

Chapitre IV

Simulation et Evaluation

1. Introduction :

Ce dernier chapitre est dédié à la mise en œuvre d'une technique d'apprentissage statistique RBF appliqué en reconnaissance de formes. Cette étude a été précédée d'une analyse statistique « ACP » qui nous permettra de déterminer les corrélations existantes entre les variables caractéristiques de l'eau. Le domaine d'application choisi pour leur mise en œuvre est la surveillance des eaux potables en fonction des caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute. Afin de voir que cette méthode est adaptable à l'application indiquée, on évaluera pour la méthode les paramètres liés au taux de reconnaissance, au temps d'apprentissage, à l'erreur d'entraînement.

2. Cadre de l'application : le site de barrage de Tilesdit-Bouira

Le barrage de Tilesdit, d'une capacité évaluée à 167 millions de m³, est conçu de façon à juguler la tension qui persiste dans la distribution de l'eau au niveau de douze communes. De par son implantation dans la région est de Bouira, le barrage de Tilesdit, dont la mise en eau a été effectuée vers la fin de l'année 2005, garantira de l'eau potable aux communes relevant de l'est et du sud-est de la wilaya, c'est-à-dire, El-Esnam, Bechloul, El-Adjiba, Ahl El-Ksar, Oued El-Berdi, Mesdour, Taguedit, Ahnif, Bordj O'khriss, Ouled Rached, Ath Mansour, Bouira et la zone industrielle de Sidi Khaled. Réalisé par une société russe, outre son important apport en eau potable à profusion pour douze communes. Il est également important d'informer qu'à l'horizon 2020, le barrage de Tilesdit garantira l'eau en faveur de 307 200 habitants, selon les prévisions du secteur de l'hydraulique. Au total, la population qui voit son alimentation en eau potable grandement améliorée est d'environ 291 000 habitants. La durée des travaux du barrage aura été de 30 mois, conformément au délai initialement retenu et le coût total du projet a été de 6 milliards 924 millions dinars, toutes infrastructures comprises. Les travaux menés ont porté sur la fourniture et la pose de 83,5 kilomètres de conduites d'adduction en fonte ductile d'un diamètre variant entre 200 et 1 000 m, 6 stations de pompage d'un débit de 41 à 981 litres par seconde, une station de traitement d'une capacité de 74 000

m³ par jour, un réservoir d'eau traitée de deux compartiments d'un volume total de 13 000 m³ et de 6 réservoirs de capacité allant de 200 à 5 000 m³.

Les images suivante qui représente le site de station Tilesdit-BOUIRA (a partir de Google maps)



Figure IV.1 Image qui représente le site de station Tilesdit-Bouira. (À partir de Google maps)

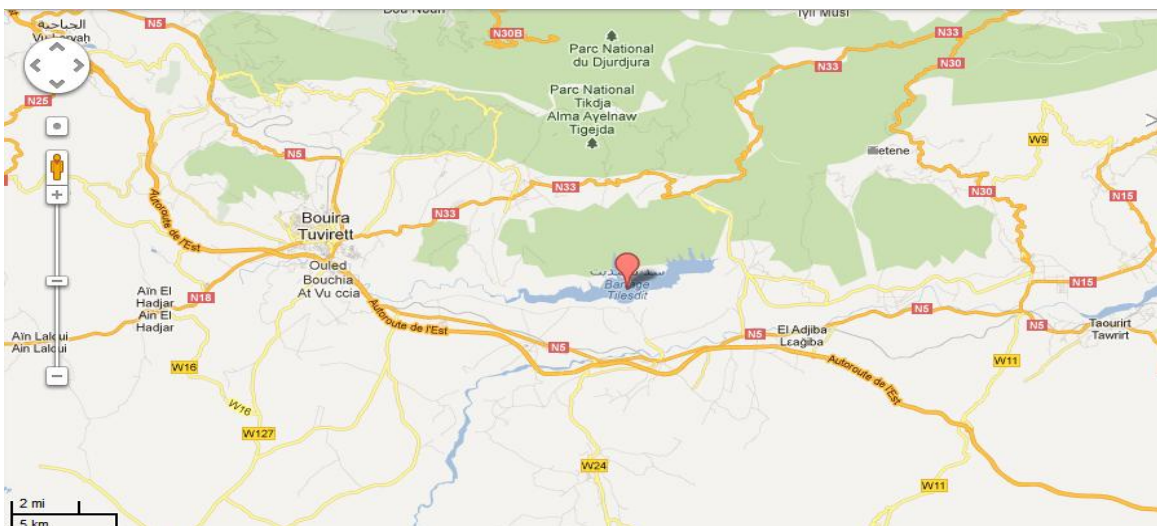


Figure IV.2 carte qui représente le site de station Tilesdit-Bouira. (À partir de Google maps)



Figure IV.3 carte qui représente le site de station Tiledit-Bouira. (À partir de Google maps)

3. Analyse et pré-traitement des données :

Le Tableau IV-1 suivant résumé statistique des paramètres de l'eau brute sur la station de Tiledit-Bouira pour la période de Janvier 2009 à décembre 2011.

Propriété	Température (°C)	Conductivité à 25 °C (ms/cm)	pH	DO	OBD	Calcium Ca_2^+ (mg/l)	Chlorures Cl-(mg/l)	Magnésium Mg^{2+} (mg/l)	Bicarbonate HCO_3^- (mg/l)
Maximum	27,2	329	9,1	15	7,8	72	40	10,8	146
Minimum	0,1	11	6,8	7	0,3	2	0	0,7	8
Moyenne	12,073	138,446	7,638	10,446	3,164	16,211	10,635	4,852	65,102

Tableau IV-1 : Résumé statistique des paramètres de l'eau brute sur la station de Tiledit-Bouira

Pour une analyse large des résultats trouvés, enregistrés dans les tableaux précédents, et pour savoir plus sur la qualité de l'eau du barrage, on a tracé les courbes déterminants les différents paramètres de cet barrage.

- **La température :**

La figure IV.4 donne l'évolution de la température en fonction du temps durant les trois années.

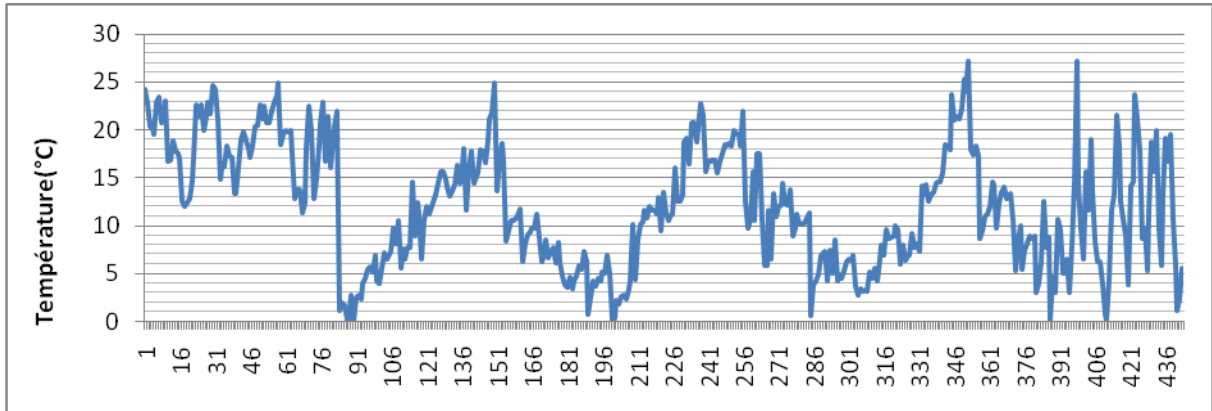


Figure IV.4 : Evolution de la température en fonction du temps durant les trois années

D'après les résultats obtenus durant les trois années, on remarque une grande variation de la température, c'est des températures saisonnières parfois dépassent les normes 25°C durant la période d'été.

- **Le pH :**

La figure IV.5 représente l'évolution du pH en fonction du temps durant les trois années.

