ont à peu près le même retrait total qui est de l'ordre de 500 $\mu\text{m}/\text{m}$. Le tableau 5 suivant récapitule les valeurs extrêmes.

Pour le retrait total, selon les résultats de travaux antérieurs de la littérature, les valeurs étaient de l'ordre de 350 à 550 $\mu\text{m}/\text{m}$ [Cusson 08], ce qui cadre bien avec nos résultats (plage de variation de 30 à 50 $\mu\text{m}/\text{m}$).

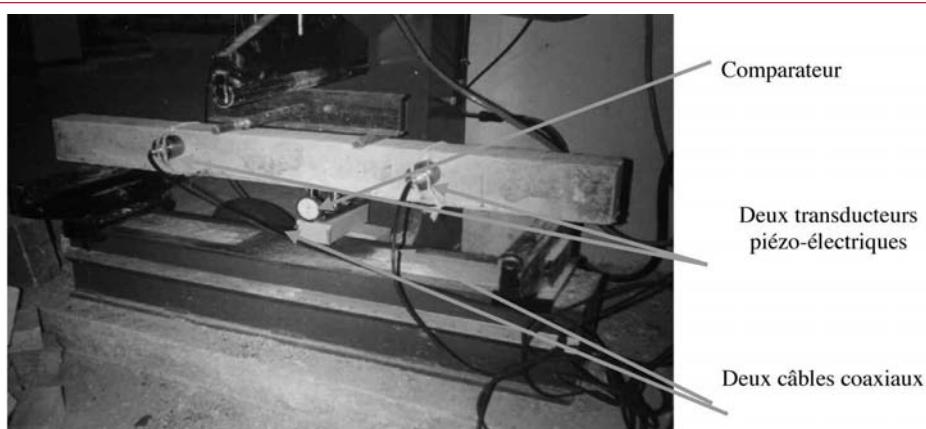


Figure 2. Dispositif pour les mesures de la charge de rupture [Chabane 08].

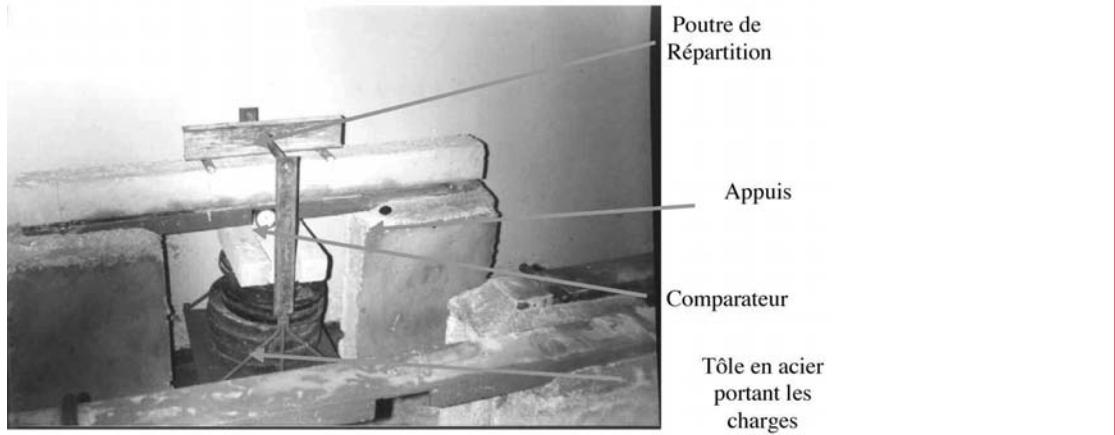


Figure 3. Dispositif d'essai de flexion quatre points (bâti de fluge) [Chabane 08].

Retrait (variations dimensionnelles) à 90 jours				
Notation	BAP20	BAP40	BAPFM	BV20
Retrait ($\mu\text{m}/\text{m}$)	448	580	443	406

Tableau 5. Retrait total (variations dimensionnelles).

Dans un premier temps, la déformation de retrait paraît rapide et importante (la cinétique est plus forte au jeune âge pour le BAP40 par rapport au BAP20) du fait du très fort gradient d'humidité qui existe entre le matériau testé et le milieu extérieur (en particulier pour les éprouvettes conservées à l'air libre où ce gradient est très important). Mais par la suite, le séchage étant un processus diffusionnel, sa cinétique devient beaucoup plus lente.

Sur la figure 4, on remarque que le BAP20 contenant plus de fillers présente moins de retrait. Le filer calcaire peut avoir un effet positif en limitant le retrait de séchage des BAP, s'il est utilisé avec une finesse et en proportion adéquates [Turcet 04].

La comparaison du retrait total des deux classes de béton BAP20 et BAP40 indique qu'il y a une différence notable (environ 100 à 130 $\mu\text{m}/\text{m}$)

Ces déformations semblent s'être stabilisées à 90 jours et sont légèrement supérieures à celles trouvées dans la littérature (580 $\mu\text{m}/\text{m}$ contre 550 $\mu\text{m}/\text{m}$) [Roziere 07]. Ceci peut être du à l'utilisation des matériaux locaux.

La présence moins importante d'eau de ressuage pour les BAP20, en comparaison aux BV (figure 5), entraîne un séchage plus rapide de la surface supérieure des échantillons testés. Pour cet essai, cette perte d'eau supérieure peut se traduire directement par une contraction plus importante de l'élément en question.

Le retrait total du BAP est plus élevé que celui du béton traditionnel d'égale résistance. L'ordre de grandeur de cette déformation est aux alentours de 450 $\mu\text{m}/\text{m}$. Ainsi, pour les bétons d'ouvrage, les résultats obtenus montrent que le retrait total des BAP semble, à priori, plus important que celui des bétons vibrés.

Cependant, si on compare les retraits du BAP20 et du BAPRFM (figure 6), l'introduction de fibres métalliques au taux de 0,5% du volume de béton n'a pas d'effet significatif sur le comportement du béton vis-à-vis du retrait total.

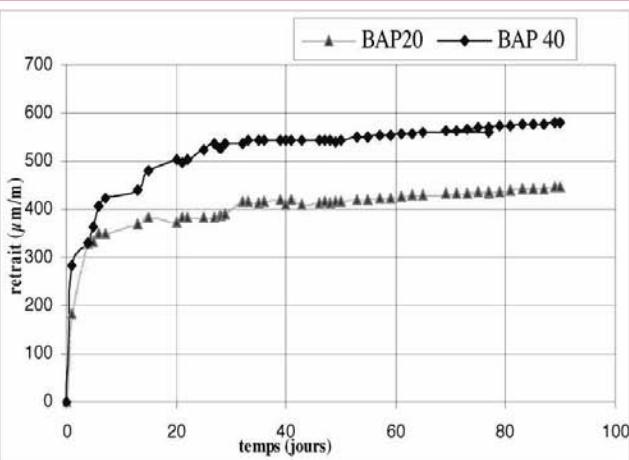


Figure 4. Evolution de retrait (Influence de la résistance).

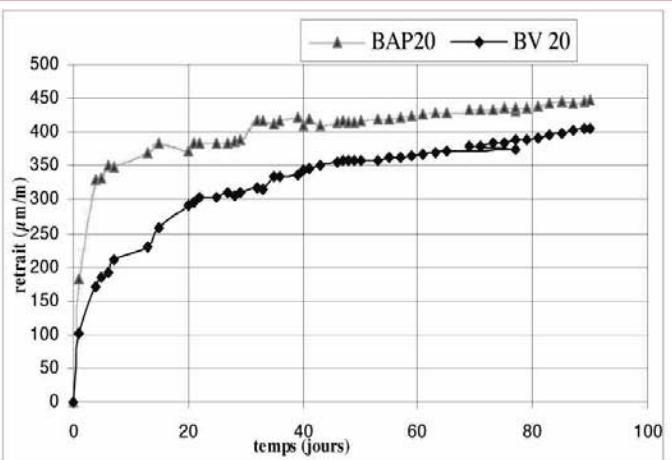


Figure 5. Evolution de retrait (Influence de la nature du béton).

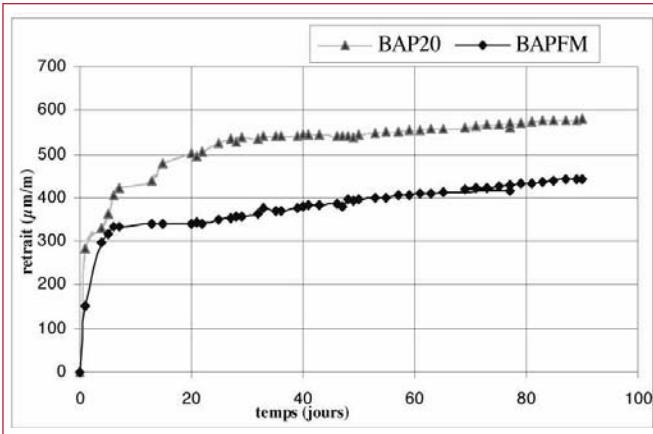


Figure 6. Influence de l'introduction des fibres métalliques.

Les granulats doivent avoir une influence, partant du principe que les granulats sont moins déformables que la matrice, il est évident que l'augmentation de la fraction granulaire dans l'échantillon diminue le retrait. De même une plus forte teneur en pâte augmente le retrait.

3.2. Fluage total

Les évolutions des différentes déformations sous charge sont présentées dans cette partie. Les essais relatifs à ces déformations sous charge de flexion quatre points sont effectués sur 3 poutrelles pour chaque formulation et pour chaque taux de chargement. La charge appliquée sur les poutrelles représente à chaque fois un échelon de chargement identique. Ce taux est fixé à 0%, 25% et 45 % de la charge statique de rupture au moment du chargement soit à 7 jours pour toutes nos compositions. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

La caractéristique obtenue par l'essai statique (charge de rupture), donne des indications sur l'endommagement du matériau sous sollicitation mécanique. Elle est utilisée comme référence pour définir des seuils d'endommagement. Il est important de noter que les meilleures performances à la rupture sont obtenues avec les bétons autoplaçants renforcés de fibres métalliques.

Le tableau 7 récapitule les valeurs extrêmes (à 90 jours) des essais de fluage sous différents taux de chargement. La flèche totale cumule la flèche instantanée et la flèche différée.

Le béton ordinaire vibré présente le plus faible rapport entre la flèche de fluage et la flèche instantanée par rapport aux bétons autoplaçants quel que soit le taux de chargement (respectivement 2,5 et 4).

Pour le fluage total, selon les résultats des travaux antérieurs de la littérature, les valeurs étaient de l'ordre de 1050 à 1800 μm [Acker 03], ce qui cadre bien avec nos résultats (plage de variation de 460 à 870 μm).

On constate également que les différences de fluage entre le BAP20 et BAP40 sont faibles aussi bien en cinétique qu'en amplitude comme illustré sur la figure 7.

L'influence du caractère autoplaçant s'évalue en comparant les comportements des bétons autoplaçants bâtiment et ouvrage pour un taux de chargement faible (25%). Les comportements sont identiques. L'écart observé, de l'ordre de 18%, ne permet pas de prétendre que le BAP20 subi plus de déformation que le BAP40. Ces différences d'évolution sont peut être dues à la résistance légèrement plus importante du BAP40.

Par contre au sein d'un même taux de chargement moyen qui correspond à 45% de la charge de rupture, les différents résultats indiquent clairement qu'en terme d'amplitude et de cinétique le fluage de béton de bâtiment peut être considéré comme équivalent à celui de béton d'ouvrage, (quantité de F+C= constante).

Les déformations de fluage totales pour les deux classes de béton (bâtiment et d'ouvrage) présentent au moins le triple des déformations instantanées, en cohérence avec les résultats d'Acker [Acker 03]. Cette constatation montre l'importance des déformations différées par rapport aux déformations instantanées (figure 8).

La présence d'addition minérale dans les BAP conduit ceux-ci à posséder des pores plus fins que ceux des bétons vibrés. En effet, la pression capillaire étant inversement proportionnelle au rayon des pores, celle-ci est d'autant

Résultats des essais statiques				
Charge de rupture	BAP20	BAP40	BAPFM	BV20
F _{R7} (KN)	3,8	4,8	5	4,4

Tableau 6. Résultats des essais statiques.

Notations	Résultats des essais de fluage (à 90 jours)					
	Flèche instantanée (μm)			Flèche totale (μm)		
	0%	25%	45%	0%	25%	45%
BAP20	0	113	180	21	472	741
BV20	0	113	156	10	278	459
BAP40	0	129	223	-38	401	809
BAPFM	0	112	200	10	493	921

Tableau 7. Résultats des essais de fluage.

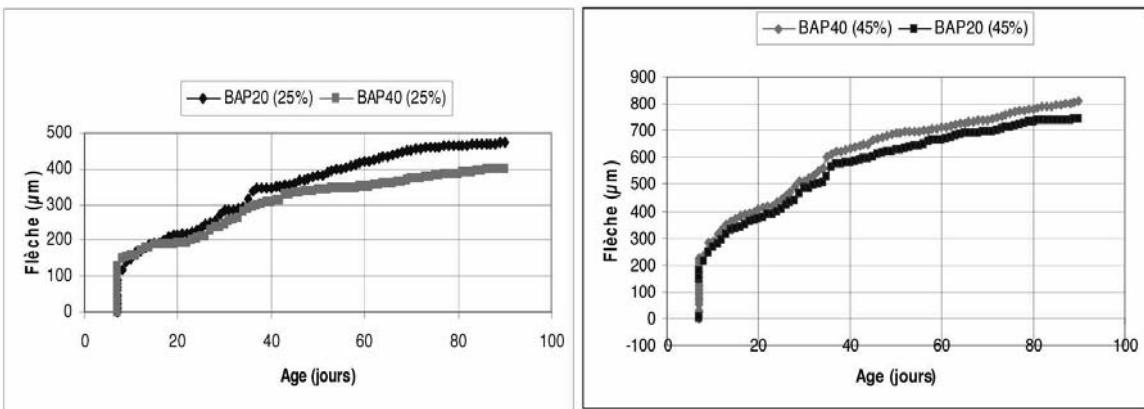


Figure 7. Evolution de fluage total (Influence de la résistance mécanique).

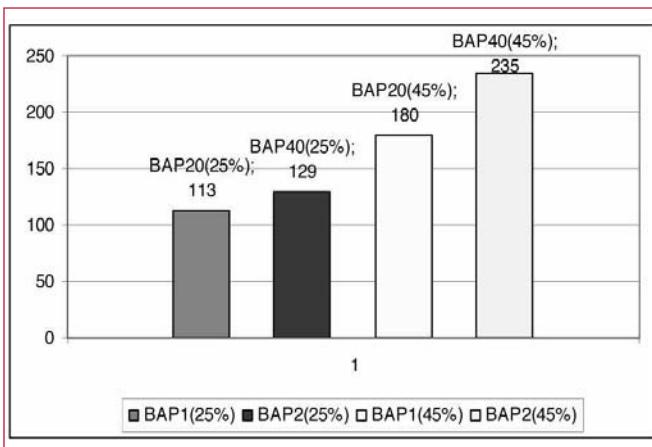


Figure 8. Evolution des déformations instantanées.

plus forte dans les BAP, ce qui doit engendrer un fluage plus important dans ces bétons, par comparaison aux bétons vibrés correspondants (pour les deux taux de chargement 25 et 45% de la charge de rupture), (figure 9).

L'observation de la figure 10 permet d'analyser l'influence de l'introduction des fibres métalliques et du caractère autoplaçant du béton. En ce qui concerne l'influence des fibres métalliques, la comparaison de la for-

mulation BAP (sans fibres) et du BAPFM (avec fibres) montre que l'introduction de fibres métalliques semble augmenter les déformations sous charge. On peut émettre l'hypothèse que les fibres peuvent créer un chemin préférentiel pour le départ de l'eau.

Les flèches de « retrait-fluage » obtenues expérimentalement sous poids propre sont présentées figure 11. Une flèche est observée au lieu d'une contre flèche pour le BAP40, car le poids propre représente en réalité un taux de chargement variant de 4 à 9 %. Ce qui est notable, c'est le fait que la partie tendue a plus de « retrait-fluage » que la partie comprimée, ce qui induit une contre flèche, et non une flèche. Une explication pourrait être que sur la fibre la plus tendue par le poids propre se superposent les contraintes de traction provoquées par le retrait et celles dues à la sollicitation mécanique, favorisant ainsi l'ouverture de fissures de peau. Grâce à celles-ci une dessiccation locale plus importante peut se développer dans cette zone augmentant ainsi le retrait sur cette fibre. Ce constat n'est pas pris en compte en général par les expérimentateurs. Pour des taux de chargements supérieur à 45%, (charges assez proches de la charge de rupture) on observe un fluage instable qui conduit plus au moins rapidement à la rupture.

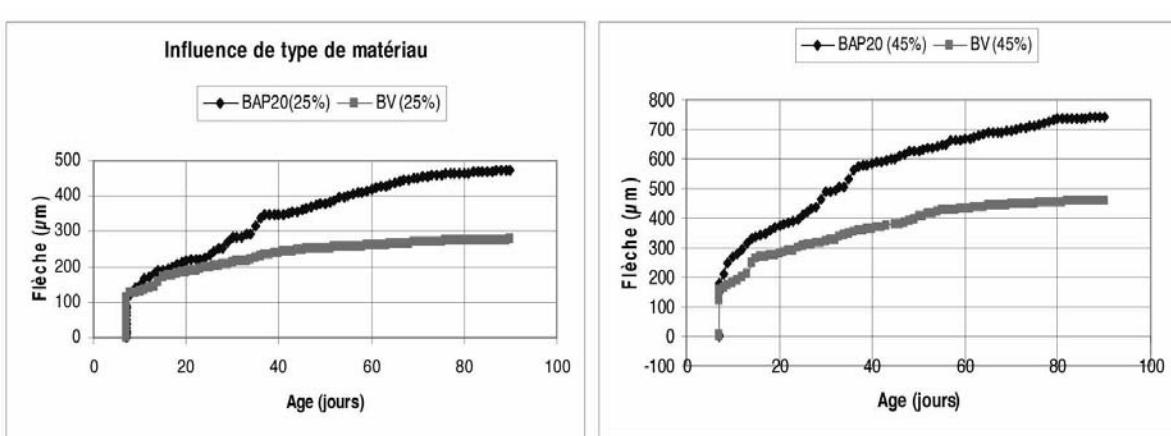


Figure 9. Fluage total. (Influence de la nature du béton).

