

RENFORCEMENT DES POUTRES EN BETON ARME PAR PRF-NSM : DEVELOPPEMENT D'UN LOGICIEL DE GESTION BASE DE DONNEES

CHOUANA Fouzi¹, CHIKH Nasr-Eddine²

¹LMDC, Université des Frères Mentouri, Campus A. Hamani, Constantine, Algérie, fouzi.chouana@gmail.com

²LMDC, Université des Frères Mentouri, Campus A. Hamani, Constantine, Algérie, chikh_ne@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Parmi les nouveaux procédés de renforcement des poutres en béton armé par matériaux composites de type Polymères Renforcés de Fibres (PRF) on peut citer la technique Near Surface Mounted (NSM). Cette dernière consiste à introduire des renforts en PRF dans des engravures opérées dans l'enrobage inférieur des poutres à renforcer afin d'exploiter en mieux les propriétés mécaniques de ces renforts au profit d'un renforcement en flexion plus efficace. Le développement de cette technique nécessite un accompagnement par le développement de base de données et logiciels qui vont aider les chercheurs œuvrant dans ce domaine de recherche. Dans le cadre de cette étude, une base de données a été élaborée suite à la synthèse de plusieurs travaux de recherche sur le renforcement des poutres par la technique NSM. Un logiciel dénommé GEBD-NSM a été également développé pour assurer la gestion et l'exploitation de cette base de données.

Mots Clés: Poutres en BA, Renforcement PRF-NSM, Logiciel de gestion, Base de données.

1. INTRODUCTION

La technologie du renforcement par les polymères renforcés de fibres (PRF) est l'une des technologies les plus efficaces pour l'accroissement de la résistance des éléments structurels porteurs. Son application est relativement simple, très peu dérangement pour les utilisateurs des ouvrages renforcés et peu exigeante en main-d'œuvre. Ainsi, elle représente l'une des solutions de rechange les plus souhaitable en matière d'accroissement de la résistance des ouvrages existants. Les caractéristiques non-corrosives des fibres, leur rapport résistance/poids élevé, et leur résistance à la plupart des substances chimiques, donnent à ce système de renforcement une durée de vie bien plus longue que celle des matériaux conventionnels tels que l'acier, cela veut dire une valeur plus économique à long terme. Le gain en capacité à supporter les charges et la réduction de la ductilité, sont les deux principales conséquences du renforcement des poutres par des renforts à base de matériaux composites en PRF.

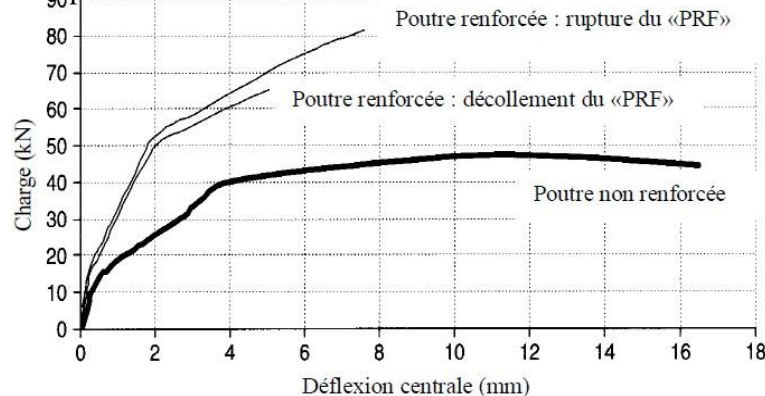


Figure 1 : Comportement des poutres BA renforcées et non-renforcées par des renforts en PRF.

La technique NSM vient comme remède au problème de décollement des extrémités du renfort PRF, observé dans la technique EBR (External Bounded Reinforcement). Cela est dû au nombre de surfaces du PRF en contact avec le support en béton, minimum de 3 faces en NSM contre une seule face pour la technique EBR. De ce fait, la technique NSM assure une bonne transmission d'effort entre le béton et le renfort en PRF.

