

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة
Année 2011

Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option: Hydrogéologie

THEME

*Evolution du chimisme des eaux du barrage Mexanna
(Nord-Est Algérien).*

Présenté par : Handouzi Mohamed Ali

Directeur de mémoire: Mr. Derradji.F

Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

DEVANT LE JURY

Président:

Examineurs:

Mr. Kherici N.

Mr. Chaffai H.

Mr. Hannouche M.

Pr. U.B.M. Annaba.

Mc A. U.B.M. Annaba.

Mc A. U.B.M. Annaba.

Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens en premier lieu à remercier Dieu qui m'a facilité le travail en mettant sur mon chemin des gens qui m'ont énormément aidé et soutenu.

J'exprime ma profonde reconnaissance à mon encadreur M. Derradji. F, pour ses conseils et l'intérêt qu'il a manifesté pendant la réalisation et la mise en forme de ce mémoire de Magister.

Mes sincères remerciements à M. Benhamza. Et M. Heni. A. pour leurs Orientations dans la partie hydrochimique.

Je remercie profondément les personnes qui m'ont été d'un énorme soutien: Madame Kadi directrice de l'laboratoire central de SEATA à Annaba, M Bouznara Noureddine directeur du barrage Mexanna, M. Abaci. A et M. Ramdani de l'ANRH d'Annaba. Je remercie également les membres du Jury qui ont accepté de lire et de juger ce travail.

Dédicace

*Dieu merci de m'avoir aidé à atteindre aujourd'hui mon but
symbolique par ce mémoire.*

Je dédie ce mémoire à la flamme de ma vie ma mère

Mes frère Yahia et Aïroï

A mes sœur Hiziya et Asma

A tout la famille

A tout mes amis de quartier et d'étude

Pour tout ceux qui j'aime et pour tout le généreux peuple

Algérien.

Mohamed Ali

Evolution du chimisme des eaux du barrage Mexanna durant la période (2002 / 2010)

Le résumé :

L' étude hydrologique et hydrochimique des eaux du bassin versant dd barrage Mexanna nous a permis d' avoir un aperçu sur l' état quantitatif et qualitatif de cette réserve. L étude hydrologique montre que La zone d' étude est caractérisée par un climat Subhumide, avec un coefficient d écoulement très forts ce qui facilite la recharge de la retenue.

L étude hydrochimique des eaux du barrage montre que les éléments chimiques trouvés n'ont pas subie une grande évolution au cours de la période d'étude et que leurs teneurs sont aux normes admissibles.

L'évolution du chimisme des eaux du barrage est saisonnière les fortes teneurs pendant la période d'été et les faibles pendant la saison de précipitation. La géologie est la source de la minéralisation des eaux.

L'étude de l'évolution des éléments polluants montre qu'il y a des excès en fer, aluminium et en nitrite.les analyses bactériologiques visualise une contamination fécale animale et humaine.

Mots clés

Barrage de Mexanna, bassin versant du barrage, la géologie, la qualité, pollution, analyse bactériologique.

تطور كيميائية مياه سد ماكسنة خلال الفترة الممتدة من 2002 إلى 2010.

الملخص:

الدراسة الهيدرولوجية و الهيدروكيميائية لمياه حوض سد ماكسنة سمح لنا بإلقاء نظرة على الحالة الكمية و النوعية للمخزون المائي لهذه الناحية. بينت الدراسة الهيدرولوجية أن هذه المنطقة تمتاز بمناخ شبه رطبة مع ارتفاع معامل السيلا ن على كل مساحة الحوض و هذا ما يسهل تعبئة السد. أما الدراسة الهيدروكيميائية لمياه السد فقد بينت بأنها في حالة جيدة من حيث النوعية على الأقل في الوقت الحالي بسبب انحصار تركيز العناصر الكيميائية في الحدود المقبولة . تتغير كيميائية المياه بتغير الفصول حيث تزداد في فصل الجفاف و تنخفض في فصل التساقط. كما تعتبر الجيولوجيا المصدر الأساسي للعناصر الكيميائية الموجودة في مياه السد.

إن دراسة العناصر الملوثة تؤكد وجود الحديد و الألمنيوم و النتريت بكميات زائدة عن القيم الدولية بالإضافة إلى أن التحليل البكتيريولوجي بين تلوث مياه السد بالمواد البرازية الناتجة عن الحياة الموجودة في أعلى الحوض .

كلمات مفتاحيه :

سد ماكسنة، حوض السد، الجيولوجيا، التلوث، تحليل البكتيريولوجي، النوعية.

Evolution of the chemistry of the waters of Mexanna dam during (2010/2011).

Abstract:

The hydrological and hydrochemical study about the water of Mexanna dam catchment area allowed to insight on the quantity and quality of this reserve.

Hydrological study shows that the study area is characterized by a sub humid climate with a very high flow coefficient witch facilitates the recharge of the reservoir.

The hydrochemical study of the waters of the dam shows that chemicals found not suffered great evolution during the study period and that their content standards are eligible.

The evolution of chemistry of waters dam is seasonal, high levels during the low water and low levels during the rainfall season. Geology is the source of the mineralization of the dam waters.

The study of the evolution pollutants shows that there an excess of iron, aluminum and nitrite. The bacteriological analysis displays an animal and human fecal contamination.

Keywords:

Mexanna dam, the dam catchment area, geology, quality, pollution, bacteriological analysis.

Liste des acronymes

ABH : Agences des bassins hydrographiques.

ADE : Algérienne des eaux

ANB : Agence nationale des barrages

ANBT : Agence nationale des barrages et de transfert.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

IRD : Institut des recherches en développement.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ORSTOM : Office des recherches scientifiques et technologiques d'outre mer.

CIUG : conseil international de l'union géographique.

DEMRH : direction des études des milieux et de la recherche hydraulique.

DHW : direction de l'hydraulique de la wilaya.

ONM : office national météorologique.

SEATA: Société des eaux et d'assainissement Tarf Annaba.

Liste des Figures.

Fig (1). Situation de la retenue Mexanna par photo satellite.....	3
Fig (2). Situation géographique de la retenue Mexanna	4
Fig (3). Digue, tour de prise et évacuateur de crue de la retenue Mexanna.....	6
Fig (4). Courbe hypsométrique et diagramme altimétrique du bassin versant de la retenue Mexanna.....	9
Fig (5). Carte des pentes du bassin versant du la retenue Mexanna.....	11
Fig (6). Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la retenue Mexanna.....	13
Fig(7). Carte du la couverture végétale du bassin versant de la retenue Mexanna.....	15
Fig (8). Extrait de la carte géologique et structurale de la chaine alpine de l'Algérie orientale (J.M.Villa 1978).....	24
Fig (9). Coupe géologique dans la rive droite du la cuvette du barrage Mexanna.....	26
Fig (10). Coupe géologique dans l'axe du barrage Mexanna.....	28
Fig (11). Variation mensuelle des précipitations a la station d'Ain Assel (1979/2009).....	31
Fig (12). Variations mensuelle des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009).....	31
Fig (13). Répartition saisonnière des précipitations à la station de Ain Assel (1979/2009).....	32
Fig (14). Répartition saisonnière des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009)....	33
Fig (15). Variation interannuelle des précipitations à la station de Ain Assel (1979/2009).....	34
Fig (16). Variation interannuelle des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009)....	34
Fig (17). Répartition mensuelle de la température à la station d'El Kala (1984/2005).....	37
Fig (18). Diagramme Ombrothermique station d'Ain Assel.....	38
Fig (19). Diagramme Ombrothermique station de Roum E l Souk.....	38
Fig (20). Diagramme bioclimatique (climagramme d'Emberger).....	40
Fig (21). Représentation graphique de bilan hydrique (Thorntwaite) à la station de Ain Assel.....	45
Fig (22). Représentation graphique de bilan hydrique (Thorntwaite) à la station de Roum El souk.....	45
Fig (23). Variations mensuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage de Ain Assel (1946-47/1977-78).....	48
Fig (24). Variations annuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station d'Ain Assel (1946-47/1977-78).....	49

Fig (25). Crues maximums instantanées de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage d'Ain Assel (par Hydrotechnic corporation).....	51
Fig (26). Hydrogramme unitaire correspondant à une pluie efficace de 1 mm de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage de Ain Assel (par la DEMRH).....	53
Fig (27). Hydrogrammes des crues maximums de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage de Ain Assel.....	54
Fig (28). Détermination du faciès chimique des eaux du barrage Mexanna de l'année 2002 par le diagramme de Stif.....	58
Fig (29). Représentation des analyses chimiques des eaux du barrage Mexanna à l'année 2002 par le diagramme de Piper.....	59
Fig (30). Diagramme de Richards pour les eaux du barrage Mexanna à l'année 2002.....	60
Fig (31). Evolution annuelle du pH des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	62
Fig (32). Evolution annuelle de la température des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	64
Fig (33). Evolution annuelle de la conductivité électrique des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	66
Fig (34). Evolution annuelle de la turbidité des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	68
Fig (35). Evolution annuelle de résidu sec des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	70
Fig (36). Evolution annuelle du titre alcalimétrique complet (TAC) et la dureté totale (TH) des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	73
Fig (37). Evolution des éléments majeurs des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois de (2002 / 2010).....	76
Fig (38). Evolution annuelle du fer et d'aluminium des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	79
Fig(39). Cycle d'azote.....	80
Fig (40). Evolution annuelle d'ammonium, Nitrite et d'orthophosphate des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	83
Fig (41). Evolution annuelle des Nitrate des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002 / 2010).....	84
Fig (42). Evolutions de la teneur en coliformes totaux des eaux du barrage Mexanna de (2002 / 2010).....	86

Fig (43). Evolutions de la teneur en coliformes fécaux des eaux du barrage Mexanna de (2002 / 2010).....	87
Fig (44). Evolutions de la teneur en des streptocoques fécaux des eaux du barrage Mexanna de (2002 / 2010).....	88
Fig (45). Evolutions de la teneur en Clostridiiums sulfito réducteurs des eaux du barrage Mexanna de (2002 / 2010).....	89
Fig (46). Evolutions de la teneur en germes totaux des eaux du barrage Mexanna de (2002 / 2010).....	89
Fig (47). Cercle et plan F1F2 d'ACP des éléments physico-chimiques des eaux du barrage Mexanna.....	94
Fig (48). Cercle et plan F1F3 de l'ACP des éléments physico-chimiques des eaux du barrage Mexanna.....	96
Fig (49). Cercle et plan F1F2 d'ACP des éléments bactériologiques des eaux du barrage Mexanna.....	99

Liste des tableaux

Tab (1). Caractéristiques techniques de l'ouvrage.....	6
Tab (2). Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitudes dans le bassin versant du barrage Mexanna.....	8
Tab (3). Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques du bassin versant de la retenue Mexanna.....	12
Tab (4). Colonne stratigraphiques de la région d'El Tarf (d'après Tchoulanov 1980).....	19
Tab (5). Les coordonnées des stations pluviométriques.....	29
Tab (6). Humidité relative moyenne mensuelle à la station d'El Kala (1983/2005).....	30
Tab (7). Variation mensuelle de la vitesse des vents à la station d'El Kala (1984/2005).....	30
Tab (8). Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ain Assel (1979/2009).....	33
Tab (9). Précipitations moyennes mensuelles à la station de Roum El Souk (1979/2009).....	32
Tab (10). Répartition saisonnière des précipitations à la station de Ain Assel (1979/2009).....	32
Tab (11). Répartition saisonnière des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009)...	33
Tab (12). Coefficient pluviométrique de Ain Assel.....	35
Tab (13). Coefficient pluviométrique de Roum El Souk.....	36
Tab (14). Température moyennes mensuelles à la station d'El Kala (1984/2005).....	36
Tab (15). Calcul du quotient pluviométrique d'Emberger.....	39
Tab (16). Estimation de ruissellement par la formule de Texeront Berkaloff.....	43
Tab (17). Estimation de l'infiltration.....	43
Tab (18). Bilan hydrique selon Thornthwaite, Station de Ain Assel (1979-2009).....	44
Tab (19). Bilan hydrique selon Thornthwaite, Station de Roum El Souk (1979-2009).....	44
Tab (20). Tableau récapitulatif des résultats des bilans hydriques des deux stations.....	46
Tab (21). Coordonnées de la station de jaugeage d'Ain Assel (oued Kebir Est).....	47
Tab (22). Variation mensuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station d'Ain Assel (1946-47 à 1977-78).....	47
Tab (23). Variation annuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station de Ain Assel (1946-47/1977-78).....	48

Tab (24). Pluie maximum de 24 heures de différentes fréquences sur le bassin versant du barrage Mexanna (par la DEMRH).....	49
Tab (25). Paramètres de base de l'hydrogramme unitaires pour une pluie efficace de 1 mm déduits des crues enregistrés à la station hydrométrique de Ain Assel (par la DEMRH).....	53
Tab (26). Tableau récapitulatif déterminant les crues maxima instantanées obtenues par diverses méthodes (par Hydrotechnic Corporation 1979).....	52
Tab (27). Apports solides en suspension de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage d'Ain Assel (1947-48/1977-78).....	55
Tab (28). Formule ionique et faciès chimique des eaux du barrage Mexanna de l'année 2002.....	57
Tab (29). Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).....	61
Tab (30). Paramètres statistiques du potentiel hydrique pH.....	63
Tab (31). Paramètres statistiques de la température.....	65
Tab (32). Paramètres statistiques de la conductivité électrique des eaux du barrage Mexanna....	67
Tab (33). Paramètres statistiques de la turbidité des eaux du barrage Mexanna (2002/2001).....	68
Tab (34). Paramètres statistiques du résidu sec des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	70
Tab (35). Classification des eaux selon la dureté.....	71
Tab (36). Paramètres statistiques de la dureté totale des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	71
Tab (37). Paramètres statistiques du titre alcalimétrique complet des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	73
Tab (38). Paramètres statistiques du calcium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	74
Tab (39). Paramètres statistiques du magnésium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	74
Tab (40). Teneur en sodium et en potassium des eaux du barrage Mexanna pour l'année 2002.....	77
Tab (41). Paramètres statistiques des bicarbonates des eaux du barrage Mexanna.....	76
Tab (42). Paramètres statistiques des sulfates des eaux du barrage Mexanna.....	77
Tab (43). Paramètres statistiques du chlorure des eaux du barrage Mexanna.....	77
Tab (44). Paramètres statistiques du fer des eaux du barrage Mexanna.....	79
Tab (45). Paramètres statistiques d'aluminium des eaux du barrage Mexanna.....	79
Tab (46). Paramètres statistiques d'ammonium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	81
Tab (47). Paramètres statistiques des nitrites des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	81

Tab (48). Paramètres statistiques des nitrates des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	85
Tab (49). Paramètres statistiques des orthophosphates des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).....	85
Tab (50). Origine de la pollution fécales selon le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux (CF/SF).....	90
Tab (51). Coefficient de corrélation entre les variables (paramètres physico-chimiques).....	92
Tab (52). Valeurs propres et pourcentages cumulés des axes principaux.....	92
Tab (53). Corrélation des variables aux principaux axes.....	93
Tab (54). Coefficient de corrélation entre les variables (paramètres bactériologiques).....	97
Fig (55). Valeurs propres et pourcentages cumulés des axes principaux.....	98
Tab (56). Corrélation des variables aux principaux axes.....	98

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Situation géographique et caractéristiques techniques

1-Historique et but de l'ouvrage hydraulique de Mexanna.....	2
2-Localisation du site.....	2
3-Les caractéristiques techniques de l'ouvrage.....	3
3-1. La digue.....	4
3-2. Évacuateur de crue.....	5
3-3. Le tour de prise.....	5

Chapitre II : Les caractéristiques naturelles du bassin versant

1-Description du bassin versant.....	7
1-1 Localisation et superficie	7
1-2 Les caractéristiques Physiques.....	7
1-2.1 Les caractéristiques morphométriques du bassin versant.....	7
1-2.1.1 La superficie.....	7
1-2.1.2 La forme du bassin.....	7
1-2.1.3 Les dimensions du rectangle équivalent.....	7
1-2.1.4 La représentation des tranches d'altitude et la courbe hypsométrique.....	8
1-2.1.5 Les indices de pente et le relief.....	9
1-2.1.6 Indice de pente global (Ig).....	9
1-2.1.7 Les classes des pentes.....	10
1-2.1.8 Le temps de concentration.....	11
1-2.2 Réseau hydrographique.....	13
1-2-3 Le couvert végétal et occupation du sol.....	14
2- Les caractéristiques géologiques.....	16
2-1 La géologie régionale.....	16
2-2 la stratigraphie et la lithologie.....	17
2-2.1 Le Crétacé.....	17

2-2.1.1 Le Crétacé inférieur.....	17
2-2.1.2 Le crétacé supérieur.....	20
2-2.2 Le Paléogène.....	20
2-2.2.1 Le Paléocène.....	21
2-2-2.2 L'Eocène.....	21
2-2.2.3 L'Oligocène.....	21
2-2.3 Le Néogène.....	22
2-2.3.1 Miocène.....	22
2-2-3.2 Pontien.....	22
2-2.4 Le Quaternaire.....	22
2-3 Aperçus tectoniques et paléogéographie.....	23
2-4 La géologie locale.....	25
2-4.1 Agiles numidiennes.....	25
2-4.2 Les Grés Numidiens.....	25
2-4.3 Les colluvions.....	25
2-5 Tectonique.....	27
2-5.1 Les grabens.....	27
2-5.2 Les horsts.....	27
2-5.3 Les failles.....	27

Chapitre III : L'Hydroclimatologie

1- les stations de mesures.....	29
2- Analyses des facteurs climatiques.....	29
2-1 Brouillard.....	29
2-2 Humidité relative (HR %)......	30
2-3 Le régime des Vents.....	30
2.4 Les précipitations.....	30
2-4.1 Répartition mensuelle des précipitations.....	20
2-4.2 Répartition saisonnière des précipitations.....	32
2-4.3 Répartition inter annuelle des précipitations.....	32

2-4.4 Calcul du coefficient pluviométrique.....	35
2-5 Les températures.....	36
3- Courbe Ombrothermique.....	37
4- Type de climat.....	39
5- Le bilan hydrique.....	40
5-1 : Etude de l'évapotranspiration.....	40
5-1.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	41
5-1.2 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	42
5.2 Estimation des réserves facilement utilisables	42
5-3 Estimation de ruissellement R.....	42
5-4 Estimation de l'infiltration.....	43
5-5 Représentation graphique des bilans hydriques.....	44
Conclusion.....	46

Chapitre IV : L'Hydrologie

1-Les données hydrométriques	47
2-Etudes des apports liquides.....	47
2-1 Apports liquides moyennes mensuels	47
2-2 Apport liquides annuels.....	48
2-3 Les crues.....	49
2-3-1 pluie maximum de 24 heures.....	49
2-3-2 Débits maximum de crue.....	50
2-3-2-1 Méthodes statistiques.....	50
2-3-2-2 Méthode du diagramme unitaire.....	52
2-3-2-4 Hydrogramme de crue.....	53
3-Les apports solides.....	54
Conclusion.....	56

Chapitre V : L'Hydrochimie

1- Echantillonnages et méthodes d'analyses.....	57
2- Faciès chimique.....	57
2-1 Formule ionique.....	57
2-2 Diagramme de piper.....	59
2-3 Diagramme de Richards.....	60
3- Evolutions des paramètres physico-chimiques et organoleptiques.....	61
3-1 Les paramètres physiques.....	61
3-1.1 Le pH.....	61
3-1.2 La température.....	63
3-1.3 La conductivité.....	65
3-2 Les paramètres organoleptiques.....	67
3-2.1 La Turbidité.....	67
3-3 Les paramètres chimiques.....	69
3-3.1 Le résidu sec.....	69
3-3.2 La dureté totale (TH).....	70
3-3.3 Le titre alcalimétrique complet.....	71
3-3.4 Les éléments majeurs.....	73
3-3.4.1 Les cations.....	73
3-3.4.1.1 Le calcium.....	73
3-3.4.1.2 Le Magnésium.....	74
3-3.4.1.3 Le Sodium et le Potassium.....	74
3-3.4.2 Les anions.....	76
3-3.4.2.1 Les bicarbonates.....	76
3-3.4.2.2 Les sulfates.....	76
3-3.4.2.3 Les chlorures.....	77
4- Evolution des paramètres polluants.....	77
4-1 les métaux lourds.....	77
4-1.1 Le fer.....	77
4-1.2 L'aluminium.....	79
4-2 Les polluants organiques.....	80

4-2.1 Le cycle d'azote.....	80
4-2.1.1 L'ammonium NH_4^+	80
4-2.1.2 Les nitrites NO_2^-	81
4-2.1.3 Les nitrates NO_3^-	83
4-2.2 Les orthophosphates	85
5- Evolution des paramètres microbiologiques.....	85
5-1 Les coliformes totaux	85
5-2 Les coliformes fécaux.....	86
5-3 Les streptocoques fécaux.....	87
5-4 Les Clostridiiums sulfito-réducteurs.....	88
5-5 Les germes totaux à 37 °C	89
3.4 Origine de la contamination fécale.....	90
6- Analyse en composantes principales (ACP).....	91
6-1 Analyse en composantes principales des éléments physico-chimiques.....	91
6-1.1 Corrélation linéaire.....	91
6-1.2 Valeurs propres.....	92
6-1.3 Etude des variables.....	93
6-1.4 Représentation graphique de l'ACP des éléments physico-chimiques.....	93
6-2 Analyse en composante principale des éléments bactériologiques.....	97
6-2.1 Corrélation linéaire.....	97
6-2.2 Valeurs propres.....	98
6-2.3 Etude des variables.....	98
6-2.4 Représentation graphique de l'ACP.....	198
Conclusion.....	100
Conclusion générale.....	101

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource précieuse et convoitée. Actuellement, dans le monde, cette ressource constitue un enjeu politique et économique comparable à ce que fut le pétrole durant les trois dernières décennies. Bien que la planète possède des réserves énormes en eau, 97,5 % de ces réserves sont salées et non utilisables et seulement 2,5 % soit à peu près l'équivalent de 35 millions de km³ peuvent être utilisées. Les réserves d'eau douce sont très inégalement réparties et ne sont pas directement accessibles à toute l'humanité. On estime que, vers 2050, à peu près 7 milliards d'habitants, soit 65 % de la population mondiale, manqueront d'eau, les pays du moyen orient et de l'Afrique du nord (Algérie) sont les plus concernées.

Les apports par précipitations en Algérie sont assez faibles de l'ordre de 17 milliard m³ par an. Ces ressources (13.2 milliard m³ pour les eaux de surface et 3.6 milliard m³ pour les eaux souterraines) sont destinées à la consommation humaine, l'agriculture et l'industrie.

Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes, en plus, le taux moyen annuel de renouvellement est très lent estimé à $1.4 \cdot 10^{-4}$ se qui a fait que ces nappes se trouvent aujourd'hui déficitaires et tendent dans le proche avenir vers un épuisement total.

Cette insuffisance des eaux souterraines a obligé le gouvernement Algérien à chercher d'autre solution pour desservir de l'eau : la désalinisation des eaux de mer, le traitement des eaux usées et surtout la construction de nouveaux barrages et la réduction d'envasement des anciens.

L'Algérie possède aujourd'hui 67 barrages en service et 25 ou cour de construction. Le barrage de Mexanna construit dans la willaya d'El Tarf (Nord Est Algérien) avec une capacité de stockage de 41.5 hm³ a pour objectif le renforcement du réseau d'AEP des willayas d'El Tarf et Annaba. Cet ouvrage a rencontré des problèmes de qualité après quelque année de son inauguration en 2000. En année 2007 des odeurs désagréables accompagnant les eaux même après leurs traitements jusqu'au robinet des consommateurs à Annaba.

Dans cette études nous essayons de suivre l'évolution de la chimie des eaux du barrage depuis 2002 jusqu'en 2010 pour avoir une idée sur les causes de cette odeur. Pour voir s'il y a une pollution organique par l'étude de l'évolution des éléments nutritifs.

L'étude envisagée s'articule, autour de 5 chapitres :

Le premier chapitre : s'attache à déterminer la situation géographique de la retenue et les caractéristiques techniques de ses ouvrages.

Le deuxième chapitre : nous avons essayé d'étudier les caractéristiques morphologiques du bassin versant qui jouent un rôle important sur le comportement hydrologique (le ruissellement), et donc sur le volume d'eau stocké. En plus de décrire le contexte géologique et identifier ces formations.