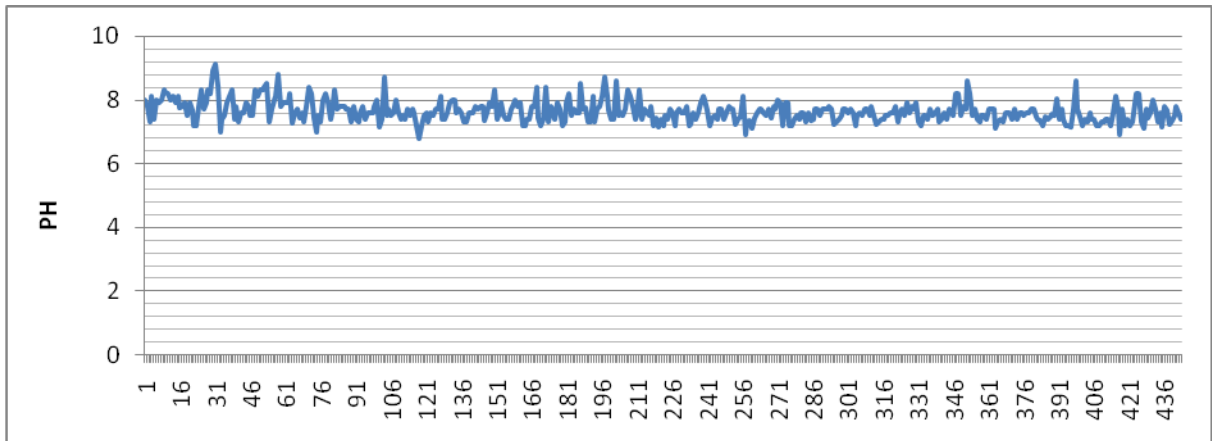


Figure IV.5 : Evolution du pH en fonction du temps durant les trois années

Le PH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. On constate d'après les résultats obtenus durant les trois années de valeur moyenne de 7,63.

- **La conductivité :**

Figure IV.6 représente l'évolution de la conductivité à 25 °C en fonction du temps durant les trois années.

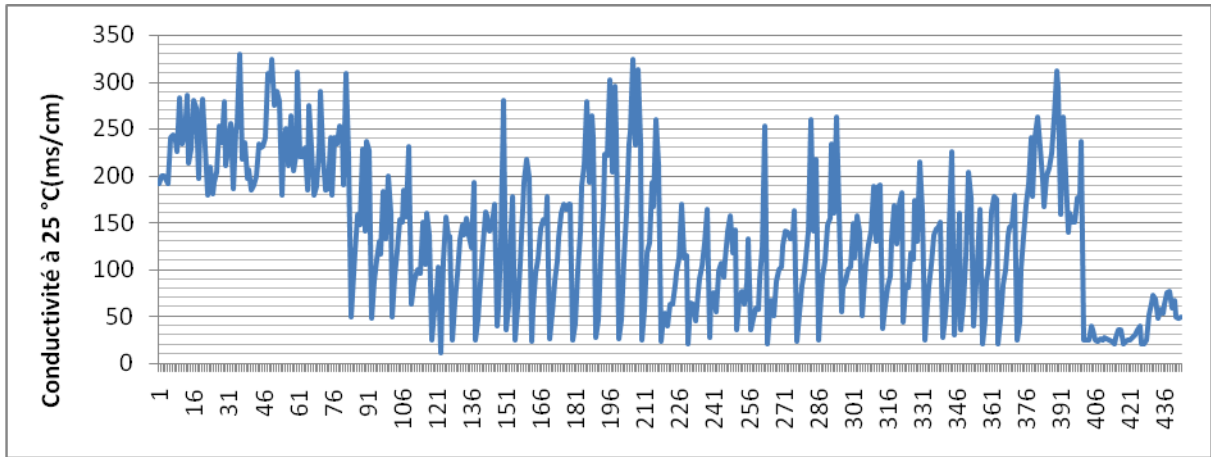


Figure IV.6 : Evolution de la conductivité à 25 °C en fonction du temps durant les trois années.

La conductivité moyenne du barrage est de 138.446 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ne dépasse pas les normes recommandées par l'OMS qui est de 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

- **L'oxygène dissous (DO) :**

La figure IV.7 donne l'évolution du do en fonction du temps durant les trois années.

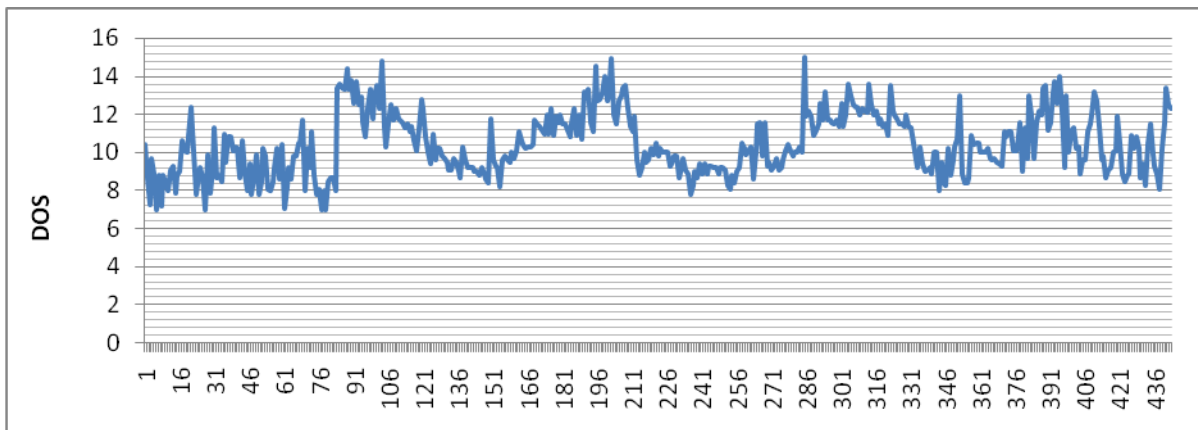
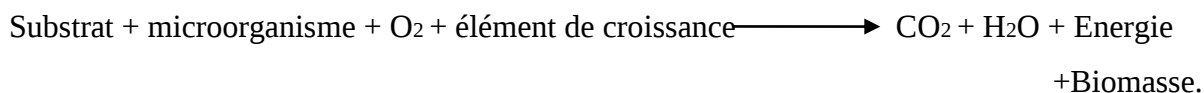


Figure IV.7 : Evolution l'oxygène dissous en fonction du temps durant les trois années. D'après les résultats obtenus durant les trois années, on remarque une légère variation du l'oxygène dissous.

- **La demande biochimique en oxygène (OBD)**

La demande biochimique en oxygène (OBD) exprime la consommation potentielle d'oxygène des principaux polluants (Les matières en suspension, microorganismes aérobies) d'un milieu récepteur conformément au schéma réactionnel suivant :



La figure IV.8 donne l'évolution de l'OBD en fonction du temps durant les trois années.

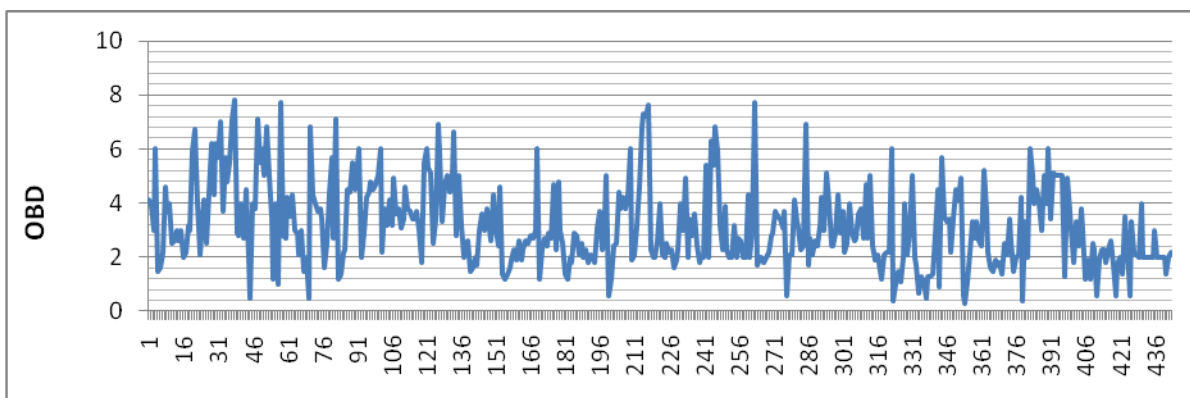


Figure IV.8 : Evolution de l'OBD en fonction du temps durant les trois années.

D'après la courbe de la figure (IV.8), on constate une valeur modère de l'OBD qui est de 7.8 mg/l par rapport à la norme 35 mg/l.

- **Calcium Ca^{2+} :**

La figure IV.9 donne l'évolution de la Calcium Ca^{2+} en fonction du temps durant les trois années.