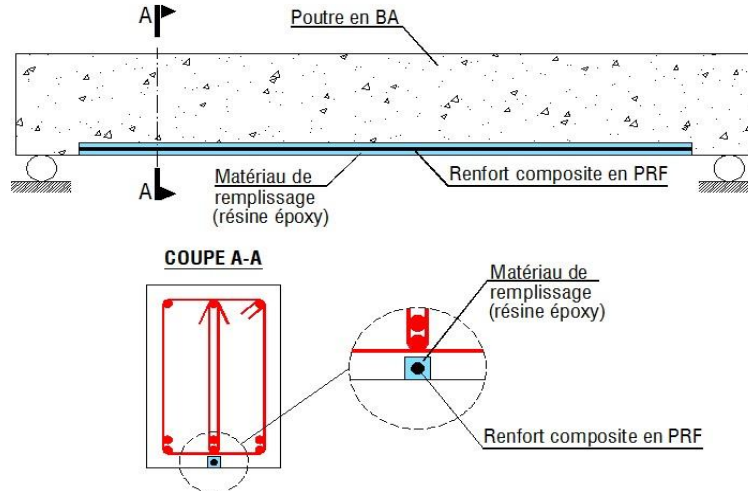


Figure 2 : Présentation de la technique NSM

2. ARCHITECTURE DU LOGICIEL GEBD-NSM

Ainsi, les efforts de recherche réalisés au fil des ans ont permis d'accumuler une quantité considérable de données expérimentales et observations concernant le comportement des poutres en BA renforcées en flexion par des PRF en NSM. Pour exploiter pleinement ces résultats par les chercheurs de ce domaine, le développement d'une base de données constitue l'outil approprié pour cet objectif. Les données expérimentales de la base de données NSM-BD ont été recueillies à partir d'une synthèse bibliographique portant sur dix travaux de recherche [1-10], consacrés au renforcement en flexion des poutres BA à l'aide des matériaux composites en NSM. Les données à extraire concernent principalement: la géométrie des spécimens, les propriétés mécaniques des matériaux, les paramètres étudiés, ainsi que les principaux résultats obtenus, en particulier le gain en charges dus au renforcement par PRF NSM et les modes de ruine observés.

La base de données Access NSM-DB.mdb contient plusieurs tables correspondant chacune à une catégorie de données spécifiques. En plus des groupes de données d'auteurs, d'articles de publication, les autres groupes sont structurés comme suivant :

- Données de géométries du spécimen: *type de section, hauteur, largeur, portée, type de chargement, ...etc;*
- Données de béton armé: *résistance à la compression, module d'élasticité, section des aciers inférieurs, ...etc;*
- Données de PRF: *résistance à la traction, section, module d'élasticité, déformation ultime, géométrie,etc;*
- Données de configuration NSM: *longueur PRF, type d'ancrage, nombre engravure, entre-axes engravure,etc;*
- Données de matériau de remplissage: *résistance à la traction, module d'élasticité, déformation ultime, ...etc;*
- Données de résultats: *moment ultime, gain en charge, flèche ultime, déformation du PRF, mode de ruine, ...etc;*

Le logiciel "GEBD-NSM" comporte deux grandes parties accessibles à partir d'un menu principal. La première concerne la mise à jour des données expérimentales, la seconde quand à elle se rapporte à l'analyse de ces mêmes données. En outre, une fonction est ajoutée qui permet l'affichage de la liste intégrale de tous les spécimens enregistrés dans la base de données et le transfert d'un essai sélectionné en vue de le modifier ou de le supprimer, comme le montre la Figure 3. Dans le but d'une exploitation optimale de la base de données expérimentales, un module de recherche multicritères a été développé. A partir de 14 critères de recherche, qui

peuvent être combinés, les résultats sont affichés dans une grille, ils peuvent être sauvegardés dans un fichier Excel (voir Figure 4).