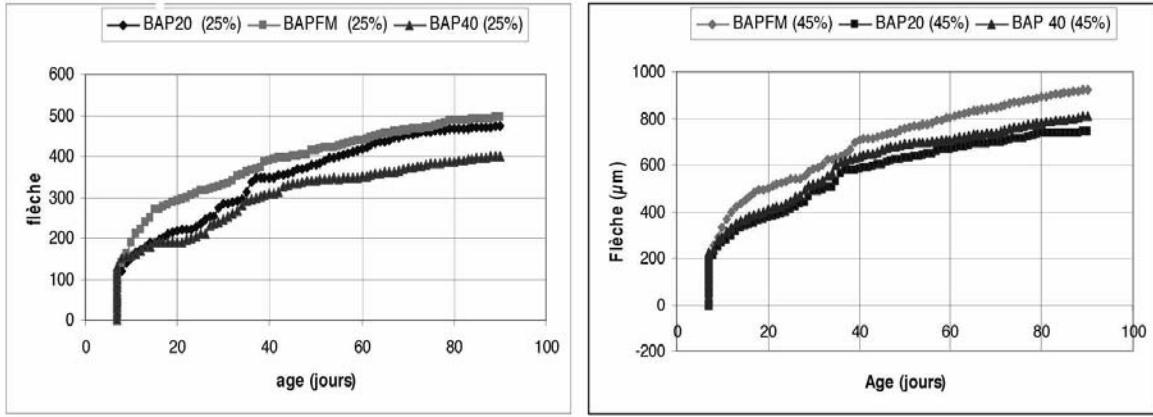


Figure 10. Fluage total. (Influence de l'introduction de fibres métalliques).

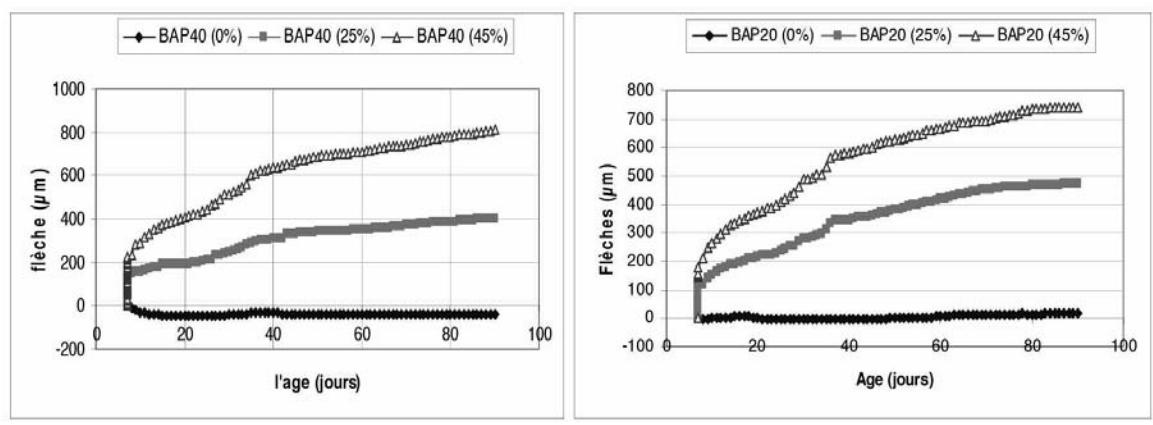


Figure 11. Evolution de fluage total (influence de taux de chargement).

4. CONCLUSION

Cet article avait pour but d'appréhender les déformations de retrait et de fluage d'un nouveau type de béton dont le développement industriel connaît actuellement un grand essor. Les bétons BAP et BV de l'étude ont été composés pour se positionner dans la même plage de résistance mécanique. Cet objectif a été atteint. La comparaison entre les formulations traditionnelle et autoplaçante semble montrer que les bétons autoplaçants devraient être plus attractifs dans un avenir proche.

Une première remarque peut être faite sur les performances obtenues par les bétons autoplaçants. Au vu des exigences requises pour l'élaboration d'un tel type de béton, il est visible que l'on obtient des bétons très acceptables en termes de performances mécaniques.

En ce qui concerne les variations dimensionnelles différentes, on a pu remarquer une légère augmentation des retraits totaux des bétons autoplaçants par rapport au béton vibré d'égale résistance. Les déformations obtenues sont similaires à celles trouvées dans la bibliographie. On remarque aussi que l'influence générale de la résistance mécanique ne suit pas les évolutions usuellement observées : une augmentation de la résistance mécanique induit une augmentation du retrait total pour les bétons autoplaçants.

Concernant le fluage, les éléments issus de la littérature pouvant servir de comparaison avec nos résultats sont rares. Cependant on s'attendait à avoir une augmentation importante de déformations différences des BAP en raison du volume de pâte plus important, et on n'observe que des modifications minimales.

L'augmentation du volume de pâte, liée à l'ajout de fillers, conduit à des déformations différences plus importantes pour les BAP en comparaison des BV. On en conclut que le béton autoplaçant a de réponse particulière vis à vis du fluage. Cependant, il ne faut pas non plus occulter que ces comportements différés sont aussi liés aux caractéristiques mécaniques (qui elles mêmes dépendent de la nature et du dosage des différents composants).

Cette étude permet d'apporter quelques points de comparaison entre ces nouveaux bétons et les bétons traditionnels en termes de retrait et de déformation sous charge maintenue.

5. RÉFÉRENCES

- [Acker 03]. « Les origines du retrait et du fluage du béton », Revue française de génie civil, volume 7, pp. 761-776. 2003.
- [Attiogbe 02], See H.T. and Daczko J.A, “Engineering properties of self-consolidating concrete”, First North

- American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, ACBM center, pp. 371-376, 12-13 novembre 2002.
- [Bažant 08], Li G.-H., "Comprehensive Database on Concrete Creep and Shrinkage", Structural Engineering Report No. 08-3/A210c, 2008.
- [Benboudjema 05], Meftah F, Torrenti JM. « Interaction between drying, shrinkage, creep and cracking phenomena in concrete » Eng Struct; 27(2):239–50. 2005.
- [Benkechkache 08]. Boukni B and Houari H, « Behaviour of the reinforced metal fibre concretes under request of pure inflection » The First International Engineering Sciences Conference-IESC'2008 Aleppo SYRIA November 2 – 4, 2008, p6.
- [Bensebti 08], Houari H.and Aggoun S, « Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base des matériaux locaux », Thèse de doctorat en sciences de l'Université de Constantine 2008.
- [Bissonnette 95], Pigeon M., "Tensile creep at early ages of ordinary silica fume and fiber reinforced concretes", Cement and Concrete Research, vol. 25, n°5, p.1075-1085, 1995
- [Bouasker 07], « Etude numérique et expérimentale du retrait endogène au très jeune âge des pâtes de ciment avec et sans inclusions », thèse de doctorat, Université de Nantes, 2007.
- [Chabane 08], and Houari, H « Contribution à l'étude du comportement différé des bétons sous sollicitation de flexion – Influence du type de granulats ». Thèse de doctorat de l'Université de Constantine. 2008.
- [Cusson 08], Hoogeveen T « Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking » Cement and Concrete Research ELSEVIER 38 757–765.2008.
- [Grünewald 06]. and Walraven, J.C, "Self-compacting fibre-reinforced concrete", Heron 46 (3) 2006.
- [Liu 08], Ye. De Schutter. G, Yuan .Y, and Taerwe. "On the mechanism of polypropylene fibres in preventing spalling in self compacting and high performance cement paste". Cement And Concrete Research, Vol.38 : 487- 499,2008
- [Li 01], Yao Y., "A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete", Cement and Concrete Research, vol.31, p. 1203-1206, 2001.
- [Mazzotti 01], Savoia M., "Experimental study of non-linear creep of concrete at high stress level", F.-J. Ulm, Z.P. Bažant and F.H. Witmann (Eds.), "Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of concrete and other Quasi-Brittle Materials", Elsevier, Cambridge, p. 259-264, 2001.
- [Neville 00]. Properties of concrete. Eyrolles Editions; 2000.
- [Okamura 00], K. Ozawa, and M. Ouchi. «Self-compacting concrete». Structural Concrete, (1) :3-17, March 2000
- [Kovler 99]. Igarashi S., Bentur A., "Tensile Creep behaviour of high strength concretes at early ages", Matériaux and structures vol. 32, p383-387, juin 1999.
- [RILEM 07], "Durability of self compacting concrete". RILEM, Report 38: 185 pages, 2007
- [RILEM 98] Recommendations RILEM TC 107-CSP, "Measurement of time-dependent strains of concrete", Materials and Structures, Vol. 31, pp. 507-512, Oct. 1998.
- [Roziere 07], Granger S., Turcry Ph., Loukili A « Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete » Cement & Concrete
- [Turcry 04], « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants – Influence de la formulation », thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes, 2004

BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS

S. BOUAZIZ, K. AIT TAHAR

Laboratoire LaMoMS – Génie civil, Université de Tizi – Ouzou, BP 17, 1500, Algérie

1. INTRODUCTION

La variété des bétons légers permet un éventail de densités et de résistances très ouvert. Les masses volumiques s'échelonnent de 250 kg/m³ pour les bétons de polystyrène à faible dosage en ciment jusqu'à 1 800 kg/m³ pour certains bétons d'argile expansée.

Corrélativement, on constate une évolution des résistances à la compression de 1 jusqu'à 30, voire 40 MPa. La résistance à la traction, 9 à 10 fois plus faible que celle à la compression pour un béton classique, peut atteindre un pourcentage plus élevé pour les bétons légers : de l'ordre de 20 % et même 35 à 40 % pour les bétons de bois, dont les granulats jouent le rôle de fibres qui « arment » le béton.

Le module d'élasticité, qui caractérise la loi de comportement déformation charge du matériau, est plus faible que celui des bétons à base de granulats ordinaires, ce qui conduit à des flèches plus fortes des pièces fléchies.

Cette déformabilité supérieure a pour contrepartie une résistance améliorée aux chocs et aux vibrations. Cependant, les bétons légers à base de granulats de bois présentent des inconvénients tels que le risque de ségrégation,

la sensibilité à l'eau, la faible résistance au feu et une mauvaise durabilité.

Une des propriétés intéressantes des bétons de granulats légers est leur pouvoir d'isolation thermique dû aux nombreuses bulles d'air interposées dans l'épaisseur du matériau, cependant la présence d'humidité peut réduire la capacité isolante du béton.

Ces bétons légers constituent aussi de bons isolants phoniques.

Le gain de poids, qui peut être plus ou moins important selon le type de béton, entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges. La diminution de poids conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre [1], [2], [3], [8].

Les résultats expérimentaux ont montré la possibilité technique de concevoir des bétons de bois légers possédant des performances mécaniques intéressantes sans consommation importante d'énergie, qui peuvent être utilisés pour la fabrication de couvertures en voile mince ainsi que d'éléments préfabriqués.

Actuellement, des granulats de bois stabilisés par traitement thermique et minéralisation en remplacement du gravier ou du sable dans la confection des mortiers et bétons légers et très légers sont proposés. Ils offrent un faible coefficient de conductivité thermique, une forte absorption phonique et des performances mécaniques élevées.

Notre étude consiste à élaborer un nouveau type de granulats artificiels à base d'un mélange copeaux - sciure de bois et polypropylène, destinés à la confection d'un béton léger, matériau relativement faible en résistance mécanique mais économiquement très intéressant.

Une étude expérimentale a été menée dans le but de comparer le comportement mécanique et physique de deux types de béton composites obtenu par la substitution en volume apparent équivalent, de la fraction granulaire 3-8 pour le béton de type BCI et par la substitution des deux fractions 3-8 et 8-15 pour le béton de type BCII, avec un béton léger témoin à base de granulats ordinaires.

2. ÉLABORATION DES GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS

2.1. Mélange copeaux - sciure de bois

Les copeaux et la sciure de bois que nous avons récupéré (déchets de menuiseries) proviennent du sciage, rabotage et usinage de troncs de bois de différentes essences (pin, épicéa, sapin,...) provenant de pays ayant d'importantes richesses forestières. Les mélanges copeaux - sciure de bois présentent des dimensions variées.

Les granulats composites produits à base de mélange copeaux - sciure de bois et de polypropylène sont assimilables à des granulats spéciaux de bonne résistance à la traction. D'une manière générale, l'incorporation de ce genre de granulat composite dans une matrice cimentaire transforme totalement le comportement mécanique, créant ainsi un nouveau matériau dont la rupture peut être qualifiée de ductile. Le mélange copeaux – sciure de bois est présenté figure 3.

2.2. Polypropylène « pp »

Le polypropylène appartient à la famille des matériaux thermoplastiques.

Parmi les caractéristiques et les propriétés, on peut citer : - rigidité et dureté élevée (conserve sa rigidité jusqu'à plus de 100°C), poids spécifique faible, résistance à l'abrasion et aux agents chimiques élevée.

Nous avons utilisé du polypropylène qui nous a été livré par l'entreprise de production d'emballages souples « Tizi Plast » de Thala Athmane (Tizi-Ouzou) en sac de 25 kg sous forme granulée (couleur transparente) de marque Basel Polyolefines. La forme du polypropylène après chauffage est présentée figure 1.

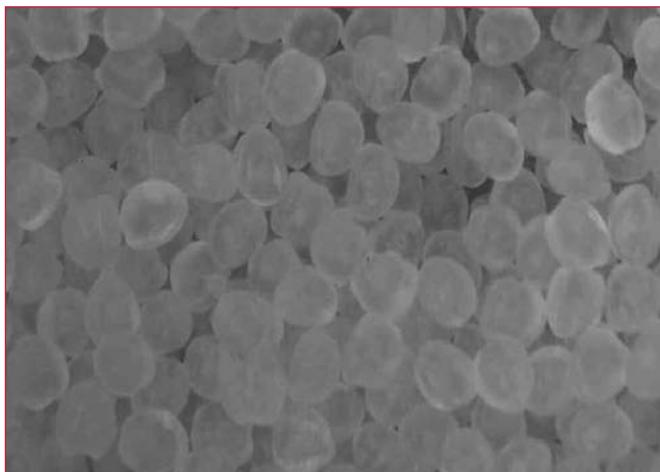


Figure 1. Polypropylène en grains.

2.3. Variantes d'élaboration des agrégats composites

Afin d'optimiser la composition, plusieurs variantes ont été préalablement essayées. Pour avoir un mélange uniforme avec le polypropylène et éviter que la sciure ne flotte, une pression est appliquée sur la sciure de bois. Le polypropylène est versé jusqu'au remplissage du moule, pour assurer l'homogénéité du produit.

La composition adoptée pour la confection des agrégats composites est :

- sciure de bois saturé : 20 grammes,
- polypropylène : 150 à 200 grammes.

La méthode consiste à déverser le « pp » sur la sciure de bois préalablement pressée, pour éviter l'effritement des gros grains. Le broyage est effectué après 24 h.

Les observations faites sur le produit fini (les granulats), sont les suivantes :

- bonne adhérence

PPC ₃ H ₆	ρ_{absolue} (gr/ml)	T° fusion (°C)	Absorption d'humidité (%)	Retrait (%)
	0.90-0.91	168-169	0	1 à 2.5

Tableau 1. Caractéristiques physiques du polypropylène (pp).

- résistance moyenne en traction
- dureté du grain composite élevée
- présence de bulles d'air dans la coquille PP ; évaporation de l'eau contenue dans le copeau car le PP liquide est trop chaud
- bon enrobage de la sciure.

3. COMPOSITION DU BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES

3.1. Matériaux utilisés

Dans le cadre de notre étude, la confection du béton léger témoin sera réalisée à partir des matériaux suivants :

3.1.1. Les granulats

Les granulats utilisés sont des granulats roulés (provenant de Oued Aissi), de fractions sable 0-3 et graviers 3-8. Le sable a été entreposé dans des bacs propre de 200 litres. Les graviers ont été d'abord tamisés puis lavés et ensuite séchés à l'étuve à 60°C pendant 24 h. Après séchage, les graviers sont aussi entreposés dans des bacs de 200 litres. L'analyse physique des granulats a été entreprise conformément aux normes P18.554 & 555 pour les masses volumiques, la porosité, le taux d'absorption et NF P18.598 pour la propreté de sable. Les résultats des essais sont consignés dans le tableau 2.

Echantillon	Masse volumique réelle (t/m ³)	Masse volumique imbibée (t/m ³)	Taux d'absorption (%)	Porosité (%)
Sable	2.58	2.62	1.55	-
Gravier 8/15	2.66	2.68	0.96	2.55
Gravier 15/25	2.67	2.69	0.61	1.64

Tableau 2. Caractéristiques physiques des granulats.

3.1.2. Le ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé de type CEM.II 42,5, avec une finesse de 3184 cm²/g et une résistance de classe vraie de 40 MPa. Des essais physico-mécaniques, chimiques et minéralogiques sur ciment sont réalisé selon les normes EN 196-2, EN 196-3 et selon la méthode microscopique (ONO).

3.1.3. Fractions des granulats composites

Les quantités de granulats composites artificiels lors de la substitution sont déterminées par approche d'équivalence des volumes apparents correspondants. Ces quantités sont résumées dans les tableaux 3 et 4.



Figure 2. Les constituants minéralogiques de clinker : 1-Caol, 2-C₃S, 3-phase liquide, 4-C₂S.

Constituants	Volume (L/M ³)	Masse (KG/M ³)
sable	300	824
gravier (3-8)	91	240
gravier (8-15)	300	784
ciment	113	350
eau de gâchage	196	202

Tableau 3. Composition au m³ des bétons légers-fractions des granulats naturels.

Granulats composites	Masse volumique apparente (Kg/m ³)
Sable 0-3	410
Gravier 3-8	390
Gravier 8-15	360

Tableau 4. Masse volumique apparente des granulats composites.

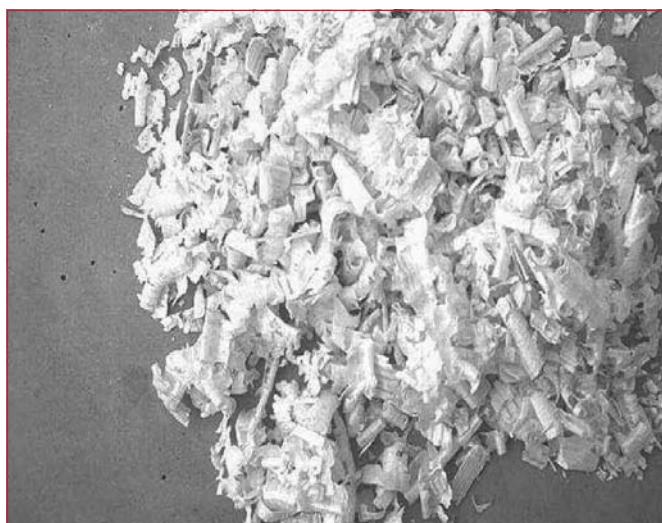


Figure 3. Mélange copeaux-sciure de bois.

