

## Transfert et application de « Eurocode 2 » à Madagascar - Etat de lieu et perspectives

L. J. Ravaoharisoa<sup>1\*</sup>, J. L. Rakotomalala<sup>2</sup>, F. Wintzerith<sup>3</sup>, V. Razafinjato<sup>1</sup>, A. N. Randrianarisoa<sup>2</sup>,  
S.N.N.Randriamahefasoa<sup>3</sup>

(1) Département Bâtiment et Travaux Publics, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA). Antananarivo 101, Madagascar,

(2) Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo (IST-T), BP 8122, Antananarivo 101, Madagascar

(3) Département Génie Civil, Institut Universitaire de Technologie de Saint-Pierre, Université de La Réunion, France

\*Auteur correspondant Tél : +261340912761 -

Email : lalatianaranarijaona@gmail.com

**Résumé-** Cet article est la synthèse des recherches sur l'utilisation des règles de calcul Eurocode 2 (EC2) qui régissent le matériau béton armé. Il s'agit de l'une des thématiques d'actualité concernant les normes de conception et de calcul des ouvrages en béton armé à Madagascar. Depuis son utilisation il y a environ trente ans, les règles Béton Armé aux Etats Limites (BAEL) sont dans l'ensemble assez bien adaptées. L'objet de cet article est donc d'analyser les conditions dans lesquelles celles-ci seront remplacées par les règles EC2 à partir des calculs comparatifs effectués sur deux ouvrages représentatifs. Les résultats ont montré l'intérêt d'EC2 dans le calcul des éléments en béton armé, avec accommodation au contexte local sans difficultés.

**Mots clés-** ESPA, IS-T, Eurocode 2, BAEL, Béton Armé, Ouvrage du génie civil, Règles de calcul.

### Introduction

A Madagascar, les normes d'études et de conception d'ouvrage du génie civil n'a connu aucune réforme officielle en dépit des évolutions des textes au niveau international. Les bureaux d'études et les entreprises locales ont pris l'initiative d'appliquer les nouveaux textes. En effet, étant donné que les normes internationales sont un gage de confiance sur le plan mondial, Madagascar se doit de suivre le progrès technique de fabrication de matériaux et les matériels de construction, progrès qui fait varier les textes à l'instar également du comportement des ouvrages réalisés : les règles BAEL 80 dans le début de ces années, les BAEL 83 à la fin des années 80 et EC2 depuis 2007.

L'objectif est de donner une première base de comparaison entre les deux règles de calcul. Les résultats ont permis d'apprécier l'adaptabilité d'EC2 aux conditions locales et d'appréhender ainsi la commodité de sa mise en pratique.

### Méthodologie

La première étape consistait à faire des recherches documentaires sur le concept d'EC2 par rapport aux règles BAEL. L'ESPA et l'IST-T ont pris l'initiative d'établir un programme de formation sur l'initiation à l'EC2 : autodidactie par documentation et recherches sur internet. Ensuite, dans le but de renforcement de connaissances, avec l'appui financier de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), on a pu suivre des stages de recherche au Laboratoire de Matériaux et de Durabilité de Construction de l'INSA de Toulouse en novembre-décembre 2007 et octobre-novembre 2008 et 2009. Et pour renouer le tout, dans le cadre d'une coopération universitaire interrégionale, toujours avec le recours financier de l'AUF, l'IST-T a fait venir deux enseignants agrégés de Génie Civil, experts réunionnais en Eurocode pour une formation de haut niveau qui s'est déroulé à l'IST-T Antananarivo en février 2010.

Et enfin, afin d'illustrer les interprétations basées sur les résultats synthétiques du contexte, un essai d'application d'EC2 a été mené dans le cadre de deux mémoires d'ingénieur sous la direction des enseignants chercheurs de l'IST-T et de l'ESPA. Le premier concerne un projet de construction d'un bâtiment à sept niveaux, à usage mixte sis à Tsarasaotra Antananarivo [6]. L'étude a été menée avec les éléments porteurs les plus importants en superstructure : poutre, dalle et poteau. Le deuxième porte sur l'étude de pont mixte béton-acier de 200 m de longueur [7]. Les résultats de comparaison sont issus des éléments en superstructure et en infrastructure : dalle, semelle et pieu sous chevêtre et sous mur de front.

## **Résultats**

Les recherches fondamentales du concept d'EC2 par rapport aux BAEL ont permis de formuler les points suivants :

- empiriquement, l'EC2 est la forme évoluée du BAEL, évolution due à la mise à jour du texte par rapport au comportement des ouvrages réalisés avec, et l'évolution de la recherche sur le comportement des matériaux et des structures.
- théoriquement, l'EC2 est l'application de la mise en équation des théories aux technologies de construction. A savoir, la construction des ouvrages en béton doit suivre les normes émises par EC2. La mise en équation doit se faire de manière à rapprocher le plus possible le comportement de l'ouvrage à celui prévisible dans le texte. Par ailleurs, l'EC2 offre également une liberté de conception pour l'ingénieur. Si EC2, aussi bien que BAEL, permet de mener une étude de solutions simples et robustes, il permet en outre d'exécuter une étude de solutions complexes avec des calculs évolués et des solutions optimisées.

Pour arriver à ce résultat, de nombreux essais sont proposés pour les matériaux à utiliser et diverses dispositions constructives doivent être respectées.

De toutes ces expériences, il a été possible de faire évoluer les lois de comportement plus fidèles des matériaux et de l'ouvrage. Des avancées importantes ont été faites à ce sujet et qui ont été prises en compte et exploitées, d'où l'évolution des éditions de EC2.