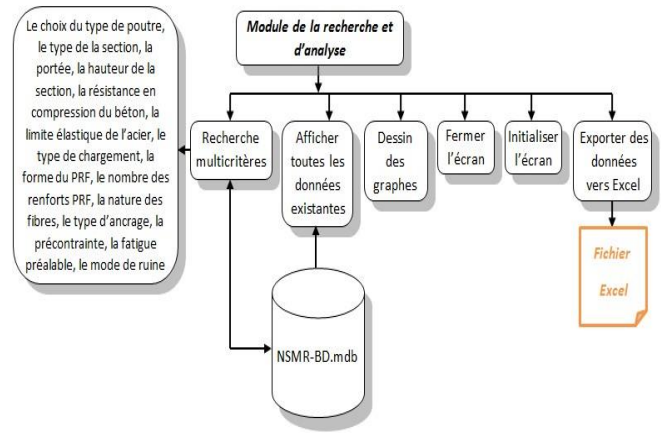
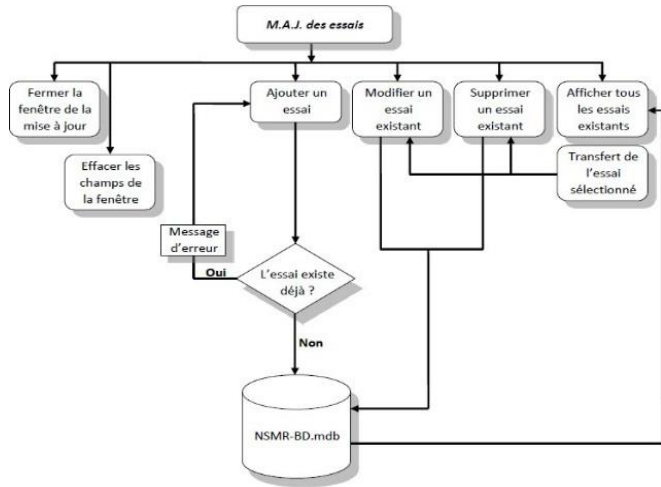


Figure 3 : Organigramme de la mise à jour des données Figure 4 : Organigramme de la recherche multicritères

Comme complément au module de la recherche, le module de l'analyse graphique donne la possibilité de choisir les séries de spécimens recherchés qui peuvent être représentées sur un même graphe, et aussi la possibilité de choisir les données à représenter sur les axes des abscisses et des ordonnées.

3. FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL "GEBD-NSM"

Le logiciel fonctionne avec le système d'exploitation Windows. Pour son développement, on a opté pour le langage Borland Delphi. L'installation du logiciel se résume dans la copie du répertoire contenant le logiciel vers l'un des disques locaux, puis on exécute l'application "GEBD-NSM.exe". Le menu principal illustré par la Figure 5 comporte 3 boutons : "Mise à jour des données", "Recherche et Analyse" et "Exit". Deux autres menus sont également insérés dans "GEBD- NSM" qui comporte 3 options (MAJ des données, Recherche et Analyse, et Exit), et le menu "Help" qui doit inclure le fichier d'aide et le fichier "A propos". Quand on clique sur le bouton de "MAJ des données", la fenêtre correspondante s'affiche (voir Figure 6) et permet la saisie des données d'essai (géométrie, propriétés des matériaux utilisées...etc). Pour faciliter la saisie, des listes de sélection déroulantes ont été prévues. Celles-ci renferment les différentes possibilités concernant un paramètre donné.