Le troisième chapitre : on a détaillé les conditions climatiques qui règnent sur le bassin versant, à savoir la pluviosité et le régime thermique en se basant sur deux stations (Ain Assel et Roum El Souk). Ces facteurs influencent d'une façon directe sur l'écoulement de surface. On a établi ensuite les différents termes du bilan hydrique (infiltration, ruissellement et l'évapotranspiration réels).

Le quatrième chapitre : dans ce chapitre nous avons essayé de quantifier les apports liquides et solides régularisés par le bassin versant.

Le cinquième chapitre : partie essentielle de ce mémoire est consacré à l'étude hydrochimique. La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux représente une part importante du coût d'exploitation d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux de la retenue. L'état hydrochimique devrait permettre une meilleure compréhension des mécanismes d'évolution temporelle de différents paramètres trouvés dans l'eau. Dans ce chapitre nous montrerons l'effet de la pollution organique et leur état, pour atténuer la bonne qualité des eaux de la retenue et pour minimiser le coût de traitement.

On finit par tirer, des conclusions générales sur les différentes étapes de travail, avec quelques recommandations.

Chapitre I

Situation géographique et caractéristiques techniques

1- Historique et but de l'ouvrage hydraulique de Mexanna :

La retenue d'eau Mexanna est construite sur l'oued Kebir Est, dont est projetée pour la régularisation interannuel des eaux. Elle avait comme objective de départ l'alimentation en eau potable, Agricole et industrielle (complexe sidérurgique SIDER) des wilayas d'El Tarf et Annaba. La cote de la digue est de 85 m et la capacité de rétention est de 262 hm³. Elle aura à régulariser près de 223 Hm³/an.

Cependant les problèmes techniques rencontrés lors de la réalisation des travaux et les contraintes économiques ont réduit le budget du projet ; l'équipe technique s'est trouvée alors dans l'obligation d'abaisser la cote de la crête à 62 m pour une longueur de la digue de 600 m.

2- Localisation du site :

Construit de 1984 à 1999 et inauguré en 2000, le barrage Mexanna se situe dans la commune de Bougous willaya d'El Tarf, (près de la frontière Algéro-Tunisienne), à 8 km du chef lieu de la wilaya El Tarf, et de 71 km de la ville de Annaba en suivant la route national N°44.

Il s'agit d'un barrage en terre à noyau central imperméable de 32 m de hauteur et une capacité de rétention de 41.5 hm³. Il est destiné à l'alimentation en eau potable et irrigation des deux wilayas El Tarf et Annaba.



Fig (1) : Situation de la retenue Mexanna par photo satellite.

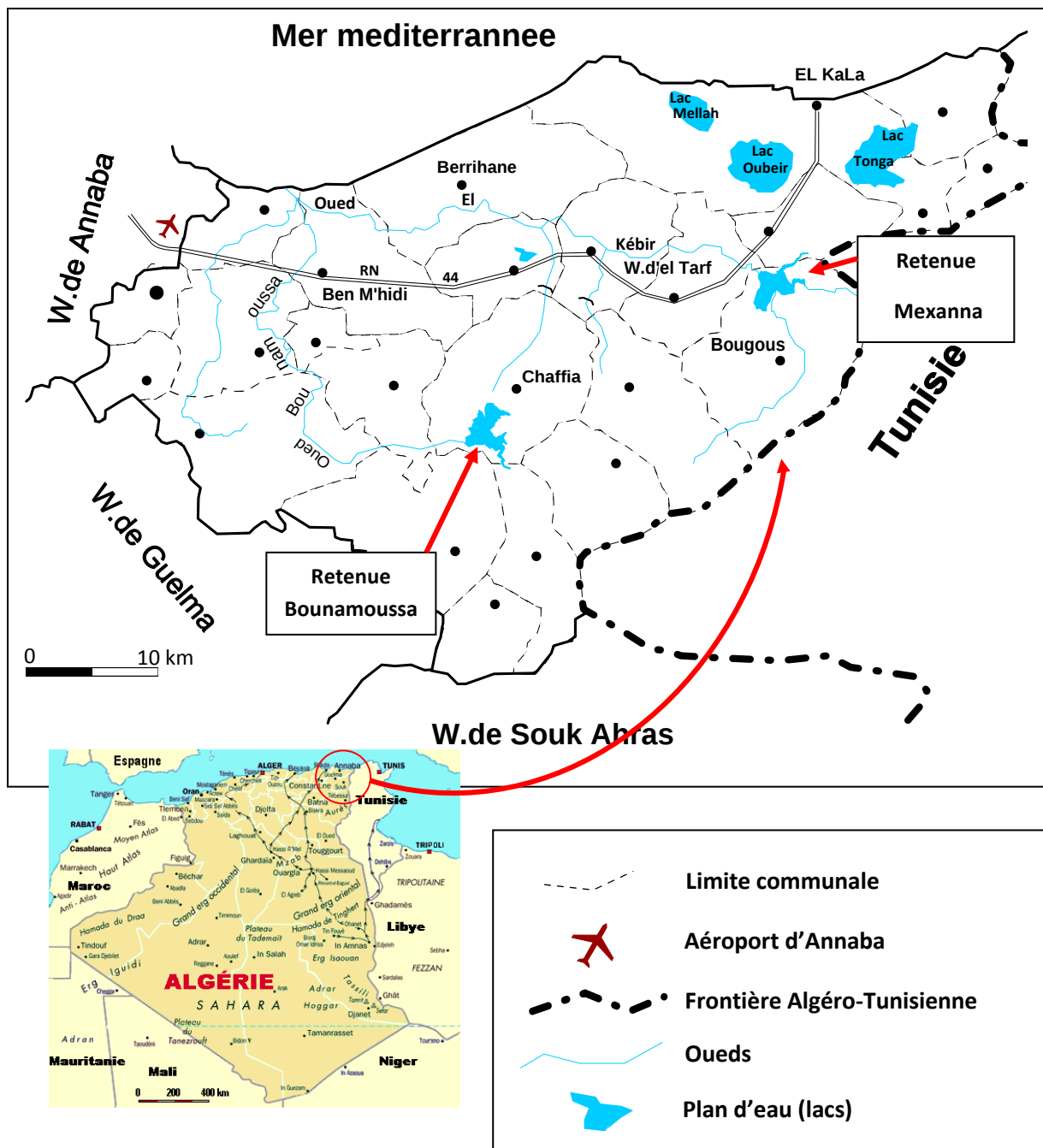


Fig (2) : situation géographique de retenue Mexanna.

3- Les caractéristiques techniques de l'ouvrage :**3-1. La digue :**

De type en terre à noyau imperméable argileux, de forme conique d'une largeur de 121 m à la base et 7 m à la crête, sa longueur est de 600 m. Elle est constituée de plusieurs corps (couches). Elle est formée de deux parties :

La première jusqu'à la cote 50 m, assure le rôle du batardeau. Elle est constituée essentiellement de trois corps :

Corps 03 : présente une couche d'enrochement d'épaisseur 10 m.

Corps 04 : présente une couche d'alluvions d'épaisseur 2 m.

Corps 05 : formé d'alluvions de perméabilité $K = 8.10^{-3}$ cm/s, ce corps présente une zone de filtration critique.

La seconde partie surmontant la précédente jusqu'à la cote 62 m formée essentiellement des corps suivants :

Corps 10 : formé d'alluvions de perméabilité moyenne $K = 5.10^{-6}$ cm/s.

Corps 07 : des alluvions de perméabilité $K = 4.10^{-5}$ cm/s.

Corps 06 : formé de remblais d'argile de cote 25 m et de perméabilité $K = 4.10^{-9}$ cm/s.

Corps 11 : c'est un filtre d'épaisseur de 1 m, situé à la cote 45 m. il joue le même rôle que le batardeau en protégeant le talus aval de digue.

Corps 12 : c'est la recharge d'enrochement gréseux situé à la cote 45 m. elle est prévue pour l'augmentation de la stabilité du talus et agit en contre poids.

La digue est contrôlée par un système piézométrique destiné à mesurer la pression d'eau dans certains points du corps de la digue.

3-2. Évacuateur de crue :

Pour évacuer le trop plein du lac de la retenue en périodes de crues, il est dimensionné pour évacuer une crue de fréquence de 0.01% c.-à-d $1250 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'évacuateur de la retenue de Mexa constitué en béton armé est situé à rive droite du corps de la digue. Il attire l'eau à une cote maximale de 52 m.

3-3. Le tour de prise :

La destination des ouvrages de prise d'eau est d'assurer le transport de l'eau de la retenue vers le système d'AEP.

Le tour de prise de la retenue Mexanna est de type classique vertical construit en béton. Il est de forme cylindrique d'un rayon intérieur de 11 m et une hauteur de 37 m

Cet ouvrage placé sur la rive droite assure en moyenne la prise de $Q=80.000 \text{ m}^3/\text{jour}$ de la retenue et la transfère vers la station de traitement.

Caractéristiques	Données techniques	Caractéristiques	Données techniques
Cote du terrain au fond de l'oued.	30.0 m	Talus aval	1 :1.8
Cote de la fondation.	20.0 m	Longueur de la crête	402 m
Cote de la retenue normale RN	55.0 m	Largeur de la crête	7 m
Cote de la crête	62.0 m	Volume de remblai pour	
Hauteur de la digue à partir de terrain	30.0 m	achèvement de la digue	372000 m ³
Hauteur de la digue à partir de fondation	42.0 m	Alluvion de G ₂	224000 m ³
Volume utile	41.0 hm ³	Filtre	25000 m ³
Volume total	51.5 hm ³	Enrochement	4000 m ³
Volume régularisé	72.0 hm ³	Rechargement	107000 m ³
Talus amont	1 :2 ; 1 : 2.4	Rip Rap	12000 m ³

Tab (1) : caractéristiques techniques de la digue.



Fig (3) : Digue, tour de prise et évacuateur de crue de la retenue Mexanna.

Chapitre II

Les caractéristiques naturelles du bassin versant

1- Description du bassin versant :**1-1 Localisation et superficie :**

Le bassin versant du barrage Mexanna est l'un des sous bassin versant d'oued El Kebir Est, partie amont. Ce dernier fait partie du bassin de l'oued Mafragh (bassin côtier constantinois n° 3 d'après les cahiers de l'ABH).

Le bassin est inscrit dans le territoire des communes Bougous, Ain Assel et Roum El Souk à la Willaya d'El Tarf, et une partie dans le territoire Tunisien.

1-2 Les caractéristiques Physiques :**1-2.1 Les caractéristiques morphométriques du bassin versant :****1-2.1.1 La superficie :**

La superficie est une caractéristique physique importante dans l'étude d'un bassin versant. Avec une superficie planimétrie de 668 Km² Selon les données de l'ANBT, le bassin versant du barrage Mexanna est délimité par une ligne de partage des eaux de 121 Km, étant le périmètre du bassin.

1-2.1.2 La forme du bassin :

Cet élément peut être caractérisé par l'indice de compacité de **Gravelius Kc**, ayant une influence certaine sur l'écoulement. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, ou un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

La forme est exprimée par l'indice de compacité qui correspond au rapport du périmètre P du bassin et sa surface A.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1.31$$

Kc : indice de compacité de Gravelius.

P : périmètre (Km).

A : superficie (Km²).

Pour le bassin versant du barrage Mexanna, l'indice Kc a été estimé à 1.34, traduisant une forme allongée du bassin et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent le confirment (42.9 et 18.5 Km).

1-2.1.3 Les dimensions du rectangle équivalent :

Cette notion introduite par **L.Roche** en 1963, permet la comparaison des bassins versants entre eux, quand à l'influence de leurs caractéristiques physiques sur l'écoulement globale.

Quand l'indice de compacité est supérieur à 1.12, les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues à l'aide des relations suivantes :

$$L_e = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1.128}{K_c} \right]^2} \right]$$

$$l = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{1.128}{K_c} \right]^2} \right]$$

Avec :

L_e : longueur du rectangle équivalent (Km).

L : largeur du rectangle équivalent (Km).

K_c : indice de compacité.

A : superficie du bassin versant (Km^2).

Nous obtenons :

$$L_e = 45.27 \text{ Km}$$

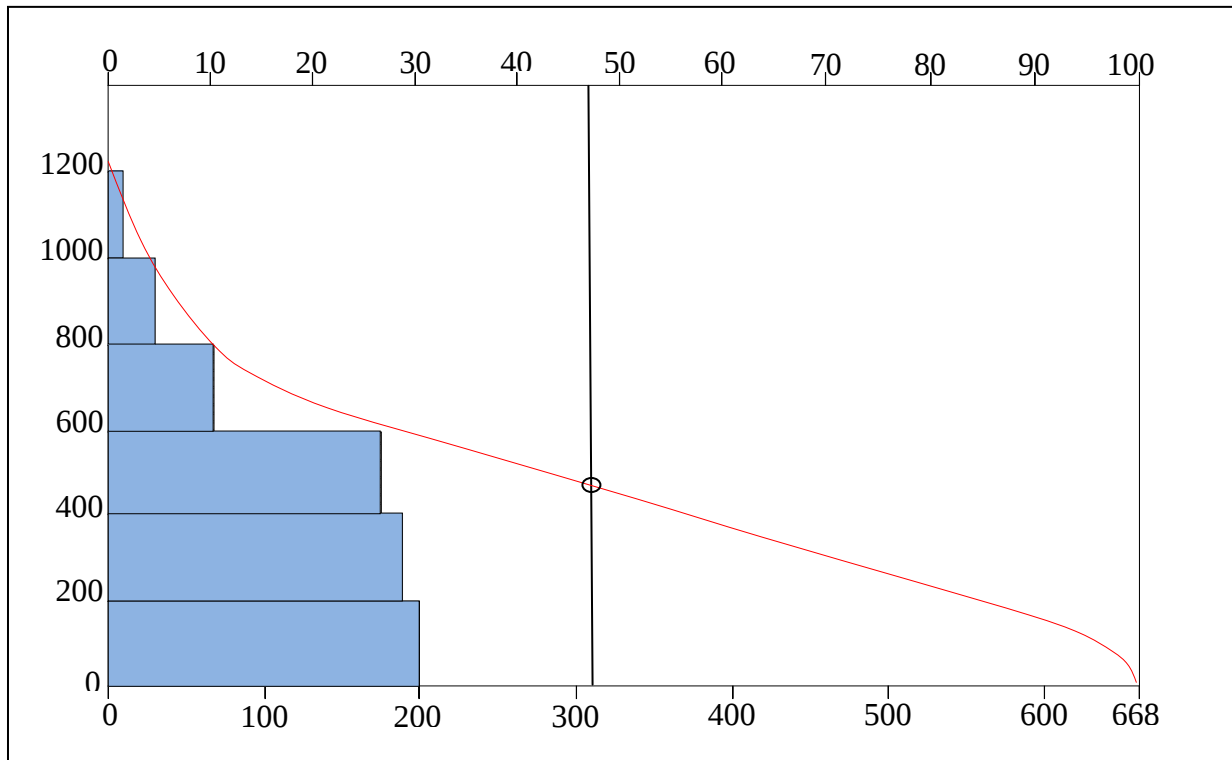
$$l = 14.75 \text{ Km.}$$

1-2.1.4 La représentation des tranches d'altitude et la courbe hypsométrique :

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude de relief. Elle met en évidence le profil type de bassin et les pentes ; facteur déterminant de l'écoulement. il devient donc impératif d'étudier la répartition de la superficie de bassin par tranche d'altitude.

Tranches d'altitude	Altitude Moyenne h_i	Superficie partielle a_i		Superficie Cumulée $\sum a_i$		$a_i h_i$
m	m	Km^2	%	Km^2	%	m. Km^2
20-200	100	201.6	30.17	201.6	30.17	20160
200-400	300	191.8	28.71	393.4	58.88	57540
400-600	500	182.4	27.30	575.8	86.18	29200
600-800	700	56.8	8.50	632.6	94.68	41160
800-1000	900	27	4.04	659.6	98.72	26100
1000-1200	1100	8.4	1.25	668.0	99.97	10340
Total		668.0	99.97			248400

Tab (2) : Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitudes dans le bassin versant du barrage Mexanna.



Fig(3) : Courbe hypsométrique et diagramme altimétrique du bassin versant du barrage Mexanna.

La courbe hypsométrique Fig(3) est le résultat des données du tableau (2). L'altitude moyenne du bassin est de l'ordre de 365.29 m, l'altitude médiane correspondant à 50% de la surface totale est de l'ordre de 420 m, mais la répartition par tranches d'altitude de la surface est plus significative, elle est représentée par le diagramme des fréquences altimétriques.

Il s'avère que les altitudes supérieures à 1000 m sont de faible étendue et ne représentent que 1.39% de la surface total du bassin, correspondant à des massifs montagneux, dont les plus importantes : djebel Rhorra (1202 m) situé à la limite sud du bassin, djebel Dir (1041 m), djebel Oum Eddiss (1150 m).

Les altitudes inférieures à 400 m occupent la majorité de la surface du bassin, les pourcentages respectifs 30.09% et 28.48% pour les altitudes comprises entre (20-200 m) et (200-400 m).

1-2.1.5 Les indices de pente et le relief :

Ces indices permettent de caractériser les pentes d'un bassin versant et d'établir une classification des différents reliefs pour faire ensuite la comparaison entre les différents bassins. L'appréhension du relief peut être faite à l'aide d'au moins deux indices.

1-2.1.6 Indice de pente global (Ig) :

Cet indice présent l'avantage d'être très simple est facile à calculer. L'indice de pente globale I_g , exprimé en m/Km, est donné par le rapport de la dénivelée utile (D en m) estimé à partir de la courbe hypsométrique, à la longueur du rectangle équivalent L_e en (Km), d'ou

$$I_g = \frac{D}{L_e}$$

La dénivelée utile (D) est estimée à partir de la courbe hypsométrique par la différence des altitudes correspondant à 5% et 95% de la superficie totale du bassin étudié; altitudes dénotées respectivement, par $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$. Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes.

L'indice de pente globale I_g est estimé à 16.35 Km/m, cela implique que le relief du bassin du barrage Mexanna est moyen Selon la classification d'**ORSTOM** actuellement L'**IRD** ($20 > I_g > 10$).

Mais pour classer le relief du bassin du barrage de Mexanna, il semble plus faible de se baser sur la dénivelée spécifique (D_s) au lieu de l'indice de pente global (I_g), car se dernier ne peut être signifiant qu'en cas des bassins de moins de 25 Km² de superficie.

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A}$$

La dénivelée spécifique (D_s) estimé par 468.06 m traduit bien l'importance de volume montagneux, et de même les importantes dénivelées, et donne au relief du bassin du barrage Mexanna la qualification de relief fort ($250 < D_s < 500$ m selon la classification d'**ORSTOM**). Ce relief fort est un élément déterminant la réaction du bassin vis-à-vis les pluies.

1-2.1.7 Les classes des pentes :

La pente topographiquement exprime l'inclinaison des versant par rapport à l'horizontal. C'est un facteur essentiel de l'écoulement de surface, car en effet ce dernier a tendance à avoir plus d'énergie cinétique et vive en présence de fortes pentes et dénivelées. Et par conséquent, elle assure une réponse hydrologique rapide et une dynamique érosive agressive.

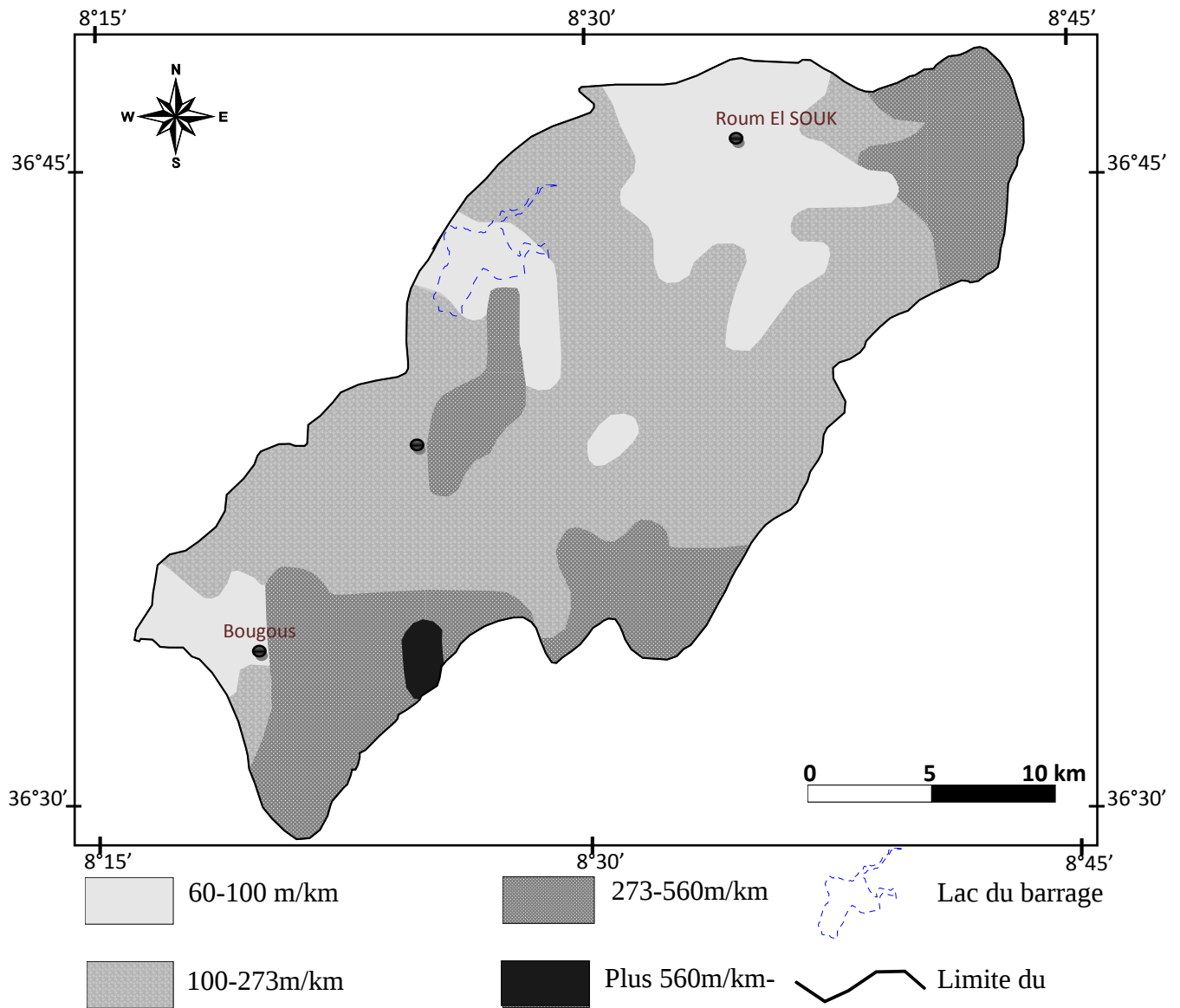
Dans le bassin de barrage Mexanna on a pu faire ressortir quatre classes de pente Fig(2) qui s'identifiés avec la classification de **CIUG**.

● Les pentes légèrement inclinées (60-100 m/km) :

Elles occupent la majorité de la superficie de la commune de Roum El Souk ou nord du bassin versant. Coïncident aussi avec la surface de la cuvette du la retenue en aval du bassin, c'est une zone de réception et de cumul hydrologique.

● Les pentes fortement inclinées (100-273 m/km) :

Les plus fréquentes occupent plus de la moitié de la superficie du bassin, elle se localise dans la partie méridionale et ou nord est du bassin versant.



Fig(4) : Carte des pentes du bassin versant du barrage Mexanna.

● **Les pentes raides à très raides (273-500 m/km) :**

Se localisent ou sud a Djebel Sra, et ou nord est du bassin à Kef Sidi Abdallah.

● **Les pentes très fortes (plus de 560 m/km) :**

Ces pentes dépassent 700 m/km, se situent ou sud du bassin a Djebel Rhorra (1203 m).

1-2.1.8 Le temps de concentration :

C'est le temps mis par la dernière goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.

Ce paramètre exprimé dans ce cas en heurs ; peut être estimé par la formule de **Giandotti**, applicable pour les bassins étendues à pente plus ou mois uniforme :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

T_c : temps de concentration en h.

A : superficie du bassin en Km^2 .

L_p : longueur de thalweg principal en Km.

H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant en m.

H_{min} : altitude minimal du bassin versant en m.

On remarque que le temps de concentration est d'autant plus élevé que l'allongement du bassin est marqué. La lithologie et le couvert végétal influent également sur le temps concentration en jouant le rôle d'entrave réduisant le ruissellement.