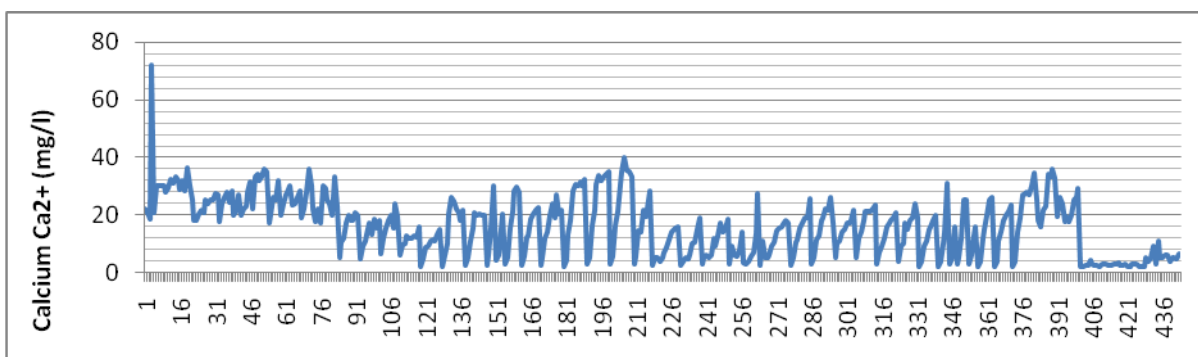


Figure IV.9 : Evolution de la Calcium Ca^{2+} en fonction du temps durant les trois années

- **Magnésium Mg^{2+} :**

La figure IV.10 donne l'évolution de la Magnésium Mg^{2+} en fonction du temps durant les trois années.

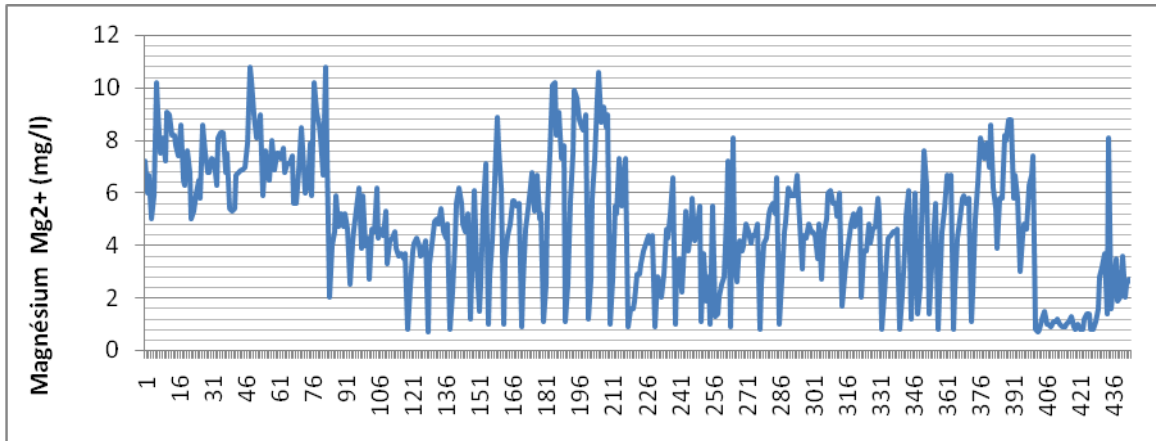


Figure IV.10: Evolution de la Magnésium Mg^{2+} en fonction du temps durant les trois années

D'après les résultats obtenus durant les trois années, on remarque une que proportion de Magnésium sont modérée (0.7-11 mg/l) et ne dépassent pas la norme qui est de 50mg/l

- **Chlorures Cl^- :**

La figure IV.11 donne l'évolution de la Chlorures Cl^- en fonction du temps durant les trois années.

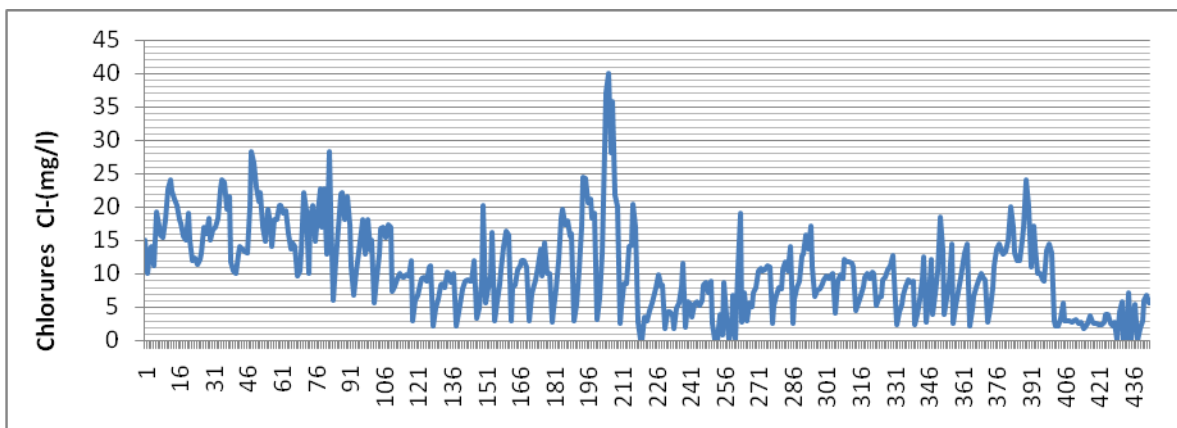


Figure IV.11 : Evolution de la Chlorures Cl^- en fonction du temps durant les trois années

D'après la figure (IV.11), on remarque que proportion de chlorures sont modérée (0.00-40.00 mg/l) et ne dépassent pas la norme qui est de 200mg/l.

- **Bicarbonate HCO_3^- :**

La figure IV.12 donne l'évolution de la Bicarbonate HCO_3^- en fonction du temps durant les trois années.

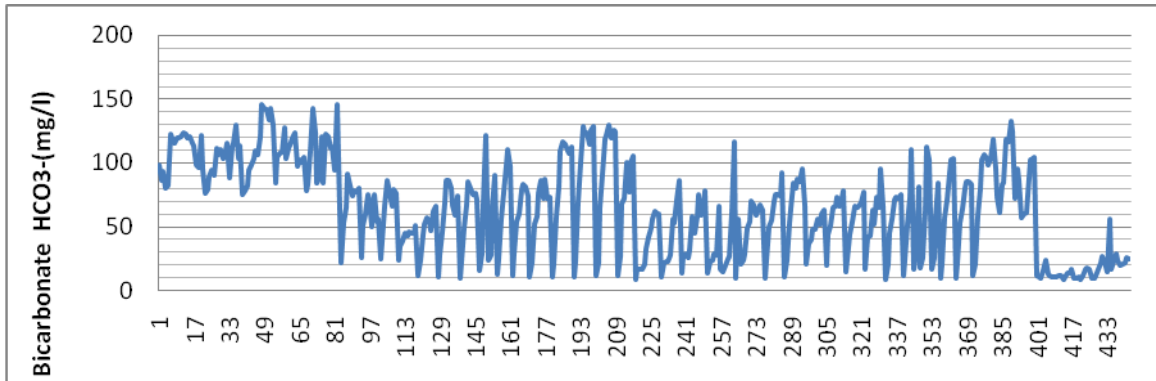


Figure IV.12 : Evolution de la Bicarbonate HCO_3^- en fonction du temps durant les trois années

4. Validation et reconstruction des données :

4.1 Sélection des composants :

La base de données utilisée est constituée de 443 échantillons. Pour chaque échantillon on possède les résultats de mesure réelle mais aussi d'analyses chimiques et physiques effectuées hors-ligne qui constituent un ensemble de 9 descripteurs de la qualité de l'eau brute: pH, T° , Conductivité (C), DO, Demande biologique (DBO), Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , HCO_3^- .. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée sur l'ensemble de ces données a fourni le tableau et l'histogramme donnés sur la figure IV.13. On peut remarquer la décroissance rapide des valeurs propres (figure IV.13). Seules les quatre premières composantes représentent une prise en charge de plus de 95 % de l'inertie. L'ensemble des 9 variables est susceptible d'être simplifié et remplacé par 4 nouvelles variables représentées par les 4 premiers axes principaux.