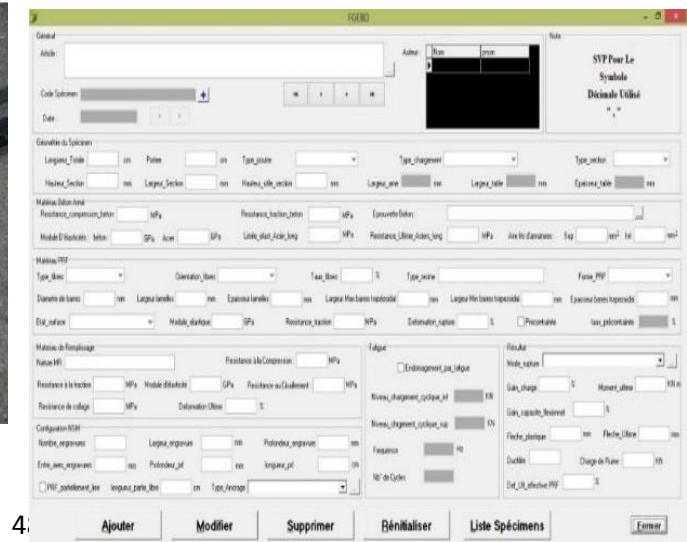


Figure 5 : Fenêtre du Menu Principal

Figure 6 : Fenêtre de Mise à jour des données d'essais

Comme il est difficile de se rappeler des codes d'essais pour les afficher afin de les modifier, l'utilisateur dispose d'un bouton "Afficher la liste des spécimens" qui permet l'affichage de tous les essais disponibles dans une autre fenêtre à part (voir Figure 7). Un seul essai peut être sélectionné à la fois et le transférer vers l'écran de mise à jour comme l'illustre la Figure 8. Vu que les essais sur les poutres en béton armé renforcées en flexion avec des matériaux composites sont effectués en séries qui contiennent plusieurs spécimens avec les mêmes propriétés dans la plus part des cas, l'option de garder les données de l'essai précédemment saisies dans les champs de la fenêtre de la mise à jour pour une nouvelle saisie est assuré. On peut à tout moment réinitialiser l'écran de mise à jour à l'aide du bouton correspondant.

GEBD-NSM / Liste Des Spécimens

Vous avez 44 Specimen

Code_specimen	Date_essai	code_article	Longueur_Totale	Portee	Type_poutre	Type_chargement	Type_section	Hauteur_Secteur	Largeur_Secteur	Hauteur_utilite_secteur	Largeur_ame	Largeur_table	Epaisseur_table
S-C (FPT) (270)	11-01-2010	43	300	280	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	280	150	260			
S-C (FPT) (210)	11-01-2010	43	300	280	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	280	150	260			
S-C (CR) (240)	11-01-2010	43	300	280	En porte à faut	Statiquement variab	Rectangulaire	280	150	260			
S-C (CR) (150)	11-01-2010	43	300	280	En porte à faut	Statiquement variab	Rectangulaire	280	150	260			
S-C (CR) (190)	11-01-2010	43	300	280	En porte à faut	Statiquement variab	Rectangulaire	280	150	260			
CB1	2007	44	220	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	300	200				
CB2U	2007	44	220	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	300	200				
CB2	2007	44	220	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	300	200				
S-NC-G5A	2005	3	150	120	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	250	180				
S-NC-G5B	2005	3	150	120	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	250	180				
VTR1	2004	4	160	150	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	170	100	146			
VTR2	2004	4	160	150	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	177	100	153			
YR2	2004	4	160	150	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	175	100	151			
V4R3	2004	4	160	150	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	180	100	155			
FRB-40	2009	5	350	330	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	254	152	216,5			
RB	2009	5	350	330	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	254	152	216,5			
FRB-60	2009	5	350	330	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	254	152	216,5			
B8	2010	6	200	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	180	100	150			
A10	2010	6	200	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	180	100	150			
A9	2010	6	200	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	180	100	150			
NBF8	2008	7	350	330	Simple	Statiquement variab	En T	300			150	400	50
NBF82	2008	7	350	330	Simple	Statiquement variab	En T	300			150	400	50
NBF82.5	2008	7	350	330	Simple	Statiquement variab	En T	300			150	400	50
NBF83	2008	7	350	330	Simple	Statiquement variab	En T	300			150	400	50
NBF84	2008	7	350	330	Simple	Statiquement variab	En T	300			150	400	50
NSM-FM	2011	52	220	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	300	200	280			
NSM-M	2011	52	220	200	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	300	200	280			
NSM-2CFRP	2006	9	100	90	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	170	120				
NSM-1CFRP	2006	9	100	90	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	170	120				
NSM-3CFRP	2006	9	100	90	Simple	Statiquement variab	Rectangulaire	170	120				