Paramètres	Symboles	Unités	Bassin versant Mexanna
Superficie	A	Km^2	668
Périmètre	P	Km	124
Indice de compacité	K_c		1.34
Altitude moyenne	H_{moy}	m	365.59
Altitude médiane	$H_{50\%}$	m	420
Altitude maximal	H_{max}	m	1202
Altitude minimal	H_{min}	m	31
Indice de pente globale	I_g	Km/m	18.11
Classe de relief	R	Km/m	Fort
Dénivelée spécifique	D_s	m	468.06
Longueur de rectangle équivalent	L_e	Km	45.27
Largeur de rectangle équivalent	L	Km	14.75
Longueur de thalweg principal	L_p	Km	47
Densité de drainage	D_d	Km^2/Km	3.0
Temps de concentration.	T_c	Heur	8.91

Tab (3) : Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques du bassin versant de la retenue Mexanna.

1-2.2 Réseau hydrographique :

Le bassin versant de l'oued Kebir Est du nom du l'oued, résulte de la conjonction de deux affluents l'oued Ballota et l'oued Bougous Fig (5) drainant une superficie de 668 km². La confluence forme l'oued Kebir Est en amont de la gorge Mexanna. A ce point fut entrepris en 1984 le projet de construction de la retenue d'eau de Mexanna par l'ANB.

L'oued Ballota prend naissance au sud est du bassin dans les monts de djebel Sra à 942 m d'altitude et Bessouagui 835 m à l'est de djebel Rhedir à 713 m et djebel Adissa à 880 m. toutes ces montagnes présentent une formation géologique d'argile et du grès numidien. L'oued Ballota s'achemine dans ces formations imperméables ou le débit s'achemine vers l'exutoire sans pertes d'eau par infiltration le long de son parcours. L'oued ballota reçoit quelque affluents tels que oued El Mellah, oued Seloul et en fin oued Maouche.

Oued Bougous prend source au sud de djebel Oum Driss a une altitude de 1150 m, ou sud ouest de djebel Dhir 1041 m et a l'est par djebel Rhorra à 1202 m.

Le long de son parcours l'oued Bougous reçoit un affluent important L'oued Berla et divers chenaux. Les formations géologiques que travers l'oued est identique à celle de l'oued Ballota marqué par le complexe argilo gréseux du numidien.

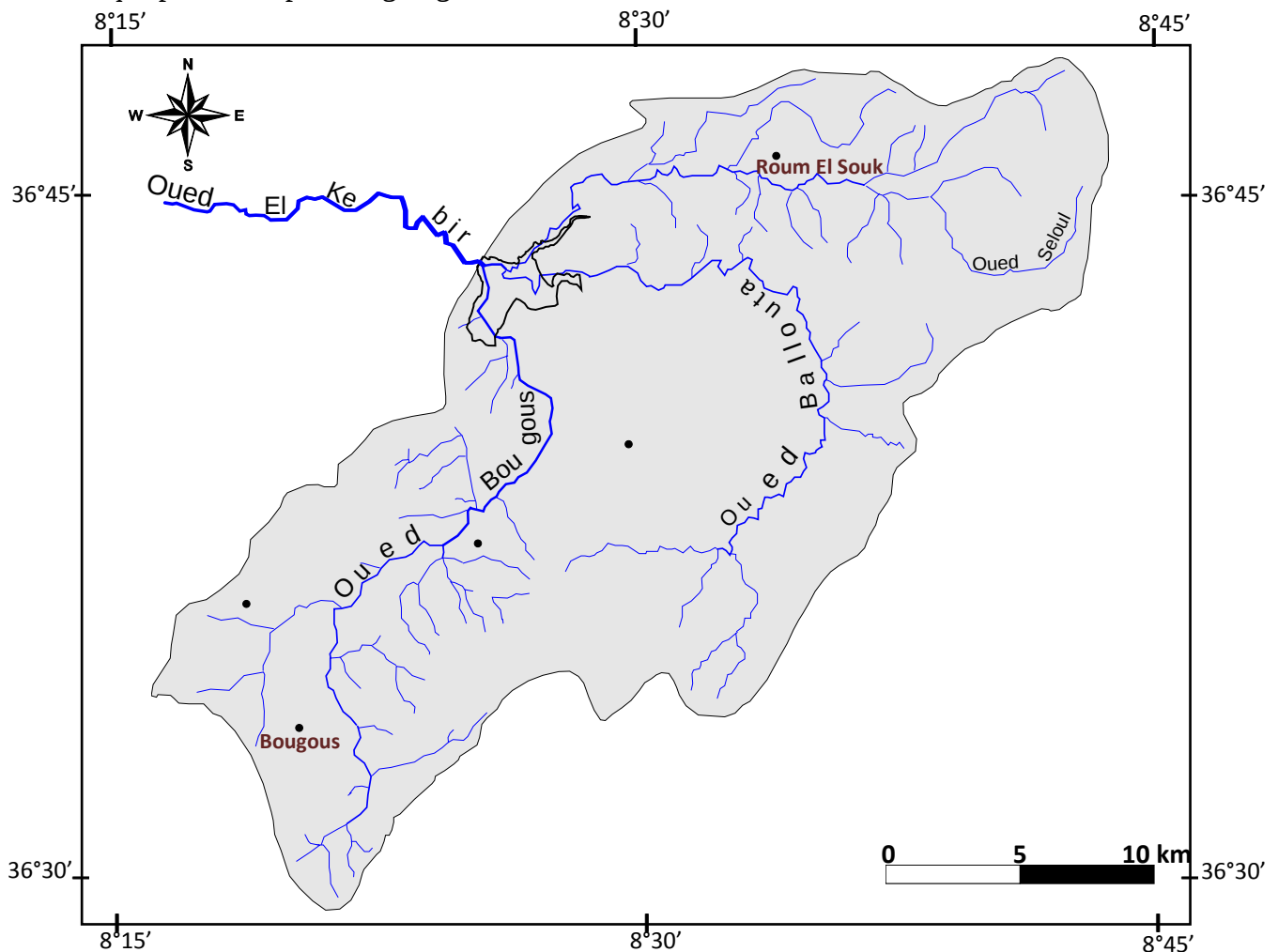


Fig (5) : carte réseau hydrographique du bassin versant de la retenue Mexanna.

1-2-3 Le couvert végétal et occupation du sol :**L'étude des sols :**

La répartition spatiale des sols dépend étroitement d'un certain nombre de facteurs, notamment le climat, la roche mère, la topographie et la végétation.

Parmi ces facteurs le climat revêt une importance capitale quant aux processus pédogénétiques. Son influence est mécanique et chimique. En effet conditionnant les précipitations, les écarts thermiques et la couverture végétale il détermine le degré d'altération de la roche mère dont est issue la partie minérale du sol et ses propriétés mécaniques chimiques.

Les principales unités pédologiques du bassin versant du barrage de Mexanna sont :

- Sol compact : caractérisé par les argiles imperméables sur le versant et les monts.ils sont le siège de formation des forêts.
- Sol meuble : caractérisé par les dépôts alluviaux récents (quaternaires), qui sont le siège de tous types de cultures maraichères.

Le couvert végétal :

Le développement de la couverture végétales dépend de la combinaison physico-géologique, tels que le climat, le relief, lithologie et l'action humaine qui s'impose par la mise en culture et le reboisement. Le bassin versant de la retenue de Mexanna est boisé presque en totalité se qui influe sur les quantités d'eau disponible pour l'écoulement de surface. Pour cela il est nécessaire de connaître les différents types de végétaux, ainsi que leurs répartitions.

Le bassin du barrage Mexa présente trois types de végétation :

- **Les forêts :**

D'après la carte de la répartition de la couverture végétale Fig (6) les forêts occupent la majeure superficie du bassin versant (plus de 78 %). Elles sont représentées par une série de chêne liège et de chêne zéen qui s'étalent sur tout le bassin versant. Une série d'oléolentisque, qui est une végétation comme étant des petits arbustes caractérisés essentiellement par des oliviers naturels non greffé. En plus des eucalyptus et chêne kermès.

- **Les maquis de types méditerranéen :**

N'occupent pas une grande étendue, se sont des arbustes qui jouent le même rôle que les forêts

- **Les cultures :**

Se sont des jardins de maraichers et les champs de tabacs. Les cultures des céréales ont moins d'intérêt dans cette zone (Roum El Souk, et Sidi Trad).

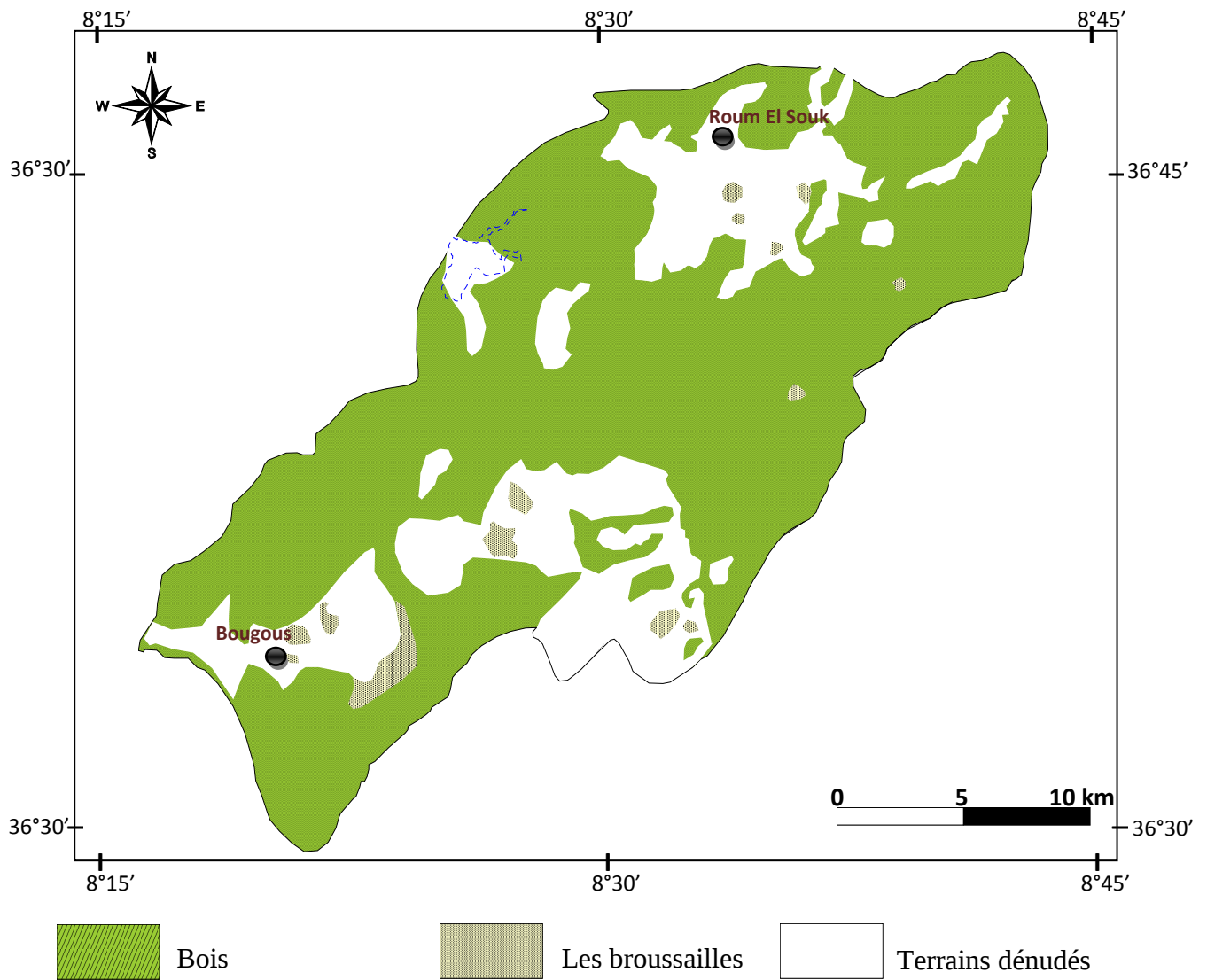


Fig (6) : carte de l'occupation du sol du bassin versant de la retenue Mexanna.

2- Les caractéristiques géologiques :

L'étude géologique de la région a été réalisée par **Joleaud** (1936), **D.Delga** (1969) et **J.M.Vila** (1979). Elle fait partie de l'ensemble géologique de Tell-Algérien nord-oriental qui s'étend de la région du Constantinois à la frontière Algéro-Tunisienne. Elle est composée de formations sédimentaires d'âge allant du Trias au quaternaire.

L'essentiel de formations géologiques qui affleurent dans la région d'El Kala, est représenté par les nappes telliennes d'origine externes (méridionales). Ces nappes correspondent à des masses gigantesques de terrain charrier du nord vers le sud. Ces nappes sont tectoniquement superposées les une sur les autres, par l'intermédiaire des contacts anormaux (faille plates). Il s'agit de la nappe numidienne, les flyschs crétacés et des unités telliennes. Toutes ces unités consistent en alternances de terrains variés et d'origines divers. Du fait de déplacement de ces masses de terrains, parfois sur de très grandes distances (des dizaines de kilomètres), les formations qui les constituent, sont complètement disloquées et dilacérées d'où leur grande complexité tectonique. L'exemple nous est donné ici par le site du barrage de Mexanna dont l'emplacement est prévu sur des affleurements de flyschs numidiens.

2-1 La géologie régionale :

La région est constituée de trois complexes tectoniques indépendant : complexe des roches crétacées, la série numidienne et la série miocène. Ces complexes sont partiellement recouvert par le quaternaire.

 Le complexe des roches du crétacé :

Le périmètre d'étude est formé par des zones structuro-formationnelles de l'atlas tellien.

Les dépôts du crétacé inférieur (Aptien-Cénomaniens) ne sont pas assez répandus. Ils affleurent au sud de Ain El Kerma.

En ce qui concerne les faciès telliens, par analogie avec les régions adjacentes de l'ouest (D.Delga (1969) et J.M.Vila 1979), on distingue les complexes allochtones telliens et le flysch à micro-brèche.

Le complexe de tellien occupe l'intervalle stratigraphique à partir de l'Hauteriviens jusqu'à l'Aptien. Celui du flysch à micro brèche correspond aux étages Campaniens et Maestrichtien du Crétacé supérieur et au Paléocène, aussi bien qu'à l'Yprésien et Lutétien de l'Eocène.

 Série numidienne :

Elle comporte les dépôts de l'Eocène supérieure (Priabonien) et les dépôts d'âges Oligocène grés-argileux, cette série est formée au cours du stade récent de l'orogénèse et ensuite lors du processus de plissement et elle a été charriée en forme de nappe sur les roches plus anciennes.

● **Série Miocène :**

Il s'agit des dépôts argilo- conglomératiques représentant sous forme de molasse type. Selon les indices génétiques, on y note les dépôts : marin, lacustres-marécageux, alluviaux, déluviaux et éolien, ainsi des dépôts meubles d'origine mixte.

2-2 la stratigraphie et la lithologie :

Les formations rencontrées dans cette région sont d'âge : Crétacé, Paléogène, Néogène et quaternaire.

II-2.1 Le Crétacé :

Les terrains d'âge crétacé ne sont pas assez répandus. Ils s'observent dans les fenêtres d'érosion au sein de la nappe numidienne allochtone.

La structure tectonique complexe de toute la série de dépôts crétacés placés sous la nappe numidienne, ne permet pas d'étudier la série tout entière. Néanmoins, on y distingue nettement deux parties : inférieure et supérieure

2-2.1.1 Le Crétacé inférieur :

Il est subdivisé en quatre étages :

a- L'Hauterivien :

Les dépôts de cet étage représentent les formations les plus anciennes du Crétacé inférieur. Ils sont en contact normal (stratigraphie) avec les roches sus-jacentes du Barrémien.

Cet étage affleure que par ses parties supérieures. Selon la coupe stratigraphique établie par Tchoulanov, on distingue nettement les faisceaux suivants de bas en haut :

- Inter-stratification fréquente d'argile finement litées (3 à 30 cm) et calcaires grès verts (0.5 à 2.5 cm).
- Argiles foncées, finement litées (10 à 30 cm) se transforment en marne au toit de la couche. Elles sont intercalées de calcaire clair faiblement dolomitisé (10 à 30 cm).
- Alternance de calcaire (5 à 20 cm) et de marne foncées en plaquettes fines (0.5 à 1 cm), l'épaisseur totale est de (10 à 40 cm). Cette formation se transforme en argile au mur de la couche.

L'épaisseur apparente de L'Hauterivien dépasse 230 m.

b- Le Barrémien :

Les dépôts de barrémien sont répandus dans les bassins de l'oued Mellah, Bourabia et el Kebir. Ils constituent des fenêtres tectoniques dans la nappe numidienne. Cet étage est divisé en deux parties :

La partie inférieure est composée de : Argiles grises-verdâtres finement litées à intercalations de calcaires gris-verdâtres (10 à 50 cm). L'épaisseur totale est de 69 m.

Inter-stratifications de calcaires tachetés de teinte gris-verdâtre et d'argiles finement litées, l'épaisseur est de 29 m.

Calcaire gris clair finement lité (5 à 20 cm) à intercalation d'argiles (1 à 7 cm). L'épaisseur est de 3.5 m.

Zone de froissement et calcification d'épaisseur de 16 m.

Intercalations fréquentes de calcaires tachetés (3 à 10 cm) d'une teinte gris-verdâtre et d'argiles finement litées (5 à 20 cm). L'épaisseur est de 4.40 m.

Argile finement litée se transformant en marne de plaquettes fines (5 à 25 cm). L'épaisseur de 25 m.

L'épaisseur apparente de la coupe des dépôts barrémien dépasse 280 m.

La partie supérieure est un horizon bigarré dont l'épaisseur apparente est de 16 m.

La base est représentée par des calcaires aleurolitiques verdâtres. Au dessus on peut suivre les calcaires aleurolitiques de teinte cerise foncée les marnes à intercalations de calcaires verdâtres.

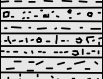
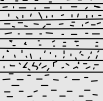
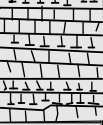
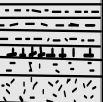
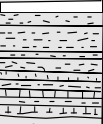
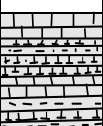
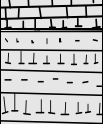
L'horizon repère en question est recouvert d'une assise dont l'épaisseur apparente atteint 150m. Cette assise est constituée d'argile foncée à gris-verdâtres et de marnes argileuses à intercalations de calcaires tachetés peu dolomitisé gris-verdâtre et gris.

c- L'aptien :

L'aptien est très mal représenté dans la région. Il repose sur des dépôts du Barrémien en discordance. A la base, il est composé de grès calcaireux clastique à lentilles et intercalations (jusqu'à 0.4 m). Plus haut, il consiste en des conglomérats à petits à petits blocs et rarement des gris jaunâtre et rose. L'épaisseur d'Aptien de 150 m.

d- L'Albien :

Les dépôts de l'albien sont peu répandus. Ils affleurent au sud de Ain El Kerma et un contact normal avec ceux de l'Aptien et de Cénomaniens. Ils forment une assise originale de grès calcaireux bigarrés (grès-verdâtres) stratifiés (5 à 20 m) à intercalation fine d'aleurolites calcaireuses et d'argiles foncées finement litées. L'épaisseur des roches composant l'Albien est de 200 m.

Système	SERIE		ETAGE	INDCE	COLONNE LIH- OLOGIQUE	Epaisseur en m	Description lithologique
TERTIAIRE	NEO GENE	MOI CENE		m		10	Conglomérats gravelot-blocageux à ciment sablo-argileux.
		OLIGO CENE		gN		430	Assise supérieure : grés quartzo-feldspathiques à intercalations des gravelites, des conglomérats, des aleurolites et des argiles. Assise inférieure : argile grés foncée à intercalation de grés et des aleurolites.
	PALEOGENE		PRIAB ONIEN	e_{AN}^5		100	
			LUTETI EN	e_F^4		150	Marnes argileuses et calcaires d'une teinte foncée à rares intercalations de calcaires. A la base de l'assise ; horizon des calcaires.
			YPRESI EN	e_F^3		200	Argiles, marnes argileuses gris foncée à intercalations des aleurolites et des silex. A la base horizon
	PALEOG ENE			e_F^1		162	Argiles à intercalations d'aleurolites (5-10 cm), de grés (15-20cm), calcaires (15-20 cm) et des marnes (15-20 cm).
CRETACE	SUPERIEUR		MAESTRI IEN	C_F^6		200	Calcaires argileux d'une teinte gris foncée à marne argileuse et calcareuses (20-40 cm).
			CAMPAN IEN	C_F^{5d}		80	Quatrième assise : marne argileuse.
				C_F^{5c}		360	Troisième assise : alternance répétée de couches de marnes, calcaires grés, gravelites et aleurolites.
				C_F^{5b}		300	Deuxième assise : marnes gris verdâtres à des intercalations et des lentilles de calcaires sidéritisés.

Tab () : Colonne stratigraphiques de la région d'el Tarf (d'après Tchoulanov 1980).

2-2.1.2 Le crétacé supérieur :

Dans la région, la coupe de crétacé supérieur présente un complexe de roches datées du Cénomanien, Campanien et Maestrichtien.

a- Le Cénomanien :

Les roches d'âges Cénomanien sont répandues sur terrain restreint. Ces formations forment le noyau d'un pli synclinal à direction latitudinale. Il est compliqué par les zones de dislocations, disjonctives à fort pendage. Le Cénomanien est représenté par un assise bien monotone de marnes argileuses silicifiées et finement litées d'une teinte gris-foncé et gris verdâtre à intercalations rare (5 à 30 cm) de calcaires, il y a aussi de mince intercalations (1 à 30 cm) et lentilles (0.5 à 3 cm) de silérite, l'épaisseur apparente de la coupe est 200 m.

b- Le Campanien :

Les dépôts de Campanien constituent des blocs tectoniques et des fragments de structures plicatives, dans les bassins de l'oued : Bougous, Zitouna, la situation tectonique compliquée ne permet pas d'observer la coupe complète. Le Campanien comporte quatre assises :

Assise C_F^{5a} : constitue d'argiles calcaireuses, l'épaisseur est supérieure à 150 m.

Assise C_F^{5b} : composée de marnes gris-verdâtres à des intercalations et des lentilles de calcaires à silérite, l'épaisseur est supérieure à 300 m.

Assise C_F^{5c} : formée d'une assise à alternance de couches de marnes, calcaires, grés, gravelites et aleurolites, l'épaisseur du campanien dépasse 890 m.

Assise C_F^{5d} : cette assise est constituée d'argiles calcaireuses gris-verdâtres se transformant en l'épaisseur du Campanien dépasse 890 m.

c- Le Maestrichtien :

Les roches de cet étage affleurent dans les fenêtres d'érosion au sien de la série numidienne allochtone, leurs affleurements sont compliqués par des zones de dislocations disjonctives et sont répandus dans les bassins de l'oued Bougous, Chaffia, Kebir.

Le Maestrichtien est en dix sous assises et continue en concordance de la coupe du Crétacé supérieure (Tchoulanov). En général le Maestrichtien est composé de calcaire argileux, d'une teinte gris foncée a marnes et calcaireuses (200 à 400 cm), son épaisseur est supérieur à 300 m.

2-2.2 Le Paléogène :

Le paléogène se distingue par l'achèvement total de l'étape géosynclinal du développement orogénique important.

2-2.2.1 Le Paléocène :

Le Paléocène est composé des assises de Damien et Mantien indifférenciées aux bassins des oueds : Bougous, Zitouna, Kebir, Chaffia et Bounamoussa ; ces affleurements constituent des fenêtres d'érosion dans l'allochtone numidien.

Il est constitué d'argile foncée finement silicifiées à intercalations rares (jusqu'à 0.30 m) de calcaire argileux et intercalations d'aleurolites, de grès quartzeux finement grenus, et grès quartzeux à mélange du tuf, l'épaisseur de paléocène est 140 m.

2-2.2.2 L'Eocène :

La coupe de l'éocène à des traits originaux de structure et de composition lithologique :

Silicification syngénique, présence de roches volcaniques (Liparito-dacite), ces particularités de la coupe permettent de l'utiliser comme un repère stratigraphique sur.

Dans la région l'éocène présente par trois étages : Yprésien, Lutétien, Priabonien.

a- L'Yprésien :

Les dépôts de l'Yprésien participent à la structure du socle de la série numidienne aux bassins des oueds, il est divisé en assises et horizons (de bas en haut).