#	valeur	pourcent	cumul
1	5,169298	57,44%	57,44%
2	1,818333	20,20%	77,64%
3	0,80822	8,98%	86,62%
4	0,716861	7,97%	94,59%
5	0,169362	1,88%	96,47%
6	0,139264	1,55%	98,01%
7	0,092054	1,02%	99,04%
8	0,065518	0,73%	99,77%
9	0,02108	0,23%	100,00%

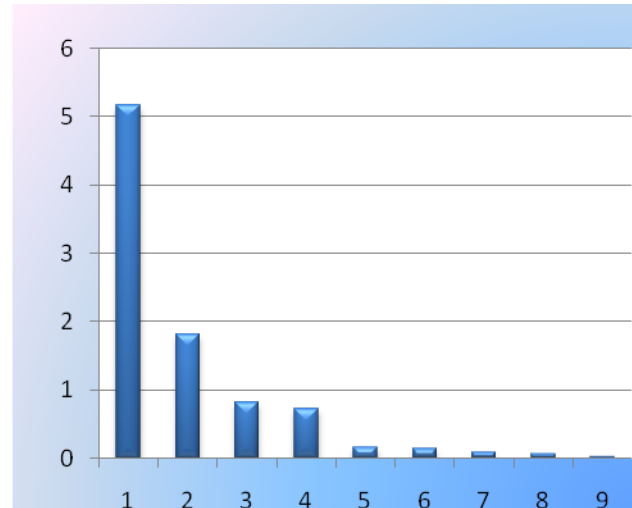


Figure. IV.13 valeurs et histogrammes des valeurs propres des composantes

Le tableau IV.2 présente les corrélations de chacune des variables avec les composantes principales. L'interprétation des résultats est la suivante:

attribut	axe_1		axe_2		axe_3		axe_4		axe_5	
	Corr.	%(tot. %)	Corr.	%(tot. %)	Corr.	%(tot. %)	Corr.	%(tot. %)	Corr.	%(tot. %)
T°	0.2521	6%(6%)	0.9185	84%(91%)	0.1585	3%(93%)	-0.0335	0%(93%)	0.1454	2%(95%)
C	0.955	91%(91%)	-0.0405	0%(91%)	-0.0822	1%(92%)	-0.1310	2%(94%)	0.1280	2%(95%)
PH	0.5671	32%(32%)	0.2222	5%(37%)	0.2026	4%(41%)	0.7632	58%(99%)	-0.0435	0%(100%)
Do	-0.0633	0%(0%)	-0.9315	87%(87%)	0.1653	3%(90%)	0.1985	4%(94%)	0.1688	3%(97%)
OBD	0.5251	28%(28%)	-0.0987	1%(29%)	0.7975	64%(92%)	-0.2649	7%(99%)	-0.0502	0%(99%)
Ca2+	0.9464	90%(90%)	-0.0889	1%(90%)	-0.1158	1%(92%)	-0.0311	0%(92%)	0.1807	3%(95%)
Cl-	0.9179	84%(84%)	-0.1835	3%(88%)	-0.0767	1%(88%)	-0.0528	0%(88%)	-0.2457	6%(95%)
Mg2+	0.9442	89%(89%)	-0.0666	0%(90%)	-0.1904	4%(93%)	-0.0256	0%(93%)	-0.0723	1%(94%)
Hco3-	0.9809	96%(96%)	-0.0106	0%(96%)	-0.1275	2%(98%)	0.0463	0%(98%)	0.0261	0%(98%)
Var.expl.	5.1693	57%(57%)	1.8183	20%(78%)	0.8082	9%(87%)	0.7169	8%(95%)	0.1694	2%(96%)

Tableau IV.2 Contribution de l'inertie totale et corrélation

L'axe 1 qui représente 57% de l'inertie totale est défini positivement et d'une façon nette par 5 variables très groupées Cond, ca2+, Cl-, Mg2+, HCO3-.

- L'axe 2 (20%) représente la température
- L'axe 3 (9%) représente l'OBD
- L'axe 4 (8%) représente le PH

Dans cette étude on peut conclure que pour décider sur l'état de l'eau en fonction des caractéristiques, qui soient en plus facilement mesurables en continu, cela nous amène à ne garder que les variables : Conductivité, (C), Température (T°), pH et OBD.

4.2 Apprentissage et test:

4.2.1. Apprentissage et test sans ACP :

Le nombre de neurones d'entrées est donc de 8 (T° , C, pH, DO, OBD, Mg^{2+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} et Ca^{2+} sorte supposer). Afin de procéder aux tests, nous avons tout d'abord, un ensemble de données réelles constituées de 774 échantillons, est présenté. Des bases de données de 443 vecteurs (pour la phase d'apprentissage) et 331 vecteurs (pour la phase de test), constitue de 9 paramètres (T° , C, pH, DO, OBD, Mg^{2+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} et Ca^{2+} sorte supposer) en plus de différents paramètres choisis comme variables de sorties, sont utilisées. Notons bien que ces paramètres choisis sont corrélés avec la sortie désirée. L'algorithme de corrélation joue donc un rôle prépondérant dans la mesure où on veut développer des capteurs logiciels.

Choisi dans notre cas qui possède les caractéristiques suivantes :

Couche d'entrée : 08 neurones ;

Couche de sortie : un neurone.

4.2.2. Apprentissage et test avec ACP :

Le nombre de neurones d'entrées est donc de 4 (T° , C, pH, OBD). Une seul sortie de (DO , Mg^{2+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} et Ca^{2+}) a chaque foi changer la sortie. Afin de procéder aux tests, nous avons tout d'abord, un ensemble de données réelles constituées de 774 échantillons, est présenté. Des bases de données de 443 vecteurs (pour la phase d'apprentissage) et 331 vecteurs (pour la phase de test), constitue de 5 paramètres (T° , C, pH, OBD, DO , Mg^{2+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} et Ca^{2+}) en plus de différents paramètres choisis comme variables de sorties, sont utilisées. Notons bien que ces paramètres choisis sont corrélés avec la sortie désirée. L'algorithme de corrélation joue donc un rôle prépondérant dans la mesure où on veut développer des capteurs logiciels.

Choisi dans notre cas qui possède les caractéristiques suivantes :

Couche d'entrée : 04 neurones ;

Couche de sortie : un neurone.

4.3 Les résultats :

Des résultats de deux modèles dans les deux phases (apprentissage et test sans ACP et avec ACP) de chaque composant sont récapitulés dans les figures et les tableaux suivants.

❖ Bicarbonate HCO_3^- :

Sans ACP

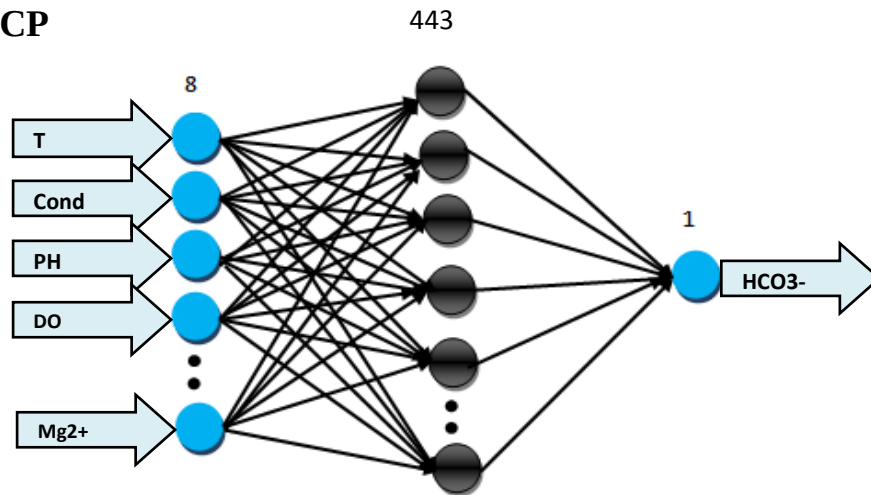


Figure. IV.14. Architecture du réseau RBF (HCO_3^-) sans ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R^2	MSE	RMSE	EAM	R^2
RBF	6.649×10^{-26}	2.57×10^{-13}	1.55×10^{-13}	1	9.135	3.022	0.166	0.990

Tableau. IV.3 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (HCO_3^-) sans ACP

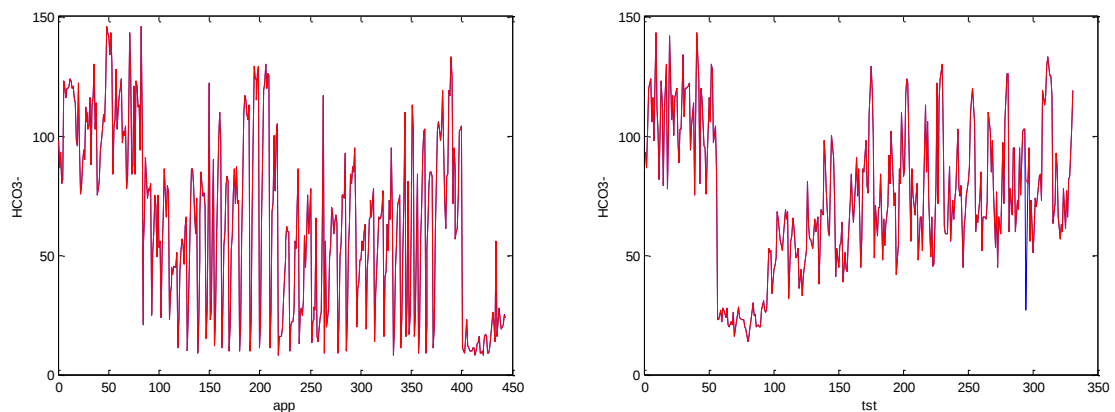


Figure. IV.15 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (HCO_3^-) sans ACP