En termes de résultats pratiques basés sur l'étude comparative du BAEL et EC2 par l'application aux deux cas susmentionnés, les principaux résultats sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous.

Cas du bâtiment : pour l'une des poutres les plus chargées, les sections d'aciers théoriques ont été calculées avec le diagramme à palier horizontal de l'acier et en considérant les deux cas, rectangulaire simplifié et parabole-rectangle, pour le béton.

**Tableau n°1** – Section d'armature requise pour une poutre en flexion simple [cm<sup>2</sup>]

Diagramme de l'acier	Diagrammes du béton	BAEL	EC2	Ecart absolu	Ecart relatif [%]
Palier horizontal	Rectangle simplifié	5,26	5,85	0,59	11,2
	Parabole-rectangle	6,27	5,88	0,39	6,2

**Tableau n°2** – Section d'armature requise pour une dalle portant sur deux directions en flexion simple [cm<sup>2</sup>]

Section d'armature	BAEL	EC2	Ecart absolu	Ecart relatif [%]
Suivant la petite portée	2,51	1,92	0,59	23,5
Suivant la grande portée	2,25	1,82	0,43	19,1

**Tableau n°3**– Section d'armature requise pour un poteau en compression simple [cm<sup>2</sup>]

BAEL	EC2	Ecart absolu	Ecart relatif [%]
9,91	8,43	1,48	14,9

Cas du pont :

**Tableau n°4** – Dalle du tablier en flexion simple [cm<sup>2</sup>]

Dalle	BAEL	EC2	Ecart absolu	Ecart relatif
-------	------	-----	--------------	---------------

				[%]
Centrale	26,24	21,98	4,26	16,2
En encorbellement	18,50	20,96	2,46	11,7

**Tableau n°5 – Semelle de liaison des pieux [cm<sup>2</sup>]**

Semelle	BAEL	EC2	Ecart absolu	Ecart relatif [%]
Sous chevêtre	116,17	114,92	1,25	1,1
Sous mur de front	258,81	283,24	24,43	8,6

**Tableau n°6 – Pieux en compression simple [cm<sup>2</sup>]**

Pieu	BAEL	EC2	Ecart absolu	Ecart relatif [%]
Sous chevêtre	12,72	12,72	0,00	0,0
Sous mur de front	28,61	28,62	0,01	0,03

Il est à noter qu'EC2 recommande de considérer une période de retour de 100 ans si généralement, à Madagascar, avec BAEL, l'étude considère 50 ans. Pour l'homogénéité de l'étude de comparaison, on a pris les mêmes hypothèses sur la période de retour.

### **Discussion et conclusion**

Par rapport à BAEL, l'EC2 a mis plus d'accent sur l'étude du comportement de la structure vis-à-vis des charges appliquées (analyse structurale, redistribution des moments) et par conséquent des dispositions constructives. En outre, l'EC2 est entré dans le détail des actions qui n'ont pas été suffisamment touchées dans BAEL tel que l'effet sismique qui est explicité dans l'EC8.

Ainsi, la formulation dans l'EC2 comporte beaucoup plus de paramètres et de constantes qui résultent dans la plupart des cas des expériences et de l'appréciation du comportement en service des ouvrages réalisés.

L'utilisation d'EC2 au calcul de l'ossature en béton armé d'un bâtiment à sept niveaux a montré ses intérêts économiques pour tous les éléments étudiés, sauf pour la poutre où il faut se servir du

diagramme parabole-rectangle pour avoir une section d'acier plus faible. Entre les deux règlements, la différence n'est pas notable, les écarts qui varient de 6 à 23 % sont tout de même nettement importants quand ils sont ramenés à l'ensemble des éléments de l'ossature.

En conclusion, l'application à la lettre de l'EC2 dans un pays en dehors de l'Europe, comme Madagascar, exige la même qualité de production de matériaux qu'en Europe, les mêmes conditions de mise en œuvre (qualité de matériel et de main d'œuvre) et la même procédure d'assurance qualité.

Comme l'EC2 est encore actuellement à son stade de développement, pour l'instant, les acteurs du BTP Malagasy n'ayant pas les moyens de s'y initier peuvent rester encore au BAEL sans se faire du souci en soignant, entre autres, l'adaptation des hypothèses à l'environnement du site de l'ouvrage envisagé. L'EC2 est un règlement qui peut être inséré progressivement dans la formation d'ingénieurs basée sur une conception correcte et réaliste.

## Références

- [1] Règles BAEL 91 révisées 99, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, Février 2000
- [2] Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1 : P 18-711-1). Calcul des structures en béton, Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Octobre 2005
- [3] F. Wintzerith, Philippe BRUN. Initiation aux Eurocodes. Institut Universitaire de Technologie de La Réunion, Département Génie Civil. Février 2010.
- [4] P. Brun. Eurocode 1, cours et applications. Institut Universitaire de Technologie de La Réunion, Département Génie Civil. Février 2010.
- [5] F. Wintzerith. Eurocode 2, cours et applications. Institut Universitaire de Technologie de La Réunion, Département Génie Civil. Février 2010.
- [6] A. N. Randrianarisoa, Comparaison des anciennes dispositions constructions aux Eurocodes appliquée à l'étude d'un bâtiment à 7 niveaux, à usage mixte sis à Tsarasaotra Antananarivo. Mémoire de fin d'études d'ingénieur du génie civil. Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo. Octobre 2013.
- [7] S. N. N. Randriamahefasoa, Etude de construction du pont de Manambato de la RN5 au PK 221+631 suivant les Eurocodes et les anciennes normes : variante pont mixte béton-acier. Mémoire de fin d'études d'ingénieur de Bâtiment et des Travaux Publics. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Novembre 2013.