RSSI, Vol. 01, No. 02, Décembre (2011) 32-39

Revue des Sciences et Sciences de l'Ingénieur

ISSN 2170-0737

Journal homepage : http://www.RSSI.lagh-univ.dz

Optimisation des paramètres de formulation des bétons destinés à la préfabrication des blocs de béton par une approche RNA (Réseaux de Neurones Artificiels)

T.BOUZIANI, A.FERHAT & M.BEDRINA

Département de Génie Civil
Faculté de Technologie, Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie.

***Corresponding author: t.bouziani@mail.lagh-univ.dz*
DOI:10.34118/rssi.v1i2.1819

Résumé :
Le présent travail a pour objectif l'optimisation du dosage de ciment, de la durée de vibration et du dosage de l'eau dans la formulation des bétons fermes, destinés à la préfabrication des blocs de construction. Ce type de béton n'a pas de méthode de formulation propre, comme dans le cas des bétons classiques. Pour ce, nous avons réalisés 100 compositions, en faisant varier le dosage d'eau (4, 6, 8, 10 et 12%) et celui du ciment (5, 7.5, 10, 12.5 et 15%), tout en appliquant différentes durées de vibration (15, 30, 60, 120s). La réponse qui a été mesurée dans notre cas et prise comme critère de formulation est la densité sèche. Une approche dite « Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) » a été utilisée afin d''apprécier l'effet de chaque paramètre sur la densité sèche. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de cette approche pour l'optimisation des paramètres de formulations. Des dosages optimaux en ciment et en eau, pour lesquels la densité sèche est maximale, ont été trouvés.

Mots Clés **:** Formulation, Blocs de béton, Ciment, Vibration, Eau, Réseaux de neurones artificiels

I. Introduction

Dans ces dernières années, le secteur de la construction en Algérie connaît un développement rapide. Plusieurs projets soutenus par l'état, ont été lancés (1 million de logements sociaux, logements sociaux participatifs, logements promotionnels, constructions d'équipements..., etc.).

L'élément de construction le plus utilisé dans la construction est le bloc de béton. Ceci est évident du fait que son utilisation ne nécessite que peu de moyen de manutention sur chantier et il s'avère consommer moins d'énergie dans sa technique de préfabrication en comparaison avec d'autres éléments de construction. Toutefois, la production des blocs de béton nécessite une maîtrise de cette technique allant de la composition aux paramètres de préfabrication.

Habituellement, dans la formulation des bétons conventionnels, l'objectif est de trouver le mélange granulaire qui donne une compacité maximale [1]. Le choix des dosages de ciment et d‟eau est en fonction de l'ouvrabilité et de la résistance mécaniques souhaitées. Dans le cas des bétons destinés à la préfabrication des blocs, on utilise souvent des bétons fermes (bétons à affaissement nul). Pour ce, un dosage faible en ciment (*C*) est suffisant (juste pour minimiser le vide entre les granulats et assurer certaines propriétés à l'état frais et durci du béton) en laissant donc la place à un fort dosage en granulats (plus de 75%).

Généralement, la mise en place des bétons secs dans les moules se fait à l'aide d'une énergie de vibration maîtrisable par la durée de vibration (*Tv*) à appliquer.

Dans le présent travail, nous avons adopté la notion de la densité sèche (*Ds*) qui, en géotechnique [2], est connue comme un critère déterminant pour la formulation de bétons secs. La recherche d'une densité sèche maximale permet de trouver le dosage en eau (*E*) optimal qui conduit à une compacité maximale des éléments solides dans les mélanges testés. Cela va nous permettre d'avoir un affaissement nul pour le béton à l'état frais et une résistance mécanique maximale à l'état durcie [3].

Vu la tendance non connue des mesures des densités sèches en fonction des paramètres de formulation, une tentative d‟optimisation de ces paramètres a été menée en utilisant l'approche réseaux de neurones artificiels (*RNA*).