Deux types de béton composite ont été confectionnés, avec substitution de la fraction granulaire 3-8 mm pour le béton composite BCI et des deux fractions simultanément 3-8 et 8-15 mm pour le béton BCII.



Figure 4. Sable composite 0-3.

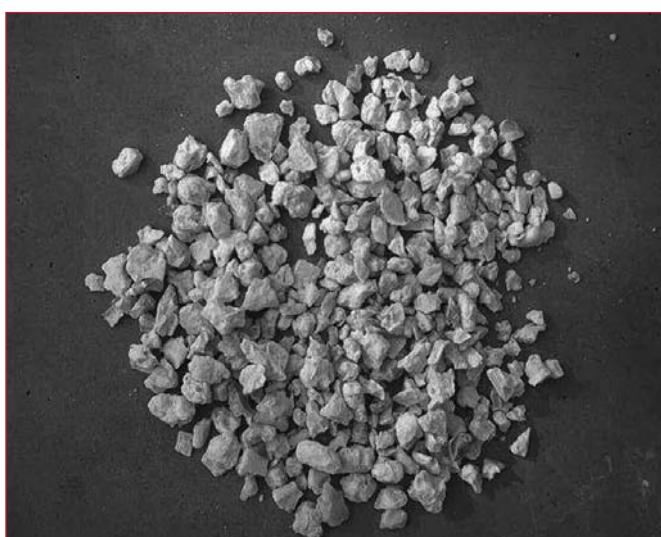


Figure 5. Granulat composite 3-8.

4. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

4.1. Dimensions des corps d'épreuves

Nous avons réalisé six éprouvettes prismatiques de dimensions 7x7x28cm pour l'essai de flexion trois points conformément à la norme NF P18-407 et six cylindriques de dimension ϕ 11x22cm pour l'essai de compression axiale, conformément à la norme [NF P18-406]. Chaque série d'éprouvettes a été réalisée avec le même mélange.

4.2. Essai de flexion 3 points

L'essai de flexion est effectué sur une presse hydraulique 'TONI TECHNIK' de capacité maximale 500 kN, équipée



Figure 6. Granulat composite 8-15.

d'une chaîne électronique permettant d'afficher de manière digitale la charge de rupture appliquée à l'éprouvette d'essai. Les flèches à mi-portée sont lues directement à l'aide d'un comparateur.

4.3. Essai de compression

Il consiste à écraser par compression uni axiale des éprouvettes cylindriques 11*22 entre les plateaux de la même presse avec une étendue de mesure de 3000 kN. Les faces extrêmes de l'éprouvette sont rectifiées par coulage d'une couche de soufre liquide pour éviter toute excentricité des charges appliquées.

4.4. Résultats des essais mécaniques

Les différents résultats sont présentés dans les figures 7, 8, 9,10 et 11.

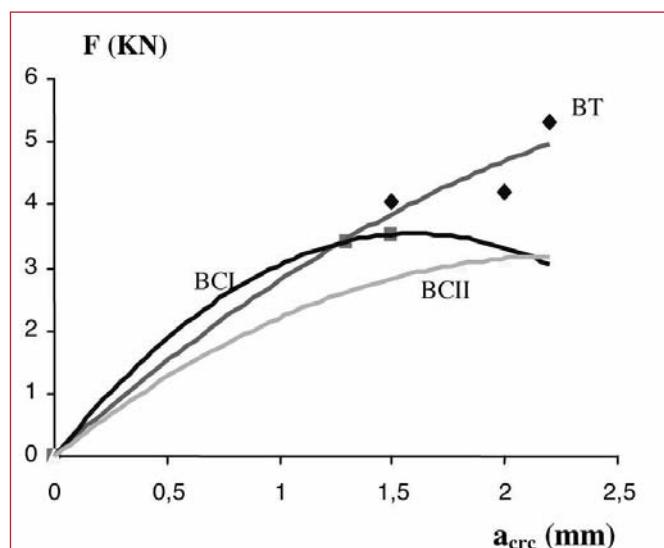


Figure 7. Courbes ouverture de la fissure (a_{crc}) en fonction de l'effort pour les trois séries.

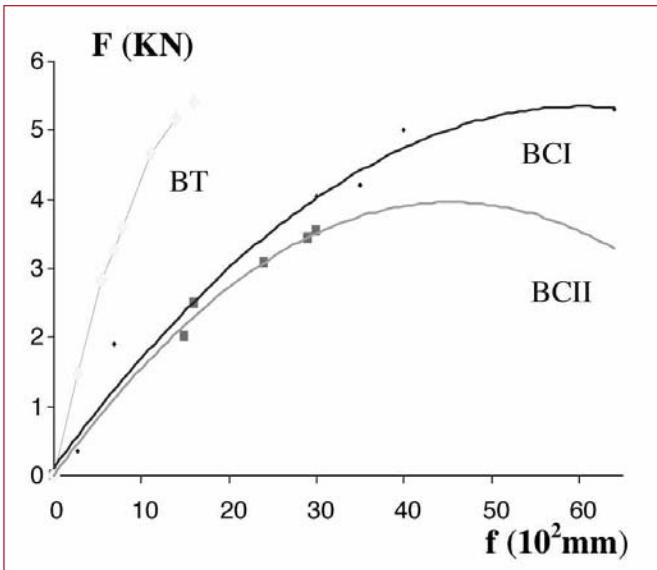


Figure 8. Courbes flèche-effort pour les trois séries.
BT : béton témoin ; BCI : béton composite I ; BCII : béton composite II.

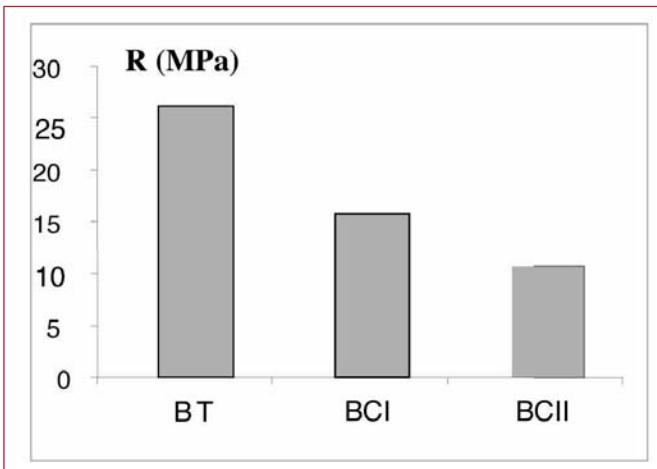


Figure 9. Variation de l'effort de rupture à la compression selon le type de béton, à 28 jours.

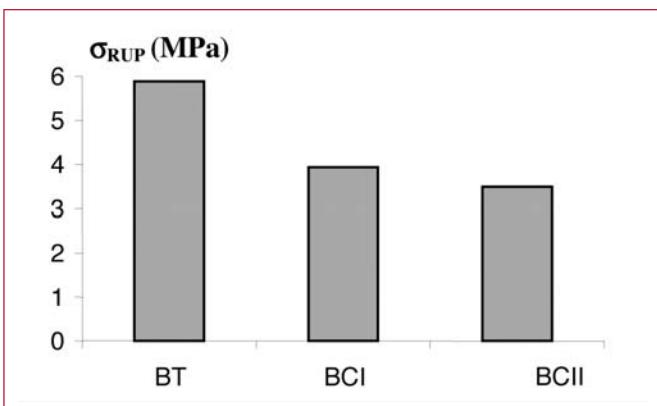


Figure 10. Variation de la contrainte de rupture en flexion selon le type de béton, à 28 jours.

5. ANALYSE SPECTROMÉTRIQUE

L'analyse spectrométrique permet d'identifier les éléments chimiques et leur concentration dans la masse. La concentration est donnée par l'aire sous le pic (dosage).

L'intensité du pic renseigne sur la présence plus ou moins importante de l'élément dans la masse.

Nous avons appliqué la fluorescence x (X-ray fluorescence spectrometry) avec un spectromètre Philips type magix (xrf) sur deux échantillons, à savoir un granulat composite seul et le béton composite BCI. Les résultats sont présentés dans les figures 12 et 13.

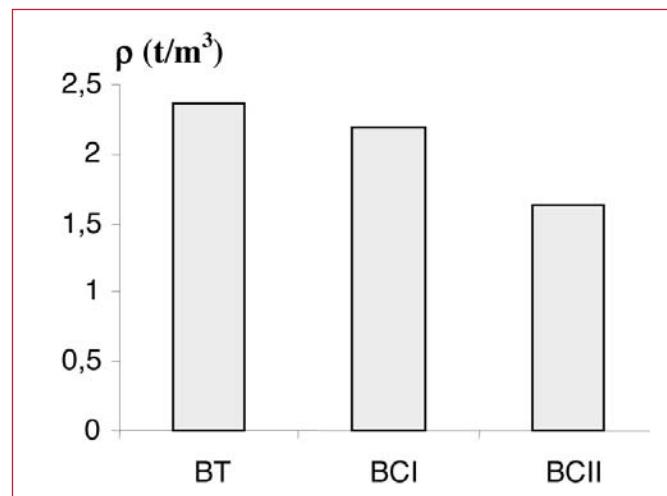


Figure 11. Variation de la masse volumique selon le type de béton.

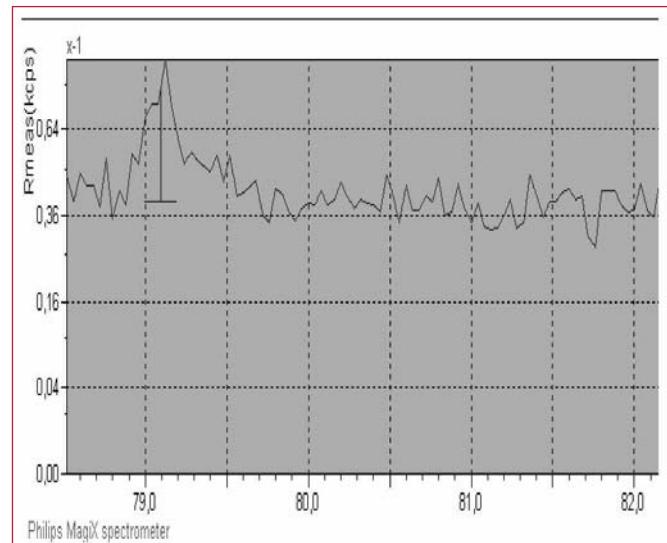


Figure 12. Analyse fluorescence spectrométrique du grain composite 3-8.

6. ANALYSE DES RÉSULTATS

- l'élaboration de granulats légers artificiels à base du mélange copeaux - sciure de bois enveloppé par du polypropylène permet sans aucun doute de substituer les granulats naturels, d'où un impact environnemental positif.

- les essais mécaniques réalisés sur les trois séries béton témoin (BT), béton composite 1 (BCI) et béton composite 2 (BCII), montrent que le type de granulats a un effet important sur les propriétés mécaniques du béton élaboré.

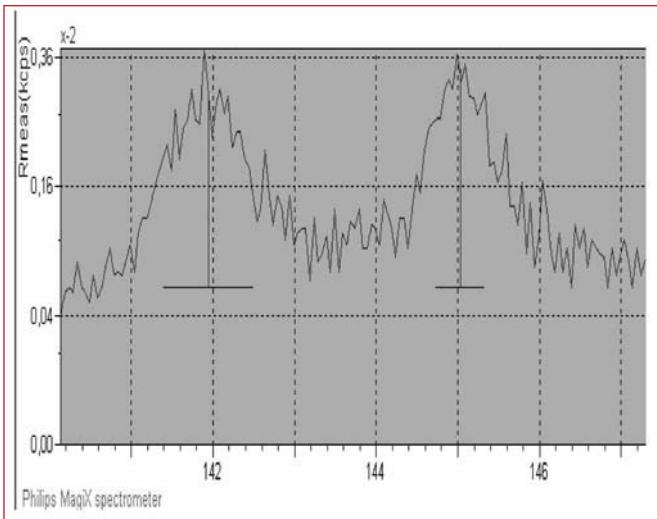


Figure 13. Analyse fluorescence spectrométrique du béton composite BCI.

L'analyse des résultats permet de tirer les conclusions suivantes :

- la variation de la résistance à la compression axiale est de l'ordre respectivement de 39,4 % pour le béton composite de type BCI et de 59,3 % pour le BCII par rapport au béton témoin BT,
- la variation de la contrainte à la rupture en flexion trois points est de l'ordre respectivement de 33 % pour le béton composite type BCI et de 40,5 % pour le BCII par rapport au béton témoin,
- l'ouverture limite de la fissure juste avant rupture est presque identique pour toutes les séries testées si l'on considère la même charge appliquée,
- avec l'augmentation de la charge, les déplacements (flèche à mi-portée), pour les prismes composites BCI et BCII, sont moins importants par rapport aux prismes ordinaires d'où une rigidité plus élevée,
- le remplacement des granulats ordinaires par des granulats légers artificiels permet de réduire la masse volumique. La variation des bétons composites par rapport au béton témoin est de l'ordre de 7,5% pour BCI et 31,2% pour BCII.
- l'isolation est meilleure ; la densité des granulats composites est faible.

7. CONCLUSION

L'impact environnemental d'une utilisation des agrégats naturels étant positive, une utilisation rationnelle a été recherchée.

Le recours aux matériaux recyclés permet en effet d'obtenir des gains environnementaux considérables : préservation des ressources naturelles, réduction de la mise en décharge.

L'élaboration des granulats artificiels composites hybrides à base d'un mélange copeaux - sciure de bois enveloppé d'une couche de polypropylène, permet sans aucun doute de valoriser la récupération de ce genre de déchets indus-

triels pour une utilisation potentielle dans le secteur de la construction et des travaux publics, tel que la confection d'un béton léger.

Les différents résultats expérimentaux effectués sur les éprouvettes cylindriques et prismatiques montrent qu'en substituant des granulats ordinaires par les granulats légers composites présentés dans ce travail, on peut obtenir des bétons légers (faible masse volumique), de propriétés mécaniques acceptables pour des applications spécifiques.

L'étude présentée montre et confirme que ce nouveau matériau pourrait trouver de multiples applications comme matériau d'isolation et de cloisonnement.

Sachant que les éléments technico-économiques sont tributaires des performances et des prix de revient des matières premières, le recours à de tels agrégats composites artificiels, permet d'assurer des retombées appréciables sur le prix du bâtiment et de préserver l'environnement.

8. RÉFÉRENCES

- [1] A. Blaga., 'Les matières plastiques', division des recherches en bâtiment, conseil national de recherches canada, digest de la construction au canada 154f, Ottawa, 1975.
- [2] A. Blaga et J.J. Beaudoin, 'Le béton modifie aux résines', division des recherches en bâtiment, conseil national de recherches canada, digest de la construction au canada 241 f. Ottawa, 1986.
- [3] I. Czarnecki, T. Broniewski, 'Resin concrete and polymer impregnated concrete: a comparative study'. Compte rendu du third international congress on polymers in concrete, Koriyama, Japon, vol. 1, mai 1981.
- [4] J. Laroze, 'Mécanique des structures tome 4 : calcul des structures en matériaux composites'. Eyrolles Masson ed. 1988
- [5] M.M. Khenfer, P. Morlier, 'Effet de la longueur des fibres sur les propriétés des ciments renforcés de fibres de cellulose', Journal Matériaux et Constructions, vol.24, pp 185-190, 1991.
- [6] A. Ledhem, A. Bouguerra, M. Queneudec, 'Étude de l'influence des traitements des granulats et d'ajouts matriciels sur la stabilisation dimensionnelle d'un composite ciment bois fines', Revue marocaine de génie civil, n°64, pp 63-67, juillet 1996.
- [7] K. Al-rim, A. Ledhem, M. Queneudec, 'Étude des paramètres de fabrication d'un béton de bois à matrice argileuse', Revue Materials and Structures, vol.29 ; pp 514-518. oct.1996.
- [8] J.M. Berthelot., 'Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures', 3^e édition, Technique & Documentation Paris, France, 1999.
- [9] A.Noumowe, S.Aggoun, R.Cabriillac, 'Mechanical properties of lightweight aggregate concrete after

exposure at high temperature.” 2nd international symposium on structural lightweight aggregate concrete. kristiansand, Norway.2000.

- [10] A.Noumowe , S.Aggoun, R.Cabrillac ., ‘Influence du type de granulats sur les propriétés de bétons à matrice hautes performances soumis à une température élevé’ Annales de l’ITBTP, n°5, oct-nov 2001, pp 9-16.
- [11] S.Aggoun, R.Cabrillac , ‘Study of the implementation of lightweight aggregate concretes using a high performance matrix’. International symposium on

cement and concrete technology in the 2000 s. Istanbul, 2000.

- [12] P.R.L Helene, P.J.M. Monteiro., ‘Performance analysis of lightweight aggregate mortar.’ Concrete technology : new trends, industrial applications. Rilem international workshop. 1994-11-07, Barcelona, 1995.
- [13] M.-H. Zhang., O. Gjorv., ‘Mechanical properties of high strength lightweight concrete’ ACI Materials Journal, v.88, n°3, may-june.1991.

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DE LA FONCTION DE VULNÉRABILITÉ ET DU RISQUE SISMIQUE POUR LES STRUCTURES EN POTEAUX POUTRES

ÉTUDE DE CAS : **WILAYA DE BOUMERDÈS ALGÉRIE**

Mohand HAMIZI, Leyla BOUZID, BOUKAIS Said, Naceur Eddine HANNACHI
Département de Génie civil, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 15000, Algérie

1. INTRODUCTION

L'évaluation du risque et de la vulnérabilité sismiques s'est faite sur la base des dommages recensés lors du séisme de Zemmouri-Boumerdès qui a eu lieu le 21 Mai 2003 à 19h44 (heure locale). La magnitude de ce séisme a été de $M_w = 6,8$. Il a touché les régions de Boumerdès et d'Alger dans une zone allant principalement de Blida à Dellys, de dimension approximative 150 km x 80 km [1]. Son épicentre physique a été situé en mer très proche du littoral à 60 km au nord-est d'Alger plus précisément à quatre kilomètres de la côte, en face des villes de Zemmouri et Boumerdès. L'épicentre du choc principal est situé aux coordonnées géographiques suivantes : Latitude : 36°81'N. Longitude : 3°53'E (CGS 2003).

