



UTILISATION DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS COMME UN OUTIL DE GESTION ET D'AIDE A LA DECISION APPLICATION A LA QUANTIFICATION DE L'EFFET DE REJETS D'UN MELANGE DE MEDICAMENTS SUR LES BOUES ACTIVEES DES STATIONS D'EPURATION

NAITALI F., GHUALEM H.

Laboratoire d'Electro-chimie, Corrosion Métallurgie et Chimie Minérale, Faculté de
Chimie USTHB, BP32 El-Alia Bab-Ezzouar, 16111, Alger, Algérie

fatehnaitali@yahoo.fr

RESUME

La dépollution des eaux usées avant rejet dans les milieux aquatiques est devenue un impératif réglementaire à l'échelle mondiale, justifié par la protection de l'environnement et de la santé publique. Cette dépollution est le plus souvent réalisée dans des usines de traitement centralisées, vers lesquelles sont acheminés les effluents produits dans une zone couvrant souvent toute une agglomération.

À l'heure actuelle, la présence de résidus de médicaments dans les matrices environnementales aqueuses est devenue un sujet de préoccupation mondiale dans les domaines de l'environnement et de la Santé Publique.

En Algérie le traitement des eaux usées urbaines et industrielles, est réalisé par boues activées. La majeure partie des rejets pharmaceutiques arrivant aux stations d'épuration ne sont pas complètement éliminés ils sont rejetés sous forme de contaminants dans les eaux réceptrices.

On se propose dans cette étude de faire le point sur une méthode basée sur l'intelligence artificielle (les réseaux de neurones multicouche) permettant une utilisation améliorée et fiabilisée des caractéristiques des boues activées.

On vise donc à quantifier l'effet de rejets d'un mélange de médicaments sur les paramètres physicochimiques des boues activées lors d'un traitement biologique et de voir aussi quels sont les paramètres à prendre en considération pour décrire la composition de la biomasse épuratrice assurant la dégradation.

Mots clés : Médicaments, fluide biologique, réseaux de neurones artificiels, multicouches.

INTRODUCTION

En Algérie, l'industrialisation et la croissance démographique sont les principaux facteurs qui font que la consommation et la production de médicaments ne cessent d'augmenter. L'augmentation du nombre d'unités pharmaceutiques implique une augmentation considérable de déchets et de résidus médicamenteux dans l'environnement et les milieux aquatiques.

Tous les scientifiques (Freitas Dos Santos, 1999), (Jiménez-González, 2000) et (Hermann et al., 2006) s'accordent pour attribuer aux produits de grande consommation, une responsabilité majeure dans la dégradation de l'environnement sur tous les niveaux du cycle de vie : extraction des matières premières, production, distribution, consommation, valorisation et élimination. Des études récentes font état de la présence d'une grande variété de produits pharmaceutiques dans l'environnement aquatique (Buser et al., 1998), (Jones, et al., 2005), (Kim, 2007), (Kummerer et al., 1997) et (Tixier, 2003).

La majeure partie de ces produits arrivant aux stations d'épuration ne sont pas complètement éliminés, ils sont rejetés sous forme de contaminants dans les eaux réceptrices (Joss, 2004) et (Clara, 2005). Les problèmes liés au fonctionnement et/ou dysfonctionnement des stations d'épuration recevant des rejets industriels et urbains ont pris une grande importance.

De ce fait, un besoin urgent est ressenti pour inclure des programmes d'évaluation en temps réel de l'effet de médicaments sur les boues activées des stations d'épuration biologiques.

À cause de leur capacité à représenter n'importe quelle fonction linéaire ou non-linéaire, simple ou complexe, leur puissance et leur pouvoir de généralisation ont fait d'eux des outils très performants.

Dans ce présent travail, nous nous intéressons particulièrement à l'évaluation de l'effet de rejets de cinq médicaments appartenant à plusieurs familles thérapeutiques sur la composition physicochimique des boues activées d'une station d'épuration par les réseaux de neurones artificiels, où l'on appliquera la méthode des plans d'expérience afin d'optimiser les paramètres d'entrée et de sortie de ces derniers.