Général
 Article: Flexural strengthening of reinforced lightweight polystyrene aggregate concrete beams with NSM GFRP bars
 Code Spécimen:
 Date:

Géométrie du Spécimen
 Longueur_Totale: 150 cm, Portee: 120 cm, Type_poutre: Simple, Type_chargement: Statiquement variab, Type_section: Rectangulaire
 Hauteur_Secteur: 250 mm, Largeur_Secteur: 180 mm, Hauteur_utilite_secteur: mm, Largeur_ame: mm, Largeur_table: mm, Epaisseur_table: mm

Matériau Béton Armé
 Résistance_compression_béton: 58 MPa, Résistance_traction_béton: MPa, Eprouvette Béton:
 Module D'élasticité: béton: GPa, Acier: 252 GPa, Limite_elast_Acier_long: 398 MPa, Résistance_Ultime_Aciers_long: MPa, Aire lts d'amatures: Sup 57 mm², Inf 402 mm²

Matériau FRP
 Type_fibres: Verre, Orientation_fibres: , Taux_fibres: %, Type_resine: époxy, Forme_PFRF: Barres rond
 Diametre de barres: 16 mm, Largeur lamelles: mm, Epaisseur lamelles: mm, Largeur Max barres trapézoïdal: mm, Largeur Min barres trapézoïdal: mm, Epaisseur barres trapézoïdal: mm
 Etat_surface: Revêtement en Sable, Module_elastique: 64 GPa, Résistance_traction: 512 MPa, Déformation_rupture: 0,74 %, Précontrainte: taux_précontrainte: %

Matériau de Remplissage
 Nature MP: résine XH-111, Résistance à la Compression: MPa
 Résistance à la traction: MPa, Module d'élasticité: GPa, Résistance au Cisaillement: MPa
 Résistance de collage: MPa, Déformation Ultime: %

Configuration NSM
 Nombre_engravures: 2, Largeur_engravure: 20 mm, Profondeur_engravure: 20 mm
 Entre_axes_engravures: 100 mm, Profondeur_pf: 240 mm, longueur_pf: 150 cm
 PFRF_partiellement_liee, longueur_partie_libre: cm, Type_Ancrage:

Fatigue
 Endommagement_par_fatigue
 Niveau_chargement_cyclique_inf: KN, Niveau_chargement_cyclique_sup: KN
 Frequence: Hz, Nb' de Cycles:

Résultat
 Mode_rupture: Rupture du PFRF
 Gain_charge: 26 %, Moment_Ultime: 37,3 KN m
 Gain_capacite_flexionnel: 30 %, Flèche_plastique: mm, Flèche_Ultime: 7,75 mm
 Ductilité: , Charge de Ruine: 149 KN
 Del_UL_effective_PFRF: %

Ajouter **Modifier** **Supprimer** **Réinitialiser** **Liste Spécimens** **Fermer**

Figure 7 : Fenêtre de la liste intégrale des

Figure 8 : Transfert de l'essai sélectionné

A partir de la fenêtre "Menu Principal", on peut ouvrir la fenêtre de la "Recherche et Analyse". Celle-ci permet d'effectuer diverses possibilités de recherches avec des combinaisons de plusieurs critères à la fois, comme le montre la Figure 9. Ces critères sont présentés sous forme de listes de sélection déroulantes. Les données recherchées sont placées dans une grille. Le nombre d'essais trouvés ainsi que leur pourcentage au total des essais disponibles, sont affichés en bas. Dans le fichier Excel de sauvegarde des résultats de recherche, le nom du logiciel, la date de la recherche, les critères de recherche et la liste des essais trouvés sont mentionnés (voir Figure 10). Une fois les résultats de recherche affichés dans la grille, le bouton "Options graphiques" devient visible sur la fenêtre de la recherche. Différents choix pour l'analyse graphique sont alors affichés.