Le mécanisme au foyer, compatible avec l'orientation du champ de contrainte régional, témoigne d'un mouvement de type inverse, sur un plan nodal préférentiel d'azimut N 70° à pendage 45° vers le Sud – Est [2].

Le choc principal a été suivi durant le premier mois de plus de 240 répliques, la plus forte atteignant une magnitude de 5,8. Les mécanismes au foyer de ces répliques sont cohérents avec celui déterminé pour le choc principal : faille de

type inverse d'orientation NNE-SSW. Selon le CRAAG, 5 répliques de magnitude supérieure à 5,0 ont été ressenties dans l'Algérois dans la semaine qui a suivie le choc principal. Le dernier bilan en date du 21 juin 2003, fait état de 2278 morts, 10147 blessés et plus de 15000 sans abri. Les bâtiments endommagés sont situés principalement à Boumerdès, Corso, Zemmouri, Sidi Daoud et Dellys [2].

Le cadre bâtit touché par le séisme date en majeur partie des années 80. La majorité des bâtiments qui ont été expétiés peuvent être rassemblés selon quatre grandes familles typologiques :

- 1- Constructions anciennes en maçonnerie non armée et non chaînée.
- 2- Voiles en béton armé.
- 3- Ossature métallique avec murs de remplissage en maçonnerie.
- 4- Portiques en béton armé avec murs de remplissage en maçonnerie généralement de briques, qui représentent 80% des constructions.

Pour des raisons de disponibilité de documents, on a été contraint de faire cette étude sur la ville de Boumerdès et non sur celle de Zemmouri qui est pourtant plus proche de l'épicentre [7].

SEISME DU 21 MAI 2003 - Mw=6.8 ALGER - BOUMERDES - DELLYS



Figure 1. Etendue de la zone du sinistre.

2. OBJECTIF

Cette étude a pour but de tracer la fonction de vulnérabilité, en tenant compte des facteurs pathologiques les plus défavorables et les plus répandus. [8]

Ce tracé se fera grâce à l'analyse des fiches de recensement, qui permettront d'évaluer qualitativement une présomption de vulnérabilité, mais aussi un état des dommages pour chaque structure afin d'avoir finalement une courbe statistique approximant un nuage de points, reflétant le comportement des structures étudiées. L'objectif sera donc de traduire le rapport entre vulnérabilité et dommages par une conclusion sur le bâti existant dans la région touchée par ce séisme, en vue d'éventuelles améliorations.

3. MÉTHODOLOGIE

La méthode utilisée pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments est la méthode empirique développée dans les années 1980 par Benedetti et Petrucci [9]. Cette méthode sert souvent de référence pour évaluer la vulnérabilité sismique des structures sur une large échelle géographique, à savoir des quartiers entiers ou des villes [10-13]. Elle évalue la vulnérabilité sismique à partir d'influences individuelles (c'est-à-dire pondérées) d'un ensemble de paramètres structuraux explicatifs supposés gouverner la réponse sismique des structures. Il s'agit principalement de :

- Paramètres mécaniques liés à la conception et à la mise en œuvre, tels que la qualité de la construction (qualité du système porteur, qualité du système de contreventement, état de conservation et age de l'ouvrage), la géométrie de l'ouvrage (symétrie en plan, régularité en élévation, redondance des fils).
- Paramètres mécaniques liés au sol.

Cette méthode consiste à affecter des indicateurs numériques à chaque bâtiment, appelés indices de vulnérabilité et notés I_V [9]. Ces indices, basées en fait sur une analyse qualitative, génèrent toutefois une valeur qui, à vrai dire, ne permet pas de quantifier ni la vulnérabilité ni le risque sismique d'une manière directe. Il faut en effet établir, à partir d'analyses mécaniques simplifiées, des fonctions de vulnérabilité qui mettent en rapport l'indice de vulnérabilité I_V avec le niveau d'endommagement ou de risque. Cette méthode traduit les niveaux de dommages en termes de risque résiduel de défaillance prenant des valeurs allant de 0 (aucun dommage) à 1 (dommage complet).

4. BILAN DE LA CATASTROPHE

Durant le séisme de Boumerdès, nous avons observé l'influence de certains éléments structuraux et non structuraux sur le comportement des bâtiments. Pour cela une analyse détaillée de chaque bâtiment endommagé a été effectuée.

Elle permettra de déterminer plus tard le type de renforcement à mettre en œuvre sur les constructions endommagées.

Le bilan au 26 juin 2003 fait état de 59525 édifices diagnostiqués dont 34992, soit 58,8%, n'ont subit que des dégâts de négligeables à modérés, et 17755 soit 29,82% ont subit des dégâts importants à très importants, et 6778 soit 11,38% ont été détruits [2].

5. PRINCIPES DE L'ÉTUDE

Notre étude a donc porté sur les bâtiments endommagés lors du séisme du 21 mai 2003. Le recueil des données liées aux dommages a été effectué par les équipes du Centre de Génie Sismique (CGS) et du contrôle Technique de la Construction (CTC) dépêchées sur les lieux de la catastrophe. Les dommages par bâtiment ont été reportés sur des fiches d'évaluation statistiques. Ces fiches contiennent les composantes structurelles et non structurelles, l'identification, l'usage et la description sommaire du bâtiment diagnostiqué. Les résultats de l'enquête relatifs aux dommages sont portés sur ces fiches [7].

Nous avons pris en considération un échantillon de 508 bâtiments. Ce sont tous des structures implantées à Boumerdès, à usage d'habitation (avec ou sans locaux au niveau des rez-de-chaussée).

Trois classifications successives nous ont permis de déterminer les bâtiments à analyser : une classification selon la typologie des structures, une deuxième en fonction du degré de dommage et enfin, une troisième dépendant de critères pathologiques [3].

5.1. Estimation des dommages

Pour l'évaluation des dommages de chaque bâtiment, nous avons utilisé les fiches d'expertise du C.T.C. (organisme de contrôle des constructions en Algérie) [7]. Cette évaluation de la vulnérabilité considère cinq niveaux de dommages : « 1 = vert clair » pour les très légers dommages (le bâtiment nécessite des réparations très légères et peut rester en service), « 2 = vert foncé » pour les dommages très réduits (le bâtiment nécessite des réparations mais ne présente aucun danger pour les occupants), « 3 = orange clair » pour des dommages significatifs (le bâtiment nécessite d'importantes réparations et doit être évacué), « 4 = orange foncé quand les dommages sont importants (le bâtiment exige d'importants travaux de confortement et doit être évacué) et « 5 = rouge » pour des dommages très importants (le bâtiment ne peut plus être en service et doit être démolie) (tableau 1).

5.2. Classification selon la typologie des structures

L'échantillon de 508 structures pris en considération se répartit comme suit [7] :

- 1- 340 structures en poteaux poutres en béton armé, soit 66,93% de l'échantillon recensé.
- 2- 64 structures en maçonneries (chaînées ou non chaînées), soit 12,6%.
- 3- 64 structures en voile en béton armé, soit 12,6%.
- 4- 15 structures mixtes (poteaux poutres +voiles en béton armé), soit 2,95%.
- 5- 5 structures en charpentes métalliques, soit 0,98%.
- 6- 20 structures en terres (précaire), soit 3,93%.



Figure 2. Effondrement d'un R+1 du à la transparence du rez de chaussé.



Figure 3. Effondrement d'un R+8 du à l'éclatement des noeuds.

Niveau des dommages	Description des désordres	Couleur
1	<u>Pas de dommages</u> Vitres cassées et meubles renversés	
2	<u>Dommages légers</u> <ul style="list-style-type: none"> Fissures sur cloisons intérieures Fissures dans les plafonds Chute des gorges et rosaces 	Vert clair
3	<u>Dommages modérés</u> <ul style="list-style-type: none"> Importants désordres dans les éléments secondaires (balcons, cages d'escaliers, ...) Fissures légères dans les éléments structuraux (les poteaux, les poutres, les dalles, les voiles...) 	Vert foncé
4	<u>Dommages significatifs</u> <ul style="list-style-type: none"> Très importants désordres non structuraux Dégâts importants dans les éléments structuraux (éclatement des nœuds, rotules plastiques dans les poteaux et les poutres, fissures en X dans les voiles, éclatement des linteaux....) 	Orange clair
5	<u>Bâtiment à démolir</u> <ul style="list-style-type: none"> Disparition ou effondrement d'un étage Inclinaison d'un bâtiment Glissement et basculement d'un bâtiment Dislocation d'éléments structuraux 	Orange foncé rouge

Tableau 1. Echelle d'évaluation de degré de dommage.

	Poteaux poutres	Maçonnerie	Voiles	Mixtes	Charpentes métalliques	Autres
Vert 1	1	0	0	0	0	0
Vert 2	106	28	44	7	2	10
Orange 3	99	19	16	4	1	5
Orange 4	9	11	2	4	2	3
Rouge 5	39	6	0	0	0	2
Total	304	64	64	15	5	20
Pourcentage	66,93%	12,60%	12,60%	2,95%	0,98%	3,93%

Tableau 2. Etat des dommages en fonction de la typologie des bâtiments.

5.3. Classification des bâtiments en fonction du degré de dommage

Nous avons axé notre étude sur les structures en poteaux poutres, qui représentent pratiquement 70% des constructions à usage d'habitation. Parmi 340 structures en poteaux poutres, nous avons noté que [7] :

- 1 structure est classée « Dégâts négligeables à légers », en vert 1.
- 106 structures sont classées « Dégâts modérés », en vert 2.

- 99 structures sont classées « Dégâts sensibles à importants », en orange 3.
- 5 structures sont classées « Dégâts très importants », en orange 4.
- 39 structures sont classées « à démolir », en rouge 5.

Les constructions classées en vert 1 et vert 2 pourront assurer la continuité de leurs fonctions après de simples réparations. Les constructions classées en orange 3 et orange 4 sont des constructions à expertiser, elles nécessitent des investigations supplémentaires. Les constructions classées en rouge ne sont plus fonctionnelles et elles sont à démolir.

5.4. Classification des bâtiments en fonction des différents critères pathologiques

Sur les 508 bâtiments considérés, les dommages que nous avons recensés sont dus à [5] :

- Qualité du système résistant (Qr).
- Qualité du contreventement (Qc).
- Age de la construction (Ag).
- Etat de conservation (Ec).
- Entrechoquement (Et).
- Eléments secondaires (Es).
- Condition de sol (So).
- Infrastructure (If).
- Symétrie en plan (Sy).
- Régularité en élévation (Ré).
- Redondance des fils (Rf).

Après recensement des 340 bâtiments en poteaux poutres, nous avons procédé comme suit :

- Recensement des 11 facteurs pathologiques pour chaque structure (chaque fiche de relevé).
- Comptabilisation des facteurs reliés à des dommages, pour chaque structure (Tableau 3).

- Conversion en pourcentage de ces facteurs, donnant l'importance des dommages en % (Tableau 4).

Les coefficients de pondération normalisés pour le calcul de la fonction de vulnérabilité [3] sont obtenus en divisant chaque coefficient de pondération par le maximum de ces coefficients, égal à 0,98. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

6. ESTIMATION DES DOMMAGES PAR BÂTIMENT

L'état de dommage des structures expertisées dans la ville de Boumerdès a été obtenu en attribuant à chaque élément structurel et non structurel une échelle graduelle représentée par des valeurs et des couleurs [Tableau N°1]. Le degré de dommage pour chaque bâtiment est donc compris entre 0% et 100% [7].

Le degré de dommage maximal sera égal à 55. Il est obtenu lorsque tous les critères pathologiques atteignent la valeur maximale de 5, (11 facteurs x valeur max de 5 = 55). Ce degré est normalisé pour chaque structure en divisant la

<i>Critères pathologiques (Φ_i).</i>	<i>Comptabilisation des (Φ_i) pour les 340 structures.</i>	<i>Caractéristiques des critères pathologiques</i>
Qr	213	Qualité du système résistant mauvaise.
Qc	116	Qualité du contreventement mauvaise.
Ag	83	Endommagés, malgré leur âge concordant avec l'entrée en vigueur du RPA (Règlement Parasismique Algérien).
Ec	233	Etat de conservation mauvais.
Et	85	Influence sur / d'une construction adjacente.
Es	335	Eléments secondaires endommagés.
So	29	Dommages liés à des mauvaises conditions de sol.
If	75	Infrastructure endommagée.
Sy	119	Ne présentant pas de symétrie en plan.
Ré	172	Irréguliers en élévation.
Rf	173	Redondance des fils irrégulières.

Tableau 3. Comptabilisation des 11 facteurs pathologiques pour chaque structure en poteaux poutres.

<i>Critères pathologiques (Φ_i).</i>	<i>Importance des dommages pour les 340 structures en %.</i>	<i>Coefficient de pondération.</i>	<i>Coefficients de pondération normalisé (R_i).</i>
Qr	62,64%	0,63	0,64
Qc	34,11%	0,34	0,35
Ag	24,41%	0,24	0,24
Ec	68,53%	0,68	0,7
Et	25%	0,25	0,25
Es	98,53%	0,98	1
So	8,53%	0,08	0,08
If	22,05%	0,22	0,22
Sy	35%	0,35	0,36
Ré	50,58%	0,5	0,51
Rf	50,88%	0,51	0,52

Tableau 4. Calcul des coefficients de pondération normalisés en fonction des critères pathologiques.

valeur obtenue par la valeur maximale $D = 55$. Il sera compris entre 0 et 1. [3].

La procédure de l'estimation des dommages est obtenue comme suit :

- Pour chaque structure, nous sommes les degrés de dommages - trouvés d'après le tableau 1- des 11 facteurs, le total est ensuite divisé par 55.
- Obtention de résultats variant de 0 à 1.

7. CALCUL DE L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ

La méthode de l'indice de vulnérabilité (I_V) permet d'identifier les éléments structuraux et non structuraux susceptibles de jouer un rôle significatif dans le comportement sismique du bâtiment [3]. Cet indice est un paramètre

obtenu à partir du diagnostic de tous les éléments composant chaque bâtiment.

L'indice de vulnérabilité (I_V) de chaque structure est égal à la somme des produits de tous les degrés d'appréciation des critères pathologiques par leurs coefficients de pondération selon les concepts d'approche développés dans AFPS N°25 et [3]. Les résultats obtenus s'écrivent de la manière suivante :

$$I_V = \sum_{i=1}^n \phi_i \cdot R_i$$

Avec n : nombre de facteurs pathologiques, pris égal à 11.

$$I_V = 0.64 \text{ Qr} + 0.35 \text{ Qc} + 0.24 \text{ Ac} + 0.7 \text{ Ec} + 0.25 \text{ Et} + 1.00 \text{ Es} + 0.08 \text{ So} + 0.22 \text{ If} + 0.36 \text{ Sy} + 0.51 \text{ Ré} + 0.52 \text{ Rf.}$$

I_V : somme de tous les critères pathologiques.

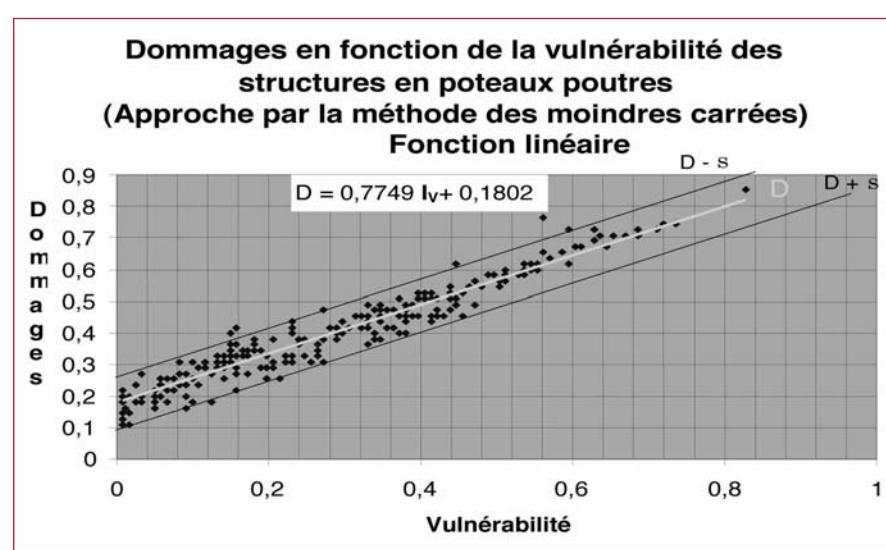


Figure 4. Corrélation linéaire entre D et I_V , $D = a I_V + b$.

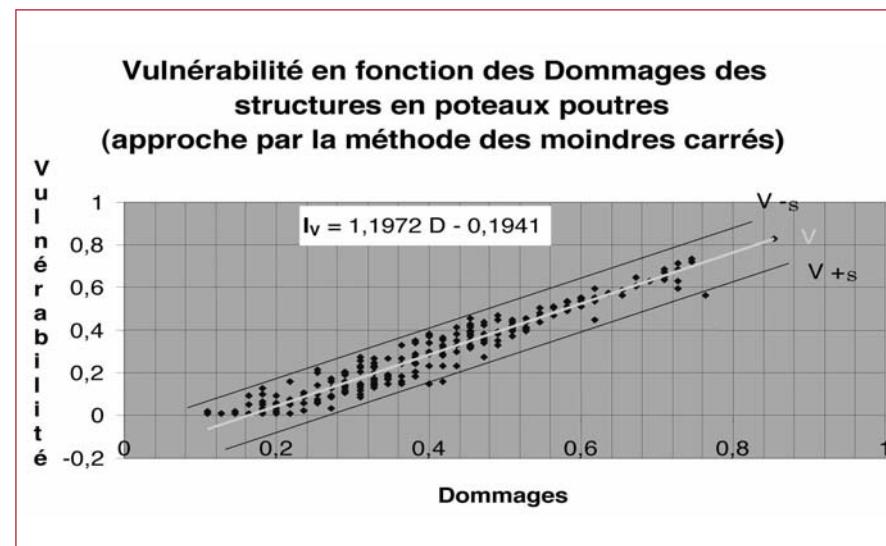


Figure 5. Vulnérabilité en fonction des dommages pour les structures en poteaux poutres. Corrélation linéaire entre I_V et D , $I_V = c D + d$.