MATERIEL ET METHODES

L'étude de l'effet des médicaments étudiés est basée sur la technologie des réseaux neuronaux artificiels (RNA) qui trouvent leur origine dans certaines propriétés des neurones biologiques. Ils comprennent une variété d'architectures

Utilisation des réseaux de neurones artificiels comme un outil de gestion et d'aide à la décision. Application à la quantification de l'effet de rejets d'un mélange de médicaments sur les boues activées des stations d'épuration

d'éléments de processus fortement interconnectés qui offrent une alternative aux approches conventionnelles de calcul. En effet ils offrent la possibilité de produire des calculs très complexes là où les systèmes classiques trouvent des difficultés à les exécuter (Momoh et El Hawary, 1999) et (Parizeau et al., 2004).

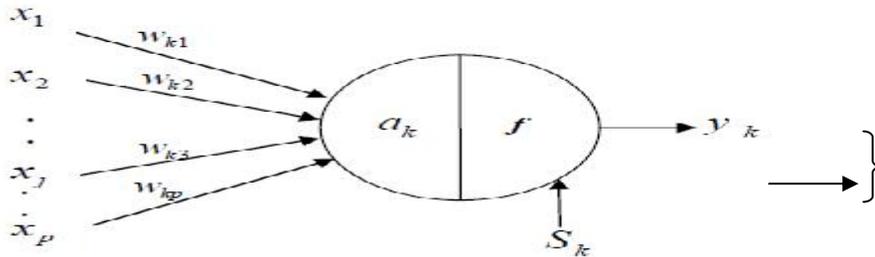


Figure 1 : Modèle d'un neurone formel

x_j ($j=1\dots p$) : entrée du *nième* neurone. w_{ki} : poids synaptique (ou poids).
 a_k : activation du *nième* neurone. $f(.)$: fonction d'activation.
 y_k : sortie du *nième* neurone.

Un réseau multicouche de cinq couches d'entrée et deux couches de sortie est appliqué.

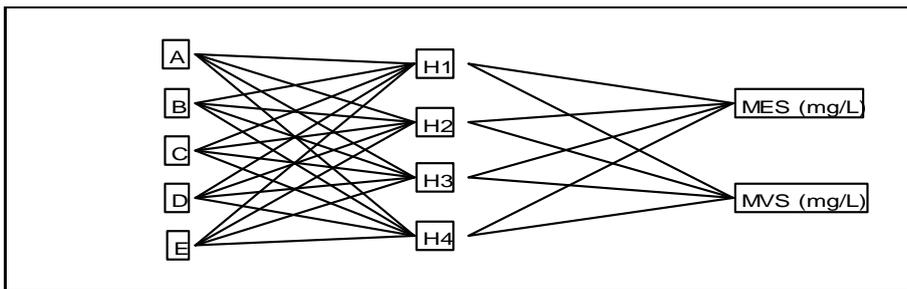


Figure 2 : Réseau de neurones multicouches

Généralement, il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les couches en aval.

Le nombre de couches cachées est de quatre avec cinquante itérations en maximum sous un critère de convergence de 0,00001.

Un pilote d'essai cylindro-conique de 5 litres de volume maximal a été réalisé.

L'ensemble des manipulations a été réalisé avec des volumes d'un litre de boue activée et deux litres d'eau usée. L'apport d'oxygène est assuré par une pompe à air. Les essais d'épuration ont été effectués sur une période de 5 heures.

Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par centrifugation et par séchage à 105°C pendant 24 heures et les matières volatiles en suspension (MVS) par calcination à 500°C pendant 2 heures.

Les médicaments étudiés et leur domaine d'étude sont portés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Médicaments étudiés.

Doxicycline -A- (mg/L)	Ketoconazole -B- (mg/L)	Loratadine -C- (mg/L)	Spiramycine -D- (mg/L)	Bétametasone -E- (mg/L)
1	2	1	1	3
13,25	6,5	2	25,75	3
25,5	11	3	50,5	3
37,75	15,5	4	75,25	14,75
50	20	5	1	14,75

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Matières en suspension et matières volatiles en suspension

Les concentrations des MES sont de l'ordre de 86,8, 13,4 et 39,8 g/L respectivement pour les expériences 2, 4 et 12 (Tableau 2). La concentration de MES est inférieure à 11 g/L pour les autres essais.