II. Approche réseaux de neurones artificiels (*RNA*)

Le premier modèle mathématique et informatique du neurone biologique est proposé par Warren McCulloch et Walter Pitts en 1943 [4]. En s'appuyant sur les propriétés des neurones biologiques connues à cette époque et issues d'observations neurophysiologiques et anatomiques, McCulloch et Pitts proposent un modèle simple de neurone formel. Il s'agit d'un neurone binaire, c'est-à-dire dont la sortie vaut 0 ou 1. Pour calculer cette sortie, le neurone effectue une somme pondérée de ses entrées (qui, en tant que sorties d'autres neurones formels, valent aussi 0 ou 1) puis applique une fonction d'activation à seuil : si la somme pondérée dépasse une certaine valeur, la sortie du neurone est 1, sinon elle vaut 0.

McCulloch et Pitts étudiaient en fait l'analogie entre le cerveau humain et les machines informatiques universelles. Ils montrèrent en particulier qu'un réseau (bouclé) constitué des neurones formels de leur invention a la même puissance de calcul qu'une machine de Turing.

Malgré la simplicité de cette modélisation, ou peut-être grâce à elle, le neurone formel dit de McCulloch et Pitts reste aujourd‟hui un élément de base des *RNA*. De nombreuses variantes ont été proposées, plus ou moins biologiquement plausibles, mais s'appuyant généralement sur les concepts inventés par les deux auteurs. On sait néanmoins aujourd‟hui que ce modèle n‟est qu‟une approximation des fonctions remplies par le neurone réel et, qu‟en aucune façon, il ne peut servir pour une compréhension profonde du système nerveux [5].

L'approche *RNA* a été proposée comme une méthode alternative pour résoudre certains problèmes difficiles dans le choix des meilleures combinaisons, afin d'obtenir les caractéristiques recherchées pour lesquels les techniques classiques manquent de rapidité, de précision et d'efficacité [6]. Le *RNA* est une

importante technique d'intelligence artificielle, qui a été utilisé avec succès dans de nombreux domaines. En génie civil, l'approche *RNA* a été appliquée avec succès à un certain nombre de domaines, tels que la prédiction de la résistance à la compression du béton [7-9], la modélisation du béton confinés [10], l'analyse structurelle et la conception [11-14], l'évaluation des endommagements structurels [15,16], la dynamique des structures [17] et dans le domaine de la technologie du béton (tels que dans les bétons précontraints [18], la perméabilité des bétons bitumineux [19] et dans quelques mélanges ciment – déchets solides [20]).

Un réseau de neurones est tout un ensemble d'équations non linéaires qui permettent de prédire les variables de sortie (Y) à partir de variables d'entrée (X) de manière flexible en utilisant des couches de régressions linéaires et une fonction d'activation. La fonction Sigmoïde (en forme de S) est la fonction logistique la plus utilisée :

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \qquad (1)$$

Dans ce travail nous avons utilisé un logiciel de statistique utilisant une couche cachée. Chaque Hj (noeuds non observés) d'une couche cachée, est défini comme suit :

$$H_j = S_H\left(c_j + \sum_{i=1}^{N_X} (a_{ij} X_i) \right) \qquad (2)$$

Où :

N_X est le nombre des variables X.
$S_H(x)$ est la fonction d'activation.
Xi sont les variables d'entrée.
c_i sont des constantes à déterminer.
a_{ij} sont des coefficients à déterminer.

La réponse (Y) est calculée par la relation suivante :

$$Y = S_Y\left(d + \sum_{j=1}^{N_H} (b_j H_j) \right) \qquad (3)$$

Où :

N_H est le nombre des nœuds cachés.
$S_Y(x)$ est la fonction d'identité.
d est une constante à déterminer.
b_j sont des coefficients à déterminer.

Dans ce travail, nous avons utilisé 04 couches cachées avec un nombre de tours égal à 16 et un nombre d'itérations maximales égal à 50. La pénalité de sur-ajustement est prise égale à 0.1 et le critère de convergence égal à 0.00001. Le diagramme d'interconnexion des variables d'entrée (ciment, eau et durée de vibration), des couches cachées et de sortie (densité sèche) est représenté dans la figure 1. Donc nous avons 21 coefficients et constantes à déterminer.