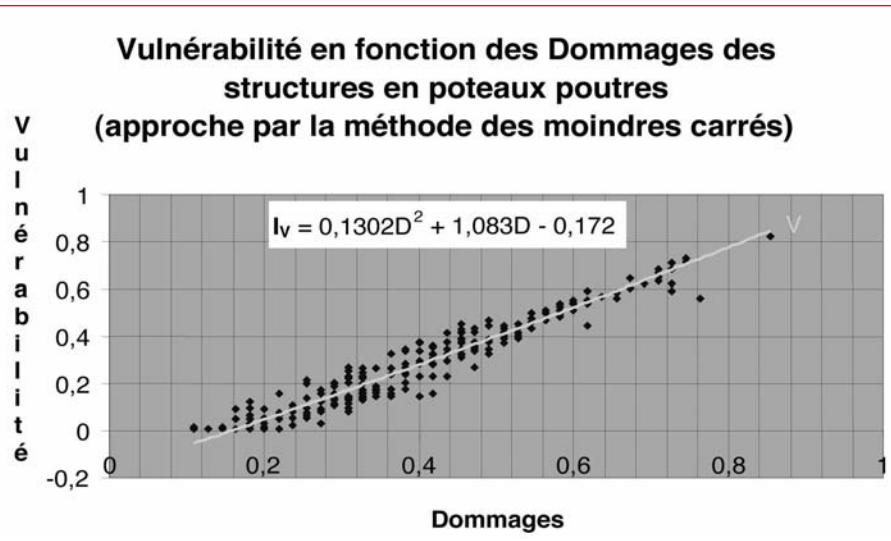


Figure 6. Vulnérabilité en fonction des dommages pour les structures en poteaux poutres. Approchée par une fonction parabolique d'ordre deux.

8. FONCTION DE VULNÉRABILITÉ

Les corrélations entre dommages et vulnérabilité (D , I_V), sont testées par les relations suivantes :

Fonction linéaire : $D = a I_V + b$.

Fonction linéaire : $I_V = c D + d$.

Fonction parabolique : $I_V = a D^2 + b D + c$.

L'analyse des paires (D , I_V) permet de déterminer les coefficients de régression par la méthode des moindres carrés qui propose un lissage du nuage de points.

8.1. Fonction linéaire $D = f(I_V)$

$D = a I_V + b$ où ;

$a = 0,77499$ et $b = 0,1802$.

8.2. Fonction linéaire $I_V = f(D)$

$I_V = c D + d$ où ;

$c = 1,1972$ et $d = -0,1941$.

8.3. Fonction non linéaire d'ordre 2 $V = f(D)$

$I_V = a D^2 + b D + c$.

$a = 0,1302$, $b = 1,083$, $c = -0,172$.

9. CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude a consisté en l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments en portiques auto stables en fonction des dommages pour le cas du séisme du 21 mai 2003, considéré comme étant un séisme modéré à fort.

Vu les difficultés à traiter les fiches d'évaluation du C.T.C., nous avons considéré seulement 11 facteurs pathologiques pour évaluer la fonction de vulnérabilité.

En guise d'aide à la décision, une approche qualitative a été utilisée et prend en compte les dommages structuraux, les dommages non structuraux ainsi que les prescriptions du règlement parasismique algérien. Des fonctions corrélant les dommages et l'indice de vulnérabilité sont alors tracées en tenant compte des facteurs pathologiques les plus répandus lors du séisme du 23 mai 2003.

En tenant compte des 11 critères pathologiques pris dans le cadre de cette étude, nous pouvons dire que le système poteau poutre est très vulnérable pour des séismes modérés à forts. Parmi les critères pathologiques les plus prépondérants et par ordre de sévérité, nous pouvons citer la qualité des éléments secondaires (**Es**) (très mal rattachés à la structure), la qualité du système résistant (**Qr**) (mauvaise conception des nœuds), l'état de conservation (**Ec**) (non entretien des ouvrages), le non respect de la régularité en plan et en élévation ainsi que la redondance des files (**Sy**, **Ré**, **Rf**) (non respect du règlement parasismique Algérien).

Cette étude a permis de mettre en évidence la vulnérabilité des bâtiments en portiques auto stables dans le Nord de l'Algérie en cas d'un séisme modéré à fort.

10. RÉFÉRENCES

- [1] Victor DAVIDOVICI : Rapport sur le séisme de Boumerdès du 21 Mai 2003.
- [2] Rapport Préliminaire de la mission AFPS, Séisme du 21 Mai 2003, version 08-07-03.
- [3] Amina FOUFA et Djillali BENOUAR. Méthodologie de l'évaluation de la fonction de Vulnérabilité et du risque sismique dans les centres coloniaux. Etude de cas : wilaya de Tipaza. Premier colloque national de génie parasismique, Alger, les 04, 05 et 06 juin 1996.

- [4] Règlement Parasismique Algérien (R.P.A) 1999 Addenda 2003.
- [5] Premières recommandations en vue de l'évaluation de la présomption de vulnérabilité du bâti existant. Groupe de travail AFPS. Cahier technique N° 24, mars 2002.
- [6] Milan ZACEK : Construction parasismique. Éditions Parenthèse. Marseille 1996
- [7] Fiche d'évaluation des désordres élaborée par le C.T.C. (Organisme de contrôle des ouvrages)
- [8] Vulnérabilité sismique des bâtiments existants UMLV- 2004 -2005 - D. Combescure.
- [9] Benedetti D., Petrini V. (1984), Sulla vulnerabilità sismica degli edifici in muratura : proposta di un metodo di valutazione, *L'industria della costruzioni* 18, 66-74.
- [10] Barbat A., Yepez Moya F., Canas J. (1996), Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban zones, *Earthquake spectra* 12, 109-116.
- [11] GNDT (1993), Rischio sismico di edifici pubblici-parte I aspetti metodologici. Consiglio nazionale delle ricerche. Tech. Rep., Grupo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.
- [12] Aguir R. (2001), Cuantification del dano sismico. Tech. Rep., FUNVISIS, Caracas.
- [13] LARED (2001), Manual de construcción sísmo resistente de viviendas en bahareque encimentado. Tech. Rep., Red de estudios sociales en prevención de desastres en américa latina-le red.

ÉTUDE NUMÉRIQUE DU TAUX DE RECOUVREMENT THERMIQUE DES DÉBITS D'AIR D'INFILTRATION AU SEIN DE PAROIS DE BÂTIMENTS

Hilaire BABIN*, Christian INARD**

*Project Manager, Ajtech, Site de Kerquessaud, 44350 Nantes, France

**Professeur, Université La Rochelle, LEPTIAB, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 1, France

1. INTRODUCTION

Il est évident qu'une enveloppe de bâtiment étanche à l'air permet de diminuer les pertes énergétiques en hiver et les courants d'air assurant ainsi un meilleur confort thermique. Concernant les consommations énergétiques, il a été estimé que les pertes par la perméabilité représentent environ 10% des consommations énergétiques des bâtiments en Belgique et en Allemagne. Pour ces pays, le potentiel d'économie d'énergie due à l'étanchéité à l'air des enveloppes des bâtiments est du même ordre de grandeur que celui obtenu avec les capteurs solaires pour la production de l'Eau Chaude Sanitaire [1]. Ces ordres de grandeur s'appliquent également en France où les pertes énergétiques dues à la perméabilité à l'air des enveloppes de bâtiments sont estimées de 2 à 5 kWh/m²an des besoins de chauffage et ceci pour une différence de pression intérieur-extérieur égale à 50 Pa.

Par ailleurs, il est bien connu qu'il existe une relation entre la perméabilité à l'air des bâtiments et la qualité de l'air intérieur. Ainsi, une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment permet une meilleure ventilation à l'aide d'un système de ventilation adéquat, ce qui n'est pas tou-

jours le cas. De plus, une bonne perméabilité à l'air des bâtiments permet de prévenir les dommages causés par d'éventuels phénomènes de condensation.

Un autre problème dû aux enveloppes non étanches consiste en la réduction de la résistance thermique des parois isolantes lorsqu'elles sont le siège d'infiltrations ou d'exfiltrations d'air. Ainsi, des expérimentations effectuées dans un laboratoire allemand [1] sur un panneau isolant de dimensions 1mx1mx0,14m ont montré qu'une fuite d'air à travers une ouverture de dimensions 1mx1mm peut réduire la résistance thermique de l'isolant jusqu'à un facteur 4,8. Or, les réglementations actuelles intègrent l'impact énergétique des infiltrations d'air en multipliant le débit de fuite d'air par la différence d'enthalpie massique entre l'intérieur et l'extérieur. En réalité, des échanges de chaleur peuvent intervenir entre l'air infiltré ou exfiltré et la paroi tout en modifiant les performances thermiques de cette dernière. Cet effet, qui peut devenir non négligeable dans le cas de bâtiments à très basse consommation d'énergie, n'est pas pris en compte actuellement dans les calculs de déperditions énergétiques liées aux fuites d'air. L'importance de ce phénomène est également fortement liée aux typologies des parois considérées. Ainsi, par exemple, les parois utilisées pour les bâtiments à ossature

métallique tels que bardage double peau ou panneaux sandwichés à parement acier [2] présentent un fort potentiel pour le phénomène de transfert de chaleur à travers une paroi isolante dû aux fuites d'air.

L'objet de cet article est de qualifier puis de quantifier l'impact du transit de l'air sur les performances thermiques des parois affectées.

2. LES FUITES D'AIR DANS UN ISOLANT POREUX

Dans le bilan thermique d'un bâtiment, une part des transferts de chaleur est due à la conduction de la chaleur dans les parois. La relation entre cette chaleur transférée Q_{condc} et la différence de température entre l'intérieur T_i et l'extérieur T_e dépend de la surface de l'enveloppe S et du coefficient de transmission de la paroi U_o .

$$Q_{\text{condc}} = U_o S (T_i - T_e) \quad (1)$$

L'indice c fait référence à un calcul conventionnel.

Cependant, lorsque de l'air traverse une paroi au travers de fissures, de trous... des pertes ou des apports de chaleur s'ajoutent au flux conductif. Une façon simplifiée de l'évaluer est de considérer la chaleur massique de l'air :

$$Q_{\text{inf}_c} = m C p_a (T_i - T_e) \quad (2)$$

avec :

Q_{inf_c} flux de chaleur dû aux infiltrations et calculé par la méthode conventionnelle (W)

$C p_a$ chaleur spécifique de l'air (J/kg.K)

m débit massique d'air infiltré (kg/s)

La première approche est d'ajouter ce flux aux pertes par conduction. C'est ce qui est actuellement réalisé pour le calcul des déperditions dans la réglementation thermique [3].

Les déperditions totales s'écrivent alors :

$$Q_{\text{totc}} = U_o S (T_i - T_e) + m C p_a (T_i - T_e) \quad (3)$$

En réalité, l'air infiltré ou exfiltré, en traversant le matériau poreux de l'enveloppe, échange de la chaleur avec celui-ci. Si le flux d'air est à contre sens du flux de chaleur par conduction, l'air prendra de la chaleur au milieu poreux. Inversement, si l'air et le flux de conduction sont de même sens, l'air cédera sa chaleur au milieu poreux. Bhattacharyya et Claridge [4] ont étudié expérimentalement cet échange de chaleur ainsi que l'importance du trajet de la fuite d'air. Pour quantifier cet échange, ils ont intégré un coefficient d'efficacité d'échange thermique ou taux de recouvrement η_{tot} .

Afin de pouvoir déterminer l'expression du taux de recouvrement η_{tot} , il est nécessaire de distinguer le cas des infiltrations d'air de celui des exfiltrations d'air.

Considérons une paroi avec infiltrations d'air couplée au volume d'air intérieur d'un local (Fig. 1).

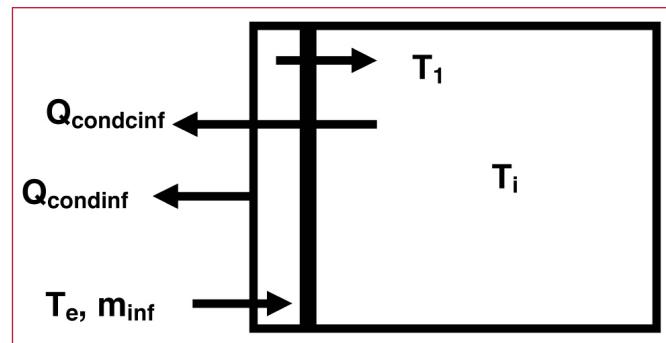


Figure 1. Vue d'une paroi avec infiltrations d'air.

Il est à noter que la température de l'air qui pénètre dans la paroi n'est pas strictement égale à la température de l'air extérieur à cause de la couche limite thermique le long de la paroi [5]. Toutefois et en première approximation, nous considérons la température extérieure comme la température de l'air à l'entrée de la paroi.

Les déperditions totales calculées de manière conventionnelles s'écrivent :

$$Q_{\text{totc}_\text{inf}} = Q_{\text{condc}_\text{inf}} + m_{\text{inf}} C p_a (T_i - T_e) \quad (4)$$

Les pertes totales en considérant l'air infiltré dans la paroi s'expriment par :

$$Q_{\text{totinf}} = Q_{\text{condinf}} + m_{\text{inf}} C p_a (T_i - T_1) \quad (5)$$

Le taux de recouvrement (efficacité) de la paroi est défini par :

$$\eta_{\text{inf}} = \frac{T_1 - T_e}{T_i - T_e} \quad (6)$$

L'équation (4) s'écrit alors :

$$Q_{\text{totc}_\text{inf}} = Q_{\text{condc}_\text{inf}} + (1 - \eta_{\text{inf}}) m_{\text{inf}} C p_a (T_i - T_e) \quad (7)$$

$Q_{\text{totc}_\text{inf}}$ devant être égal à Q_{totinf} , l'expression du taux de recouvrement pour les infiltrations η_{inf} est :

$$\eta_{\text{inf}} = 1 - \frac{m_{\text{inf}} C p_a (T_i - T_1) + Q_{\text{condinf}} - Q_{\text{condc}_\text{inf}}}{m_{\text{inf}} C p_a (T_i - T_e)} \quad (8)$$

D'après l'équation (8), il apparaît que la détermination du taux de recouvrement passe, notamment, par la connaissance de la température de l'air à la sortie de la paroi T_1 et du flux échangé à la surface extérieure de la paroi Q_{condinf} en présence d'infiltrations d'air.

Le même raisonnement peut être effectué pour une paroi avec exfiltrations d'air (Fig. 2).

A l'instar de la paroi avec infiltrations, la température de l'air pénétrant dans la paroi n'est pas strictement égale à la température intérieure T_i . Cependant, en première approximation, nous considérons que l'air à l'entrée de la paroi est égale à T_i .

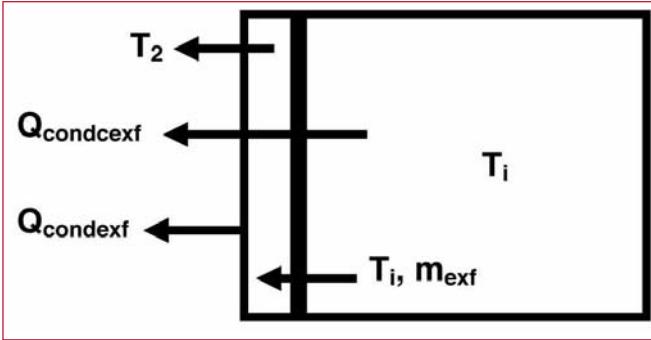


Figure 2. Vue d'une paroi avec exfiltrations d'air.

Comme précédemment, nous pouvons écrire les déperditions conventionnelles Q_{totcexf} et celles qui intègrent les échanges par exfiltration d'air Q_{totexf} :

$$Q_{\text{totcexf}} = Q_{\text{condcexf}} + m_{\text{ext}} C p_a (T_i - T_e) \quad (9)$$

$$Q_{\text{totexf}} = Q_{\text{condcexf}} + m_{\text{ext}} C p_a (T_2 - T_i) \quad (10)$$

Le taux de recouvrement pour l'exfiltration s'écrit :

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{T_2 - T_i}{T_e - T_i} \quad (11)$$

L'équation (9) devient alors :

$$Q_{\text{totcexf}} = Q_{\text{condcexf}} - \eta_{\text{ext}} m_{\text{ext}} C p_a (T_i - T_e) \quad (12)$$

A partir des équations (10) et (12), nous obtenons l'expression du taux de recouvrement pour une paroi avec exfiltrations d'air :

$$\eta_{\text{ext}} = - \frac{m_{\text{ext}} C p_a (T_2 - T_i) + Q_{\text{condcexf}} - Q_{\text{condcexf}}}{m_{\text{ext}} C p_a (T_i - T_e)} \quad (13)$$

La détermination du taux de recouvrement d'une paroi avec exfiltrations d'air η_{ext} nécessite la connaissance de la température de l'air à la sortie de la paroi T_2 et du flux conductif à la surface extérieure de la paroi avec exfiltrations Q_{condcexf} .

A partir des taux de recouvrement d'infiltration η_{inf} et d'exfiltration η_{ext} , il est possible d'obtenir le taux de recouvrement total du local η_{tot} .

Pour cela, il suffit de faire la somme des équations (7) et (12). En considérant que $m_{\text{inf}} = m_{\text{ext}}$ (conservation de la masse), il vient :

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{condc}} + (1 - \eta_{\text{tot}}) m C p_a (T_i - T_e) \quad (14)$$

avec :

$$m = m_{\text{inf}} = m_{\text{ext}}$$

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{inf}} + \eta_{\text{ext}}$$

Deux approches ont été initiées pour étudier l'échange de chaleur entre l'air infiltré et le flux de conduction dans un isolant poreux. La plus classique et la plus utilisée est de simuler avec un code CFD ce transfert de chaleur. Ceci a

été fait notamment par Qiu [6], Barhoun [7], Buchanan et Sherman [8], Abadie et al [5] et Walker et Sherman [9]. Pour pouvoir comparer les différents résultats entre eux, les débits sont adimensionnés en utilisant le nombre de Peclet Pe défini par :

$$Pe = \frac{m C p_a}{U_o S} \quad (15)$$

Différentes configurations ont été étudiées [5, 8] (Fig. 3) :

- entrée basse et sortie haute (I-LH et E-LH) est la configuration présentant un taux de recouvrement élevé car le parcours de l'air au sein de la paroi est long ;
- entrée et sortie au même niveau (I-ST et E-ST) présente un faible taux de recouvrement et surtout une zone d'influence de la fuite d'air réduite à une surface équivalente à l'épaisseur de l'isolant ;
- entrée haute et sortie basse (I-HL et E-HL) présente un long parcours de l'air mais ce n'est pas un parcours naturel d'infiltration car il est inverse au tirage thermique en configuration hiver.