- Argiles finement stratifiées, aleurolites à intercalations rares de marnes, d'aleurolites calcareuses et de calcaires dont l'épaisseur apparente atteint 50 m.
- Horizons volcano-siliceux constitués de marne argileuses foncées et d'argiles à intercalations minces (jusqu'à 0.2 m) de tufs, de liparites (l'épaisseur de l'horizon est de 0.3 m).

L'épaisseur de l'Yprésien est de 260 m.

b- Le lutétien :

Il est constitué de marnes argileuses et calcareuses de teinte foncée à rares intercalations de calcaires, l'épaisseur est supérieure à 230m.

c- Le Priabonien :

Le Priabonien est constitué des dépôts de phase finales du développement de la région, dans plusieurs documents, ils sont reconnus comme des " argiles numidiennes ",celles-ci sont répandus et associées au mur de l'allochtone numidien, elles affleurent aux bassins de l'oued Kebir et Bounamoussa. Elles contiennent des intercalations de grès et des aleurolites, l'épaisseur dépasse 250 m.

2-2.2.3 L'Oligocène :

L'Oligocène comprend un groupe original de dépôt connus sous le nom de " grés numidien".

Le terme numidien fut introduit par Fischer en 1989 pour désigner le faciès typiques des roches oligocènes largement répandus au nord de continent Africain. Ces formations constituent la plus grande partie d'une structure charriée important : allochtone numidien, son développement régional complique considérablement les possibilités de l'étude du territoire en profondeur vu que la série allochtone des dépôts d'est accessible à l'observation que dans les fenêtres d'érosion de la nappe.

Les formations des grès numidiens sont largement répandues, le trait particuliers de ces dépôt sont : la structure et la persistance de la composition lithologique, ils servent comme bon repère géologique, les grès numidiens sont en contact tectonique avec les argiles de l'Eocène supérieure l'épaisseur apparente totale des grès numidiens dépasse 400 m.

2-2.3 Le Néogène :

Le néogène Est caractérisé par l'accumulation des assise de molasses fixant le nettement le début de la nouvelle étape (post-orogénique) du développement de la région, ces dépôt s font partie de la série post nappe composée de conglomérats et de sable du Miocène et de Pontien.

2-2.3.1 Miocène :

La région de Miocène dans sa quasi-totalité est détruite par le processus de dénudation, les molasses ne sont conservées qu'en petites surfaces, elles se trouvent en amont d'oued Chaffia et au bord droit de la vallée d'oued Bougous, la coupe est partout constituée de conglomérats gravelo-blocageux à lentilles de grès quartzeux et argileux de teinte brune, les galets roulés et les blocs dimensions jusqu'à 0.5 m sont constitués par les grès du numidien supérieur.

2-2-3.2 Pontien :

La molasse du Pontien en divisée en deux parties :

- A la base : elle est constituée de conglomérats bien cimentés par une matière sablo-carbonatée sur une épaisseur de 300 m.
- Plus haut, se sont des lentilles et intercalations lenticulaires de conglomérats ainsi que des grès stratifiés obliquement et faiblement cimentés de sables et d'argiles rouges, l'épaisseur totale de la molasse du Pontien attient 70 m.

2-2.4 Le Quaternaire :

Dans la région le quaternaire n'a jamais fait l'objet d'une étude avec datation (reste indifférencie).

La région comporte toute une série de sédiment marins et dépôts continentaux. Ce sont plusieurs terrasses à la cote 100 à 150 m (post pliocène), 30 à 50 m (pléistocène ancien et récent) de la formation mollassique. Les dépôts continentaux quaternaires de plus récent aux plus anciens sont les suivants :

- Alluvions limoneuses des fonds des vallées.
- Sables et argiles laguno-marins des plaines d'Annaba-El Kala.
- Dunes récentes.

- Alluvions (pléistocène ancien) des moyennes terrasses de l'oued Kebir (30 m ou dessus de l'oued).
- Un système très dense de failles et de fractures découpe ces formations en particulier au niveau des formations compétentes de grés de Numidie, tandis que les formations moins compétentes des argiles de Numidie sont dynamo-métamorphosées en argilites.

2-3 Aperçus tectoniques et paléogéographie :

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les flyschs Numidiennes affleurent sous forme d'unités tectoniques (nappes) charriés sur de grandes distances. Toutes les formations qui constituent se flyschs numidien ont été fracturées, plissées et parfois même isolées les une des autres du fait de leur déplacement sur de grandes distances. Dans la région de Bougous, 80% des fractures sont orientées selon la direction NO-SE, d'ailleurs même la branche NO-SO de l'oued Bougous, ou (niveau du site du barrage), correspond à ce système. Ces failles sont parfois très concentrées, pour former ce qu'on appelle des couloirs de cisaillement.

Le jeu de ces failles à pour conséquence une dilacération et un découpage total des bancs de grés (complètement hachés) d'où l'impossibilité de relier les bancs les uns aux autres. Dans une moindre mesure, les failles de direction N-S parfois d'ordre kilométrique ont découpé le secteur en compartiment structurellement et lithologiquement différents.

En conclusion, au niveau de site de barrage l'oued a emprunté son lit sur deux directions de failles : la direction N.O-S.E et la direction E-O. Les failles mise en évidence sur les rives sont principalement de direction subparallèle à l'oued Bougous et fait partie de même système de discontinuité. Ces failles se traduisent dans la morphologie des deux rives par des épontes rocheuses très fracturées sur plusieurs mètres ainsi que l'existence de nombreuses lithoclasses montrant des stries de glissement. Les remplissages sont breco-argileux, localement de quartz ou de calcite avec des traces d'oxyde.

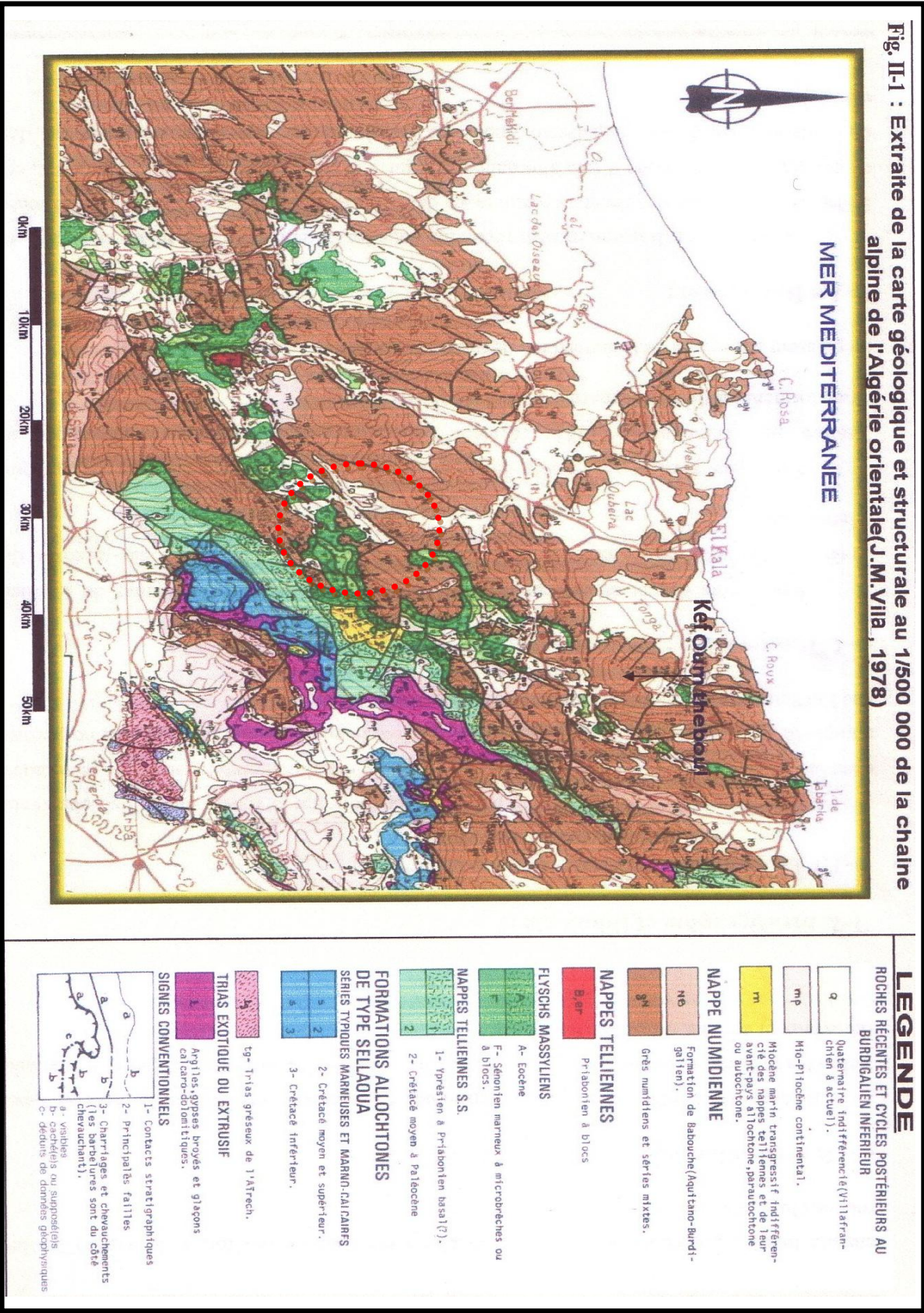


Fig (7) : Extrait de la carte géologique et structurale de la chaîne alpine de l'Algérie orientale (J.M. Villa 1978).

2-4 La géologie locale :**2-4.1 Argiles numidiennes :**

Les argiles numidiennes parfois marneuses d'aspect feuilleté, de couleur variable (verdâtre, brunâtre, ou grisâtre). Elles se trouvent en alternances avec les grés. Le complexe numidien intensément fracturé au niveau du site présente de nombreux miroirs de failles et des remplissages argilo-sableux au niveau fissures des grés.

Néanmoins, la matrice rocheuse est généralement saine, les traces d'oxydes qui marquent la zones de circulation de l'eau sont généralement quasi-inexistantes en profondeurs.

On remarque les argiles de l'Hammam présentent de la calcite et de la pyrite sans doute d'origine hydrothermale, elles apparaissent dans les fractures du massif rocheux.

2-4.2 Les Grés Numidiens :

Les grés numidiens de la région d'étude sont à ciment siliceux de type quartique, les grains sont fines, moyens à graveleuses ; les bancs de grés de faibles épaisseurs sont mieux cimentés et présentent de véritables quartzites. La couleur varie de blanchâtre au grésâtes, mais la patine est souvent rougeâtre à cause de l'altération. Ces grés présentes une intense fracturation, se qui favorise la circulation des eaux souterraines.

La stratification des grés et des argiles présente une orientation générale assez constante Nord-Ouest, avec un angle de pendage de l'ordre de 50°.

Néanmoins sur les deux rives de l'oued El Kébir on observe de nombreux microplissements dans les stratifications est de l'ordre centimétrique à décimétrique.

2-4.3 Les colluvions :

Ces dépôts colluvionnaires sont constitués par des fragments de grés et d'argiles liés par un ciment sableux, dans lesquels sont dissimulés des blocs de grés de diamètre variable.

Dans la plus grande partie de lac du barrage, ces matériaux sont excavés.

Les dépôts alluvionnaires superficiels de l'oued El Kébir sont composés de matériaux sablo-graveleux comportant des blocs de grés, tandis que les matériaux superficiels de la terrasse d'inondation sont constitués de limons sableux fins mélangé d'argiles.

S2 X= 397.900 Y=1008.700 Z= 43.00
 S7 X= 397.890 y=1008.890 Z= 41.80
 S12 X= 397.950 Y=1009.630 Z= 43.00

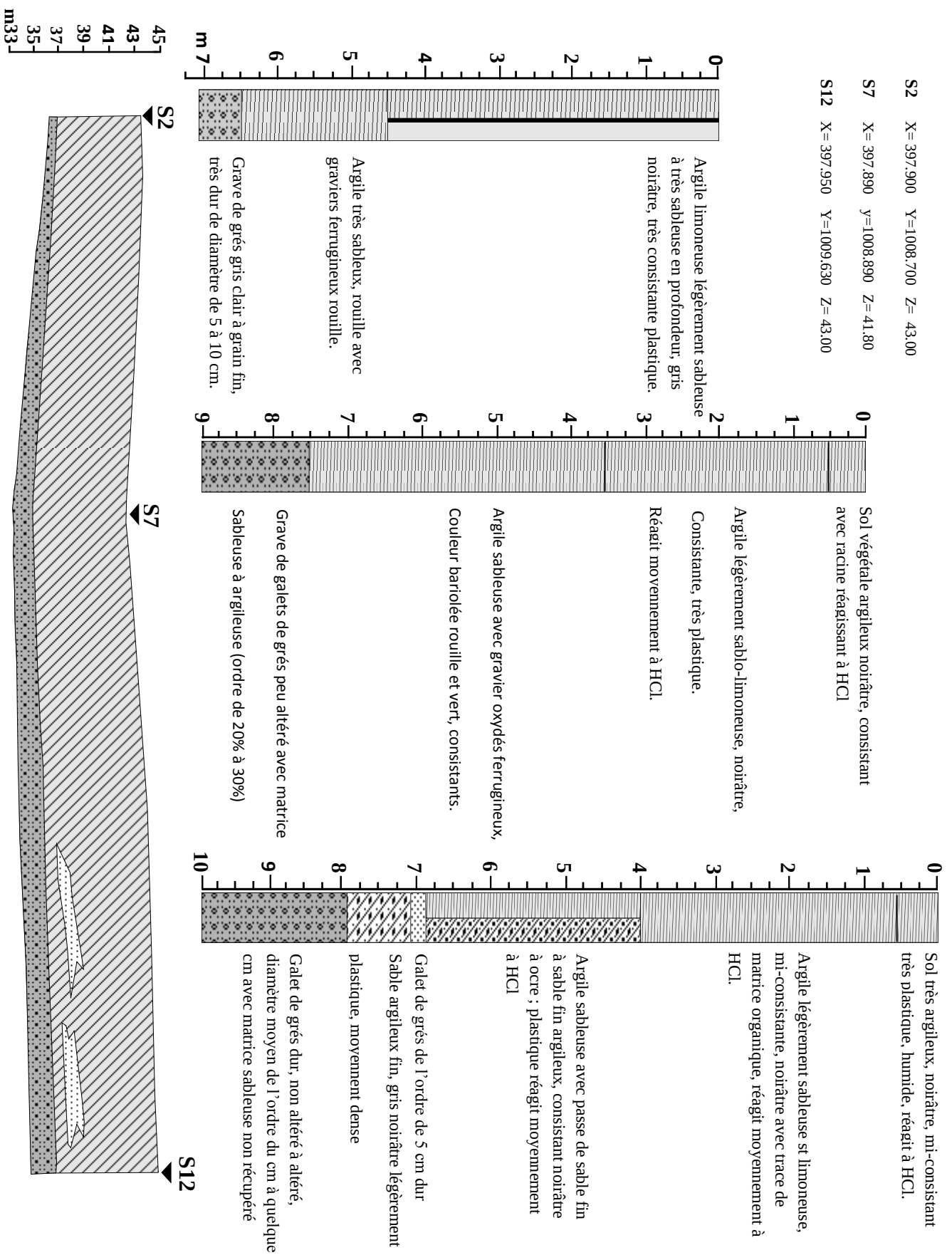


Fig (8) : Coupe géologique dans la rive droite du lac du barrage de Mexanna.

2-5 Tectonique :

La tectonique de la région d'étude est compliquée par l'existence de nappe de charriage du Numidien et des influences néotectonique. Elle est affectée par une série de horsts et de grabens qui sont à l'origine du relief actuel.

2-5.1 Les grabens :

C'est l'une des caractéristiques des plaines de Lac des oiseaux, Bouteldja et El Tarf, se sont des effondrements apparus lors de soulèvement pendant l'orogénèse d'après les anciennes hypothèses. Mais actuellement les grabens sont connus comme d'anciens lits d'oueds, prenant naissance au secondaire et se remplissant par les formations alluvionnaires, après quelques mouvements tectoniques. Ces anciens lits d'oueds sont devenus des basses terrasses d'un nouveau lit.

Ses grabens favorisent la localisation des nappes aquifères par leur caractère d'accumulation d'eau.

2-5.2 Les horsts :

Les grés et les argiles du numidien sont les principaux constituants des horsts. Ces formations présentent de véritables barrières naturelles qui limitent les plaines ; ils sont les résultats de la tectonique alpine qui a conditionné la formation des djebels.

2-5.3 Les failles :

En plus des horsts et des grabens, on note la présence d'autres formes structurales telle que les failles.

Djebel Rhorra de direction SO-NE correspond à une crête de nappe de charriage au pendage très fort. Au piémont de se djebel, on observe une structure synclinal qu'utilise en partie l'oued Bougous à la faveur d'une faille normale affectant cette structure ; l'absence de dépôts récents à proximité de cet accident ne permet pas une datation précise de la faille. D'après J.M.Villa (1980) et W.Wildi (1983), il est fort possible que l'accident date de la fin du Pliocène. En effet, elle a les mêmes caractères structuraux que d'autres dates de cette période. C'est grâce à un jeu tarif de la faille que djebel Rhorra présente aujourd'hui des altitudes aussi importantes (1202 m).

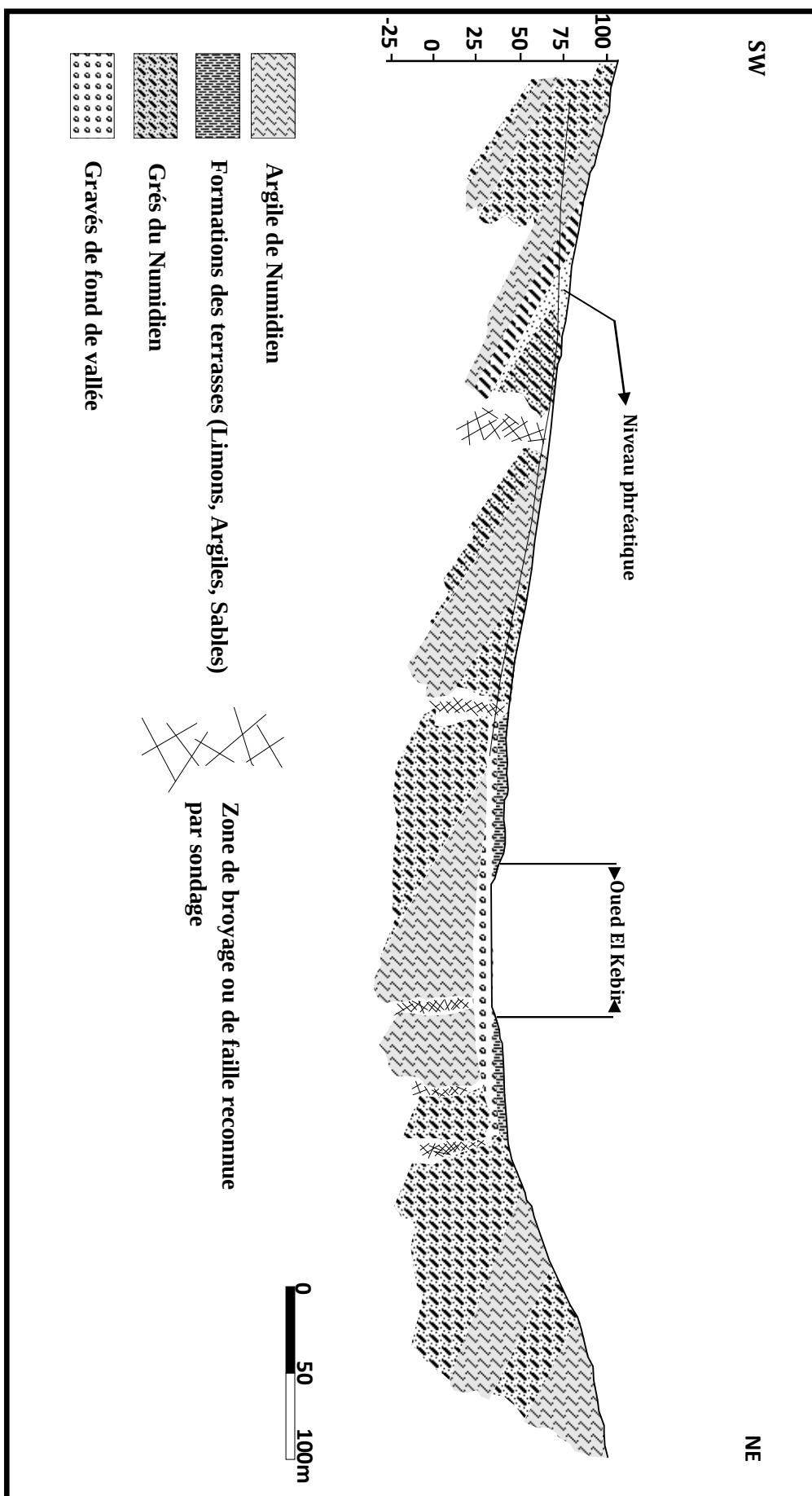


Fig (9) : Coupe géologique dans l'axe du barrage.

Chapitre III

L'Hydroclimatologie

Aujourd'hui de nombreuses questions se posent concernant l'avenir de la planète terre vis-à-vis des changements climatiques. Les pays du nord Africain et du moyen orient restent les plus exposés aux soubresauts du climat.

Les variations climatiques influencent les variations des réserves des eaux superficielles et souterraines, de ce fait il est impératif de connaître leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.

1- les stations de mesures :

La zone d'étude est située dans l'extrême Nord-Est Algérien dont plusieurs stations pluviométriques sont installées. Pour cette étude on a pris en considérations trois : celles de Roum El Souk et de Ain Assel et la station météorologique d'El Kala.

Le tableau (5) reporte les coordonnées de ces stations :

Stations pluviométriques Et météorologiques	Coordonnées Lambert (m)			Période d'observation
	X	Y	Z	
Ain Assel	1005.540	400.000	32	1979/2009
Roum El Souk	1020.690	402.890	150	1979/2009
El Kala	1010836	414895	10	1983/2005

Tab (5) : Coordonnées des stations pluviométriques et météorologique.

2- Analyses des facteurs climatiques :

L'établissement d'un bilan hydrique est nécessaire pour connaître le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement. Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et on utilisant les méthodes adaptées à la région.

2-1 Brouillard :

La formation du brouillard est liée aux conditions locales, en premier lieu au microclimat. Le maximum est observé durant la période estivale de mai à septembre avec 64 % au littoral. Par exemple, pour le mois de mai 1992, on a enregistré 13 jours de brouillard à El Kala. Dans la zone littorale, ce nombre atteint 48 % à Ain Karma, le maximum se situe au printemps, 50 % dans l'ensemble.

2-2 Humidité relative (HR %) :

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température.

La mer, les nombreux plans d'eau ainsi que la richesse de la région en écosystèmes forestiers, contribuent au maintien d'une humidité élevée pendant toute l'année.

Dans la zone d'étude et dans la région d'El Kala en générale, le degré d'hygrométrie est très élevé le long de l'année, il est presque constant avec une moyenne de 76.3%. Le maximum est observé en décembre (78.9%) et le minimum en avril (74.1%). Les variations mensuelles et annuelles de l'humidité sont très faible Tableau (6).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy	75.9	76.8	78.9	78.9	74.1	77.9	74.4	74.8	78.0	76.3	75.3	75.6

Tab (6) : Humidité relative moyenne mensuelle à la station d'El Kala (1983/2005).

(Moy : moyenne de l'humidité en %).

2-3 Le régime des Vents :

Les vents jouent un rôle très important dans notre région, puisqu'ils interviennent dans la pluviométrie, l'évaporation et un degré moindre sur la température. Les vents dominants dans le bassin du barrage Mexanna sont ceux du Nord et Nord-Ouest, ils sont les plus fréquents en saison froide. Tandis qu'en été le Sirocco est fréquent, particulièrement en mois d'Août.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy	2.9	3.1	3.6	3.8	4.0	3.7	4.1	3.9	2.9	2.	2.4	2.5

Tab (7) : Variation mensuelle de la vitesse des vents à la station d'El Kala (1984/2005).

(Moy : moyenne des vitesses du vent en m/s).

2.4 Les précipitations :

Les précipitations constituent le premier facteur important dans le cycle de l'eau, leur distribution dans le temps et dans l'espace conditionne la forme des écoulements.

2-4.1 Répartition mensuelle des précipitations :

Les quantités d'eau tombées à l'échelle mensuelle, donnent un aperçu sur les rapports au niveau de chaque station pour chaque mois de l'année, se qui nous permet de classer les mois selon leur pluviosité. Les tableaux (8 et 9), donnent la répartition mensuelles au niveau des stations de : Ain Assel et Roum El Souk le long de la période considérée.