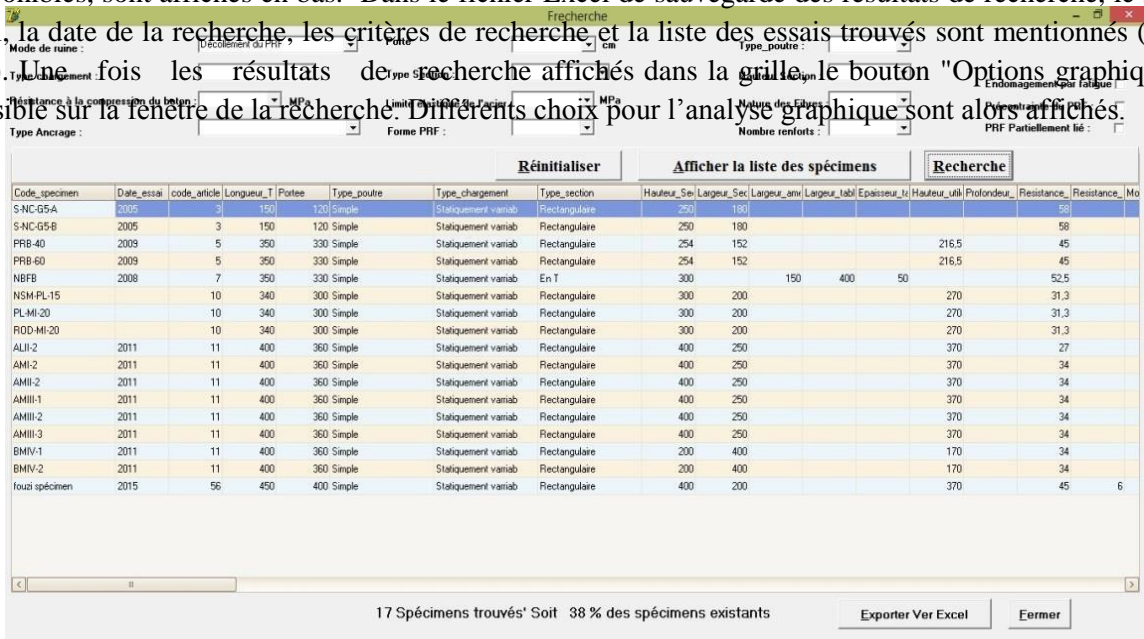


Figure 9 : Fenêtre de la Recherche Multicritère

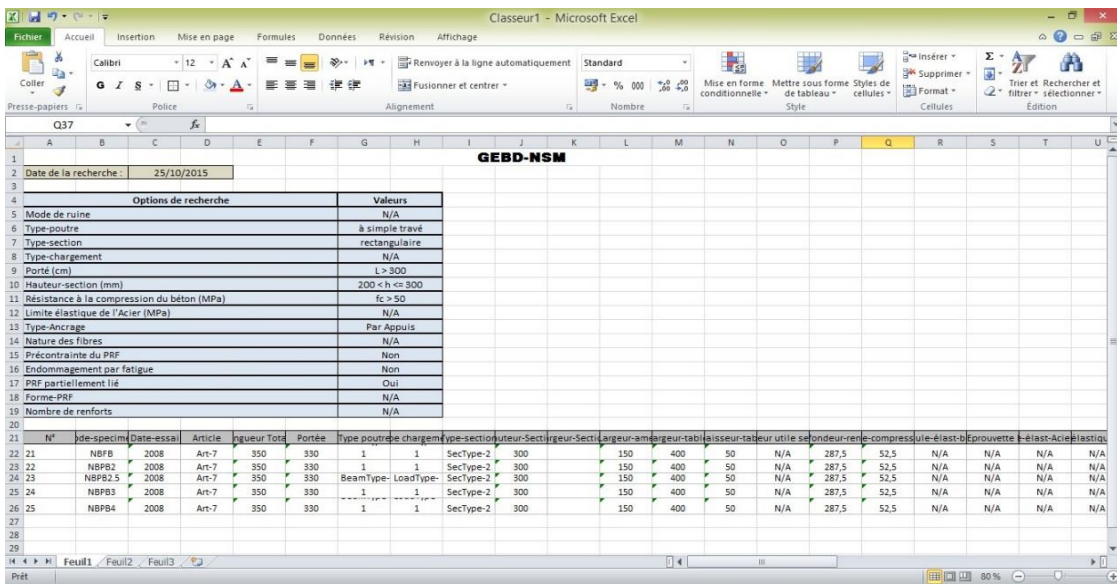


Figure 10 : Fichier Excel pour la sauvegarde des résultats de recherche multicritère