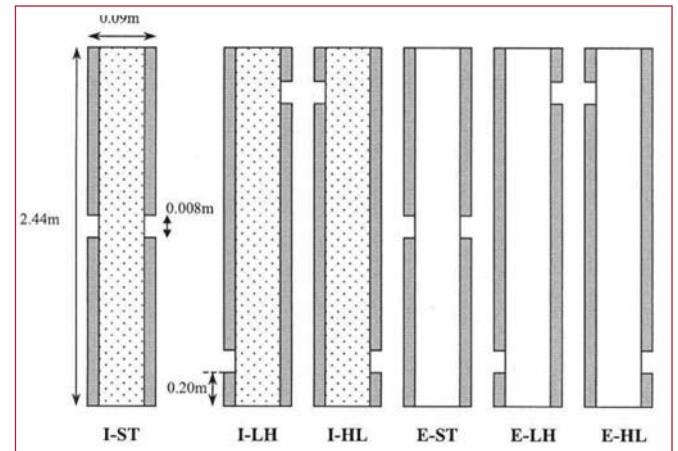


Figure 3. Cas étudiés par Abadie et al [5] et Buchanan et Sherman [8].

Abadie et al [5] ont observé que les débits d'air infiltrés varient de 0,1 l/s à 1 l/s, correspondant à des valeurs du nombre de Peclet comprises entre 0,1 et 5. Ils observent naturellement que, pour un même nombre de Peclet, le taux de recouvrement η_{tot} est d'autant plus important que le chemin parcouru par l'air est long. Ils corroborent ainsi les résultats déjà observés par Buchanan et Sherman [8].

Barhoun [7] a étudié l'influence de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur et a remarqué qu'aussi bien pour l'infiltration que pour l'exfiltration, l'écart de température n'a pas d'influence sur le taux de recouvrement. De même les coefficients d'échange superficiels convectifs extérieur h_{ce} et intérieur h_{ci} ont de l'influence sur la résistance thermique de la paroi, mais pas sur le taux de recouvrement [6].

On pourrait s'attendre à ce que les propriétés physiques du matériau poreux influent sur l'échange thermique. En effet,

la porosité ou la résistivité au passage de l'air sont les deux paramètres qui permettent cet écoulement, ils ont donc forcément un rôle à jouer. Barhoun [7] a étudié cette influence. Pour cela il a mesuré les propriétés de 3 matériaux isolants poreux : la laine de verre, la laine de roche et la laine de chanvre. Après avoir simulé ces cas, pour une même géométrie de paroi, il conclut que la perméabilité à l'air du matériau n'est pas un paramètre influant sur le taux de recouvrement η_{tot} .

Enfin Qiu [6] a testé l'influence de la porosité pour une plage allant de 0,5 à 0,9 sur le taux de recouvrement, et conclut à une faible influence. L'influence la plus importante a été observée pour les faibles débits.

Dans le cadre de cette étude, nous proposons de déterminer le taux de recouvrement de plusieurs types de parois lourdes et légères.

Pour cela, nous utilisons la simulation numérique faisant appel à la résolution des équations de Navier-Stokes (CFD).

3. SIMULATION NUMÉRIQUE DU TRANSFERT AÉRAULIQUE DANS UNE PAROI ISOLANTE POREUSE

Pour la phase gazeuse (air), les équations à résoudre concernent la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Vu la géométrie étudiée, les calculs seront effectués en 2 dimensions. De plus, une évaluation du nombre de Reynolds de l'écoulement [10] permet, grâce au classement proposé par Pedras et de Lemos [11], de nous placer en régime de Darcy (lamininaire).

L'équation de continuité s'écrit :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (16)$$

avec :

u_i composantes de la vitesse (m/s)
 x_i coordonnées cartésiennes (m)

L'équation de conservation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\rho_a}{\varepsilon^2} \left(\varepsilon \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\mu_a}{\pi} u_i - g_i \rho_a \quad (17)$$

avec :

ρ_a masse volumique de l'air (kg/m^3)
 ε porosité du matériau (-)
 p pression (Pa)
 μ_a viscosité dynamique de l'air (kg/ms)
 π perméabilité du matériau (m^2)
 g accélération de la pesanteur (m^2/s)
 t temps (s)

L'équation de conservation de l'énergie de l'air dans les pores du matériau s'écrit :

$$\varepsilon \rho_a C_p a \frac{\partial T_a}{\partial t} + \rho_a C_p a u_i \frac{\partial T_a}{\partial x_i} = \varepsilon \lambda_a \frac{\partial^2 T_a}{\partial x_i^2} + u_i \left(- \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i \rho_a \right) \quad (18)$$

avec :

T_a température de l'air ($^\circ\text{C}$)
 λ_a conductivité thermique de l'air (W/mK)

Dans l'équation (18), la dissipation thermique est modélisée par le produit de la vitesse du fluide et des gradients de pression [12].

Concernant la phase solide, seule l'équation de l'énergie est mise en jeu :

$$(1-\varepsilon) \rho_s C_p s \frac{\partial T_s}{\partial t} = (1-\varepsilon) \lambda_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial x_i^2} \quad (19)$$

avec :

ρ_s masse volumique du solide (kg/m^3)
 λ_s conductivité thermique du solide (W/mK)
 T_s température du solide ($^\circ\text{C}$)

Il est à noter que le matériau solide est supposé sec et qu'il n'y a pas condensation.

Grâce à des simulations CFD, Buchanan et Sherman [8] ont montré que les températures T_a et T_s sont très proches dès une pénétration de 50 μm dans le solide. Ainsi, en posant $T_a = T_s = T$ et en faisant la somme des équations (18) et (19), il vient :

$$[\varepsilon(\rho_a C_p a) + (1-\varepsilon)\rho_s C_p s] \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_a C_p a u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = [\varepsilon \lambda_a + (1-\varepsilon)\lambda_s] \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} + u_i \left(- \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho_a g_i \right) \quad (20)$$

Aux équations (16), (17) et (20), il est nécessaire d'associer leurs conditions aux limites. Celles-ci sont :

Surface intérieure :

$$-\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} = h_{ci} (T_{si} - T_i) \quad (21)$$

avec :

λ_i conductivité thermique du matériau de la paroi intérieure (W/mK)
 T_{si} température de surface intérieure de la paroi ($^\circ\text{C}$)

Surface extérieure :

$$-\lambda_e \frac{\partial T}{\partial x} = h_{ce} (T_{se} - T_e) \quad (22)$$

avec :

λ_e conductivité thermique du matériau de la paroi extérieure (W/mK)
 T_{se} température de surface extérieure de la paroi ($^\circ\text{C}$)

Les liaisons de la paroi verticale avec respectivement le plancher et le plafond sont supposées être adiabatiques :

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (23)$$

Entrée d'air :

L'entrée d'air est considérée comme un débit massique d'air imposé à la température de l'air extérieur pour les infiltrations et à la température intérieure pour les exfiltrations :

$$\phi = m C p_a T_{ioue} \quad (24)$$

Sortie d'air :

La condition limite pour la sortie d'air est donnée par la conservation de la masse :

$$m_{\text{entrée}} = m_{\text{sortie}} \quad (25)$$

4. CAS D'ÉTUDE

Pour résoudre le système d'équations précédent nous avons utilisé le logiciel Fluent version 6.3.26 associé au mailleur Gambit version 2.3.16. Une comparaison avec un des cas de la littérature [10] a permis de valider le modèle utilisé.

Le but de l'étude est de déterminer le taux de recouvrement tant en situation d'infiltration que d'exfiltration et ceci pour différentes structures de paroi.

Notre choix s'est porté sur quatre types de parois courantes :

- Paroi 1 : Structure lourde à isolation intérieure ;
- Paroi 2 : Structure lourde à isolation extérieure ;
- Paroi 3 : Bardage bois à isolation répartie ;
- Paroi 4 : Bardage acier à isolation répartie.

Les Figures 4 à 7 donnent une vue de chaque paroi et le Tableau 1 donne les caractéristiques dimensionnelles et thermo-physiques des parois.

Pour la géométrie modélisée, nous avons utilisé un maillage cartésien avec 302580 mailles. L'algorithme de résolution choisi est l'algorithme SIMPLE et les résidus sur les bilans de masse et d'énergie ont été fixés à 10^{-6} .

La perméabilité à l'air π et la porosité ε de la laine de roche sont respectivement égales à $1,69 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$ et 0,8. En tenant compte des coefficients d'échange superficiels extérieur et intérieur donnés par la réglementation [3], les valeurs du coefficient U_o des parois varient de 0,367 à 0,375 $\text{W/m}^2\text{K}$. Ces valeurs sont très proches car c'est l'épaisseur de l'isolant qui apporte l'essentiel de la résistance thermique. Dans la suite de l'étude, nous considérons une valeur moyenne égale à 0,371 $\text{W/m}^2\text{K}$.

Nous considérons trois débits de fuite correspondant respectivement aux valeurs par défaut et de référence de la

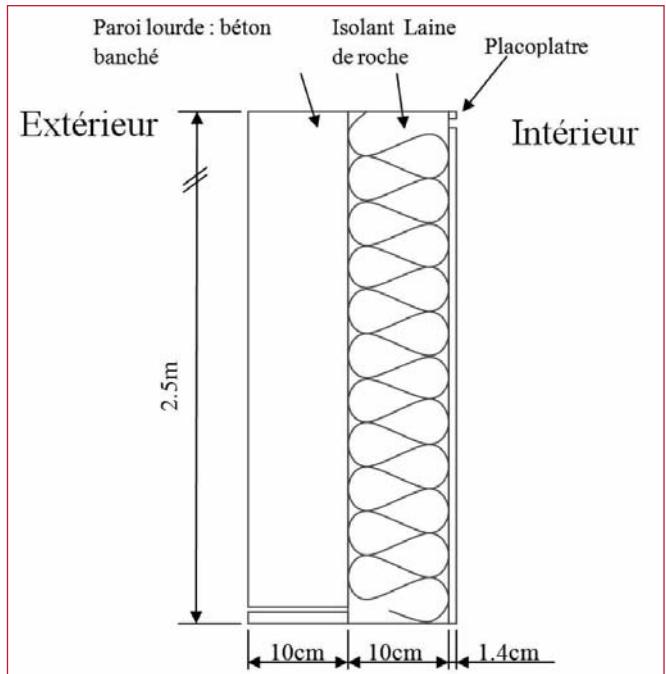


Figure 4. Vue de la paroi 1
(structure lourde, isolation intérieure).

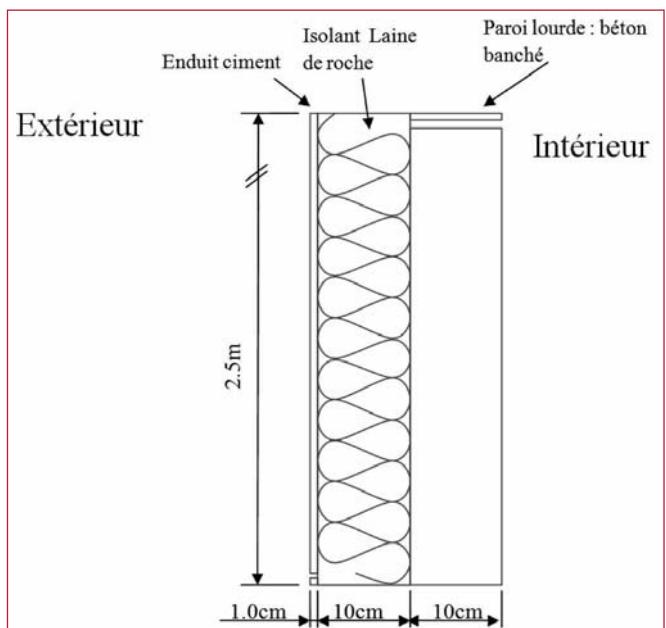
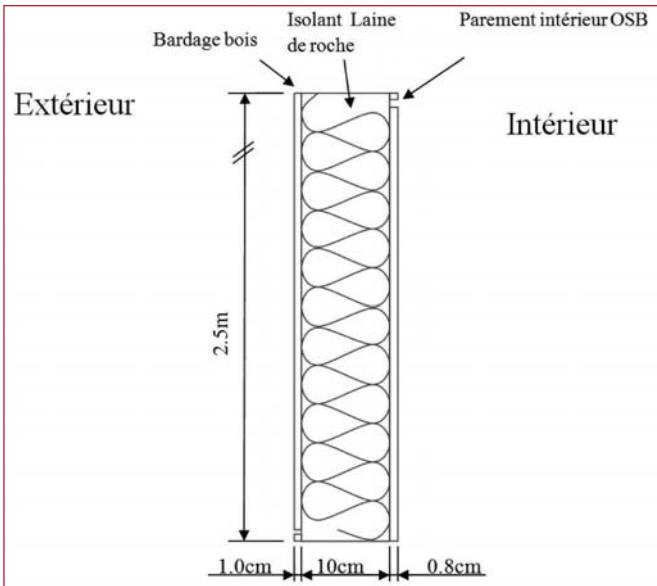


Figure 5. Vue de la paroi 2
(structure lourde, isolation extérieure).

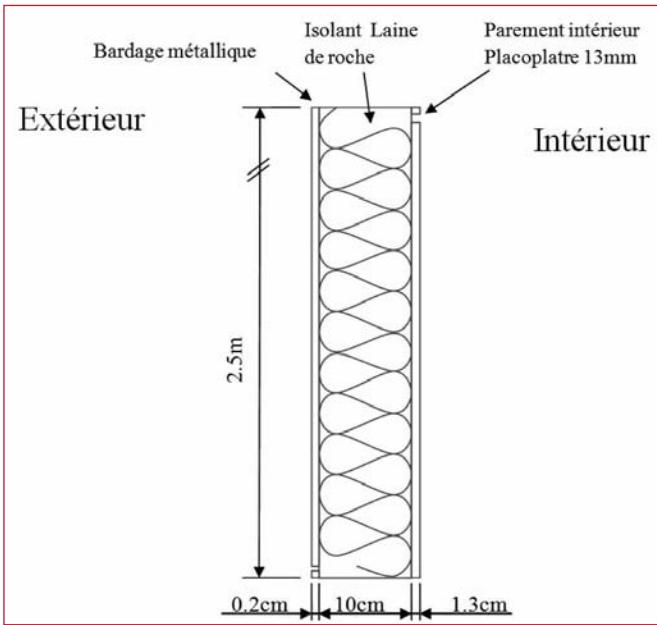
réglementation thermique [3] et du label PassivHaus [13] pour une maison individuelle. De plus, nous considérons une maison individuelle de dimensions $10 \times 10 \times 2,5 \text{ m}$ c'est-à-dire ayant 200 m^2 de parois en contact avec l'extérieur hors plancher bas en considérant une toiture terrasse. Le tableau 2 donne les valeurs des débits d'air de fuite obtenus ainsi que celles du nombre de Peclet pour lequel une longueur unitaire de paroi a été considérée.

Pour chaque paroi simulée, nous avons considéré un cas d'infiltration d'air et un cas d'exfiltration.

Une fois réalisées les simulations numériques, il est possible de déterminer les taux de recouvrement à l'aide des équations (8) pour η_{inf} et (13) pour η_{exf} respectivement.



**Figure 6. Vue de la paroi 3
(bardage bois, isolation répartie).**



**Figure 7. Vue de la paroi 4
(bardage acier, isolation répartie).**

Les figures 8, 9 et 10 montrent respectivement les valeurs des taux de recouvrement η_{inf} , η_{exf} et η_{tot} en fonction du nombre de Peclet Pe.

Les figures 9 à 10 appellent plusieurs commentaires. Pour tous les types de paroi, il apparaît que le taux de recouvrement aussi bien en infiltration qu'en exfiltration diminue lorsque le nombre de Peclet augmente. Ainsi, plus le débit est élevé (nombre de Peclet élevé), moins l'échange de chaleur a le temps de s'établir.

Les courbes présentent les mêmes tendances en infiltration et en exfiltration. Cependant, le taux de recouvrement en infiltration est dans tous les cas supérieur au taux de recouvrement en exfiltration.

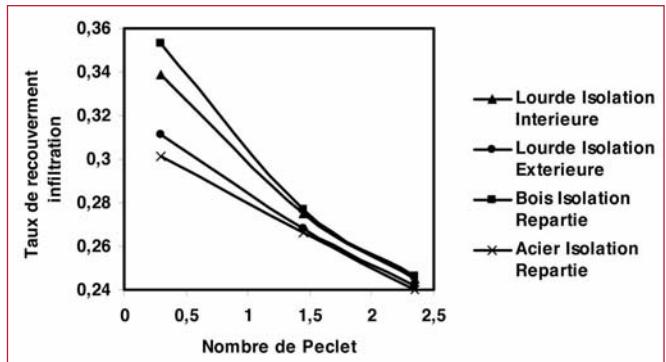


Figure 8. Valeurs du taux de recouvrement infiltration en fonction du nombre de Peclet.

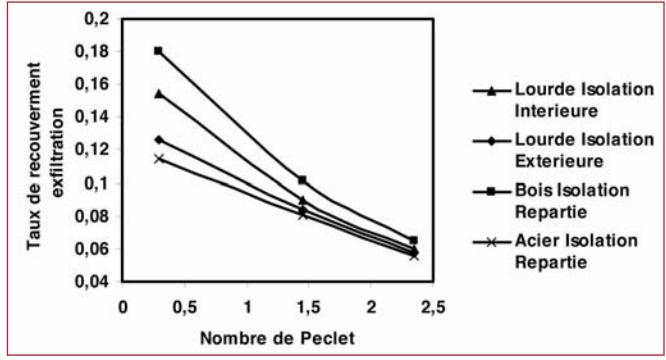


Figure 9. Valeurs du taux de recouvrement exfiltration en fonction du nombre de Peclet.