-Avec ACP

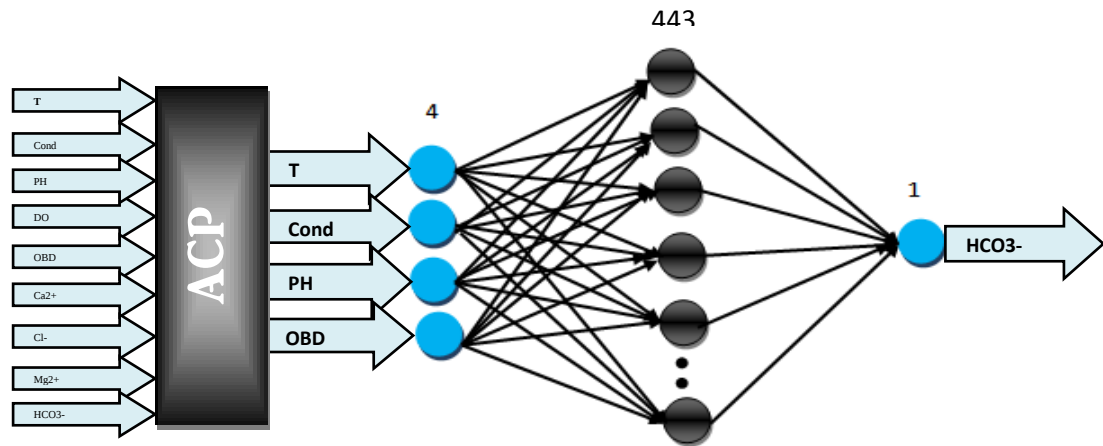


Figure. IV.16. Architecture du réseau RBF (HCO₃⁻) Avec ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$2.431 \cdot 10^{-26}$	$1.559 \cdot 10^{-13}$	$9.32 \cdot 10^{-14}$	1	0.215	0.464	0.025	0.999

Tableau. IV.4 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (HCO₃⁻) avec ACP

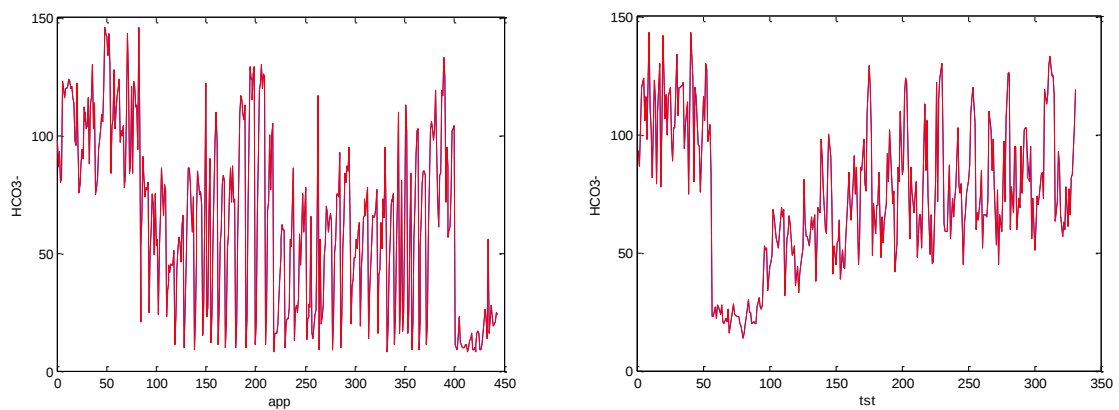


Figure. IV.17 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (HCO₃⁻) avec ACP

❖ L'oxygène dissous (DO)

Sans ACP

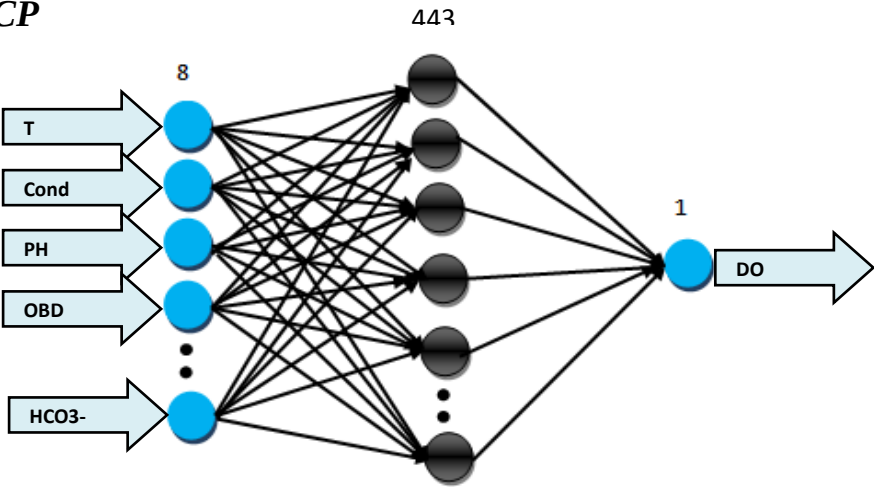


Figure. IV.18. Architecture du réseau RBF (DO) sans ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$6.735 \cdot 10^{-28}$	$2.595 \cdot 10^{-14}$	$1.676 \cdot 10^{-14}$	1	0.075	0.274	0.0151	0.970

Tableau. IV.5 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (DO) sans ACP

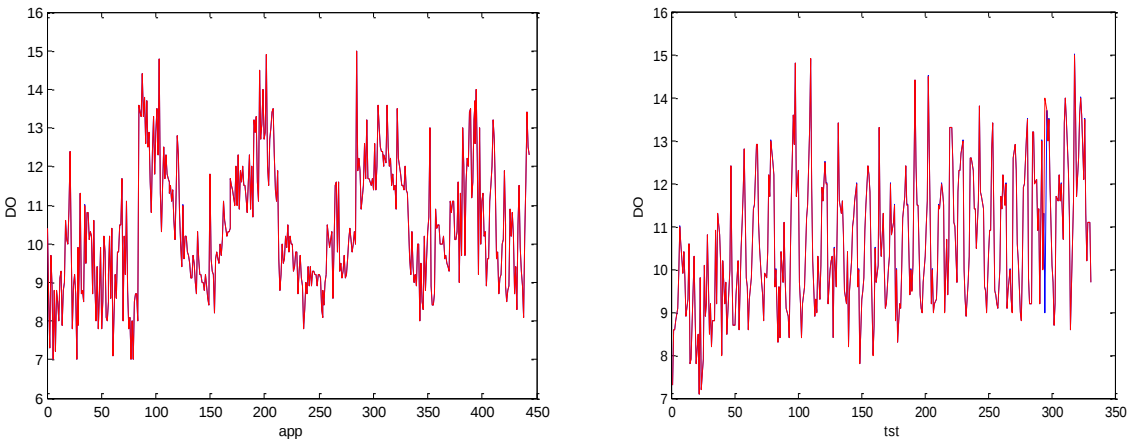
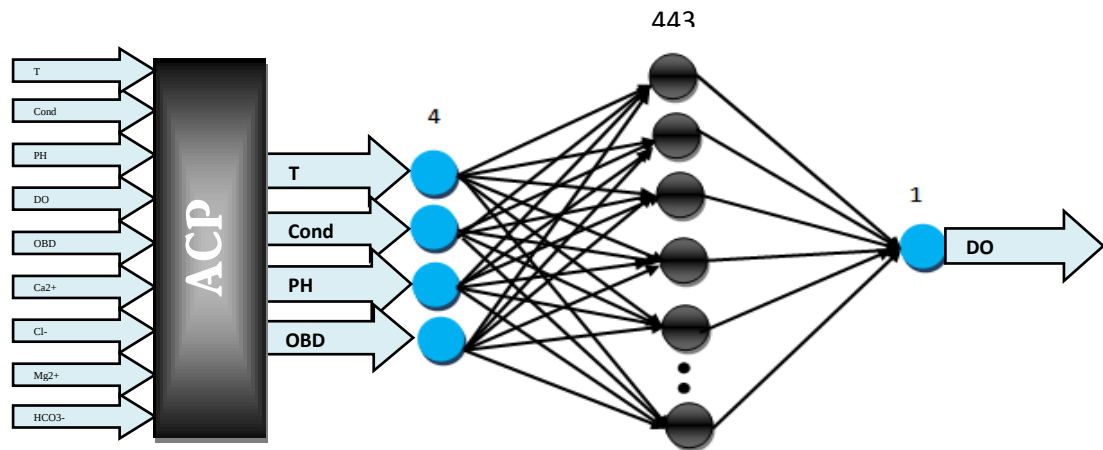
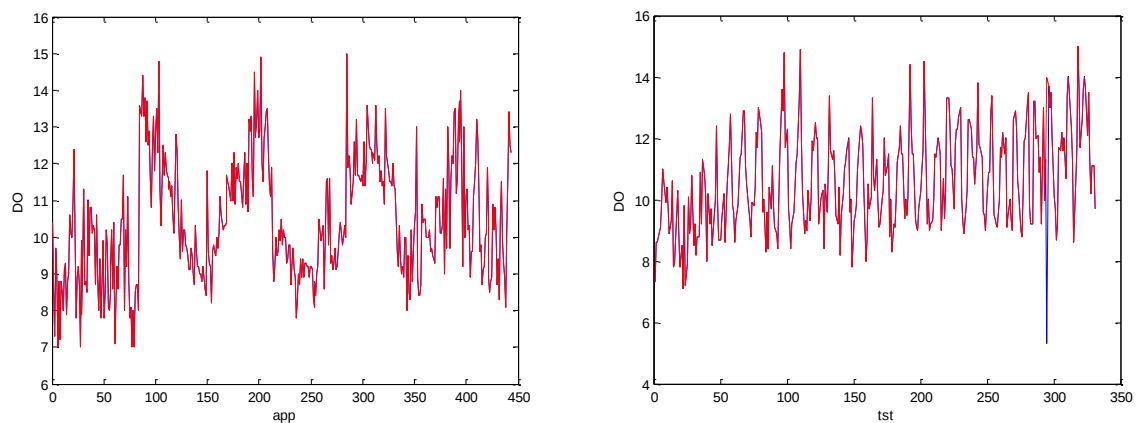