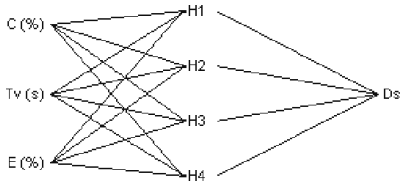

Fig.1. Diagramme d'interconnexion des paramètres d'entrée, des couches cachées et de sortie

III. Programme expérimental

1. Matériaux utilisés

Un ciment CPJ CEMI 42.5, dont les caractéristiques physico-chimiques sont données dans le tableau 1, a été utilisé.

Tableau 1. Composition chimique et caractéristiques physiques du ciment.

Oxydes	**Teneur (%)**
CaO	63.55
SiO_2	23.4
Al_2O_3	4.82
Fe_2O_3	3.94
MgO	1.65
K_2O	0.6
SO_3	0.48
Na_2O	0.1
Cl	/
CaO libre	0.92
Insolubles	0.5
Perte au feu	3.15
Masse spécifique (g/ cm^3)	3.10
SSB (cm^2/g)	2900
Temps de début de prise	02 h 15 mn
Temps de fin de prise	04 h 20 mn

Les granulats utilisés sont : un gravier de concassage (3/8) mm et un sable alluvionnaire

(0/5) mm. Les caractéristiques granulométriques (distributions granulaires) et physiques sont représentées dans la figure 2 et le tableau 2 respectivement.

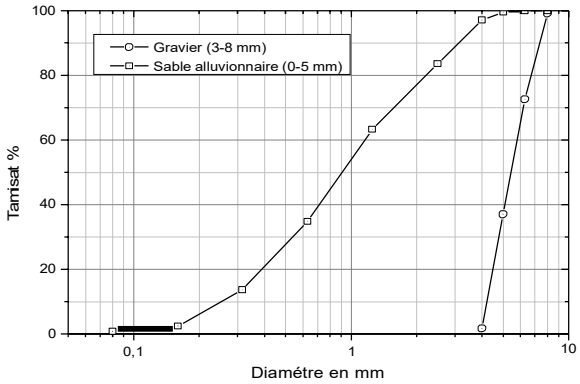

Fig.2. Courbe d‟analyse granulométrique.

Tableau 2. Caractéristiques physiques de granulats utilisés.

Propriétés physiques	Sable (0/5) mm	Gravier (3/8) mm
Masse volumique apparente	1670 kg/m^3	1380 kg/m^3
Masse volumique absolue	2650 kg/m^3	2700 kg/m^3
Propreté	ESV = 67,80 ESP = 68,20	P = 0,5%.
Coefficient d'absorption	Abs = 2,5 %	Abs = 1,4 %
Résistance à l'attrition	/	DE=9 ; MDE=7,5 ; LA=20 %
Module de finesse	3,02	/

2. Principe de formulation

Dans ce travail, nous avons optimisé les dosages en granulats par la méthode graphique Dreux-Gorisse (nous avons trouvé 60% de gravier et 40% de sable). Cette composition reste fixe pour tous les essais réalisés par la suite. Ensuite, et afin d‟optimiser les dosages en ciment et en eau, nous avons suivi une technique inspirée de l‟essai Proctor qu‟on utilise généralement dans le cas de la géotechnique. L‟essai consiste à compacter un sol à différentes teneurs en eau dans un moule Proctor de volume (V=2123 cm^3), selon un processus bien défini afin de déterminer la teneur en eau optimale conduisant à une densité maximale du sol [2]. Dans notre cas, nous avons utilisé une table vibrante normalisée pour le compactage du béton illustré dans la figure 3.

Fig.3. Moule Proctor modifié et table vibrante, utilisés pour le compactage du béton.

Les compositions ont été réalisées en faisant varier trois paramètres : le dosage de ciment (C= 5, 7.5, 10, 12.5, et 15%), le dosage de l'eau (E=4, 6, 8, 10 et 12%) et la durée de vibration (Tv=15, 30, 60 et 120 s).

Le dosage du ciment est calculé par rapport à la masse des constituants solides (granulats), et le dosage de l'eau est calculé par rapport à la masse des constituants solides (granulats et ciment).