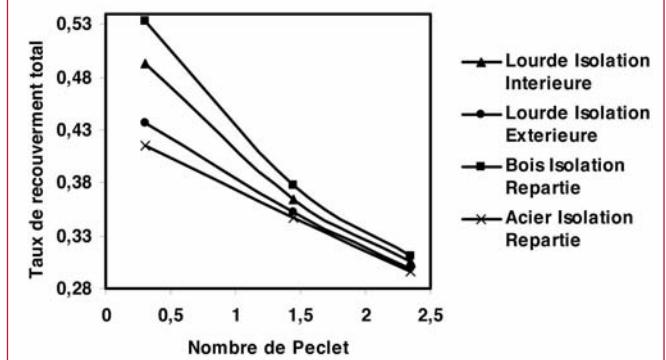


Figure 10. Valeurs du taux de recouvrement total en fonction du nombre de Peclet.

Cela est dû au fait que l'échange de chaleur se fait à contre-courant pour les infiltrations alors qu'il se fait à co-courant pour les exfiltrations.

Quelle que soit la structure de la paroi, la différence entre le taux de recouvrement en infiltration et celui en exfiltration est quasiment constante et de l'ordre de 0,18. Ce résultat a déjà été obtenu par [5].

La composition de la paroi a une influence sur les valeurs du taux de recouvrement. Pour la plus petite valeur du nombre de Peclet à savoir 0,27, l'écart relatif maximum est de 13,5% pour l'infiltration et de 33,9% pour l'exfiltration. Les quatre courbes de taux de recouvrement tendent à se rejoindre quand le nombre de Peclet augmente. Cela suggère que pour des valeurs du nombre de Peclet élevées, la structure de la paroi n'a pas d'influence sur le taux de recouvrement. Par contre la structure de la paroi est un paramètre influent pour les faibles valeurs du nombre de

PAROI 1				
Hauteur totale H = 2,5 m		Epaisseur totale E = 0,213 m		
Matériaux	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kg K)
Béton	0,1	2000	1,65	1000
Laine de roche	0,1	129	0,041	1030
Plâtre	0,013	900	0,23	1000
PAROI 2				
Hauteur totale H = 2,5 m		Epaisseur totale E = 0,210 m		
Matériaux	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kg K)
Crépi	0,01	1000	1,23	1000
Laine de roche	0,1	129	0,041	1030
Béton	0,1	2000	1,65	1000
PAROI 3				
Hauteur totale H = 2,5 m		Epaisseur totale E = 0,118 m		
Matériaux	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kg K)
Bardage bois	0,01	900	0,23	1000
Laine de roche	0,1	129	0,041	1030
Parement OSB	0,008	650	0,13	1700
PAROI 4				
Hauteur totale H = 2,5 m		Epaisseur totale E = 0,115 m		
Matériaux	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kg K)
Bardage acier	0,002	7500	50	450
Laine de roche	0,1	129	0,041	1030
Plâtre	0,013	900	0,23	1000

Tableau 1. Composition des parois étudiées.

	RT2005 défaut	RT2005 référence	PassivHaus
$I_4(m^3/h m^2)$	1,3	0,8	0,15
Débit massique linéaire (kg/s m)	0,00217	0,00133	0,00025
Pe	2,34	1,43	0,27

Tableau 2. Valeurs des débits d'air de fuite et du nombre de Peclet.

Peclet. En rapportant cette constatation aux débits d'air d'infiltration étudiés, cela veut dire que pour un débit correspondant au facteur I_4 par défaut de la réglementation thermique, la composition de la paroi n'a aucune influence sur le taux de recouvrement. A l'inverse, pour des bâtiments relativement étanches (PassivHaus), la composition de la paroi influe significativement.

Le taux de recouvrement est meilleur pour la paroi à structure légère bois, suivi par la structure lourde à isolation intérieure puis la structure lourde à isolation extérieure et enfin la structure légère acier. Le taux de recouvrement plus faible observé pour cette dernière paroi peut être attribué à une résistance thermique quasi-nulle de la couche extérieure de la paroi.

5. EXEMPLE D'APPLICATION

Nous considérons la maison individuelle utilisée pour déterminer les coefficients de recouvrement des différentes parois (voir Section 3).

L'objectif est dévaluer l'influence de la prise en compte du phénomène de recouvrement sur les déperditions par infiltration d'air. Pour cela, nous supposons que la moitié du débit d'air infiltré transite à travers l'isolant. Cela donne

130 m³/h et 80 m³/h pour la valeur par défaut de la RT2005 et la valeur de référence de la RT2005 respectivement.

Par ailleurs, une régression polynomiale du second ordre nous a permis d'exprimer le taux de recouvrement total η_{tot} de chaque paroi en fonction du nombre de Peclet Pe. Les expressions obtenues sont :

Paroi bois à isolation répartie :

$$\eta_{tot} = 0,0294 Pe^2 - 0,1863 Pe + 0,5862 \quad (26)$$

Paroi lourde à isolation intérieure :

$$\eta_{tot} = 0,0218 Pe^2 - 0,1494 Pe + 0,5359 \quad (27)$$

Paroi lourde à isolation extérieure :

$$\eta_{tot} = 0,0073 Pe^2 - 0,0867 Pe + 0,4600 \quad (28)$$

Paroi acier à isolation répartie :

$$\eta_{tot} = 0,0016 Pe^2 - 0,0628 Pe + 0,4347 \quad (29)$$

Les équations (26) à (29) ont été utilisées pour déterminer le taux de recouvrement de chaque paroi pour les trois valeurs du débit de fuite considérées (Tableau 3).

La lecture du Tableau 3 amène les mêmes conclusions que celles faites précédemment (voir Section 3 et Figure 10) avec, notamment, une augmentation du taux de recouvre-

Type de paroi	Pe = 1,170 Défaut RT2005	Pe = 0,715 Référence RT 2005
Bois isolation répartie	0,408	0,468
Lourde isolation intérieure	0,391	0,440
Lourde isolation extérieure	0,366	0,402
Acier isolation répartie	0,363	0,391

Tableau 3. Valeurs du taux de recouvrement total η_{tot} de la maison individuelle.

ment total η_{tot} lorsque le débit de fuite décroît i.e. pour une diminution de la valeur du nombre de Peclet Pe et pour un même niveau d'isolation de la paroi.

En considérant un écart relatif entre le calcul conventionnel des déperditions par infiltrations (Eq. 2) et le calcul intégrant le taux de recouvrement (Eq. 14 sans Q_{condc}), la part relative du flux échangé par recouvrement $\Delta\Phi r$ s'écrit :

$$\Delta\Phi r = \frac{\eta_{tot}}{2} \times 100 \quad (30)$$

Le facteur $\frac{1}{2}$ provient du fait que seule la moitié du débit d'air d'infiltration transite à travers les parois et est donc soumis au phénomène de recouvrement.

Pour le cas étudié, la valeur de $\Delta\Phi r$ varie de 18,2% à 23,4% en considérant les trois débits de fuite et les quatre types de paroi étudiés.

6. CONCLUSION

Les économies d'énergie du secteur du bâtiment sont au cœur de nombreuses discussions. Une des pistes suivie pour diminuer les déperditions est d'augmenter la résistance thermique des parois. Dans ces conditions, les fuites d'air dues à la perméabilité de l'enveloppe des bâtiments peuvent devenir un poste important des déperditions. Par ailleurs, la méthode de calcul conventionnelle des déperditions par infiltration considère systématiquement l'écart de température extérieur-intérieur. Or, lorsque les infiltrations ou les exfiltrations ont lieu au sein d'une paroi poreuse isolante, il existe un échange de chaleur entre l'air et la paroi.

Pour tenir compte de ce phénomène, il a été proposé d'introduire la notion de taux de recouvrement. Après l'avoir défini, une étude numérique menée à l'aide d'un code CFD a permis de déterminer le taux de recouvrement pour 4 types de paroi. La principale conclusion est que le taux de recouvrement dépend du débit de fuite à savoir plus le débit de fuite est faible plus le taux de recouvrement est élevé. De plus, le taux de recouvrement dépend du type de paroi.

Enfin, un exemple d'application sur une maison individuelle est présenté. Les résultats montrent que, dans ce cas, le phénomène de recouvrement au sein des parois peut représenter de 18,2% à 23,4% des déperditions conventionnelles par infiltration c'est-à-dire sans tenir compte du taux de recouvrement.

7. RÉFÉRENCES

- [1] F.R. Carrié, B. Rosenthal. An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness. AIVC, VIP n°29, 2006
- [2] RT 2000. Bâtiments en construction métallique, guide de bonnes pratiques. SEBTP, Paris, 2006
- [3] RT2005. Réglementation thermique, guide réglementaire CSTB, France, 2006
- [4] S. Bhattacharyya, D.E. Claridge. The energy impact of air leakage through insulated walls Journal of Solar Engineering, 117, 1995, 167-172
- [5] M. O. Abadie, E. U. Finlayson, A. Gadgil. Infiltration heat recovery in building walls : computational fluid dynamics investigations results. Lawrence Berkeley National Laboratory, report n°51324, Berkeley, USA, 2002
- [6] K. Qiu. Air infiltration and heat exchange performance of the building envelope, PhD Thesis, Concordia University, Montreal, CA, 2006
- [7] Y. Barhoun. Influence des transferts aérauliques dans les parois sur leurs performances thermiques. Thèse Doctorat, INSA Lyon, Lyon, France, 2006
- [8] C.R. Buchanan, M.H. Sherman. A mathematical model for infiltration heat recovery. Lawrence Berkeley National Laboratory, report n°44294, Berkeley, USA, 2000
- [9] I.S. Walker, M.H. Sherman. Heat recovery in building envelopes. Annual AIVC Conference, Washington, 2003
- [10] H. Babin. Influence des transferts aérauliques sur les performances thermiques des parois de bâtiments. Mémoire de Master, Université de Nantes, 2008
- [11] M.H.J. Pedras, M.J.S. de Lemos. Macroscopic turbulence modelling for incompressible flow through undeformable porous media. International Journal of Heat and Mass Transfer, 44, 2001, 1081-1093
- [12] A. Bejan. Convection heat transfer. Second Edition, A. Wiley Interscience Publication, Durham, USA, 1995
- [13] W. Feist. Passive House Planning Package 2004. Passiv Haus Institut, Technical Information PHI-2004/1(E), Darmstadt, Germany, 2004

annonces de colloques



COLLOQUE « Le Pont » 19 & 20 Octobre 2010



Quinze ans !

Quinze ans qu'une bande de passionnés se retrouvent, au mois d'octobre, à Toulouse, pour parler de pathologie de Génie Civil. Beaucoup d'entre eux sont d'ailleurs les mêmes depuis le début. Toulouse, Octobre, « Le Pont », ces points de repères sont devenus autant de balises qui leur permettent de se retrouver.

Nous évoquerons, entre autres, les méthodes d'analyse de risques, appliquées aux murs, buses et poutres précontraintes, les méthodes d'auscultations, les principes de réparation et de renforcement des ouvrages métalliques anciens ainsi que des buses. Une malheureuse actualité récente nous amènera à parler de la vulnérabilité des ouvrages aux séismes.

« *Est-ce l'Espagne en toi qui pousse un peu sa corne ?* » chantait Claude Nougaro, encore un toulousain, dans *Oh ! Toulouse*. Nous irons voir comment nos proches voisins Ibères, espagnols et portugais, gèrent leurs ponts.

La table ronde portera cette année sur un tour d'horizon des projets de recherche dans le domaine de la maintenance du génie civil. ANR, RGCN, IREX, PCRD Plusieurs spécialistes de ces divers organismes nous aideront à nous y retrouver.

Nous avons eu, l'an passé, une participation remarquable de près de 250 étudiants. En renouvelant cette expérience cette année, et souhaitant la rendre beaucoup plus interactive, nous demanderons, à certains d'entre eux, de « plancher » sur un sujet lié à l'un des thèmes du colloque, et de venir en commenter le résultat devant vous. S'ils le méritent, une récompense leur sera remise.

Quinze et Toulouse, un chiffre et une ville, le rouge et noir ! Vous avez compris que l'on ne pouvait pas dissocier ce quinzième colloque de la formidable histoire du Stade Toulousain.

Le *Rrrrugueby*, plus qu'un simple jeu, une façon d'être, une sorte de symbiose de la force et du respect. A l'image de la vie, on y progresse toujours de l'arrière vers l'avant, avec un drôle de ballon, dont les rebonds imprévisibles peuvent à tout moment en modifier le sens.

Les spécialistes du génie civil y auront sans doute remarqué l'analogie de la mêlée avec la voûte d'un pont.

On peut aimer ce sport, on peut ne pas l'aimer, mais on ne peut pas être indifférent aux valeurs essentielles qu'il véhicule.

Je vous propose donc de venir transformer la traditionnelle soirée conviviale du colloque en troisième mi-temps dans l'ambiance du Stade Toulousain.

Des discussions sont en cours afin de vous y réservier une heureuse surprise. A vos crampons...

Nous vous attendons encore nombreux les 19 et 20 Octobre prochains, pour fêter ce quinzième anniversaire.

Christian TRIDON



Colloque « Le Pont » Les 19 et 20 octobre 2010 à Toulouse Centre de congrès Diagora à Labège

Mardi 19 octobre 2010

8h30 : Accueil des participants et contacts exposants

9h10 : Ouverture et présentation du colloque

Rémi LOLOUM (Journaliste), Daniel POINEAU (Consultant)

Analyse de risques, auscultation, réparations sur les ouvrages vulnérables

9h15 : Méthodes d'analyse de risques - Principes

M. RENAUDIN (CETE Est)

9h30 : Applications aux buses métalliques

Davy PRZYBYLA (LR STRASBOURG)

9h45 : Applications aux VIPP

Sylvain LOPEZ (ASF)

10h00 : Application aux murs en terre armée

M. RENAUDIN (CETE Est)

Moyens d'auscultation

10h15 : Test de l'arbalète et résultats

Jean-Jacques BRIOIST (LRPC Lille)

10h30 : Radars

M. X (INSA Toulouse)

10h45 : Corrosimétrie

Jean-Luc GARCIAZ (LERM)

11h00 : Gammagraphie : méthode classique et développements en gammagraphie numérique

M. ROENELLE (LRPC Lyon)

11h15 : Pause café et visite de l'exposition technique

11h45 : Principes de réparation

Exemple des VIPP

Hervé GUERARD (ASF) et Nicolas BESSOULE (Concrete Toulouse)

12h05 : Recalcul des ouvrages et prescriptions pour les travaux

Exemple des VIPP

Renaud LECONTE (CETE Lyon)

12h20 : Intervention Entreprise

12h30 : Déjeuner sur place et visite de l'exposition technique



Tribune libre pour les étudiants et les enseignants

14h00 : Présentation de 2 ou 3 projets par les étudiants d'Egletons et discussions avec les participants. Classement des projets et remise d'un prix aux étudiants.

Vulnérabilité des ouvrages aux séismes

15h00 : Bilan du séisme de Laquila en Italie
Sandrine JUSTER-LERMITTE (CEA/AFPS)

15h45 : Présentation du logiciel SISMOA
Denis DAVI (CETE d'Aix)
Présentation du logiciel SISMUR
David CRIADO (LRPC Aix) ou Christian THIBAULT (LRPC Nice)

16h00: Pause café et visite de l'exposition technique

Gestion des ouvrages d'art en péninsule ibérique

16h30 : Les ouvrages d'art au Portugal
Elisabete da Conceição Pires Lopes (Direction des Routes Portugal)

Principes de réparation d'ouvrages : Rita MOURA Contact à prendre par : CT

17h15 : Les ouvrages d'art en Espagne
Rafaël ASTUDILLO (CEDEX Madrid)

18h00 : Intervention Entreprise

19h00 : Soirée sur le thème du Rugby
Buffet dinatoire



Mercredi 20 octobre 2010

8h30 : Accueil des participants et contacts exposants

Principes de réparation des ouvrages métalliques anciens

9h00 : Enjeux de la réparation

Bernard PLU (SNCF)

Expertise du pont Alexandre III - Analyse des matériaux

Mme Texier (LRMH)

Exemples des buses métalliques

- Gestion du parc des buses métalliques

Jean-Philippe MARION (APRR)

- Diagnostic, méthodes d'auscultation et principes de renforcement

Jean-Paul PERSY (Consultant)

Table ronde : Les projets de recherches relatifs à l'entretien et à la gestion des ouvrages de génie civil

En cours de préparation

Analyse du cycle de vie d'un ouvrage (suite de la table ronde 2009)

11h30 : Présentation du nouveau groupe de travail AFGC

Christian TESSIER (LCPC Nantes) ou Yannick TARDIVEL (SETRA)

12h00 : Déjeuner sur place et visite de l'exposition technique

Présentation de l>IDRRIM

14h30 : En cours de finalisation

Philippe REDOULEZ, Directeur du SETRA

15h00 : Présentation des guides STRRES

Christian TRIDON

Présentation de l'AFGC

Jean-Marc TANIS, Président de l'AFGC

Présentation de la thèse de Nathalie DOMEDE (Modélisation par éléments finis d'ouvrages en maçonnerie)

16h30 : Clôture du colloque



15^{ème} Colloque « Le Pont »

Les 19 et 20 octobre 2010 à Toulouse
Centre de congrès Diagora à Labège

BULLETIN D'INSCRIPTION

SOCIETE :	Nom :	e-mail :
	Adresse	Tel : Fax :

PARTICIPANTS

Nom	Prénom	Adhérent de l'AFGC
		oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
		oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>

MEMBRE AFGC (*)		AUTRE PARTICIPANT (**)		TOTAL
Nombre	Tarif (HT)	Nombre	Tarif (HT)	
	480.00 €		600.00 €	... €

(*) Pour les membres appartenant à l'administration ou aux collectivités locales, consulter le secrétariat de l'AFGC ou l'association Le Pont pour les tarifs.