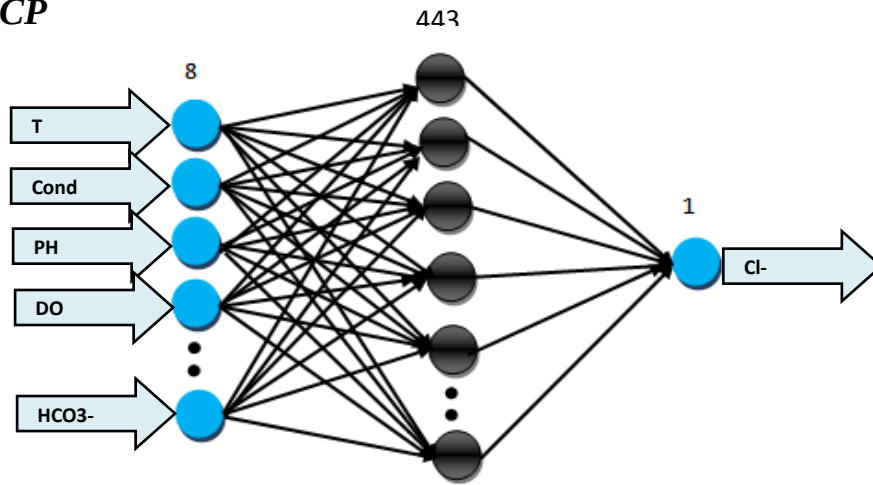
Figure. IV.19 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (DO) sans ACP

Avec ACP**Figure. IV.20.** Architecture du réseau RBF (DO) Avec ACP

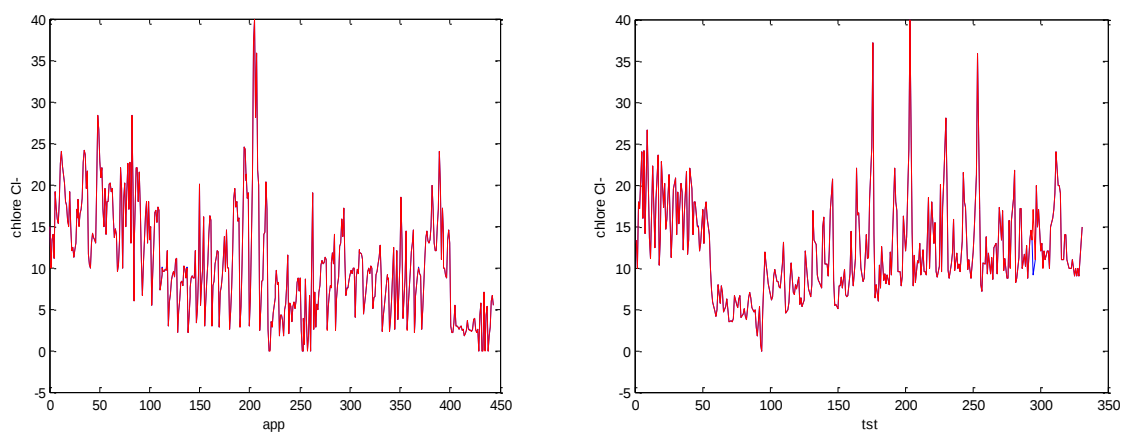
	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$6.024 \cdot 10^{-28}$	$2.45 \cdot 10^{-14}$	$1.58 \cdot 10^{-14}$	1	0.227	0.476	0.0261	0.955

Tableau. IV.6 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (DO) avec ACP**Figure. IV.21** Résultats d'apprentissage et Test de RBF (DO) avec ACP

❖ Chlorures Cl-

Sans ACP**Figure. IV.22.** Architecture du réseau RBF (Cl-) sans ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$1.76 \cdot 10^{-27}$	$4.195 \cdot 10^{-14}$	$2.242 \cdot 10^{-14}$	1	0.188	0.434	0.023	0.994

Tableau. IV.7 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Cl-) sans ACP**Figure. IV.23** Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Cl-) sans ACP

Avec ACP

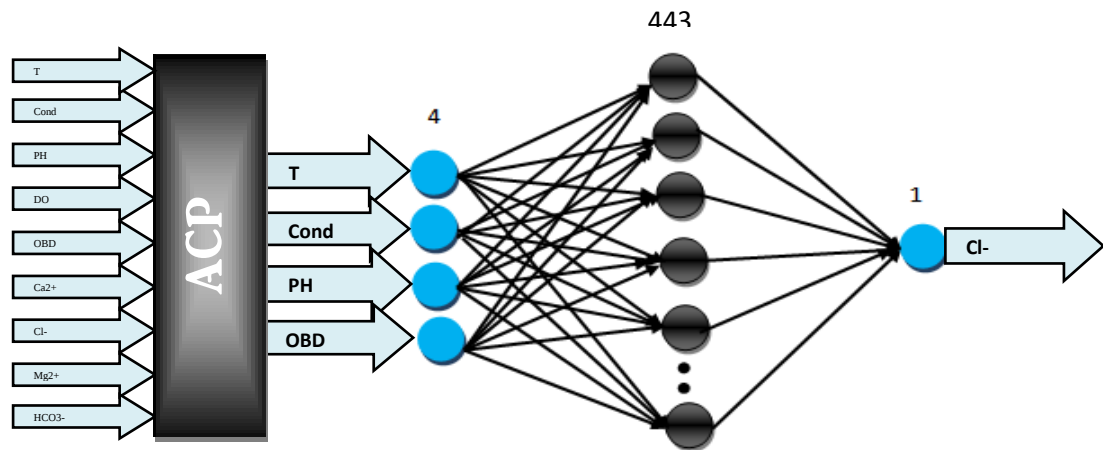


Figure. IV.24. Architecture du réseau RBF (Cl-) avec ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$7.97 \cdot 10^{-28}$	$2.82 \cdot 10^{-14}$	$1.90 \cdot 10^{-14}$	1	0.048	0.220	0.012	0.998