La concentration des MVS est de l'ordre de 32,8 g/L pour l'expérience 12, quant aux autres essais la concentration est inférieure à la valeur de 7 g/L

Utilisation des réseaux de neurones artificiels comme un outil de gestion et d'aide à la décision. Application à la quantification de l'effet de rejets d'un mélange de médicaments sur les boues activées des stations d'épuration

Tableau 2 : Matières en suspension et matières volatiles des boues activées.

N° de l'essai	Doxycycline (mg/L)	Ketoconazole (mg/L)	Loratadine (mg/L)	Spiramycine (mg/L)	Betametasone (mg/L)	MES (g/L)	MVS (g/L)
1	1	2	1	1	3	6,3	4,1
2	13,25	2	1	1	3	86,8	3,8
3	25,5	6,5	1	1	3	8,5	4,7
4	37,75	6,5	1	1	3	13,4	6,2
5	50	11	2	1	3	10,9	5,8
6	1	11	2	1	3	8,6	3,8
7	13,25	15,5	2	1	3	4,5	4,2
8	25,5	15,5	2	1	3	7,4	4,4
9	37,75	20	3	25,75	3	4,8	2,3
10	50	20	3	25,75	3	8,5	6,9
11	1	2	3	25,75	3	1,1	0,5
12	13,25	2	3	25,75	3	39,8	32,8
13	25,5	6,5	4	25,75	3	3,7	2,5
14	37,75	6,5	4	25,75	3	6,4	4,6
15	50	11	4	25,75	3	5,5	4,8
16	1	11	4	25,75	3	6,5	4,5
17	13,25	15,5	5	50,5	14,75	8,9	6,6
18	25,5	15,5	5	50,5	14,75	7,5	4,2
19	37,75	20	5	50,5	14,75	5,3	3,3
20	50	20	5	50,5	14,75	6,3	2,9
21	1	2	1	50,5	14,75	7,2	3,6
22	13,25	2	1	50,5	14,75	6,7	4,6
23	25,5	6,5	1	50,5	14,75	8,5	5,6
24	37,75	6,5	1	50,5	14,75	6,5	3,8
25	50	11	2	75,25	14,75	9,2	5,8

Résultats de la modélisation par le réseau de neurones

Les résultats de la modélisation des réseaux de neurones sont portés sur le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats de la modélisation par les réseaux de neurones.

Paramètre	Estimation	Paramètre	Estimation	Paramètre	Estimation
H1:A	-7,610	H3:A	-4,797475	MES (g/L):H1	-4,70809
H1:B	0,167	H3:B	-0,562313	MES (g/L):H2	-1,269827
H1:C	-0,930	H3:C	-0,880589	MES (g/L):H3	-2,850154
H1:D	4,787	H3:D	0,0081911	MES (g/L):H4	7,4005032
H1:E	-1,695	H3:E	2,1907987	MVS (g/L):H1	5,0822156
H2:A	-1,522	H4:A	-7,732	MVS (g/L):H2	-3,202475
H2:B	0,558	H4:B	-2,106	MVS (g/L):H3	-7,553572
H2:C	1,157	H4:C	0,276	MVS (g/L):H4	2,1934958
H2:D	0,623	H4:D	0,295		
H2:E	-0,996	H4:E	2,092		

D'après ces résultats nous remarquons que les fortes variations en termes de poids sont dues à la Doxycycline (A) sur le 1^{er}, le 3^{ème} et le 4^{ème} neurone cachés avec une valeur maximale de -7,73. La Spiramycine a le poids le plus faible avec une valeur de 0,0081 sur le 3^{ème} neurone caché. Les fortes variations pour les MES et les MVS sont dues à l'interception du 3^{ème} et du 4^{ème} neurone caché.

Afin de confirmer ces variations nous avons tracé les courbes de surface de réponses pour chaque paramètre étudié en fonction de la concentration en (A) (Figure 3).