Pour mener à bien ces combinaisons, il nous a fallu, donc de réaliser 100 compositions regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3. Résultats d'essais : calcul de la densité sèche

N° Essai	Ciment (C)	Durée de vibration (Tv) (s)	Eau (E)	Densité sèche (Ds)
1	5	15	4	1,825
2	5	15	6	1,845
3	5	15	8	1,950
4	5	15	10	2,055
5	5	15	12	2,061
6	5	30	4	1,856
7	5	30	6	1,889
8	5	30	8	2,093
9	5	30	10	2,116
10	5	30	12	2,117
11	5	60	4	1,911
12	5	60	6	1,929
13	5	60	8	2,146
14	5	60	10	2,120
15	5	60	12	2,132
16	5	120	4	1,938
17	5	120	6	1,967
18	5	120	8	2,130
19	5	120	10	2,139
20	5	120	12	2,139

21	7,5	15	4	1,885
22	7,5	15	6	1,952
23	7,5	15	8	2,128
24	7,5	15	10	2,145
25	7,5	15	12	2,128
26	7,5	30	4	1,893
27	7,5	30	6	1,970
28	7,5	30	8	2,158
29	7,5	30	10	2,182
30	7,5	30	12	2,175
31	7,5	60	4	1,920
32	7,5	60	6	2,020
33	7,5	60	8	2,163
34	7,5	60	10	2,166
35	7,5	60	12	2,140
36	7,5	120	4	1,944
37	7,5	120	6	2,036
38	7,5	120	8	2,173
39	7,5	120	10	2,180
40	7,5	120	12	2,150
41	10	15	4	1,860
42	10	15	6	1,947
43	10	15	8	2,156
44	10	15	10	2,137
45	10	15	12	2,116
46	10	30	4	1,881
47	10	30	6	1,987
48	10	30	8	2,191
49	10	30	10	2,166
50	10	30	12	2,161

N° Essai	**Ciment (*C*)**	**Durée de vibration (*Tv*) (s)**	**Eau (*E*)**	**Densité sèche (*Ds*)**
51	10	60	4	1,953
52	10	60	6	2,080
53	10	60	8	2,202
54	10	60	10	2,195
55	10	60	12	2,200
56	10	120	4	1,974
57	10	120	6	2,165
58	10	120	8	2,207
59	10	120	10	2,188
60	10	120	12	2,185
61	12,5	15	4	1,813
62	12,5	15	6	1,967
63	12,5	15	8	2,155
64	12,5	15	10	2,123
65	12,5	15	12	2,110
66	12,5	30	4	1,880
67	12,5	30	6	2,105
68	12,5	30	8	2,172
69	12,5	30	10	2,155
70	12,5	30	12	2,178
71	12,5	60	4	1,940
72	12,5	60	6	2,179
73	12,5	60	8	2,187
74	12,5	60	10	2,196
75	12,5	60	12	2,200
76	12,5	120	4	1,961
77	12,5	120	6	2,194
78	12,5	120	8	2,210
79	12,5	120	10	2,199
80	12,5	120	12	2,194
81	15	15	4	1,816
82	15	15	6	1,995
83	15	15	8	2,172
84	15	15	10	2,114
85	15	15	12	2,096
86	15	30	4	1,853
87	15	30	6	2,066
88	15	30	8	2,188
89	15	30	10	2,118
90	15	30	12	2,150
91	15	60	4	1,903
92	15	60	6	2,170
93	15	60	8	2,200
94	15	60	10	2,205
95	15	60	12	2,195
96	15	120	4	1,914
97	15	120	6	2,082
98	15	120	8	2,219
99	15	120	10	2,235
100	15	120	12	2,220

Concernant la densité sèche (*Ds*), celle-ci est calculée par la relation suivante :

$$Ds = \frac{M}{V(1+E/100)} \qquad (4)$$

Où :
M est la masse, en gramme, du béton frais (granulats+ciment+eau) dans le moule Proctor modifié, mesurée après vibration ;
V est le volume du moule Proctor modifié ;
E est le dosage en eau.

IV. Résultats d'essais et discussions

Les résultats du tableau 3 sont modélisés en utilisant un logiciel de statistiques. Les résultats de l'ajustement dans la figure 4 montrent que la somme des carrés des erreurs (SCE) est de 0.071 et l'écart type est de l'ordre 0.027, ce qui confirme d‟ailleurs la bonne corrélation (avec R^2=0.95) entre les valeurs de *Ds* prévues et observées.