4. CONCLUSIONS

La présente étude porte sur le développement d'un outil de gestion et d'analyse des données expérimentales concernant les poutres en BA renforcées par PRF utilisant la technique NSM. Pour les chercheurs impliqués dans cet axe de recherche, cela constitue un support très appréciable. Effectivement, le logiciel développé offre une gestion efficace et une exploitation poussée des données expérimentales de la base de données élaborée. En effet, cet outil permet particulièrement:

- L'enrichissement des données expérimentales (ajout, modification et suppression).
- La possibilité d'effectuer des recherches multicritères ce qui permet au chercheur de connaître l'étendue et l'intensité des paramètres d'influence étudiés.
- La possibilité de représenter graphiquement l'effet des différents paramètres et les données expérimentales.

Concernant les mises à jour pour les versions futures de cet outil, elles peuvent inclure des normes et des modèles analytiques pertinents dans l'analyse des données expérimentales, afin de permettre aux chercheurs de faire la comparaison entre la théorie et l'expérimental. Enfin, ce logiciel peut servir de modèle type de gestion de base de données à plusieurs axes de recherche dans le domaine de l'engineering.

REFERENCES

- [1] O.C. Firas Al-Mahmoud, A. Castel, R. François, C. Tourneur, RC beams strengthened with NSM CFRP rods and modelling of peeling-off failure, *Composite Structures*, 92, 1920-1930, 2010.
- [2] H. Gee-Joo, K.Yun-Yong, C. Chang- Geun, Groove and embedding techniques using CFRP trapezoidal bars for strengthening of concrete structures, *Engineering Structures*, 30, 1067-1078, 2008.
- [3] W.C. Tang, R.V. Balendran, A. Nadeem, H.Y. Leung, Flexural strengthening of reinforced concrete beams with near-surface mounted GFRP bars, *Building and Environment*, 41, 1381-1393, 2006.
- [4] J.A.O. Barros, R.S.M. Ferreira, A. S. Fortes, J.E. Dias, Assessing the effectiveness of embedding CFRP laminates in the near surface for structural strengthening, *Construction and Building Materials*, 20, 478-491, 2006.
- [5] M. Badawi, K. Soudki, Flexural strengthening of RC beams with NSM CFRP rods – Experimental and analytical investigation, *Construction and Building Materials*, 23, 3292-3300, 2009.
- [6] F. Ceroni, Experimental performances of RC beams strengthened with FRP materials, *Construction and Building Materials*, 24, 1547-1559, 2010.
- [7] H. T. Choi, J. S. West, K. Soudki, Partially bonded near-surface-mounted CFRP bars for strengthened concrete T-beams, *Construction and Building Materials*, 25, 2441-2449, 2011.
- [8] J.M. Sena-Cruz, J.A.O. Barros, M. R.F. Coelho, L.F.T. Silva, Efficiency of different techniques in flexural strengthening of RC beams under monotonic and fatigue loading, *Construction and Building Materials*, 29, 175-182, 2012.
- [9] J.A.O. Barros, J.E. Dias, J.L.T. Lima, Efficacy of CFRP-based techniques for the flexural and shear strengthening of concrete beams, *Cement & Concrete Composites*, 29, 203-217, 2007.
- [10] K.N. Hong, J.W. Han, D.W. Seo, S.H. Han, Flexural response of reinforced concrete members strengthened with near-surface-mounted CFRP strips, *International Journal of the Physical Sciences*, 6, 948-961, 2011.