Station d'Ain Assel :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy	51.5	84.5	122.9	142.6	119.4	94.4	78	80.9	37.8	15.2	3.6	7.3

Tab (8) : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station d'Ain Assel (1979/2009).

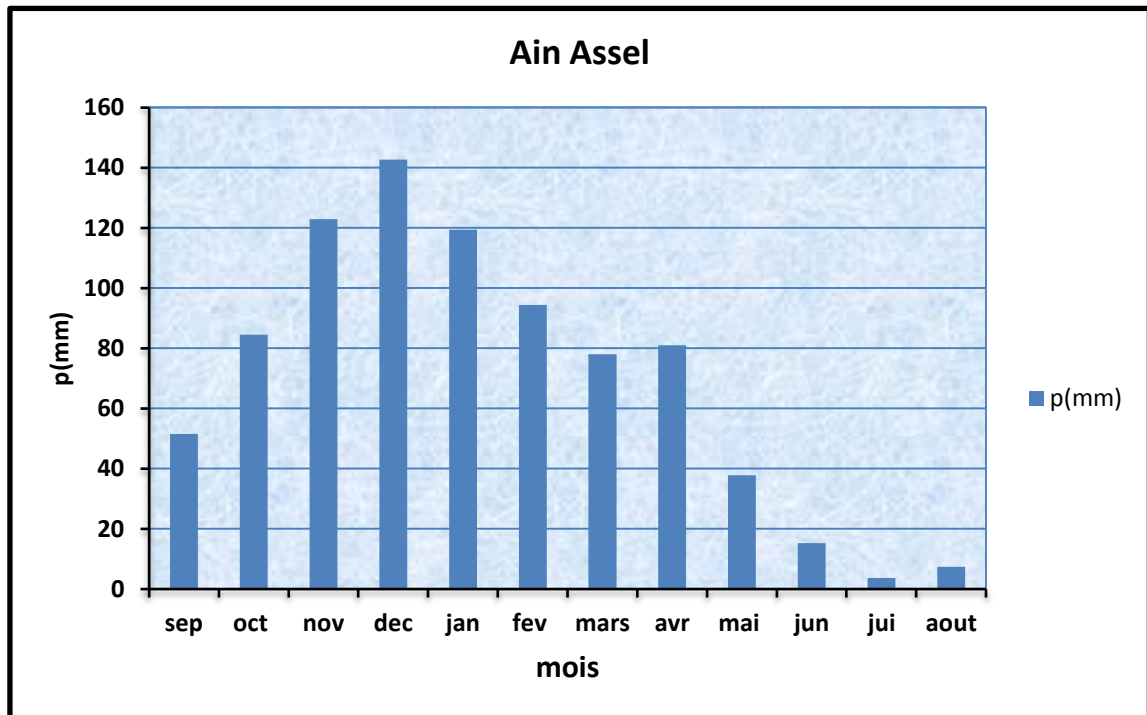


Fig (11) : Variation mensuelle des précipitations a la station d'Ain Assel (1979/2009).

Au niveau de la présente station les fortes précipitations sont enregistrées au cours des trois saisons (l'automne, l'hiver et le printemps) par contre la saison estivale est la période où il pleut le moins.

● **Station Roum El Souk:**

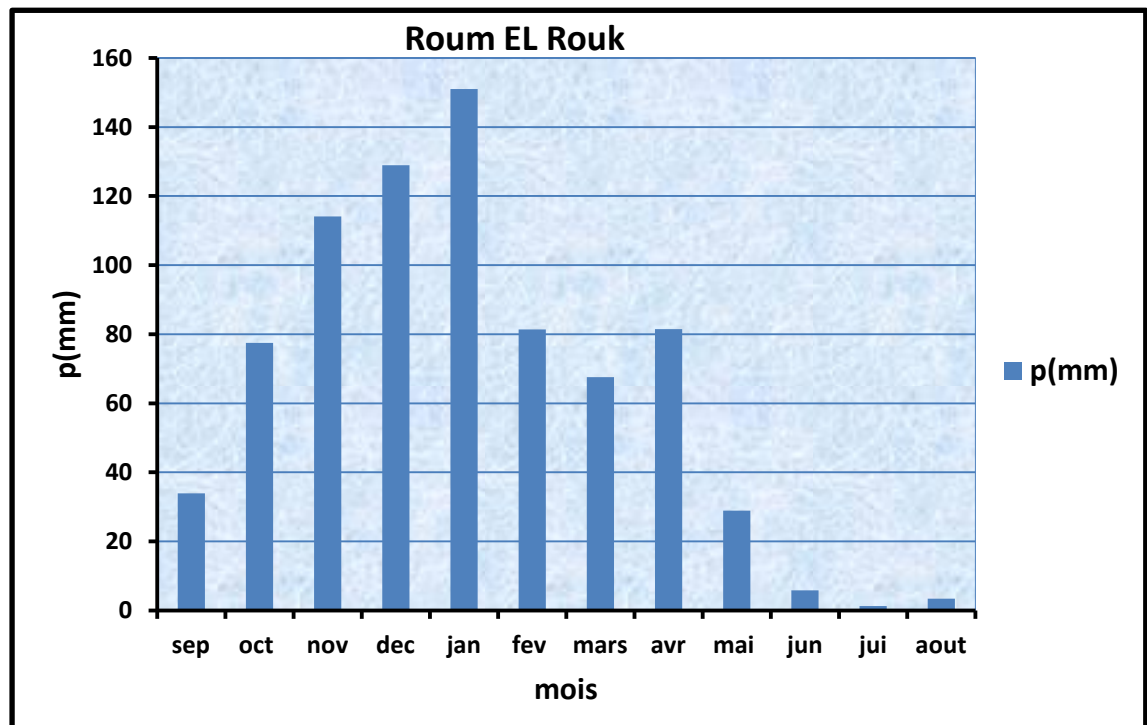


Fig (12) : Variations mensuelle des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy	33.4	77.5	114.1	128.9	151	100	67.6	81.5	28.9	5.8	1.3	3.4

Tab (9) : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station de Roum El Souk (1979/2009).

Les mois les plus pluvieux caractérisent la période allant de mois d'octobre jusqu'au mois d'avril. La période allant de mois de mai jusqu'au mois de septembre est la moins pluvieuse.

2-4.2 Répartition saisonnière des précipitations :

Il est connu que le taux des précipitations diffère d'une saison à l'autre, pour déterminer les quantités de ce fait nous nous sommes intéressé aux précipitations saisonnières (**Automne** : sep, oct, nov. **Hiver** : dec, jan, fev. **Printemps** : mars, avr, mai. **Eté** juin, juil et aout). Ce choix nous permet les constatations suivantes :

● Station d'Ain Assel :

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Périodes	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1979/2009	258.9	30.89	356.4	42.52	196.7	23.46	26.1	3.11

Tab (10) : Variations saisonnière des précipitations à la station d'Ain Assel (1979/2009).

On note pour la période considérée que la saison hivernale est la plus pluvieuse, au total, il tombe 356.4 mm soit 42.52% des pluies annuelles. En automne le total des précipitations est de l'ordre de 256.9 mm soit 30.89% du total annuel. En printemps le totale des précipitations est de l'ordre de 196.7 mm soit 23.46% du total annuel. La saison estivale est la plus sèche, la pluviométrie enregistrée est la plus faible par apport aux autre saisons elle est de l'ordre de 3.11% de la totalité des pluies.

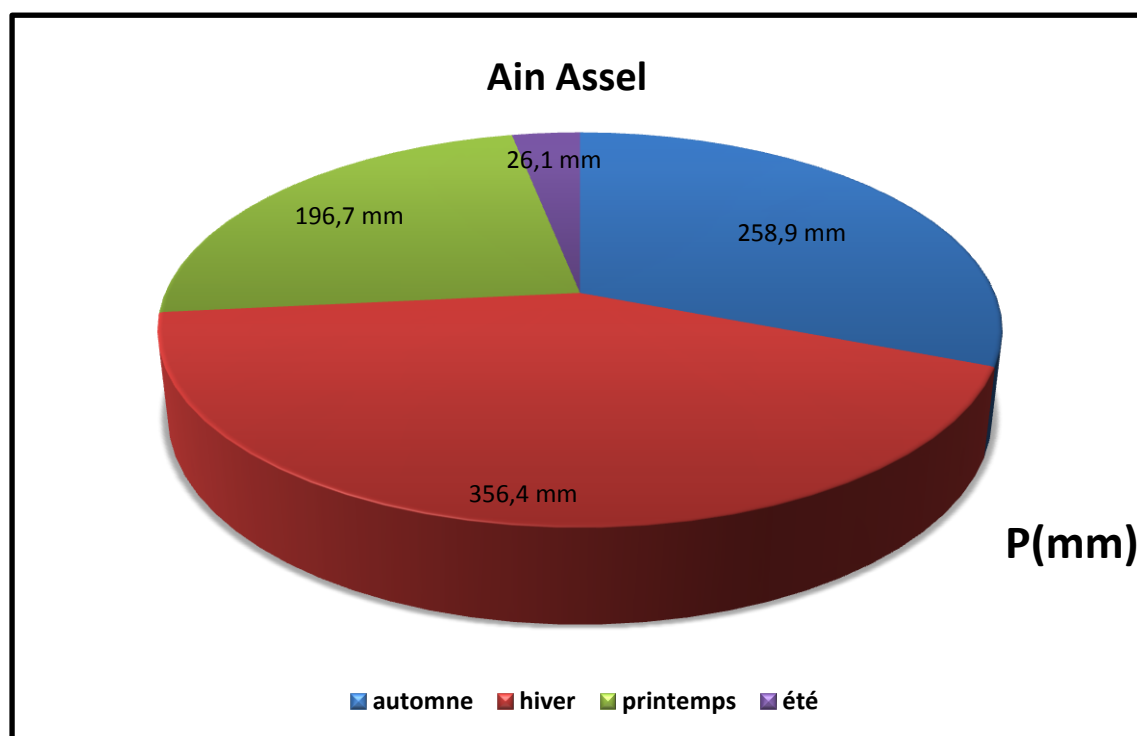
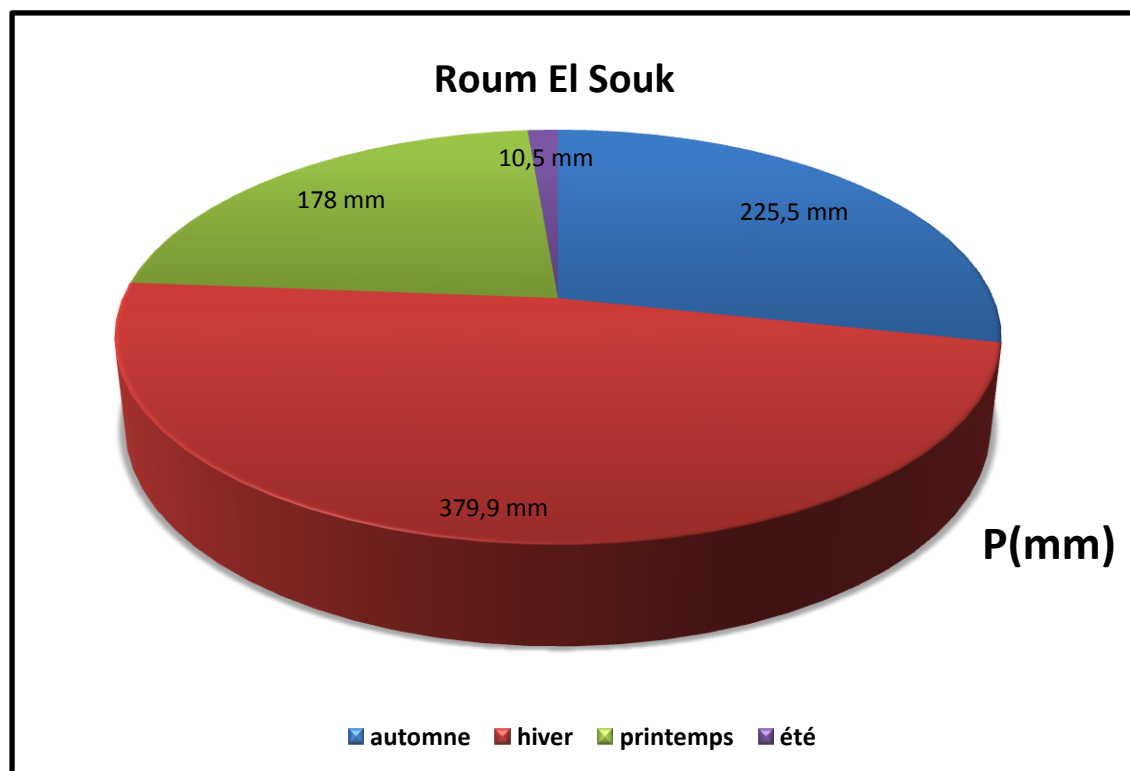


Fig (13) : Répartition saisonnière des précipitations à la station d'Ain Assel (1979/2009).

Station de Roum El Souk :

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Périodes	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1979/2009	225.5	28.50	379.9	47.85	178	22.42	10.5	1.32

Tab (11) : Variations saisonnière des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009).



Fig(14) : Répartition saisonnière des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009).

En observant le tableau précédent, on note pour la période considérée que la saison hivernal est la plus pluvieuse (322.7 mm soit 46.95%) au total. En automne le total des précipitations est de l'ordre de 196.7 mm soit 28.55% du total annuel et en en printemps la pluviométrie enregistrée est 154.1 mm soit 22.42%. La saison d'été est la plus sèche avec des précipitations qui ne dépassent pas les 2.06% au total.

2-4.3 Répartition inter annuelle des précipitations :

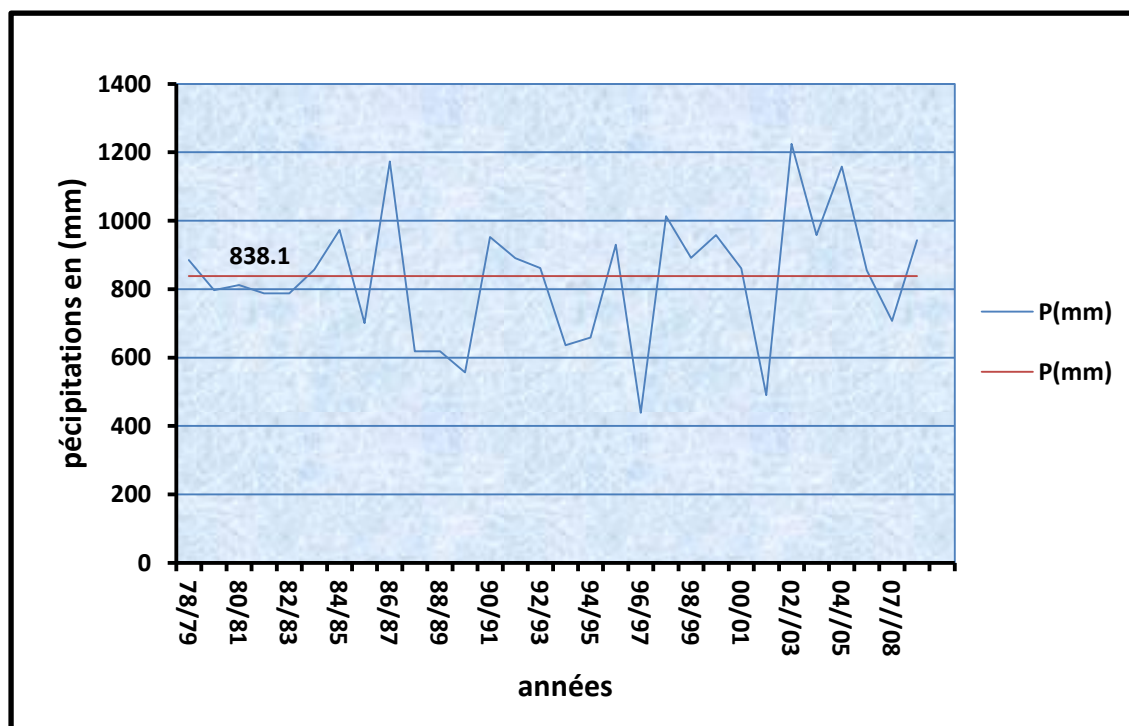
L'analyse des courbes de variation interannuelles des précipitations permet de déterminer les années les pluvieuses et les années sèches au cours de la période étudiée pour chaque station.

- **Station de Ain Assel :**

L'analyse de la courbe des variations interannuelles à la station d'Ain Assel montre que l'année 2002/2003 est l'année de la plus arrosée avec 1225 mm par contre l'année 1996/1997 est la plus sèche avec 438.6 mm les précipitations moyenne sont de l'ordre de 838.1 mm.

● Station de Roum El souk :

L'analyse de la courbe des variations interannuelles à la station de Roum El Souk montre que l'année 1986/1987 est l'année de la plus arrosée avec 1170.3 mm par contre l'année 1994/1995 est la plus sèche avec 444.3 mm les précipitations moyenne sont de l'ordre de 767.1 mm.



Fig(15) : Variation interannuelle des précipitations à la station de Ain Assel (1979/2009).

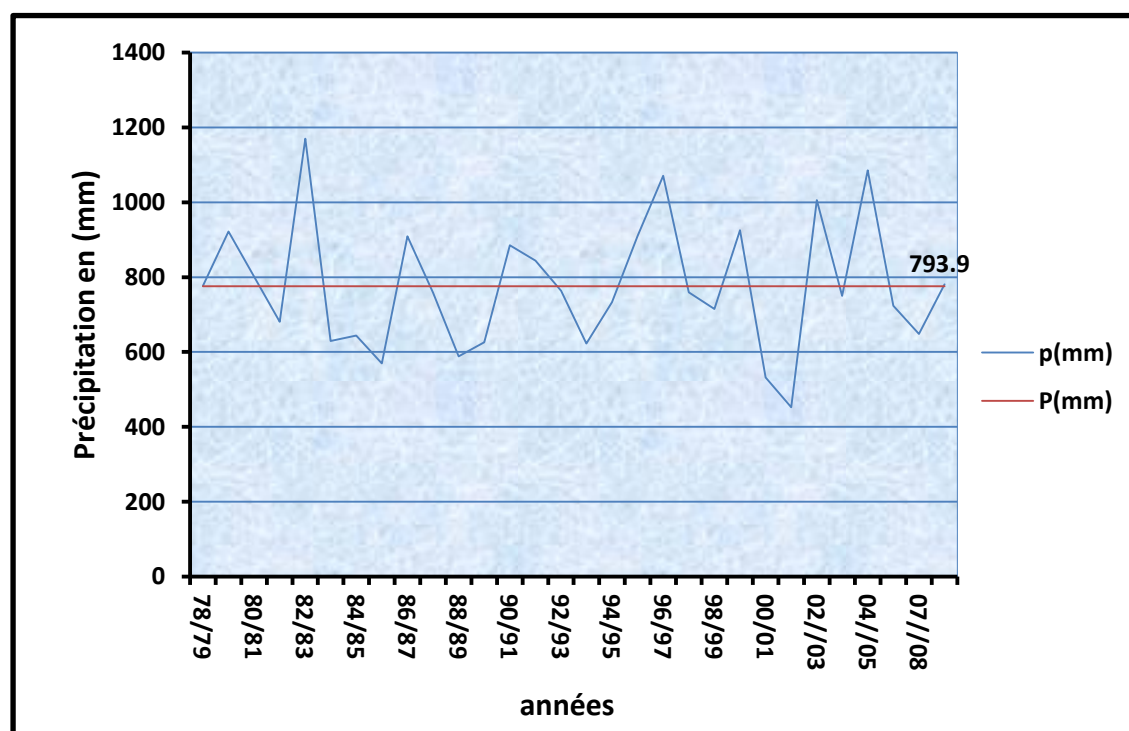


Fig (16) : Variation interannuelle des précipitations à la station de Roum El Souk (1979/2009).

2-4.4 Calcul du coefficient pluviométrique :

$$C_p = 365 \times P_i / P_n$$

P : précipitation.

P_i : précipitation du mois du rang.

n : nombre de jour par mois.

C_p : exprime le caractère plus ou moins pluvieux du mois.

On peut écrire la formule précédente sous la forme :

$$C_p = (365/n_j) \cdot (P_i/P) = K \cdot (P_i/P)$$

Avec :

K : coefficient dépendant du nombre des jours du mois considéré.

Si : n=31 jours K=365/31=11.77.

Si : n=30 jours K=365/30=12.16.

Pour le mois de février 28 jours chaque trois mois et une fois 29 jours.

$K = 365 / (28 \text{ jours} \cdot 3 \text{ ans} + 29 \text{ jours} \cdot 1 \text{ an}) / 4 = 12.92$.

● **Station d'Ain Assel :**

Pour la station de Ain Assel avec P= 838.1mm on a

$$C_p = k (P_i/p).$$

Mois	Saison humide							Saison sèche				
	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep
K	11.77	12.16	11.77	11.77	12.92	11.77	12.16	11.77	12.16	11.77	11.77	12.16
P_i	84.5	122.9	142.6	119.4	94.4	78	80.9	37.8	15.2	3.6	7.3	51.5
C_p	1.22	1.78	2.00	1.67	1.45	1.09	1.17	0.53	0.22	0.05	0.1	0.74

Tab (12) : Coefficient pluviométrique à la station d'Ain Assel (1979/2009).

Saison humide : **C_p (sh) = 10.38**

Saison sèche : **C_p (ss) = 1.64**

R = C_p (ss)/C_p (ch)

R = 1.64/10.38 = 0.15 $R < 1.75$ —————> caractérise un climat non continental.

● **Station de Roum El Souk :**

Pour la station de Ain Assel avec $P=793.9\text{mm}$ on a $C_p=k (P_i/p)$.

Mois	Saison humide							Saison sèche				
	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep
K	11.77	12.16	11.77	11.77	12.92	11.77	12.16	11.77	12.16	11.77	11.77	12.16
Pi	77.5	114.1	128.9	151	100	67.6	81.5	28.9	5.8	1.3	3.4	33.4
Cp	1.14	1.74	1.91	2.23	1.62	1.00	1.24	0.42	0.08	0.01	0.05	0.51

Tab (13) : Coefficient pluviométrique à la station de Roum El Souk (1979/2009).

Saison humide : $C_p (\text{sh}) = 10.88$

Saison sèche : $C_p (\text{ss}) = 1.07$

$R = C_p (\text{ss}) / C_p (\text{ch})$

$R = 1.07 / 10.88 = 0.10$

$R < 1.75 \longrightarrow$ caractérise un climat non continental.

2-5 Les températures :

La température est le deuxième élément important dans l'étude du climat, elle joue un rôle important dans la détermination des paramètres climatiques particulièrement la détermination du bilan hydrique. Pour réaliser ce travail, nous sommes basés sur les données recueillies au niveau de la station météorologique d'el El Kala.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy	24.5	21.4	16.5	13.7	12.3	12.5	14.2	16.2	18.9	22.4	25.7	26.6

Tab (14) : Température moyennes mensuelles à la station d'El Kala (1984/2005).

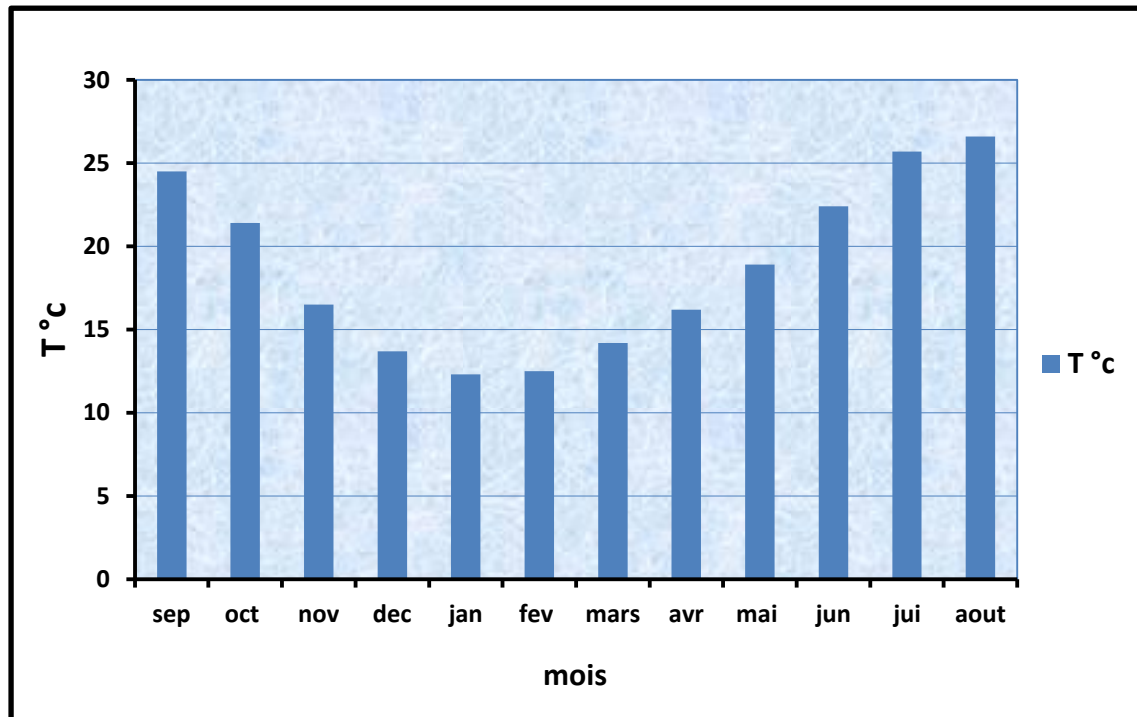


Fig (17) : Répartition mensuelle des températures à la station d'El Kala (1984/2005).