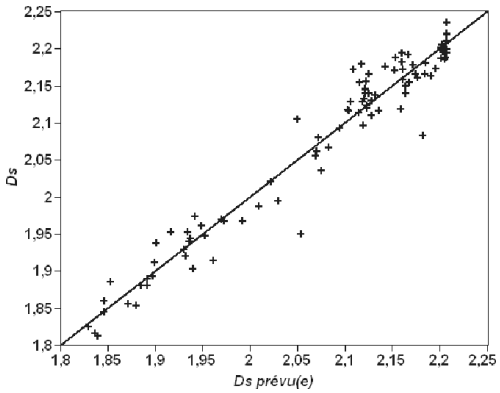

Fig.4. Valeurs prévues de *Ds* en fonction des valeurs observées.

Les 21 coefficients et constantes issus de la modélisation sont regroupés dans le tableau 4.

Tableau 4. Coefficients issus de la modélisation

Paramètres	*Ds*	Constante	*C* (%)	*Tv* (s)	*E* (%)
H_1	b_1=1.88	c_1=1.33	a_{11}=1.34	a_{21}=-0.27	a_{31}=-0.83
H_2	b_2=1.36	c_2=0.76	a_{12}=-1.32	a_{22}=-0.16	a_{32}=-0.08
H_3	b_3=2.99	c_3=2.29	a_{13}=0.76	a_{23}=0.27	a_{33}=3.35
H_4	b_4=1.51	c_4=1.55	a_{14}=-0.06	a_{24}=1.85	a_{34}=0.09
Constante	*d*=-5.34	/	/	/	/

L'effet de la variation du dosage du ciment (*C*) et de l'eau (*E*) sur la densité sèche (*Ds*) des bétons frais est traduit en courbes isoréponses dans les figures 5, 6, 7 et 8 pour des durées de vibrations *(Tv)* correspondant à 15s, 60s, 80s et 120s.

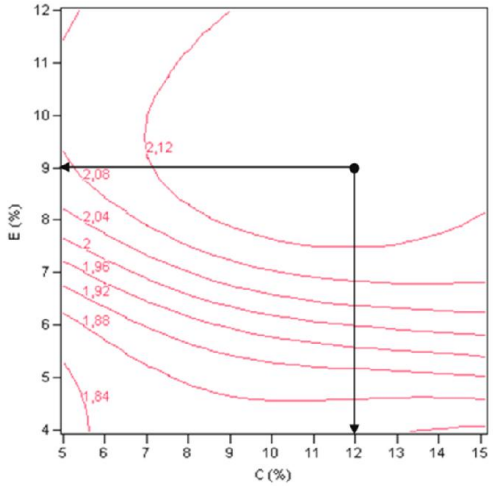

Fig.5. Courbes isoréponse de la variation de *Ds* en fonction de *C* et *E* (cas de *Tv*=15s**)**

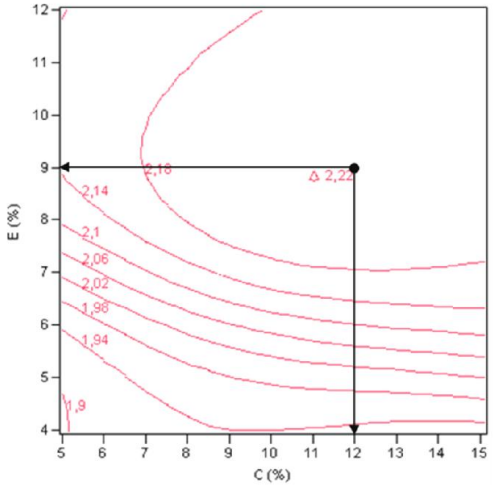

Fig.6. Courbes isoréponse de la variation de *Ds* en fonction de *C* et *E* (cas de *Tv*=60s)