Tableau. IV.8 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Cl-) avec ACP

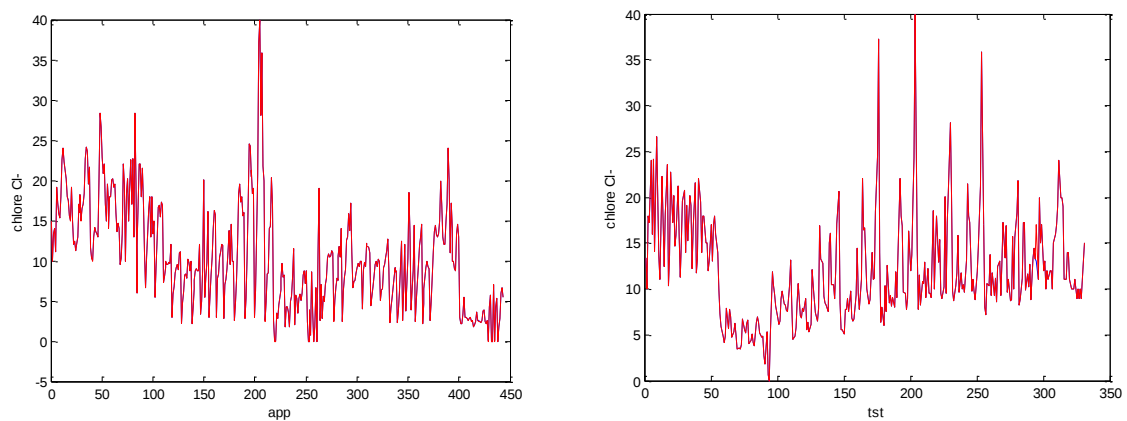
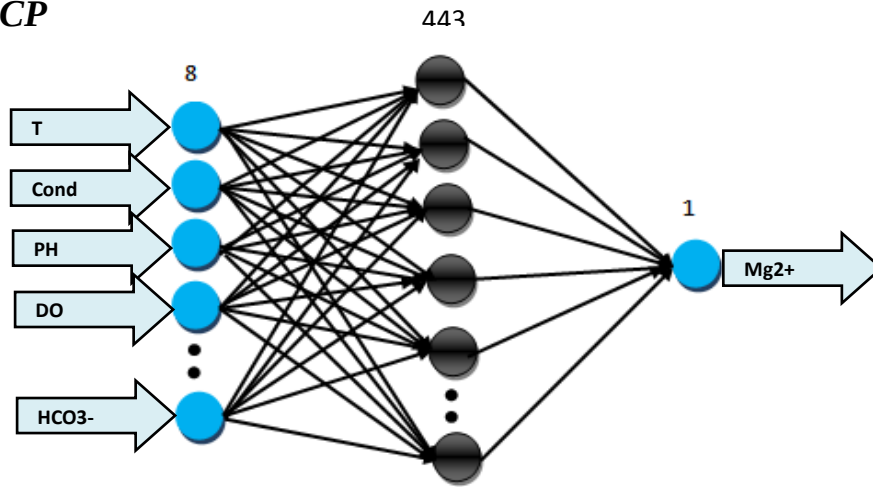
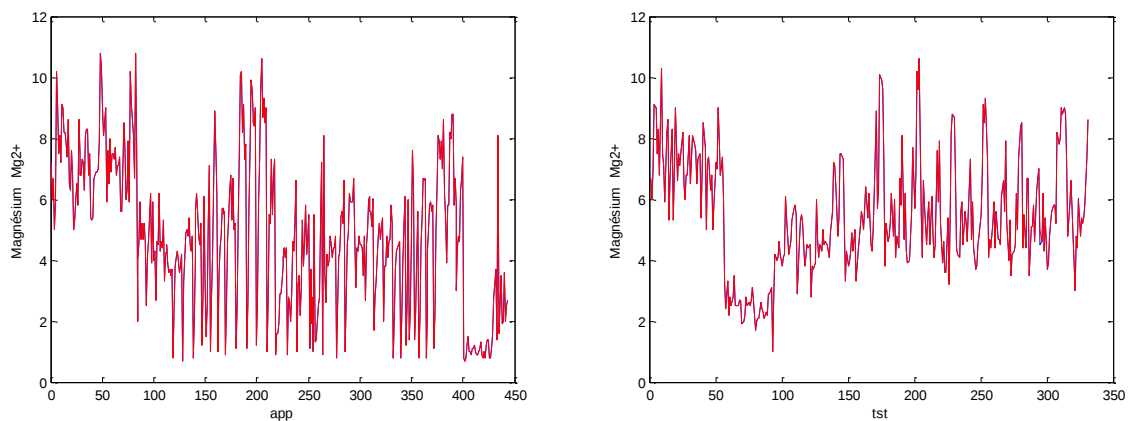


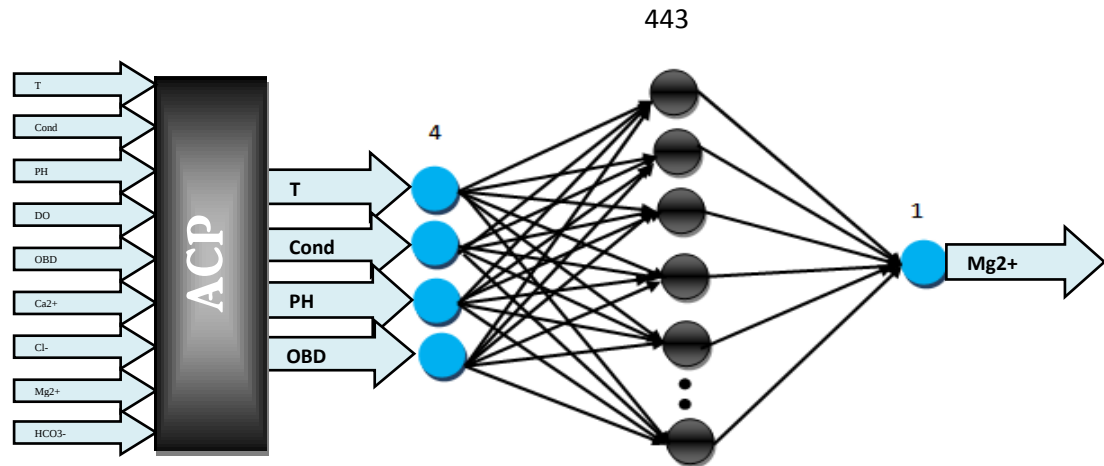
Figure. IV.25 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Cl-) avec ACP

❖ Magnésium Mg^{2+} *Sans ACP***Figure. IV.26** Architecture du réseau RBF (Mg^{2+}) sans ACP

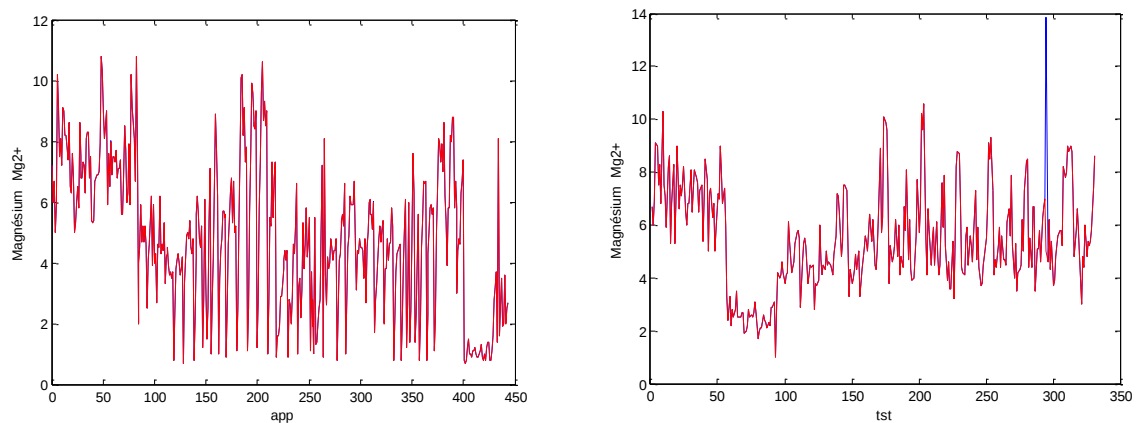
	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$3.468 \cdot 10^{-28}$	$1.862 \cdot 10^{-14}$	$1.026 \cdot 10^{-14}$	1	$7.55 \cdot 10^{-4}$	0.027	0.0015	0.999

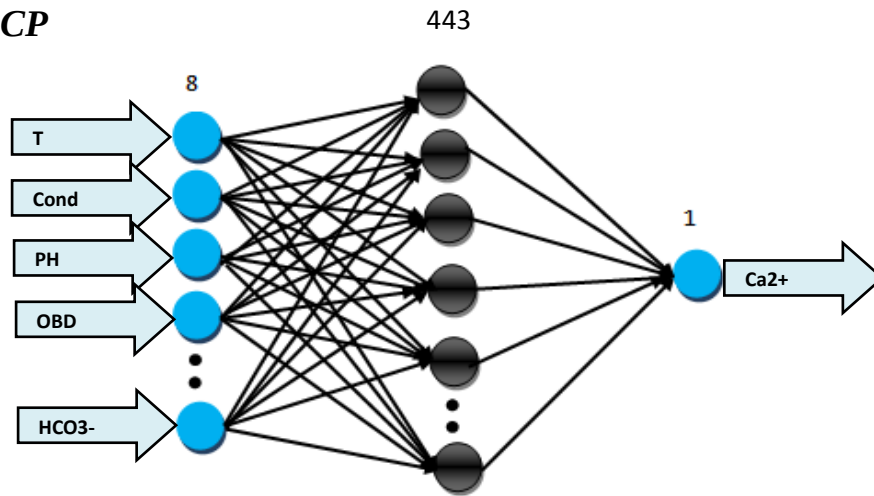
Tableau. IV.9 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Mg^{2+}) sans ACP**Figure. IV.27** Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Mg^{2+}) sans ACP