Utilisation des réseaux de neurones artificiels comme un outil de gestion et d'aide à la décision. Application à la quantification de l'effet de rejets d'un mélange de médicaments sur les boues activées des stations d'épuration

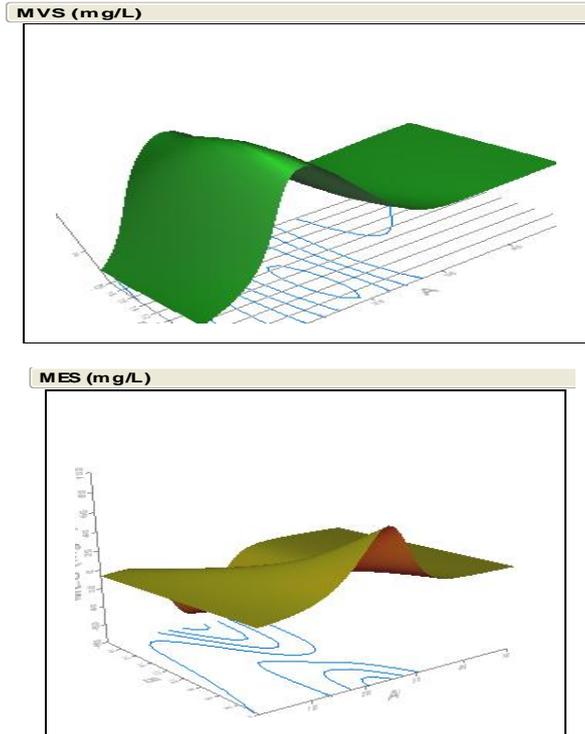


Figure 3 : Surfaces de réponses pour chaque paramètre étudié.

Les résultats obtenus montrent que pour des concentrations comprises entre 13 et 35 mg/L en Doxycycline, les MES et les MVS varient considérablement. Ceci est dû à l'effet toxique de la Doxycycline sur les microorganismes épurateurs entraînant ainsi un effet de bulking filamenteux dans la boue et donc sur la dégradation des médicaments présents.

Des résultats de simulation précis ont été obtenus pour modéliser le système étudié dont les résultats sont portés sur la figure 4 suivante :

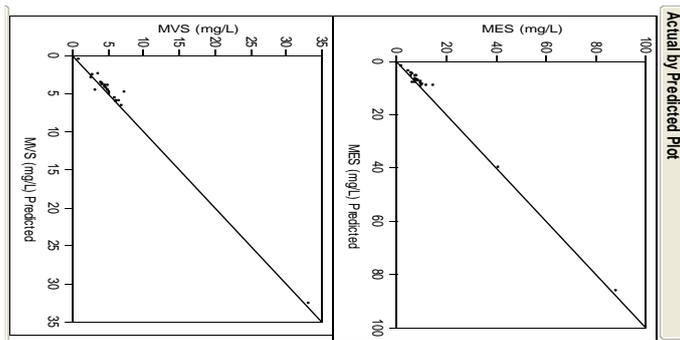


Figure 4 : Graphique de modélisation des MES et des MVS.

Ces résultats montrent que le modèle neuronal qui a été suivi dans cette étude convient pour la modélisation des rejets des médicaments étudiés sur les MES et les MVS ce qui est confirmé par la figure 5.

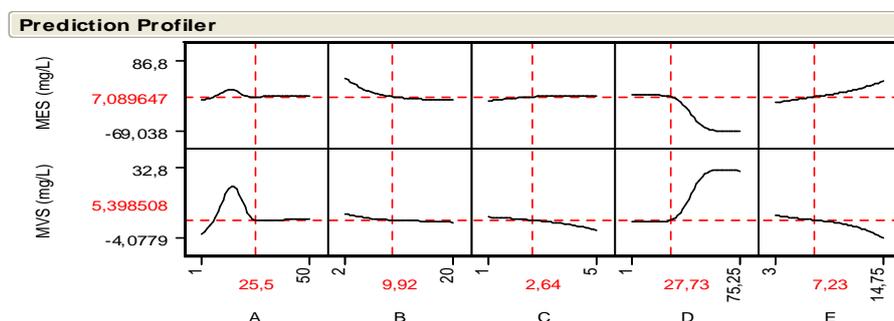


Figure 5 : Effet des médicaments sur les MES et MVS.