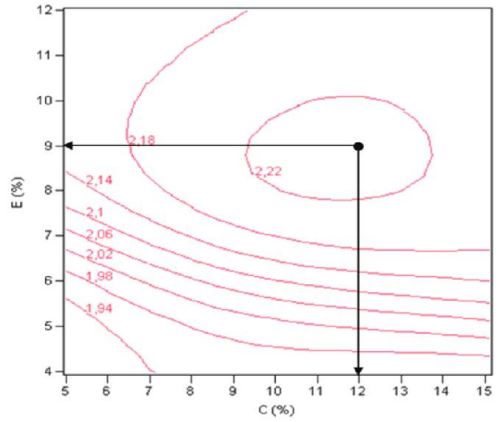

Fig.7. Courbes isoréponse de la variation de *Ds* en fonction de *C* et *E* (cas de *Tv*=80s)

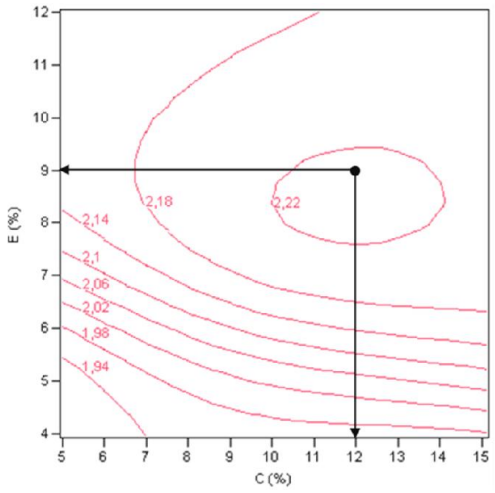

Fig.8. Courbes isoréponse de la variation de *Ds* en fonction de *C* et *E* (cas de *Tv*=120s)

La figure 9 représente la variation de *Ds* en 3D en fonction du dosage en ciment *C* et le dosage en eau *E*.

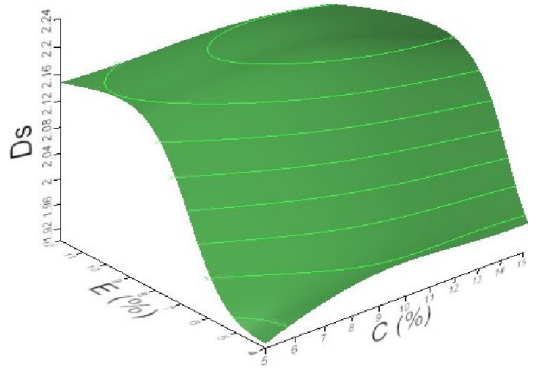

Fig.9. Exemple de l'évolution de *Ds* prévue en fonction de *C* et *E,* en 3D (cas de *Tv* =80s)

D'après le profileur de prévision présenté dans la figure 10, on constate que *E* est le paramètre le plus influant sur la densité sèche par rapport aux autres paramètres.

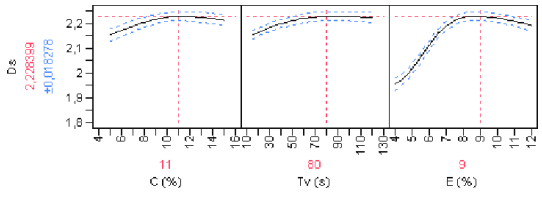

Fig.10. Profileur de prévision de *Ds* en fonction de *C*, *Tv* et *E*

On remarque aussi que l'influence de la durée de vibration est plus importante dans les premières 60 secondes. Lorsque *Tv* dépasse 60s l'évolution de *Ds* est plus ou moins stable. La densité sèche prend des valeurs maximales dans le cas où *Tv*=80s par rapport à 15, 60 et 120s. D'après les figures 4, 5, 6 et 7, par exemple si on fixe *C* à 12% et *E* à 9%, *Ds*=2.15 (pour *Tv*=15s), *Ds*=2.21 (pour *Tv*=60s), ***Ds*=2.23 (pour *Tv*=80s)** et *Ds*=2.22 (pour *Tv*=120s).