Avec ACP

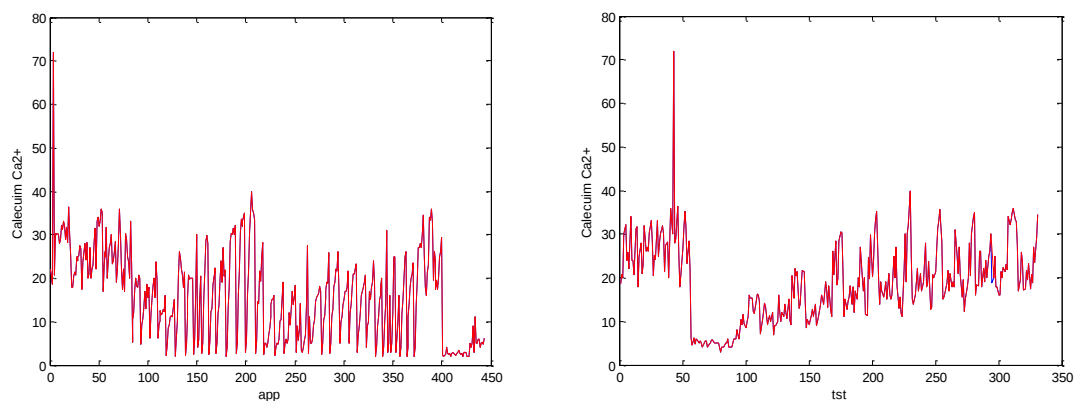
Figure. IV.28. Architecture du réseau RBF (Mg²⁺) avec ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$3.249 \cdot 10^{-28}$	$1.802 \cdot 10^{-14}$	$1.28 \cdot 10^{-14}$	1	0.237	0.487	0.026	0.935

Tableau. IV.10 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Mg²⁺) avec ACPFigure. IV.29 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Mg²⁺) avec ACP

❖ Calcium Ca_2^+ *Sans ACP***Figure. IV.30.** Architecture du réseau RBF (Ca_2^+) sans ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$3.138 \cdot 10^{-27}$	$5.60 \cdot 10^{-14}$	$3.3 \cdot 10^{-14}$	1	0.202	0.450	0.247	0.997

Tableau. IV.11 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Ca_2^+) sans ACP**Figure. IV.31** Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Ca_2^+) sans ACP

Avec ACP

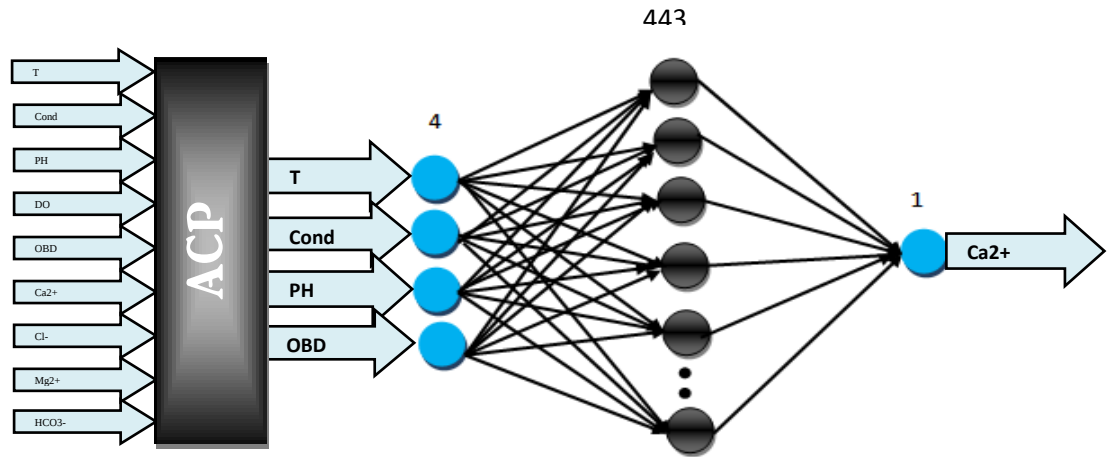


Figure. IV.32. Architecture du réseau RBF (Ca2+) avec ACP

	Apprentissage				Test			
	MSE	RMSE	EAM	R ²	MSE	RMSE	EAM	R ²
RBF	$2.98 \cdot 10^{-27}$	$5.46 \cdot 10^{-14}$	$3.721 \cdot 10^{-14}$	1	0.654	0.809	0.044	0.991

Tableau. IV.12 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (Ca2+) avec ACP

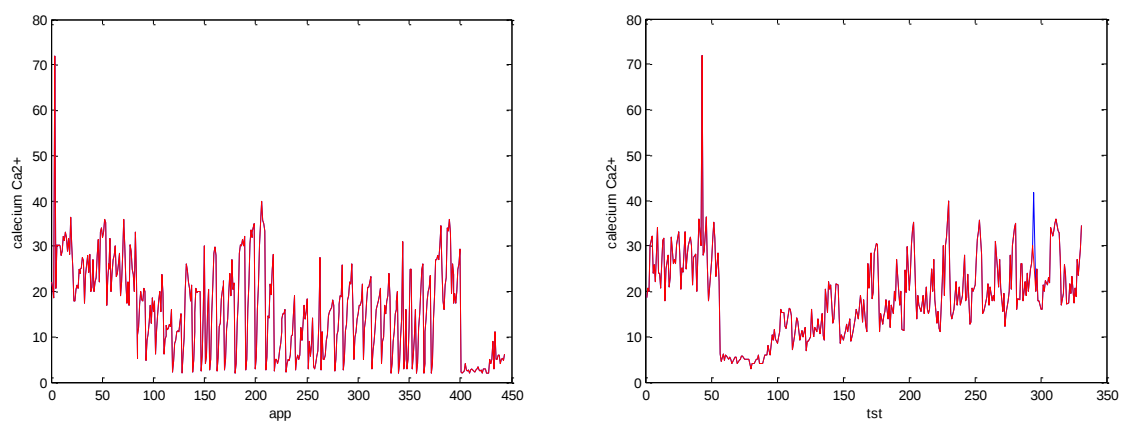


Figure. IV.33 Résultats d'apprentissage et Test de RBF (ca2+) avec ACP

5. Discussion des résultats

En effet, et d'après les résultats obtenus dans les tableaux précédents, on trouve que le coefficient de corrélation entre les valeurs estimées et réelles est tout à fait satisfaisant. Cela est exprimé par la forte valeur du coefficient de corrélation ($R^2=1$) en l'apprentissage (RBF avec ACP et sans ACP) dans chaque composant (Mg^{2+} , Cl^- , DO, Ca^{2+} et HCO_3^-). aussi obtenus des valeurs de RMSE et erreur absolue moyenne (EAM) sur l'apprentissage (RBF avec ACP) plus petit que l'apprentissage (RBF sans ACP) à l'exception de la composant de Mg^{2+} et Ca^{2+} était la valeur d'erreur absolue moyenne (EAM) de l'apprentissage (RBF avec ACP) Grande que l'apprentissage (RBF sans ACP).

Aussi obtenus des valeurs forte du coefficient de corrélation ($R^2=0.99$) en l'apprentissage (RBF avec ACP et sans ACP) dans chaque composant (Mg^{2+} , Cl^- , DO, Ca^{2+} et HCO_3^-) et des valeurs varies dans RMSE et erreur absolue moyenne (EAM)

D'après ces résultats d'analyse, il apparaît que sur le plan décisionnel, les deux modèles (RBF sans ACP et RBF avec ACP) présentent de bons résultats, Le modèle (RBF avec ACP) est plutôt mieux placé sur le plan (sur la domaine de traitement d'eau potable) :

- moindre coût
- La souplesse
- La précision de calcul

Conclusion :

Ce dernier chapitre a fait l'objet d'une étude en simulation concernant la mise en œuvre de la technique d'apprentissage statistique RBF appliquée dans le domaine de contrôle et de surveillance des eaux potables et une étude en simulation concernant la technique statistique ACP permettant de sélectionner les entrées et éliminer les informations redondantes. Cette étude a permis la validation et l'évaluation des performances de chacune des méthodes présentées. Une comparaison était effectuée entre RBF et RBF avec ACP dans le but d'une comparaison des performances. Les paramètres liés au taux de reconnaissance, au temps d'apprentissage, à l'erreur d'entraînement, ont été les facteurs pertinents qui nous ont permis d'évaluer les méthodes étudiées.

Cette étude en simulation a donc surtout permis une évaluation des performances de la technique choisie. Notre choix est bel et bien confirmé. Il justifie les critères déjà annoncé, à savoir le moindre coût, la souplesse et les performances de calcul (précision).