Le Ketoconazole, la Loratadine et la Betamethazone ont un effet négligeable à de faibles concentrations et des effets plus ou moins intenses à de fortes concentrations. Par contre, la Doxycycline et la Spiramycine ont des effets inverses. Pour de faibles concentrations la Doxycycline présente un effet intense sur les MES et les MVS ce qui est l'inverse pour la Spiramycine.

CONCLUSION

Les réseaux des neurones sont une nouvelle approche qui consiste à extraire le maximum d'informations avec un minimum de simulations.

Pour connaître les évolutions des variables caractéristiques du problème étudié, leur interaction ainsi que leur influence sur les grandeurs étudiées, nous avons appliqué dans ce travail la formalisation conférée par la méthode de l'intelligence artificielle via les réseaux de neurones RMN. Cette méthode nous a permis une modélisation sous forme d'équations de l'ensemble des réponses ainsi qu'une classification des paramètres du vecteur d'entrée selon l'effet le plus important.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FREITAS DOS SANTOS L. (1999). Green Chemistry: Practical Considerations, Version 1. SmithKline Beecham, ERL, Harlow, March, UK.
- JIMÉNEZ-GONZÁLEZ C. (2000). Life Cycle Analysis in Pharmaceutical Applications, Ph.D. Thesis, Chemical Engineering, Department at North Carolina State University, USA.

Utilisation des réseaux de neurones artificiels comme un outil de gestion et d'aide à la décision. Application à la quantification de l'effet de rejets d'un mélange de médicaments sur les boues activées des stations d'épuration

- HERMANN B.G., KROEZE C., JAWJIT W. (2007). Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators, *Journal of Cleaner Production*, Vol.15, Issue 18, 1787-1796.
- BUSER H.R., MULLER M.D., THEOBALD N. (1998). Occurrence of the Pharmaceutical Drug Clofibric Acid and the Herbicide Mecoprop in Various Swiss Lakes and in the North Sea, *Environ. Sci. Technol.*, Vol.32, Issue 1, 188-192.
- JONES O.A., LESTER J.N., VOULVOULIS N. (2005). Pharmaceuticals: a threat to drinking water? *Trends Biotechnol.*, Vol.23, Issue 4, 163-167.
- KIM S., CHO J., KIM IN S., VANDERFORD B.J., SNYDER S.A. (2007). Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and wastewaters, *Water Research*, Vol.41, Issue 5, 1013-1021.
- KUMMERER K., AL-AHMAD A. (1997). biodegradability of the anti-tumour agents 5 Fluorouracil, cytarabine and gemcitabine: Impact of the chemical structure and synergistic toxicity with hospital effluents, *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, Vol. 25, Issue 4, 166-172.
- TIXIER C., SINGER H.P., OELLERS S., MULLER S.R. (2003). Occurrence and Fate of Carbamazepine, Clofibric Acid, Diclofenac, Ibuprofen, Ketoprofen, and Naproxen in Surface Waters, *Environ. Sci. Technol.*, Vol.37, Issue 6, 1061-1068.
- JOSS A., ANDERSEN H., TERNES T., RICHLE P.R., SIEGRIST H. (2004). Removal of estrogens in municipal wastewater treatment under aerobic and anaerobic conditions: consequences for plant optimization, *Environ. Sci. Technol.*, Vol.38, Issue 11, 3047-3055.
- CLARA M., STRENN B., GANS O., MARTINEZ E., KREUZINGER N., KROISS H. (2005). Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants, *Water Research*, Vol.39, Issue 19, 4797-4807.
- MOMOH J.A., EL HAWARY M.E. (1999). *Electric Systems, Dynamics, and Stability with Artificial Intelligence Applications*, CRC Press.
- PARIZEAU M. (2004). *Réseaux de neurones*, Université de Laval, 117p.