3- Courbe Ombrothermique :

● Station d'Ain Assel :

Les valeurs des précipitations et de température enregistrées successivement au niveau des stations (Ain Assel, El Kala) sur les périodes définies précédemment permettent l'établissement du diagramme Fig (17), ce dernier montre la succession de deux saisons l'une sèche et l'autre humide. La première s'étale du mois de mai jusqu'au mois de septembre, la seconde va du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril. Les deux saisons durent en moyenne six mois par an.

● Station de Roum El Souk :

Les valeurs des précipitations et de température enregistrées successivement au niveau des stations (Roum El Souk, El Kala) sur une cette période permettent l'établissement du diagramme Fig (18), ce dernier montre la succession de deux saisons l'une sèche et l'autre humide. La première s'étale du mois de mai jusqu'au mois de septembre, la seconde va du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril compris. Les deux saisons durent en moyenne six mois par an.

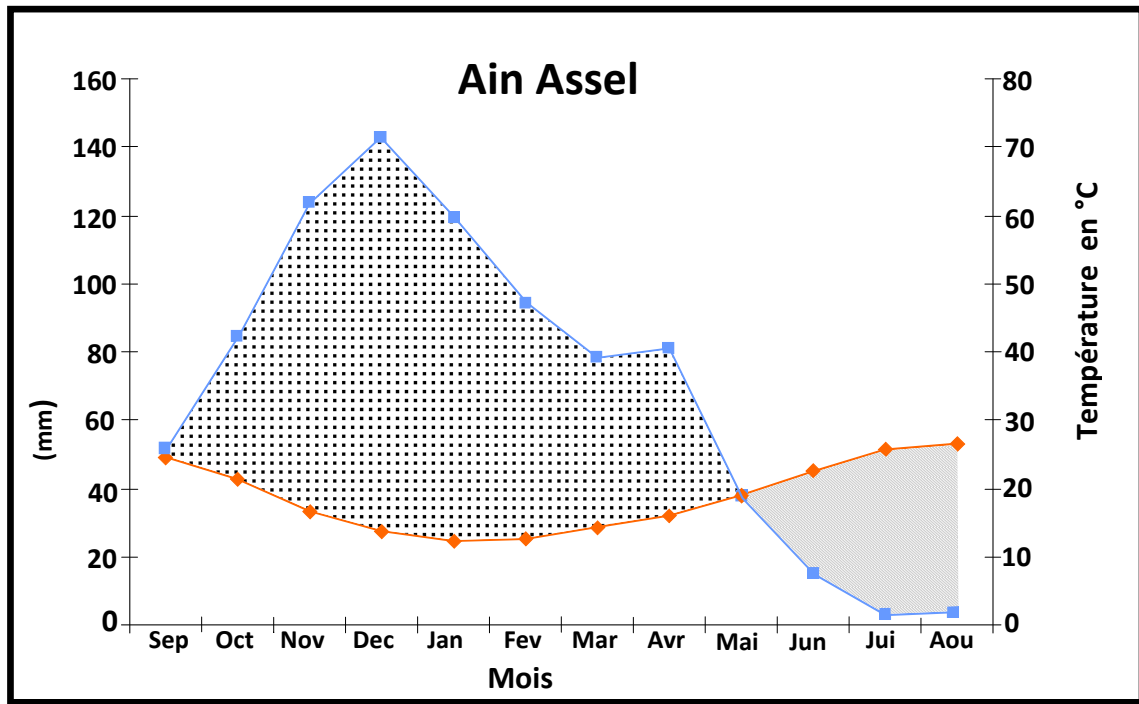
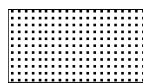
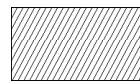


Fig (18) : Diagramme Ombrothermique, station de Ain Assel.



Saison Humide



Saison sèche

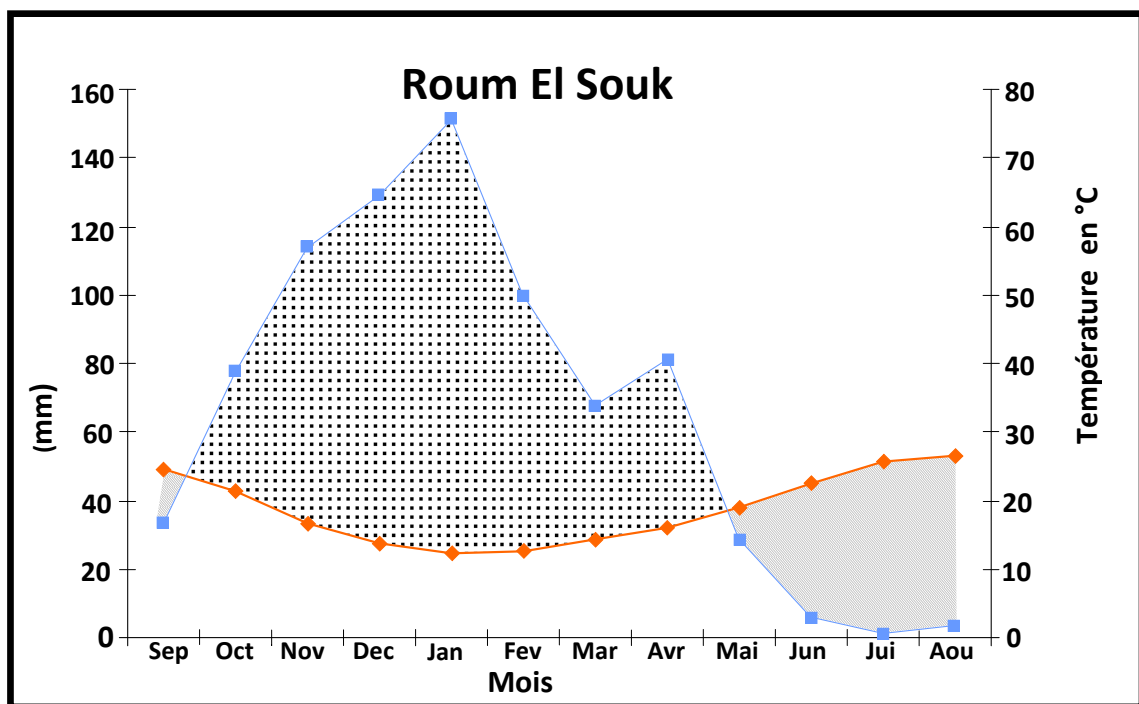


Fig (19) : Diagramme Ombrothermique, station de Roum E l Souk.

4- Type de climat :

Plusieurs méthodes permettent de déterminer le type le climat, le climagramme d'Emberger est utilisé pour la réalisation de ce travail.

● Climagramme d'Emberger :

Pour déterminer les types de climat, L Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluvio-métrique Q. ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle et les moyenne des températures minimal et maximal, respectivement des mois les froids et les plus chauds.

$$Q = \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)} 100$$

P : Précipitation moyenne annuelle (**mm**).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degré Kelvin °K).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degré Kelvin °K).

Station	P (mm)	T max °K	T min °K	Q	Type de climat
Ain Assel	838.1	301.5	282.1	148.1	Sub humide
Roum El Souk	793.9	301.5	282.1	140.3	Sub humide

Tab (15) : Paramètre de climagramme d'Emberger.

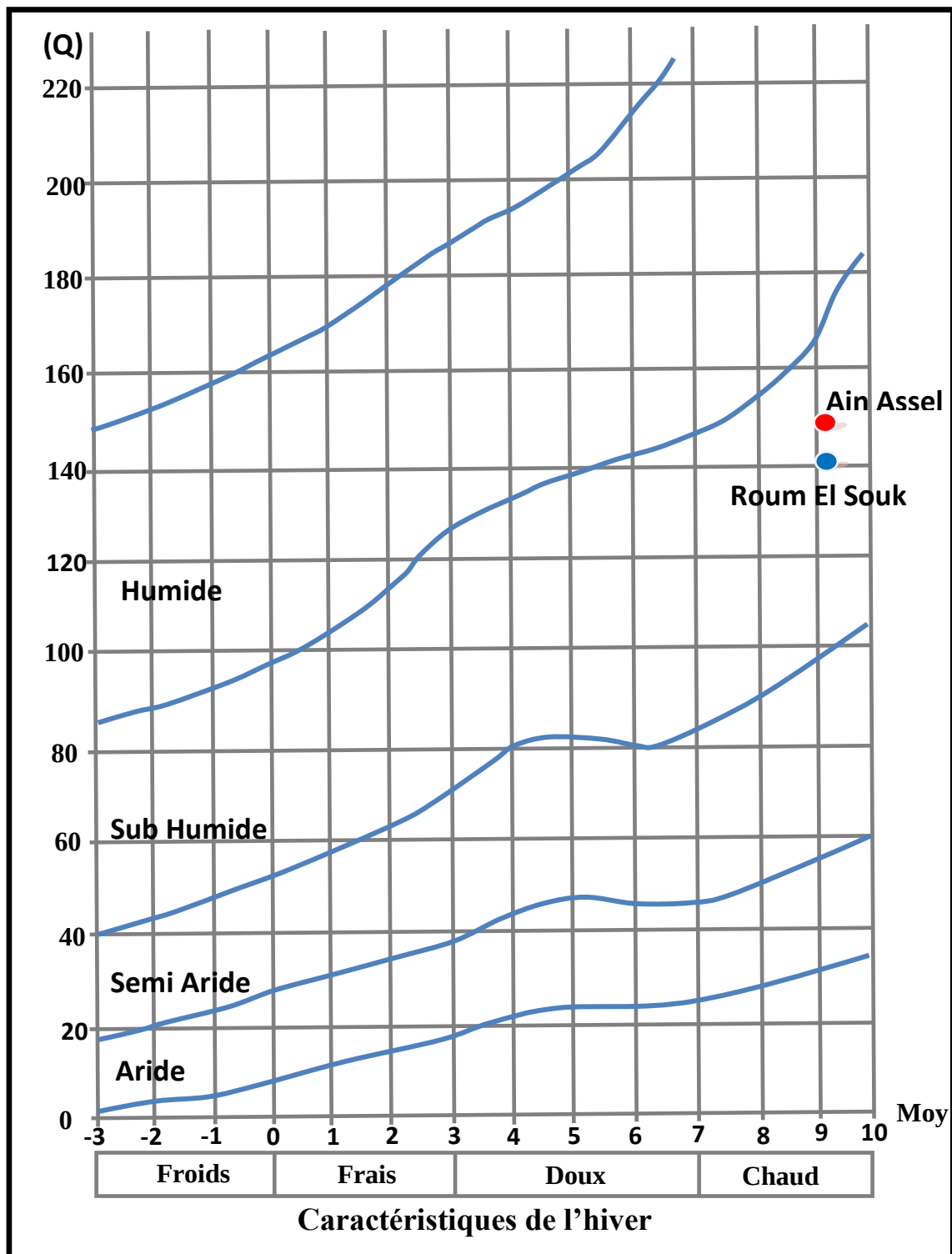


Fig (12) : diagramme bioclimatique (climagramme d'Emberger).

5- Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique exprime le processus que suit la quantité d'eau arrivant au sol par précipitation avant de se retourner à l'atmosphère.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante :

● (CASTANY 1982) :

$$P = ETR + R + I \quad \text{où :}$$

ETR : l'évapotranspiration annuelle (mm).

I : infiltration.

P : précipitation.

R : ruissellement.

5-1 : Etude de l'évapotranspiration :

C'est un terme important du cycle hydrique qui résulte de deux phénomènes, l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration), l'évapotranspiration est en fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation, et la couverture végétale).

5-1.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP):

Pour l'estimation de l'ETP, on utilise la formule de **Thorntwaite**.

$$ETP \text{ (mm/mm)} = 16 (10T / I)^a \cdot k \quad \text{où :}$$

$$I = \sum i \quad \text{où :} \quad i = (T/5)^{1.514}$$

$$a = (1.6/100) I + 0.5$$

T : température moyenne du mois considéré en °C.

ETP : évaporation potentielle du mois considéré en mm.

K : coefficient de correction de l'altitude.

i : indice thermique mensuel.

I : indice thermique annuel.

5-1.2 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'ETP si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la RFU.

En cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (**G.Castany**). Cette estimation se fera à partir des formules de Turc, de Coutagne et de **Thorntwaite**.

● Evapotranspiration réelle par la formule de Thorntwaite :

Pour l'établissement du bilan mensuel on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne par la méthode de **C.W.Thorntwaite**.

Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

- La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement.
- Le calcul de l'ETR peut s'effectuer suivant deux cas :
 - 1^{er} cas : $P > ETP \Rightarrow ETP = ETR$ on a alors un excédent.
 - 2^{ème} cas : $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$.

5.2 Estimation des réserves facilement utilisables :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

5-3 Estimation de ruissellement R:

Pour estimer le bilan hydrique il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre, le coefficient du ruissellement (R) est calculer par la formule de **TEXERONT BERKALOFF** :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

Avec :

R : ruissellement en (m).

P : précipitations moyennes annuelles en (m).

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en (m).

 Remarque :

Cette formule est valable pour les stations ou les précipitations ne dépassent pas 600mm.

Si la précipitation est supérieure à 600mm on applique la formule suivante :

$$R = P^3/3$$

R : ruissellement en (m).

P : précipitation moyennes annuelles en (m).

Station	P (m)	ETR (mm)	R(m)	R (mm)	R (%)
Ain Assel	0.8381	494.5	0.1962	196.2	23.4
Roum El souk	0.7939	452.4	0.1668	166.8	21.0

Tab (16) : Estimation de ruissellement par la formule de Texeront Berkalooff.

5-4 Estimation de l'infiltration :

Pour calculer l'infiltration, on utilise l'équation fondamentale du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I$$

Donc :

$$I = P - (R + ETR)$$

I : l'infiltration en (mm).

R : ruissellement en (mm).

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

Station	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)	I (%)
Ain Assel	838.1	494.5	196.2	147.4	17.6
Roum El Souk	793.9	452.4	166.8	174.7	22.0

Tab (17) : Estimation de l'infiltration

5-5 Représentation graphique des bilans hydriques :

Mois	T°C	i	K	P (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)
Sep	24.5	11.09	1.05	51.5	115.6	0	51.5	64.1	0
Oct	21.4	9.03	0.91	84.5	76.9	7.6	76.9	0	0
Nov	16.5	6.09	0.75	122.9	38.2	92.3	38.2	0	0
Déc	13.7	4.59	0.7	142.6	24.8	100	24.8	0	110.1
Jan	12.3	3.9	0.73	119.4	20.9	100	20.9	0	98.5
Fev	12.5	4.00	0.78	94.4	23.1	100	23.1	0	71.3
Mar	14.2	4.85	1.02	78	38.7	100	38.7	0	39.3
Avr	16.2	5.92	1.15	80.9	56.5	100	56.5	0	24.4
Mai	18.9	7.48	1.32	37.8	87.6	50.2	87.6	0	0
Jun	22.4	9.68	1.33	15.2	122.9	0	65.4	57.5	0
Jui	25.7	11.92	1.33	3.6	160.7	0	3.6	157.1	0
Aou	26.6	12.56	1.24	7.3	160.2	0	7.3	152.9	0
Total		91.11		838.1	926.1		494.5	431.6	343.6

Tab (18) : Bilan hydrique selon Thornthwaite, Station de Ain Assel (1979-2009)

Mois	T°C	i	K	P (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)
Sep	24.5	11.09	1.05	33.9	115.6	0	33.9	81.7	0
Oct	21.4	9.03	0.91	77.5	76.9	0.6	76.9	0	0
Nov	16.5	6.09	0.75	114.1	38.2	76.9	38.2	0	0
Déc	13.7	4.59	0.7	128.9	24.8	100	24.8	0	80.6
Jan	12.3	3.9	0.73	151.0	20.9	100	20.9	0	130.1
Fev	12.5	4.00	0.78	100.0	23.1	100	23.1	0	76.9
Mar	14.2	4.85	1.02	67.6	38.7	100	38.7	0	28.9
Avr	16.2	5.92	1.15	81.5	56.5	100	56.5	0	25
Mai	18.9	7.48	1.32	28.9	87.6	41.3	87.6	0	0
Jun	22.4	9.68	1.33	5.8	122.9	0	47.1	75.8	0
Jui	25.7	11.92	1.33	1.3	160.7	0	1.3	162	0
Aou	26.6	12.56	1.24	3.4	160.2	0	3.4	156.8	0
Total		91.11		793.9	926.1		452.4	476.3	341.5

Tab (19): Bilan hydrique selon Thornthwaite, Station de Roum El Souk (1979-2009).

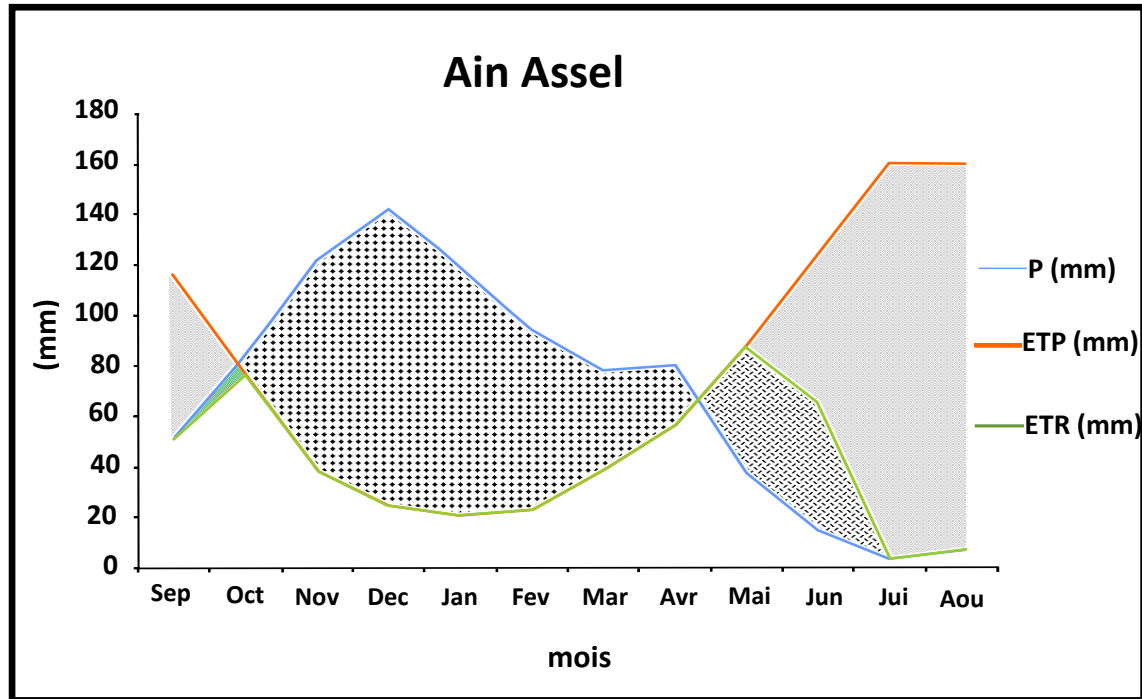


Fig (21) : Représentation graphique de bilan hydrique (Thorntwaite) à la station d'Ain Assel.

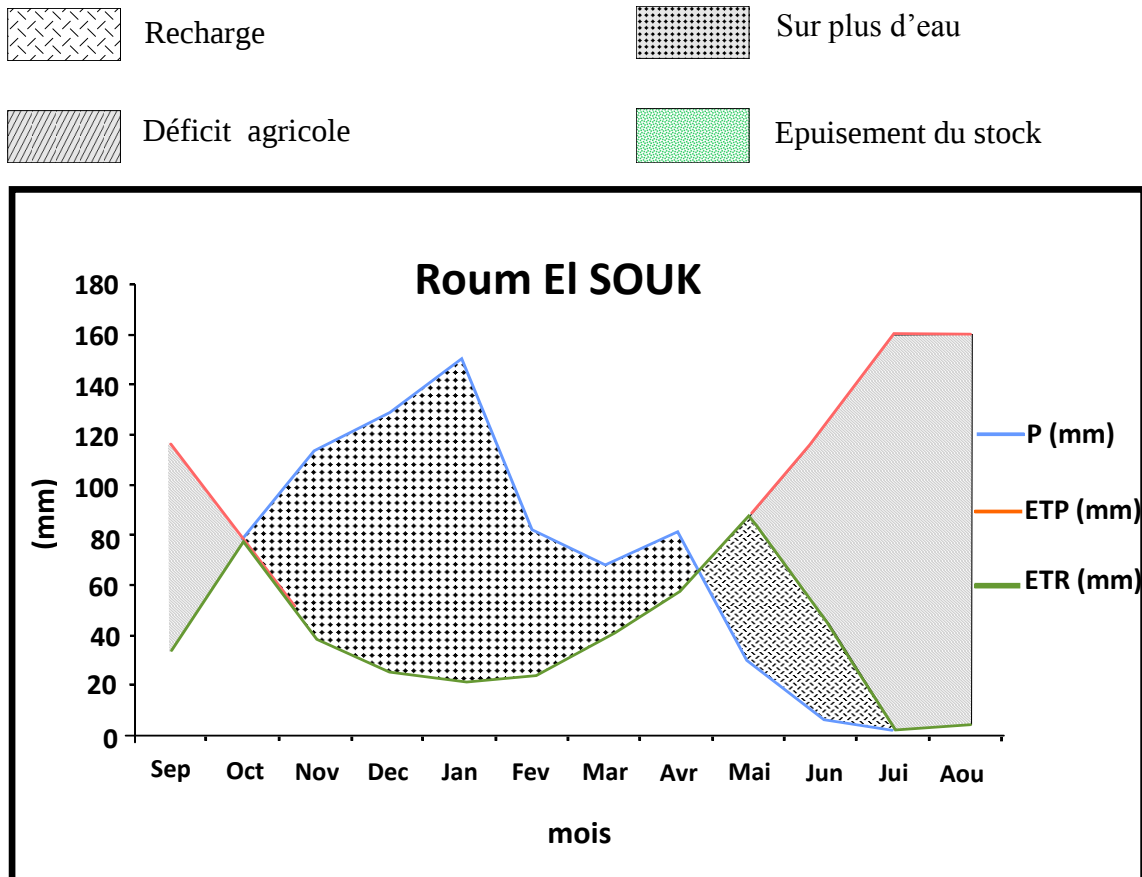


Fig (22) : Représentation graphique de bilan hydrique (Thorntwaite) à la station de Roum El souk.

● Interprétation du bilan hydrique :

D'après les graphiques du bilan hydrique des deux stations figure (18 et 19) calculés par la méthode de Thornthwaite, nous constatons que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois d'Octobre pour atteindre son maximum (100 mm) de Décembre à Avril pour les deux stations, période pour laquelle il y a un surplus d'eau se manifestant par un écoulement. Elle diminue à partir du mois d'Avril jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Mai, où on observe l'apparition de déficit agricole DA qui se poursuit jusqu'à Octobre.

Conclusion :

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat Méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse avec des températures relativement élevées.

La température moyenne annuelle varie entre 12.3 °C et 26.6 °C, elle est assez régulière, par contre la moyenne annuelle des précipitations est de 838.1 mm à Ain Assel et 793.9 mm à Roum El Souk.

L'étude de type de climat par le climagramme d'Emberger a montré que notre secteur d'étude est en zone subhumide, elle est marquée par une évapotranspiration réelle (ETR) de 59% (station Ain Assel) et 57% (station Roum El Souk) des précipitations.