A des faibles dosages, et avant d‟arriver à une teneur optimale, l'eau joue le rôle d'un lubrifiant entre les grains solides (granulats et ciment), tout en allant vers un arrangement optimal de grains. Une fois le mélange est saturé en eau, ce dernier commence à jouer le rôle d'un dispersant et par conséquent les grains solides s'écartent de plus en plus les unes des autres. La diminution de *Ds* à *Tv*=120s est due à une perte dans la pâte (eau + ciment) qui s'échappe à travers les joints du moule Proctor, notamment aux dosages élevés en eau. Le dosage du ciment n'a pas une grande influence sur *Ds*, plus particulièrement à des dosages en eau faible. Ce n'est qu‟à partir de 8% d'eau que l'effet du dosage de ciment deviendra remarquable.
En général, et quel que soit le durée de vibration dans la marge étudiée, il existe des dosages optimaux de ciment (environ 12%) et d'eau (environ 9%) pour lesquels *Ds* est maximale.

V. Conclusion

Le but de ce travail consistait à modéliser, avec une approche réseaux de neurones artificielle (*RNA*), la densité sèche des bétons fermes destinés à la préfabrication des blocs de construction en fonction des paramètres de formulation (le dosage du ciment, le dosage de l'eau et la durée de vibration).

Les L'utilisation de l'approche réseaux de neurones artificielle (*RNA*) pour la modélisation des paramètres de formulation des bétons fermes destinés à la préfabrication des blocs de construction, a permis de montrer l'effet de

chaque paramètre ainsi que leur effets combinés sur la densité sèche du béton étudié.

Le dosage de l'eau est le paramètre qui a l'effet le plus important sur la densité sèche.

Les dosages de l'eau et du ciment présentent des valeurs optimales (respectivement aux environs de 9% et 11%) pour lesquelles la densité sèche atteigne des valeurs maximales.

L'effet de la durée de vibration sur la densité sèche est important pendant les premières 60 secondes, mais au-delà de ceci son effet est faible.

Enfin, nous pouvons dire que l‟approche « Réseaux de Neurones Artificielle (RNA) » est utilisable pour la détermination des paramètres optimaux de la formulation d‟un béton ferme destiné à la préfabrication des blocs de construction.

VI. Références

[1] Dreux G. et Festa J., "*Nouveau guide du béton et de ses constituants* ", 8ème Edition, EYROLLES, 1998, p.416

[2] Dupain R., Lanchon R. et Saint-Arromain J-C., "*Granulats, Sols, Ciment et Bétons - Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire*", Editions CASTEILLA, 1995, p.238

[3] Bouziani T., Lamara M., et Bédérina M., « *Formulation d'un béton sec : application à la préfabrication de blocs de construction* ». 1er Congrès National sur les Villes dans les Hautes Plaines, Université Ziane Achour de Djelfa, Mai 2009.

[4] McCulloch, W. S., and Pitts, W., "*A Logical Calculus of the Ideas Immanent in nervous Activity"*, Bulletin of Mathematical Biophysics, vol. 5, pp. 115-133, 1943.

[5] L'encyclopédie libre : *WIKIPEDIA*. Disponible en ligne dans le site web : http://fr.wikipedia.org/wiki/

[6] Jamil M., Zain M.F.M., Basri H.B., "*Neural Network Simulator Model For Optimization in High Performance Concrete Mix Design*". European Journal of Scientific Research. 34:(1) 2009, pp.61-68.

[7] N. Hong-Guang and W. Ji-Zong, "*Prediction of compressive strength of concrete by neural networks"*, Cement and Concrete Research, Elsevier Science Ltd. **30:** (**8**) 2000, pp. 1245–1250.

[8] Hola J. and Schabowicz K. "*New technique of nondestructive assessment of concrete strength using artificial intelligence*". NDT & E International, Elsevier Science Ltd. 2005; 38:251–9.

[9] Lee SC. "*Prediction of concrete strength using artificial neural networks*". Engineering Structures, Elsevier Science Ltd 2003; 25:849–57.

[10] Oreta AWC. and Kawashima K. "*Neural network modeling of confined compressive strength and strain of circular concrete columns*". Journal of Structural Engineering, ASCE 2003; 129(4):554–61.

[11] Consolazio GR,. "*Iterative equation solver for bridge analysis using neural networks*". Computer-Aided Civil Infrastructure Engineering 2000; 15(2): 107–19.

[12] Hadi MNS., "*Neural network applications in concrete structures*". Computers & Structures, Elsevier Science Ltd. 2003; 81:373–81.