Ce tarif comprend :

- L'accès aux conférences (2 journées)
- L'accès aux salons de présentation d'entreprises
- Les deux déjeuners (sur place)
- Les pauses café
- Un CD contenant toutes les interventions du colloque
- Le dîner relationnel
- L'accès au bus de transfert centre ville

(**) Pour les autres participants, le règlement de cette manifestation donne accès à toutes les informations diffusées par mail par l'AFGC pour l'année en cours

Bulletin à retourner à l'association Le Pont, à l'attention de Karine Lhuillier
accompagné du règlement (chèque, preuve de virement ou bon de commande à l'ordre de l'Association Le Pont)
avant le vendredi 24 septembre 2010

ASSOCIATION LE PONT
31 avenue de la gare - 31120 ROQUES/GARONNE
Téléphone : 06 11 49 31 48 - Mail : assolepont@laposte.net



Débats de l'AFGC

Documents disponibles sur le site <http://www.afgc.asso.fr/Autres/debats-de-lafgc.html>

Débats du **mardi 30 mars 2010 - 17h00 à 19h00 : Qualité de vie, Environnement et Ouvrages d'Art**

Intervention 1	<u>L'écologie des ouvrages d'art</u>	Grégoire BIGNIER, B+M Architecture
Intervention 2	<u>Ouvrages d'art et qualité de vie</u>	Émilie LUANGKHOT, SETRA
Intervention 3	<u>Architecture et Ouvrages d'art</u>	Jean-François BLASSEL, RFR

Débats du **jeudi 1er juillet 2010 - 17h30 à 20h00 : L'optimisation granulaire dans la formulation des bétons**

Intervention 1	<u>Introduction</u>	François DE LARRARD, LCPC
Intervention 2	<u>Interactions granulaires dans les modèles d'empilement</u>	Gérard ROQUIER, Professeur
Intervention 3	<u>Problématiques liées à la qualité de l'empilement granulaire des bétons</u>	François CUSSIGH, VINCI
Intervention 4	<u>Conclusion : Utilisation des modèles d'empilement dans d'autres domaines</u>	François DE LARRARD, LCPC

La prochaine séance des débats aura lieu **le jeudi 4 novembre 2010 de 17h30 à 20h00**

La participation aux débats est gratuite mais pour la bonne organisation de la soirée vous devez vous inscrire (inscription).

L'innovation dans le Génie Civil, au service de la construction durable

22 et 23 mars, ESTP - CACHAN

Nom :
Prénom :
Société :
Adresse :
Tél :
Fax :
E-mail :

- Je suis intéressé(e) par les journées GC'2011 et je souhaite des informations concernant :
 l'inscription
 l'exposition technique
 J'ai l'intention de présenter une communication
 J'ai l'intention de présenter un poster

INFORMATIONS PRATIQUES

La manifestation aura lieu à Cachan, les 22 et 23 mars 2011.

Proposition de communications

Si vous souhaitez présenter une communication, votre résumé (300 mots) doit parvenir au secrétariat de l'AFGC (jocelyne.jacob@wanadoo.fr ou nodget.berrahou@enpc.fr) avant le 1^{er} septembre 2010 en précisant le ou les thèmes des conférences.

Exposition technique

Un espace d'exposition technique est proposé aux entreprises et industriels intéressés à la promotion de leur savoir-faire et de leurs produits.

Espace poster

Un espace poster est mis à disposition des chercheurs et des universitaires souhaitant présenter les résultats de leurs travaux en rapport avec le thème des journées.

Comité technique et d'organisation

Président : Thierry Kretz

Vice-président : Bruno Godart

Membres : Nodget Berrahou-Daoud, François Buyle-Bodin, Jean-Bernard Datry, Valérie Dusséqué, Patrick Guiraud, Jocelyne Jacob, Philippe Jacquet, Jean-Marc Potier, Christophe Roulet, Noël Richet, Michel Royer-Muller

Droits d'inscription aux deux journées

Membres AFGC	350 € TTC
Non Membres AFGC	400 € TTC
Universitaires	150 € TTC

Ces tarifs comprennent l'accès à l'ensemble des conférences, les documents, les déjeuners et les pauses café, la soirée du 22 et les transferts en car (soirée du 22 et visites techniques).

CONTACTS

AFGC - 15 rue de la Fontaine au Roi
75127 PARIS CEDEX 11
Tel : (33) 1 44 58 24 70 - Fax : (33) 1 44 58 24 79
Courriels : jocelyne.jacob@wanadoo.fr
nodget.berrahou@enpc.fr
Site Web : www.afgc.asso.fr



OBJECTIFS

Dans la voie tracée par les journées GC2007 consacrées au thème du développement durable et GC2009 sur le cycle de vie des ouvrages, l'AFGC organise les journées techniques GC2011 sur le thème : **L'innovation dans le Génie Civil au service de la construction durable.**

L'objectif de ces journées est de faire un bilan des innovations dans les domaines de la conception, de l'exécution et de la réhabilitation des structures de génie civil dans l'optique d'une construction durable respectueuse de l'environnement et de présenter les nouveaux développements en matière de ville durable et déco-quartiers.

La conception, la construction et la gestion des ouvrages doivent intégrer de plus en plus des critères de développement durable comme la santé, le respect de l'environnement, la réduction de l'énergie consommée, l'économie des ressources naturelles, la limitation des rejets, la maîtrise des risques, sans oublier la démarche d'intégration dans le site.

Cette démarche se traduit par des solutions innovantes comme la mise au point de nouveaux matériaux, le développement de nouveaux outils numériques, la robotisation des méthodes de construction, l'instrumentation des structures, l'amélioration de la communication entre les différents acteurs, etc.

L'AFGC invite donc tous les acteurs de la Construction, du sein des maîtrises d'ouvrage, maîtrises d'œuvre, entreprises, industries, sociétés d'ingénierie, ateliers d'architecture, laboratoires, universités, écoles, ... à venir partager leurs connaissances, à faire part de leurs réflexions et de leurs innovations, et à participer aux débats.

THÈMES DES JOURNÉES

Les trois premières demi-journées seront consacrées à la présentation d'innovations qui permettent d'accroître la qualité de la conception, de la réalisation et du suivi dans le temps des ouvrages au service de la construction durable.

La 4^{ème} demi-journée sera consacrée à la visite de réalisations d'ouvrages en Ile-de-France, illustrant les thèmes des journées.

1. Conception
 - Démarche environnementale pour l'intégration des infrastructures dans un site (respect des écosystèmes, création d'ouvrages durables)
 - Analyse du cycle de vie des ouvrages
 - Maquette numérique 3D
 - Modes d'échanges des données
 - Projet ANR Communic
 - Apport de l'association des matériaux pour un meilleur comportement global
 - Premiers retours sur l'application des Eurocodes
 - Ingénierie concourante au service des projets complexes
 - ...
2. Construction
 - Nouveaux matériaux, nouveaux produits et nouvelles propriétés
 - Liaison modèles de calcul / plans via la maquette 3D
 - Méthodes de mise en œuvre garanties de la santé et de la sécurité des hommes et de la durabilité des ouvrages
 - Robotisation, automatisation
 - Robotisation sur ouvrages neutrs pour une meilleure maintenance
 - Gestion des impacts du chantier sur son environnement
 - ...
3. Réhabilitation
 - Critères de choix entre réhabilitation et reconstruction
 - Haute surveillance pour les ouvrages à réhabiliter
 - Remise à niveau et réadaptation d'ouvrages
 - Lutte contre la corrosion pour une durée de vie optimisée
 - Nouveaux matériaux et nouvelles techniques pour la durabilité de la réhabilitation
 - Maîtrise des risques liés à la réhabilitation
 - ...
4. Villes durables et Eco-quartiers
 - Approche pluridisciplinaire
 - ACV à l'échelle des quartiers et des villes
 - Démarche HQE à l'échelle des quartiers
 - Infrastructures et réseaux urbains
 - Résilience de la ville face au changement climatique
 - ...
5. Respect de l'environnement et énergies renouvelables
 - Bilans environnementaux appliqués aux ouvrages (Gaz à effet de serre, Energie grise, ...)
 - Evaluation de l'impact environnemental des projets d'infrastructures
 - Recyclage et préservation des ressources naturelles
 - Génie civil au service des énergies renouvelables
 - ...



MANIFESTATIONS 2010
PROGRAMME PRÉVISIONNEL
 (au 13 juillet 2010)

Association Française de Génie Civil

JANVIER 2010

26 janvier
Lyon

Conférence : A89

FEVRIER 2010

19 février

AFGC Délégation Océan Indien

Visite du centre de broyage des Ciments de Bourbon

MARS 2010

9 mars
Paris

RéGU

Les Entretiens du RéGU

AVRIL 2010

23 mars
Paris

AFGC

Conférence : Le projet EPR
Assemblée Générale et Remise des Prix 2009 AFGC et Caquot

25 mars

CETMEF / CIMENTBTON / AFGC Med

Les bétons en site maritime
Présentation du guide technique CETMEF

MAI 2010

6 mai
Caen

Journée Innovations

JUIN 2010

11 mai
Lyon

Les bétons autoplâçants

JUILLET 2010

29 mai au 1^{er} juin
Washington (USA)

3^{ème} Congrès international

AOUT 2010

2 au 4 juin
La Bourboule

28^{èmes} Rencontres Universitaires

SEPTEMBRE 2010

AFGC

Les débats de l'AFGC
Conférences

OCTOBRE 2010

11 juin
Nantes

AFGC Délégation Grand Ouest

NOVEMBRE 2010

1^{er} novembre
Angers

Conférences et visite
Pont Éric Tabarly sur la Loire (bras de la Madeleine)

<input type="checkbox"/> 16 juin Bayonne	Conférences et visite L'autoroute A63	AFGC Délégation Sud-ouest	OCTOBRE 2010
<input type="checkbox"/> 17 et 18 juin Lille	Journées Ouvrages d'Art	RST Construcracier	<input type="checkbox"/> 7 octobre Bordeaux Conférences et visite : Le pont levant de Bordeaux
<input type="checkbox"/> 17 juin Beynost	Conférences et visite A432 Viaduc de la Côteire	AFGC Délégation Rhône Alpes	<input type="checkbox"/> 13 octobre Nîmes Conférences : Les grands projets de génie civil en Languedoc Roussillon et Auvergne
<input type="checkbox"/> 22 et 23 juin Copenhague (Danemark)	8ème fib international PhD Symposium in Civil Engineering	<i>fib</i>	<input type="checkbox"/> 15 octobre Nantes Visites des équipements d'essais nantais (CSTB, ECN, LPCP)
<input type="checkbox"/> 24 et 25 juin Brest	Conférences et visite Pont de Térénez, Pont d'Iroise et Pont Albert Louppe	AFGC - Association Eugène Freyssinet AFGC Délégation Grand Ouest	<input type="checkbox"/> 18 au 22 octobre Nantes Matiériaux 2010 Fédération Française de Matériaux
<input type="checkbox"/> 30 juin Liège (Belgique)	Conférences et visite La nouvelle gare de Liège et le contournement de Liège	AFGC Délégations Nord Picardie et Grand-Est	<input type="checkbox"/> 19 et 20 octobre Toulouse Colloque annuel
JUILLET 2010		<input type="checkbox"/> 25 novembre Marseille Les bétons autoplaçants	
<input type="checkbox"/> 1 ^{er} juillet Paris 17h30 -> 20h00	AFGC Les débats de l'AFGC Conférences	<i>Epinat</i> Journée Bois	<input type="checkbox"/> 30 novembre Epinal Cete de l'Est/AFGC Grand Est
SEPTEMBRE 2010		<input type="checkbox"/> 7 et 8 décembre Metz Séminaire européen Les actiers à hautes performances	
<input type="checkbox"/> 6 au 10 septembre Aachen (Germany)	RILEM <i>64th RILEM week</i>	<input type="checkbox"/> 16 et 17 septembre Prague (République Tchèque) 1 st International Workshop Design of Concrete Structure using EN 1992-1-1	
<input type="checkbox"/> 22 au 24 septembre Venise (Italie)	<i>IABSE</i> 34th IABSE Symposium Large structure and Infrastructure for Environmentally Constrained and Urbanised Areas	<input type="checkbox"/> 22 au 24 septembre Paris AFGC - 15, rue de la Fontaine au Roi - 75127 - PARIS Cedex 11 www.afgc-asso.fr	

recommandations aux auteurs

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les Annales du BTP sont avant tout une revue technique francophone s'adressant à un public d'ingénieurs et de décideurs œuvrant dans les multiples secteurs du BTP au sens le plus large du terme, à savoir la construction, le bâtiment, les travaux publics, l'ingénierie, les infrastructures urbaines et territoriales.

Les grands enjeux sous-tendus dans tout article pouvant paraître dans la revue sont à mettre en regard avec les problématiques d'aujourd'hui, progrès et innovation technologiques, développement économique dans le respect de l'environnement, valorisation des produits de la recherche dans le monde professionnel, défense du secteur de la construction dans l'économie mondiale...

Les auteurs sont invités à prendre en considération ces aspects dans toute leur diversité. Beaucoup d'articles en effet ne manqueront pas de se baser sur une présentation de travaux de recherche, qu'elle soit fondamentale ou appliquée. Néanmoins, à la différence d'une revue scientifique, les Annales attendent de ses contributeurs plus une description exhaustive de l'intérêt que leurs travaux pourraient présenter à la communauté professionnelle qu'une description précise de leur cheminement intellectuel.

Quand un article est le prolongement d'un colloque ou d'une rencontre scientifique, l'auteur devra donc veiller dans la réécriture à ne pas trop détailler sa démarche, mais à montrer l'intérêt de sa recherche pour le lectorat de la revue, en montrant en particulier dans l'introduction et la conclusion quels étaient ses grands objectifs. Il ne s'approfondira pas plus que nécessaire sur l'aspect scientifique, sachant que le lecteur ne sera pas forcément un spécialiste de sa discipline. En un mot l'auteur doit chercher à vulgariser son discours.

PRÉSENTATION DU MANUSCRIT

Le texte doit être soumis sous format électronique .doc ou .odt envoyé au rédacteur en chef François BUYLE-BODIN à l'adresse annalesbtp@gmail.com

En cas de refus de transmission pour cause de lourdeur des fichiers, l'auteur pourra envoyer un céderom à **M. BUYLE-BODIN, rédacteur en chef de la revue Annales du BTP, Polytech'Lille – Université Lille 1, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.**

Afin de faciliter la diffusion du savoir, l'éditeur n'exige pas des auteurs une mise en forme particulière de leur article. Aucune contrainte de longueur n'est posée, mais l'idéal est aux alentours de 15 pages en arial 10 interligne simple.

Les unités de mesures et les symboles doivent respecter les règles typographiques internationales.

Il est nécessaire de préciser :

- le titre en français et en anglais ;
- le ou les auteurs : nom, prénom, titres, coordonnées ;
- un résumé de 15 lignes maximum en français et en anglais ;
- les figures et photographies originales peuvent être fournies à part en .eps, .tif ou .jpg. Elles seront publiées en noir et blanc et doivent donc être d'un bon niveau de gris, au moins 400 dpi ;
- une illustration caractéristique de l'article pourra figurer en couleur sur la une de couverture et devra donc être d'une résolution maximale. Ne pas oublier de mentionner les crédits photographiques.

FONCTIONNEMENT DE LA RELECTURE

Le rédacteur en chef accueille réception du manuscrit et lance la phase d'approbation. Il s'appuie pour la relecture et la sélection finale des articles sur un comité comprenant des experts reconnus de la profession, ainsi que des membres des conseils scientifiques des principales associations du BTP partenaires des Annales.

Le rédacteur en chef de la revue fait part à l'auteur de la décision de publier ou non le texte, il précise éventuellement les corrections à apporter.

Le rédacteur en chef se charge de la transmission du manuscrit à l'éditeur.

AGPA Editions, 4, rue Camélinat, 42000 Saint-Etienne.

L'auteur recevra gratuitement 10 exemplaires du numéro de la revue dans lequel est publié son article.

GÉRER & COMPRENDRE

SOMMAIRE

- LE COMPORTEMENT STRATÉGIQUE DES ENTREPRISES SUCRIÈRES FACE AU MOUVEMENT DE RECONFIGURATION DE CETTE FILIÈRE AU NIVEAU MONDIAL
Par Mohamed Akli ACHABOU
- LA COLLABORATION ENTRE CONCURRENTS POUR GÉRER LE BIEN COMMUN : LE CAS DES ENTREPRISES DE COLLECTE ET DE STOCKAGE DE CÉRÉALES D'ALSACE
Par Mourad HANNACHI, François-Christophe COLÉNO et Christophe ASSENS
- LES INDICATIONS GÉOGRAPHIQUES PROTÉGÉES (IGP) ET LA GRANDE DISTRIBUTION : UNE ANALYSE DU RÉSEAU DU PRUNEAU D'AGEN
Par Marie CARPENTER et Stéphanie PETZOLD
- LES RELATIONS ENTRE LA PRODUCTION ET LA DISTRIBUTION : LE CAS DU PARTAGE DE LA VALEUR AJOUTÉE DANS LA FILIÈRE LAITIÈRE FRANÇAISE
Par Olivier MEVEL
- DANS LA FABRIQUE DE LA RÉGLEMENTATION
Par Patrice DEVOS, Daniel FIXARI et Michel NAKHLA
- L'INFLUENCE DU CRITIQUE AMÉRICAIN ROBERT PARKER DANS L'UNIVERS DU VIGNOBLE BORDELAIS
Par Jérôme BARTHÉLEMY
- LE CLIMAT D'INVESTISSEMENT EN ÉGYPTE – LES CONDITIONS D'UNE RÉFORME DURABLE : INSTITUTIONS, OU RELATIONS ?
Par Hélène YOUSFI
- PRESCRIRE LA SURETÉ, NÉGOCIER L'EXPERTISE
Par Grégory ROLINA
- Emmanuel COBLENCE
MUSÉE MODESTE, MUSÉE MODERNE ?
À propos du livre de Robert R. Janes, *Museums in a Troubled World. Renewal, irrelevance or collapse ?*
- Dominique JACQUET
FINANCE SERVANTE OU FINANCE TROMPEUSE ?
À propos du livre de Paul Dembinski, *Finance servante ou finance trompeuse ?*
- Pascale de ROZARIO
LA GESTION EN CONTEXTE INTERCULTUREL
Approches, problématiques, pratiques et plongées
À propos du livre ainsi intitulé d'Eduardo Davel, Jean-Pierre Dupuis et Jean-François Chanlat

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions AGPA-ESKA, Muriel DUBOSQUET, 4, rue Camelinat, 42000 SAINT-ÉTIENNE

Tél. : 04 77 43 26 73 - Fax : 04 77 41 85 04 - muriel.dubosquet@eska.fr

<http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Gérer & Comprendre septembre 2010 - numéro 101 (ISBN 978-2-7472-1724-8)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville



UNE SÉRIE DES
**ANNALES
DES
MINES**
FONDÉES EN 1798

Publées avec le soutien
du ministère de l'Économie,
de l'Industrie et de l'Emploi

Editions
ESKA

ISSN 0295.4397
ISBN 978-2-7472-1724-8
9 782747 217248

SEPTEMBRE 2010

ISSN 0295.4397

ISBN 978-2-7472-1724-8