L'infiltration efficace varie entre 17.6% et 22% des précipitations, alors que la lame d'eau ruisselée constitue 23.4% et 21% de la lame d'eau précipitée respectivement à Ain Assel et Roum El Souk.

Station	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Exc (mm)	DA (mm)	R mm	%	I mm	%
Ain Assel	838.1	926.1	494.5	343.6	431.6	196.2	23.4	147.4	17.6
Roum El Souk	793.9	926.1	452.4	341.5	476.3	166.8	21.0	174.7	22.0

Tab (20) : Tableau récapitulatif des résultats des bilans hydriques des deux stations.

Chapitre IV

L'Hydrologie

La disponibilité potentielle de l'eau est étroitement liée au comportement hydrologique d'un cours d'eau au régime pluvial.

Dans ce chapitre, on se penche sur l'étude du fonctionnement du réseau hydrographique et le comportement du système d'écoulement du bassin versant à travers l'analyse des débits.

1-Les données hydrométriques :

Pour l'étude des apports liquides et solides de l'oued Kebir Est on dispose de la station de jaugeage d'Ain El Assel Tab (21), située à 3 km en aval du site du barrage et dont le bassin versant est légèrement supérieur à celui du barrage pour une superficie de 676 km².

Un résumé complet des apports mensuels pendant 27 ans d'enregistrement est inclus dans l'annexe n°1. Ces enregistrements correspondent à la période 1946-47 à 1977-78, avec une interruption de 5 ans de 1955-56 à 1959-60.

Pour les données des apports solides, les mesures réalisées comprennent deux périodes très différenciées et espacées dans le temps, l'une de huit ans qui s'étend de 1947-48 à 1955-56 et l'autre de neuf ans, de 1969-70 à 1977-78.

Station de	Code de l'ANRH	Longitude	Latitude	Altitude
Ain Assel	03 16 01	8°21'57"	36°46'03"	32

Tab (21) : Coordonnées de la station de jaugeage d'Ain Assel (oued Kebir Est).

2-Etudes des apports liquides :

Le régime des débits d'un cours d'eau durant une période déterminée est le seul paramètre du bilan hydrologique d'un bassin qui puisse être mesuré dans son ensemble avec une bonne précision. Les autres éléments de ce bilan tels que les précipitations, l'évapotranspiration (ETP, ETR),...etc., ne peuvent être qu'estimés à partir d'échantillons prélevés ou par déduire des formules hydrologiques toujours approximatives. Dans l'intérêt d'un suivi garantissant un résultat satisfaisant, on s'est penché sur l'étude des apports (débits).

2-1 Apports liquides moyennes mensuels :

On peut étudier les variations mensuelles des Apports, en se basant sur les résultats des jaugeages sur la période d'observation (1946-47 à 1977-78).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Moyenne (hm³)	0.82	4.80	16.42	32.18	51.42	46.25	36.06	23.1	8.51	1.44	0.99	0.29

Tab (22) : Variation mensuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station d'Ain Assel (1946-47 à 1977-78)

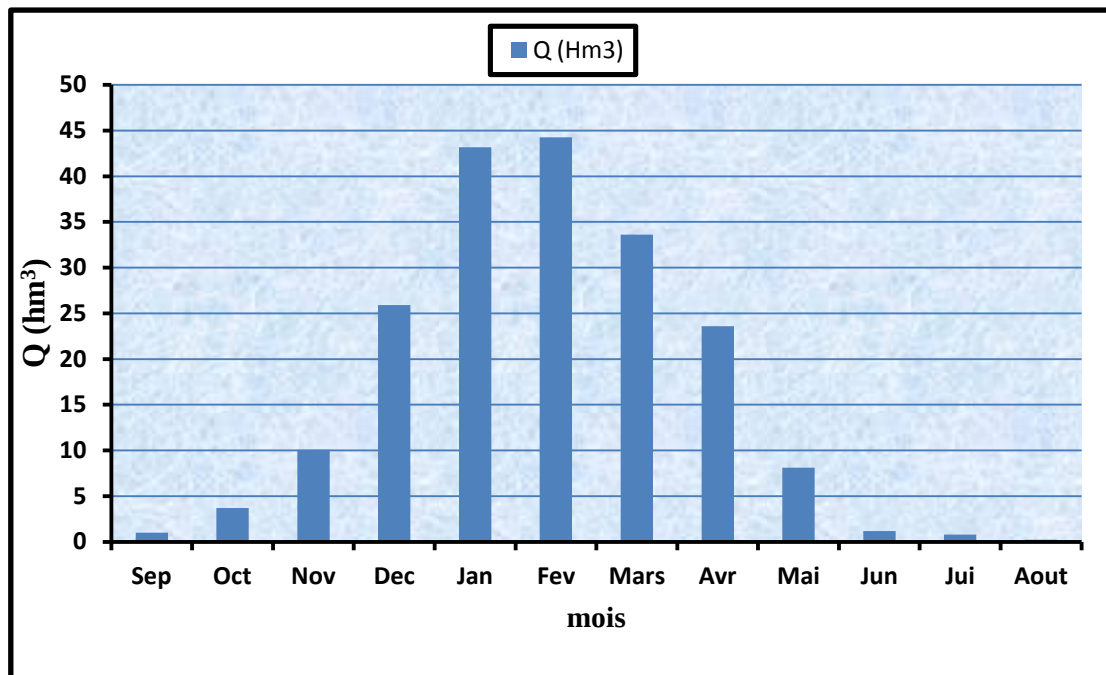


Fig (22) : Variations mensuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage d'Ain Assel (1946-47/1977-78).

L'apport de l'oued Kebir présente une distribution très variable sur toute l'année avec toutefois les irrégularités propres aux oueds de l'Algérie de nord. Il existe une saison humide concentrée sur une période de six mois qui s'étend de novembre à avril, pendant la quelle l'écoulement représente 92 % de volume annuel en moyenne, tandis que pendant les six mois restants qui correspond à la saison sèche, les apports baissent considérablement et sont pratiquement inappréciables pendant les mois de juin, juillet, aout et septembre, comme en peut le voir sur la figure (22).

Cette répartition correspond assez bien à celle qui avait été présentée antérieurement pour les précipitations.

2-2 Apport liquides annuels :

Sur la base des données disponibles, l'apport moyen annuel de l'oued Kebir à la station de jaugeage d'Ain Assel est 222.3 hm³.

Année	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55
Q(hm ³)	172.83	314.50	256.88	121.10	303.40	454.03	440.42	187.43	196.18
Année	60/61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69
Q(hm ³)		115.20	249.19	159.56	250.37	175.29	127.80	132.92	
Année	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
Q(hm ³)	97.12	340.10	264.26	224.59	377.85	85.04	211.78	146.14	153.59

Tab (23) : Variation annuelle des apports liquides de l'oued Kebir Est à la station d'Ain Assel (1946-47/1977-78).

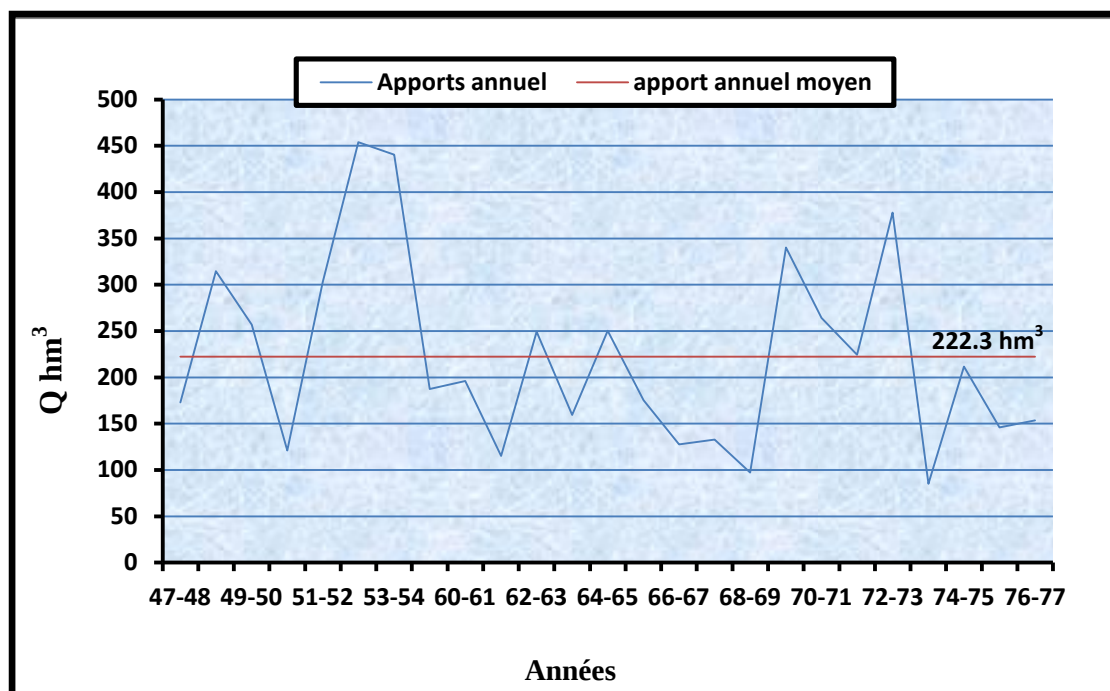


Fig (23) : Variations annuelle des apports liquides de l’oued Kebir Est à la station d’Ain Assel (1946-47/1977-78).

La série hydrométrique de 27 ans (1946-46 à 1977-78) de l’Oued Kebir est représentée dans la figure (27). Ce graphe montre une importante variation d’une année à l’autre, d’où une alternance multiple d’années excédentaires et d’années déficitaires. Ainsi, le débit le plus élevé soit, $Q=454.03 \text{ hm}^3$, a été observé au courant de l’année 1952-53, le plus faible a été observé durant l’année 1973-74, soit $Q=85.04 \text{ hm}^3$. L’Oued El Kébir est débité à la station d’Ain Assel, avec une moyenne de 222.3 hm^3 .

2-3 Les crues :

L’intérêt de la détermination du débit maximum probable des crues d’un cours d’eau, en un point donné, est évidente, en raison des effets destructifs bien connus de ces cataclysmes hydrologiques et de la nécessité de calculer certains ouvrages d’art en vue de leur éventualité, le débouché des ponts, les dimensions des évacuateurs de crues des barrages, la hauteur des digues de protection contre les inondations, etc..., sont essentiellement déterminés par le maximum probable par la crue auxquels les ouvrages devront faire face, compte tenu de certaines considération d’optimum économique.

2-3-1 Pluie maximum de 24 heures :

Pour avoir une idée sur les pluies maximum de 24 heures de différentes fréquences, on a pris les données de la DEMRH qui on utilisé les données de trois stations pluviométriques (Ain El Kerma, Ain Fedden et El Kala).

Fréquences (%)	10	1	0.1
Pluie maximum de 24 heures (mm)	120	165	220

Tab (24) : Pluie maximum de 24 heures de différentes fréquences sur le bassin versant du barrage Mexanna (par la DEMRH).

2-3-2 Débits maximum de crue :**2-3-2-1 Méthodes statistiques :**

L'application de méthodes statistiques pour déterminer les crues maximums possibles d'un oued, en se basant sur les enregistrements historiques disponibles, est très acceptable à condition que les résultats soient interprétés et utilisés avec les réserves et les nuances nécessaires.

a) Distribution des Gumbel :

Cette distribution trouve une vaste application dans l'étude des grandes crues bien qu'elle se caractérise par le fait de fournir des valeurs extrême plus basses que celles obtenue par d'autres distributions statistiques.

Les paramètres d'ajustement de la loi de Gumbel obtenues par la **DEMRH** la sont :

$$X = 405 \text{ m}^3/\text{s} , \delta = 116 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\alpha = 90.48 , x_0 = 353$$

L'équation de la répartition et la suivante (graphe) : $x = 353 + 90.48y$.

Les débits maxima de différentes fréquences obtenues par la loi de **Gumbel** sont :

$$Q_{\max 10 \%} = 560 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{\max 1 \%} = 770 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{\max 0.1 \%} = 980 \text{ m}^3/\text{s}.$$

b) Distribution de Fréchet :

La distribution de **Fréchet** utilise les mêmes principes que la précédente mais elle opère avec les logarithmes des valeurs de la série à étudier, les résultats sont pour cette raison généralement plus élevés que ceux obtenus la méthode de **Gumbel**.

Les débits maxima de différentes fréquences obtenus par la **DEMRH** par cette loi sont les suivantes :

$$Q_{\max 10 \%} = 600 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{\max 1 \%} = 1050 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{\max 0.1 \%} = 1800 \text{ m}^3/\text{s}.$$

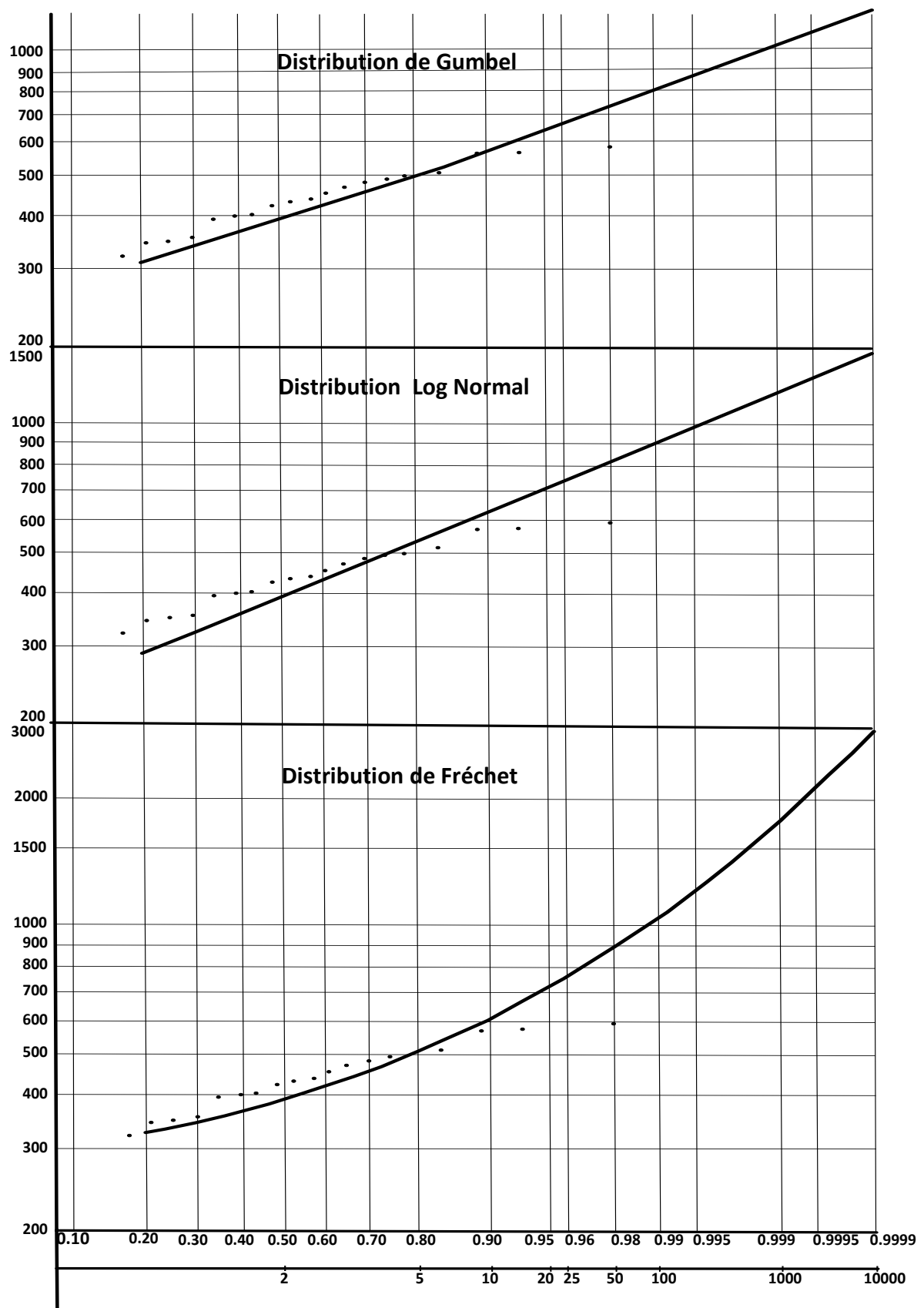


Fig (24) : Crues maximums instantanées de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage de Ain Assel (par Hydrotechnic corporation).

2-3-2-2 Méthode du diagramme unitaire :

On résume ci-après les principes qui sont la base de la méthode de l'hydrogramme unitaire.

- sur un bassin versant déterminé, la durée de ruissellement superficiel successif à différentes averses, caractérisées par l'intensité ou la hauteur de pluie efficace et présentant la même répartition spatiale et temporelle est indépendante de l'intensité de la pluie. Les averses ayant une durée beaucoup inférieure au temps de concentration du bassin sont dites « averses unitaires » et les hydrogrammes correspondants définissent la fonction de transfert « pluie débit » du bassin versant.

Pour construire l'hydrogramme unitaire du l'oued Kebir Est la station de jaugeage de Ain Assel nous avons choisi 11 crues observées. Le tableau (25) donne les caractéristiques principales des crues observées.

Date de Crue	Crue Max instantanée (m ³ /s)	Débit max ruisselé (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Débit de base (m ³ /s)	Volume (hm ³)	Temps en heures			Volume Ruisselé	
						T _r	T _m	T _b	hm ³	mm
10-12 Dec 1946	180	172	51	6	12.4	3.0	18	68	12.4	18.5
14-17 Dec 1946	283	273	80	10	23	3.0	18	80	23.0	34.4
19-21 Jan 1950	230	222	53	6	11.8	2.8	17	56	11.8	17.5
5-8 Dec 1952	477	457	136	20	47.2	3.0	18	98	47.2	70.4
27-29 Jan 1953	479	465	157	10	40.6	3.0	18	72	40.6	60.6
22-25 Avr 1966	516	511	118	3	32.2	2.7	16	76	32.2	48.1
8-10 Fev 1967	336	328	75	6	32.2	3.0	18	79	32.2	31.2
3-5 Jan 1969	344	332	85	10	17.2	3.0	18	55	17.2	25.6
17-20 Fev 1975	462	457	142	3	50	2.7	16	98	50.0	74.7
18-20 Nov 1976	584	574	132	4	38.9	3.0	18	82	38.9	58.0
20-22 Avr 1977	300	297	56	2	12.6	3.0	18	62	12.6	18.7

Tab (25) : Paramètres de base de l'hydrogramme unitaires pour une pluie efficace de 1 mm déduits des crues enregistrés à la station hydrométrique de Ain Assel (par la DEMRH).

Le tableau (25) a permis l'obtention du diagramme unitaire correspondant à une pluie efficace de 1 mm Fig(25).

La durée de pluie efficace appartenant à l'hydrogramme unitaire par la formule de **Snyder**.

$$T_r = T_p/5.5 \quad \text{et} \quad T_m = T_p + T_r/2$$

T_r : durée de la pluie efficace.

T_m : temps de montée.

T_b : temps de base.

T_p : temps de réponse.

Les débits maxima de différentes fréquences de l'oued Kebir Est à la station d'Ain Assel établie par la **DEMRH** par la méthode de diagramme unitaire sont :

Q_{max} 10 % = 600 m³/s.

$Q_{\max} 1 \% = 900 \text{ m}^3/\text{s}$.

$Q_{\max} 0.1 \% = 1250 \text{ m}^3/\text{s}$.

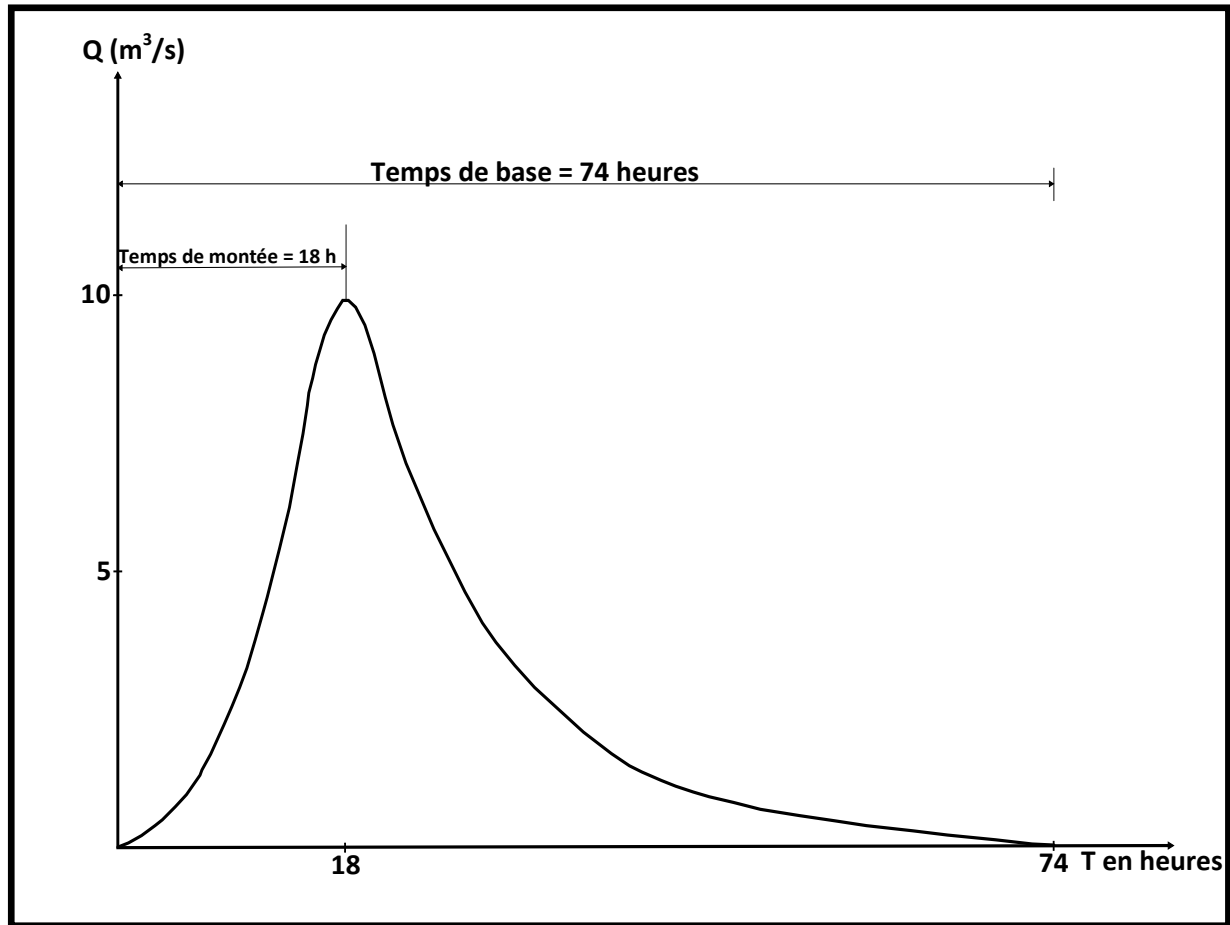


Fig (25) : Hydrogramme unitaire correspondant à une pluie efficace de 1 mm de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage de Ain Assel (par la DEMRH).

2-3-2-4 Hydrogramme de crue :

Sur la base des résultats des méthodes appliquées pour déterminer le débit maximal des crues (décennale, centennale, et millennale) déterminées par le bureau d'étude Américain Hydrotechnic Corporation 1979 Tab (26), nous avons obtenue les diagrammes de crues de différentes fréquences Fig (26).

probabilité	Période de retour (année)	Débits maxima m^3/s							
		Méthodes statistiques			Hydrogramme unitaire	Méthode empirique		Gradex	Adopté
		Gumbel	Log-Normal	Fréchet		Chaumont	Mallet		
0.90	10	750	630	600	600	950	-	600	650
0.96	25	-	-	-	-	-	-	-	950
0.99	100	790	950	1050	900	1900	-	1560	1250
0.999	1000	1000	1250	1800	1250	2750	2000	2490	2000
0.9999	10000	1250	1550	3000	-	-	2350	-	2700

Tab (26) : Tableau récapitulatif déterminant les crues maxima instantanées obtenus par diverses méthodes (par Hydrotechnic Corporation 1979).

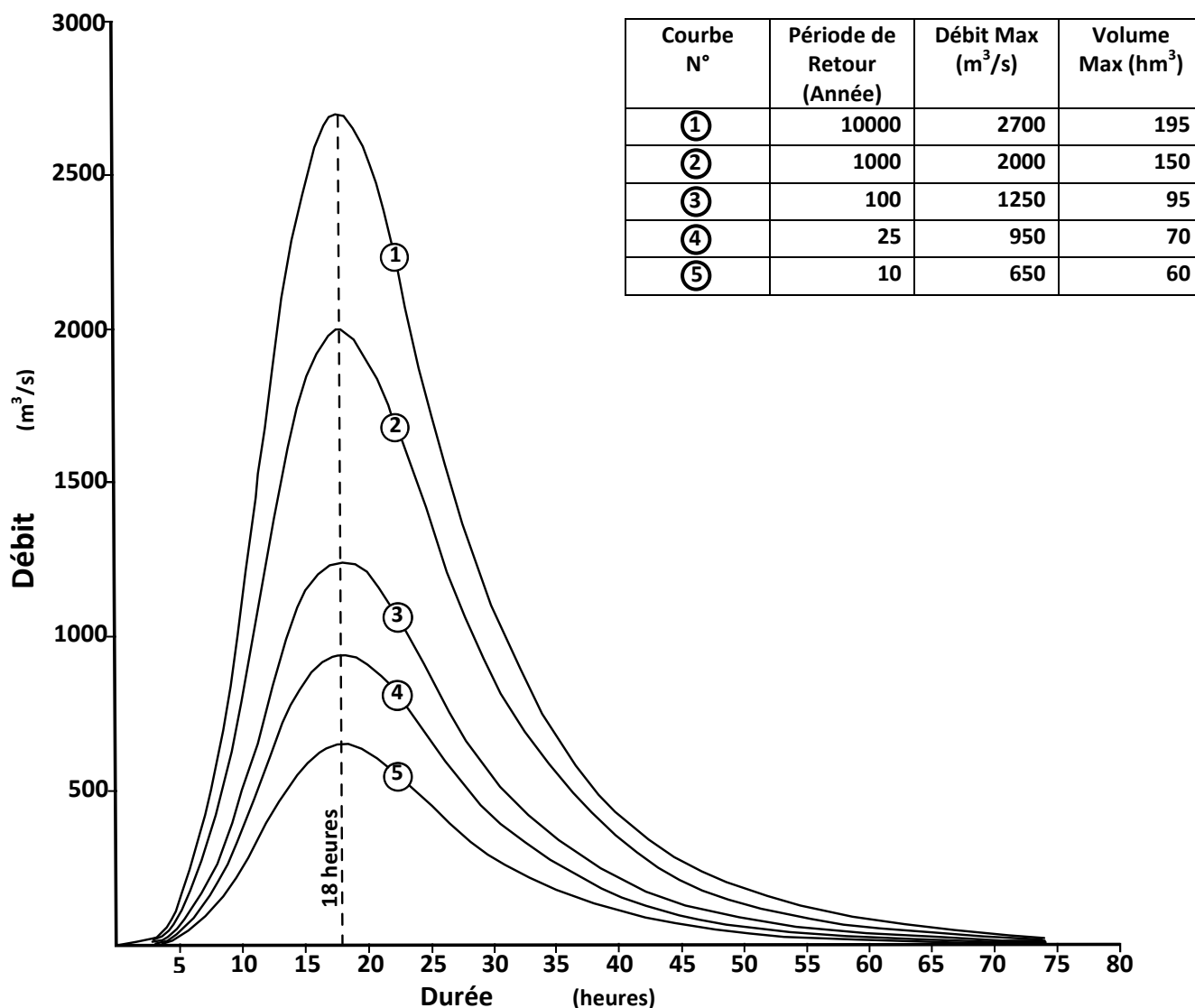


Fig (26) : Hydrogrammes des crues maximums de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage d'Ain Assel.

3-Les apports solides :

Comme nous avons annoncé ultérieurement, les données disponibles, qui se rapportent aux mesures réalisées à la station de jaugeage d'Ain Assel sont peu nombreuses. Les données existantes ne concernent que les matériaux solides en suspension apportés par les eaux de l'oued Kébir Est ; et ne dispose pas des données concernant le volume des matériaux de charriage, dont la proportion par rapport aux premiers pourrait être importante.

Le tableau (26) présente un résumé des valeurs annuelles estimées pour les apports solides en suspension ou cours de la période de mesure, ainsi que les apports liquides et leur rapport.

Année	Apports solides (.10 ³ T)	Apports liquides (.10 ⁶ m ³)	$\frac{A.Solides}{A.liquides}(\text{‰})$
1947-1948	128	172	0.74
1948-1949	924	314	2.94
1949-1950	-	-	-
1950-1951	119	112	1.06
1951-1952	-	-	-
1952-1953	1207	454	2.66
1953-1954	960	440	2.18
1954-1955	339	188	2.12
1970-1971	841	253	3.33
1971-1972	513	215	2.41
1972-1973	1375	378	3.65
1973-1974	205	146	1.41
1974-1975	653	212	3.08
1975-1976	-	-	-
1976-1977	686	154	4.46
1977-1978	464	202	2.30

Tab (27) : Apports solides en suspension de l'oued Kebir Est à la station de jaugeage d'Ain Assel (1947-48/1977-78).

L'observation du tableau (27) permet de tirer les conclusions suivantes :

Il existe une différence notable dans la quantité des apports solides correspondant à la dernière période d'observation, soit depuis 1970 où le rapport (apport solide/apport liquide) s'accroît considérablement. Donc pour estimer les valeurs moyennes des apports solides en suspension de l'oued Kebir Est on élimine les anciennes données (des années cinquante).

L'apport liquide de la période d'observation des débits solides, égal à 223 hm³/an, correspond pratiquement à la valeur établie à long terme (222.3 hm³/an). Par conséquent le rapport moyen de 3.04 ‰ déterminé dans le tableau (27). On admettant que ce coefficient pourrait être maximum de 3.5 ‰ toujours à moyen et à long terme.

Si l'on suit ce raisonnement, l'apport solide en suspension de l'oued Kebir Est pourrait être de :

$$Q_{\text{solide}} = 3.04 \text{ ‰} \times 222.3 \cdot 10^6 = 675.8 \cdot 10^3 \text{ T/an.}$$

$$Q_{\text{solide maximum}} = 3.5 \text{ ‰} \times 222.3 \cdot 10^6 = 778 \cdot 10^3 \text{ T/an.}$$

Un apport de type exponentiel ayant été établi entre les apports solides et liquides pour la période d'observation à partir de 1970, soit :

$$A_{\text{solides}} = a \cdot e^{bx} \cdot 10^3 \text{ T/an}$$

Où :

$$a = 263.21$$

$b = 0.004$

x : apports liquide en hm^3 .

Si l'on applique ce rapport pour un volume d'apports liquides équivalent à la moyenne à long terme, à savoir $222.3 \text{ hm}^3/\text{an}$, on obtient comme apport moyen des solides en suspension le chiffre de 660000 T/an , ce qui correspond assez bien aux valeurs antérieures.

Ainsi, pour estimer l'envasement probable de la retenue de Mexanna sur les 50 ans de vie utile considérés, et on adoptant hypothèse très conservatrice (proposer par la **DEMRH**) que les apports par charriage équivalent à 30 % des matériaux en suspensions on aurait :

L'envasement total probable : $675.8 \times 1.3 \times 50 \times 10^3 = 43.9 \times 10^5 \text{ T/an}$.

L'envasement total max probable : $778 \times 1.3 \times 50 \times 10^3 = 50.6 \times 10^5 \text{ T/an}$.

En supposant que la densité moyenne est comprise entre 1.2 et 1.5 T/m^3 on arriverait à un volume maximum total de l'ordre de $35\text{-}42 \text{ hm}^3$ pour entrant dans la retenue.

4-Conclusion :

L'étude de l'écoulement superficiel du bassin de la retenue Mexanna a permis de retenir que l'irrégularité temporelle (annuelle et mensuelle), est le caractère capital de l'écoulement moyen ainsi que l'écoulement maximal (crue).

Les régimes moyens des pluies et des écoulements mensuels ont présenté une concordance temporelle relative, où les mois les plus pluvieux sont le plus souvent les plus abondants en écoulement.

L'apport liquide moyen annuel de l'oued Kebir Est est de 222.3 hm^3 ce qui dépasse largement la capacité de rétention du barrage (41.5 hm^3).

L'apport solide maximum de l'oued est de l'ordre de $50.6 \times 10^3 \text{ T/an}$ de matériaux en suspension, et par charriage c'est à dire un volume total de 35 à 42 hm^3 entrant dans le barrage après 50 ans.

Chapitre V

L'Hydrochimie

1- Echantillonnages et méthodes d'analyses :

Les eaux de la retenue Mexanna sont contrôlées régulièrement depuis l'année 2001 par une analyse complète chaque moi. L'échantillonnage et le dosage des éléments est fait par les opérateurs de l'Algériennes des eaux (ADE) actuellement (SEATA).

Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner puis bouchonné. Les échantillons sont pris à l'entrée de la station de traitement de Bensebti à la commune d'El Tarf 3 km à l'aval de la retenue.

Les paramètres physiques tels que la température, le pH et la conductivité électrique sont mesurés in situ à l'aide d'un pH-mètre, conductimètre, et un thermomètre. Les autres éléments sont dosés au laboratoire central de l'Algérienne des eaux à Annaba.

Le dosage du sodium et le potassium est effectué seulement le long de l'année 2002 à cause de l'expiration des appareils de mesure.

2- Faciès chimique :

2-2 Formule ionique :

Malheureusement le dosage de sodium et de potassium est effectué seulement pour les échantillons de l'année 2002, pour cela on détermine le faciès chimique et l'aptitude des eaux à l'irrigation seulement pour cette année.

Le traitement des analyses chimiques des eaux de l'année 2002 a permis de déterminer pour chaque analyse considéré un faciès chimique. L'ensemble de ces résultats est résumé dans le tableau (28) :

mois	Formule ionique	Faciès chimique
Janvier	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté _ calcique
février	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Mars	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Avril	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Mai	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté _ Bicarbonaté _ Calcique
Juin	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté _ Bicarbonaté _ Calcique
Juillet	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Aout	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Septembre	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Octobre	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rCa^{2+} > rMg^{2+} > (rNa^+ + rK^+)$	Bicarbonaté _ Calcique
Novembre	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté _ Bicarbonaté _ Calcique
Décembre	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- > rCa^{2+} > (rNa^+ + rK^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté _ Bicarbonaté _ Calcique

Tab (28) : formule ionique et faciès chimique des eaux du barrage Mexanna de l'année 2002.

Afin de voir la fiabilité des analyses on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse qui n'ont pas dépassé 6%. Les formules ioniques ont permis d'établir le faciès chimique pour chaque analyse Tableau (28). Les eaux étudiées (de 2002) ont été classé en trois (03) faciès chimiques, le plus dominant le Bicarbonaté-Calciq pour les eaux des mois de février, mars, avril, juillet, aout, septembre et octobre. Le Sulfaté-Bicarbonaté-Calciq ou mois de mai et juin. Le Sulfaté-calciq ou mois de janvier. Pour visualiser les résultats du tableau (28), on représente ces analyses par le diagramme de Stif.

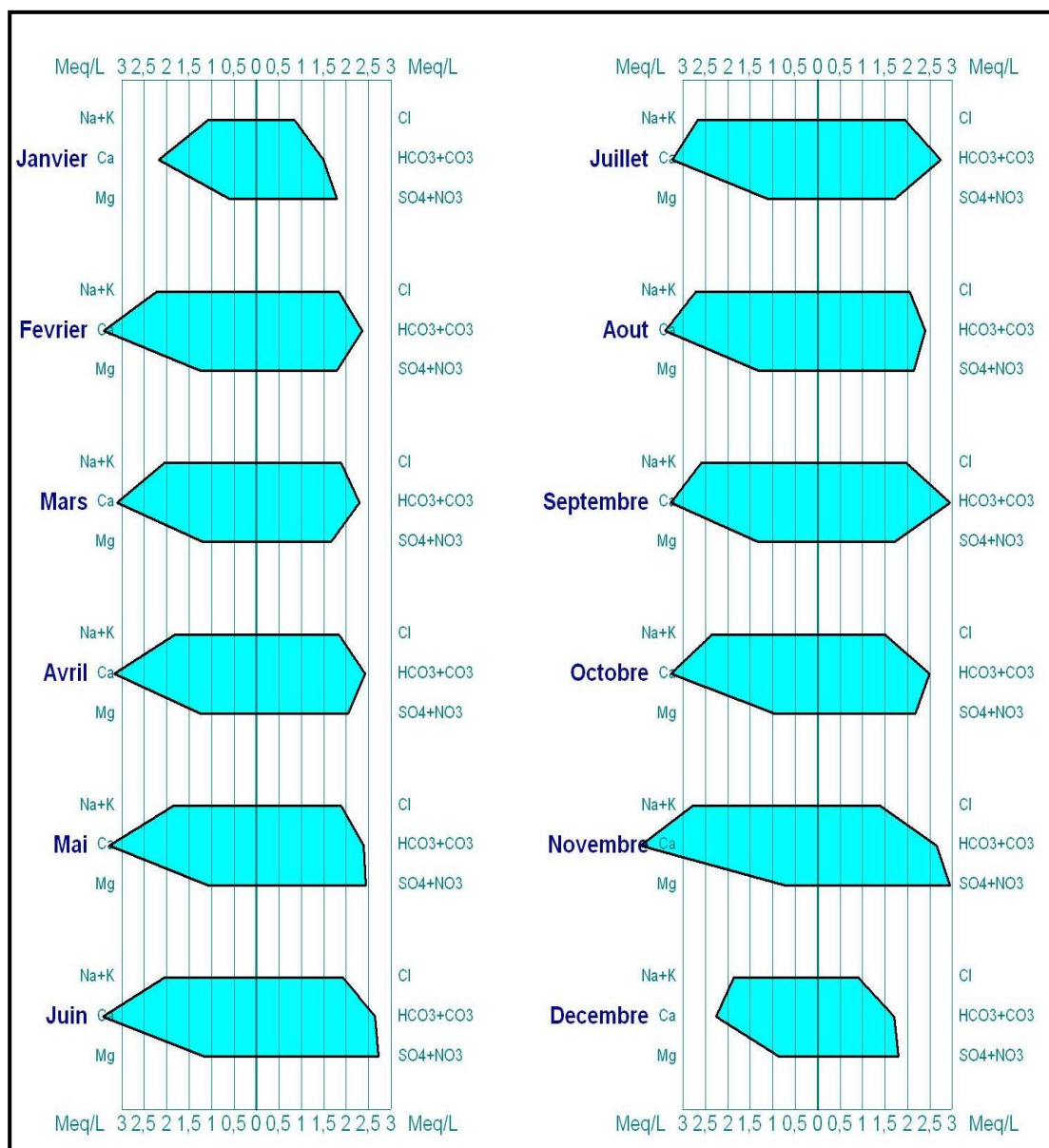


Fig (27) : Détermination du faciès chimique des eaux du barrage Mexanna de l'année 2002 par le diagramme de Stif.

2-2 Diagramme de piper :

Le diagramme de Piper permis la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution de chimisme des eaux. Pour ce travail on représente les analyses de l'année 2002 Fig (28).

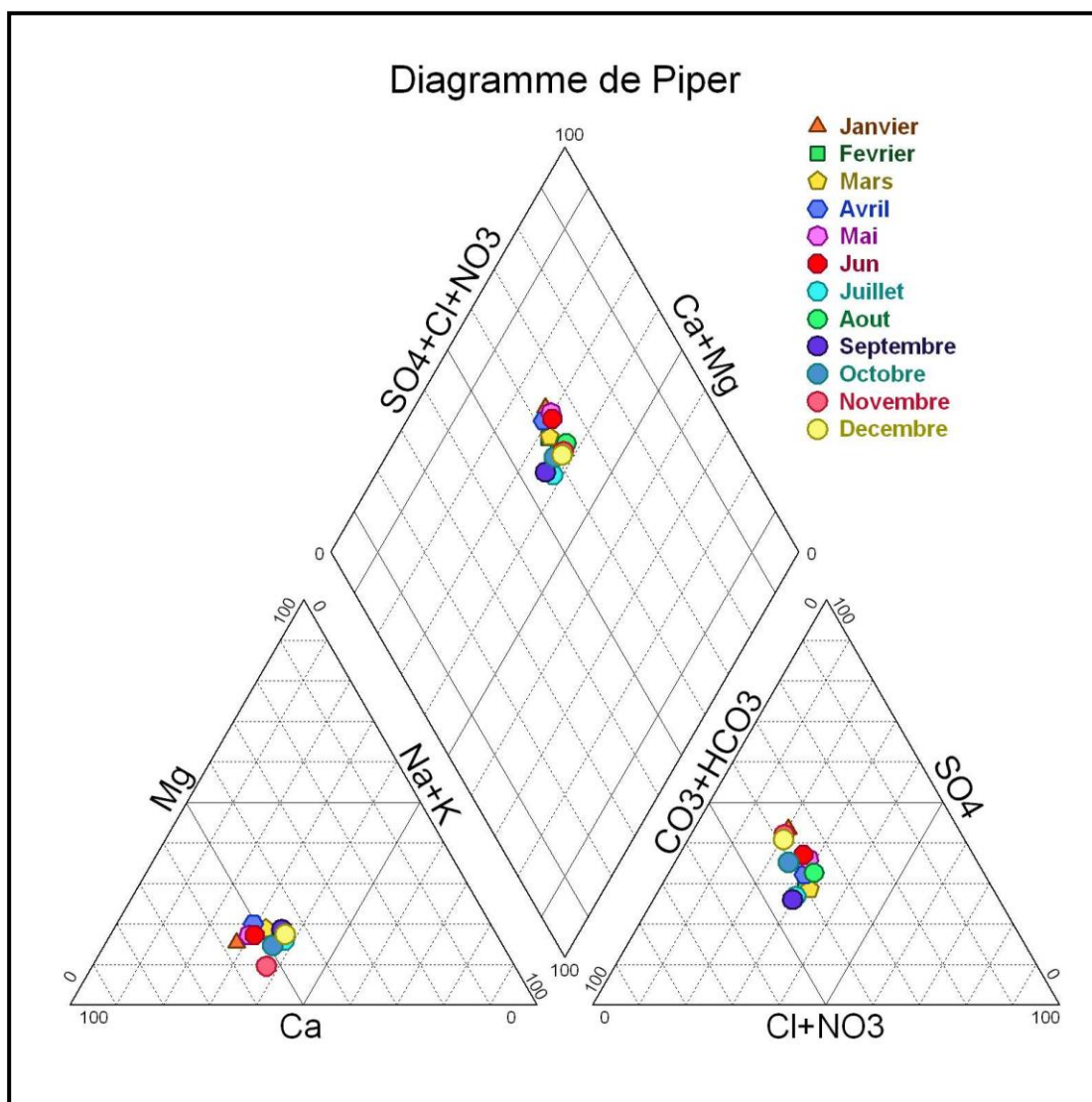


Fig (28) : Représentation des analyses chimiques des eaux du barrage Mexanna de l'année 2002 par le diagramme de Piper.

La représentation des analyses chimiques de l'eau sur le diagramme de piper permet de différencier les familles d'eaux. L'examen des représentations graphiques obtenues, permet de déduire les interprétations suivantes :

- Dans le triangle des cations le calcium est dominants par rapport au sodium et ou magnésium.
- Dans le triangle des anions pas d'anions dominant il s'agit d'un piper.
- Ainsi, dans diagramme losangique, l'évolution chimique est alors marquée par un positionnement vers le pole chloruré et sulfaté calcique.

2-3 Diagramme de Richards :

Richards (1954) a élaboré une classification, en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et la conductivité).

Le SAR définie comme égal a :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

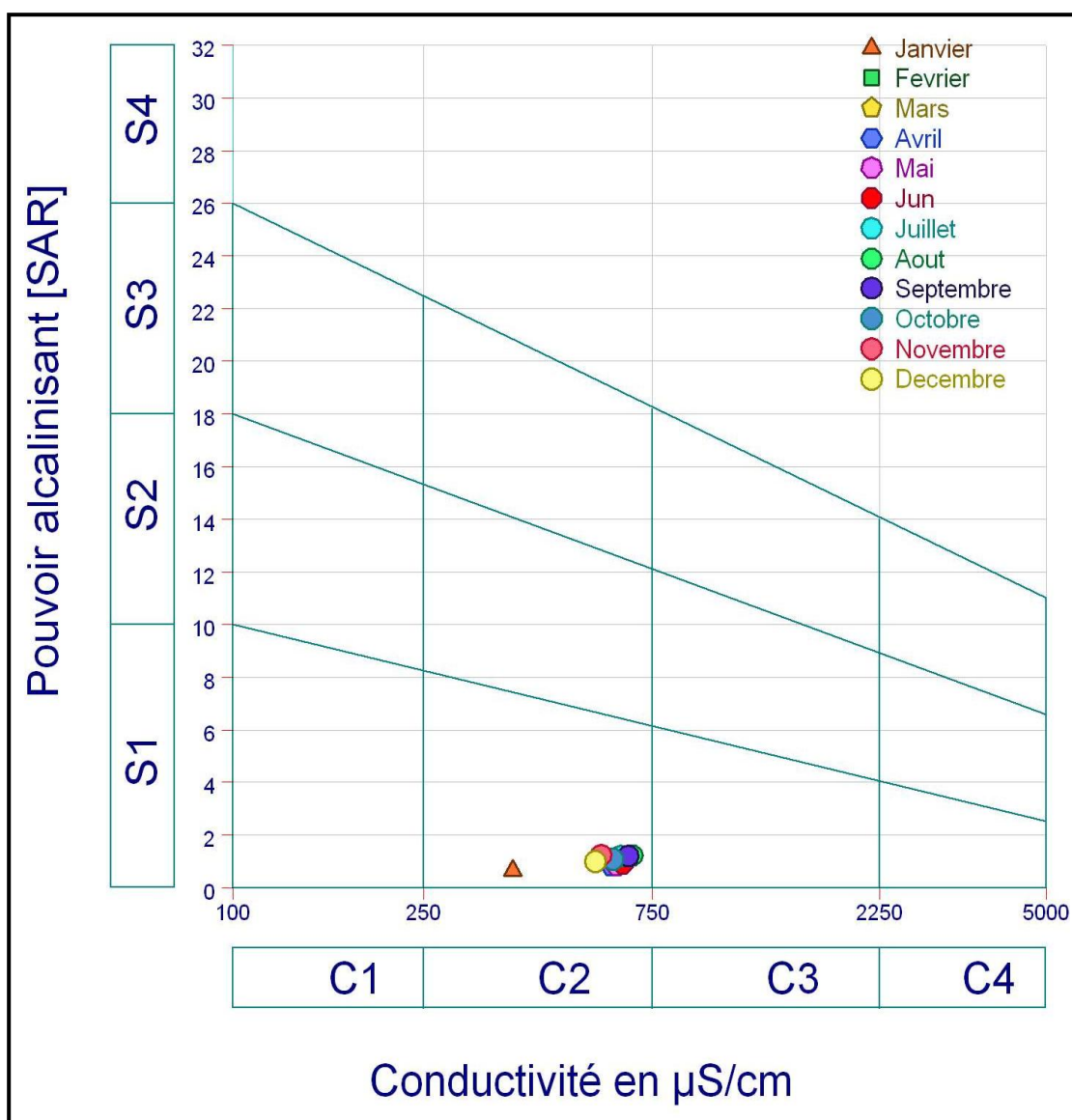


Fig (29) : Diagramme de Richards pour les eaux du barrage Mexanna à l'année 2002.

D'après le diagramme de Richards Fig (29) on constate que les eaux brutes du barrage Mexanna appartiennent à la même classe d'aptitude à l'irrigation, la classe C₂S₁.

Les eaux de cette classe sont bonnes à l'irrigation. En générale ces eaux conviennent a l'irrigation des plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles Tab (27).

Degrés	Qualité	classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C ₁ S ₁	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C ₂ S ₁	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
3	Admissible	C ₃ S ₁ , C ₃ S ₂ C ₂ S ₃	La salinité doit être contrôlée, l'irrigation des cultures tolérables aux sels, sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C ₄ S ₁ , C ₄ S ₂ C ₃ S ₃	Eaux fortement minéralisées, utilisées uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Mauvaise	C ₃ S ₄ , C ₄ S ₃ C ₄ S ₄	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisé sous certain condition : sol très perméable, bon lessivage dans le cas très tolérantes ou sels.

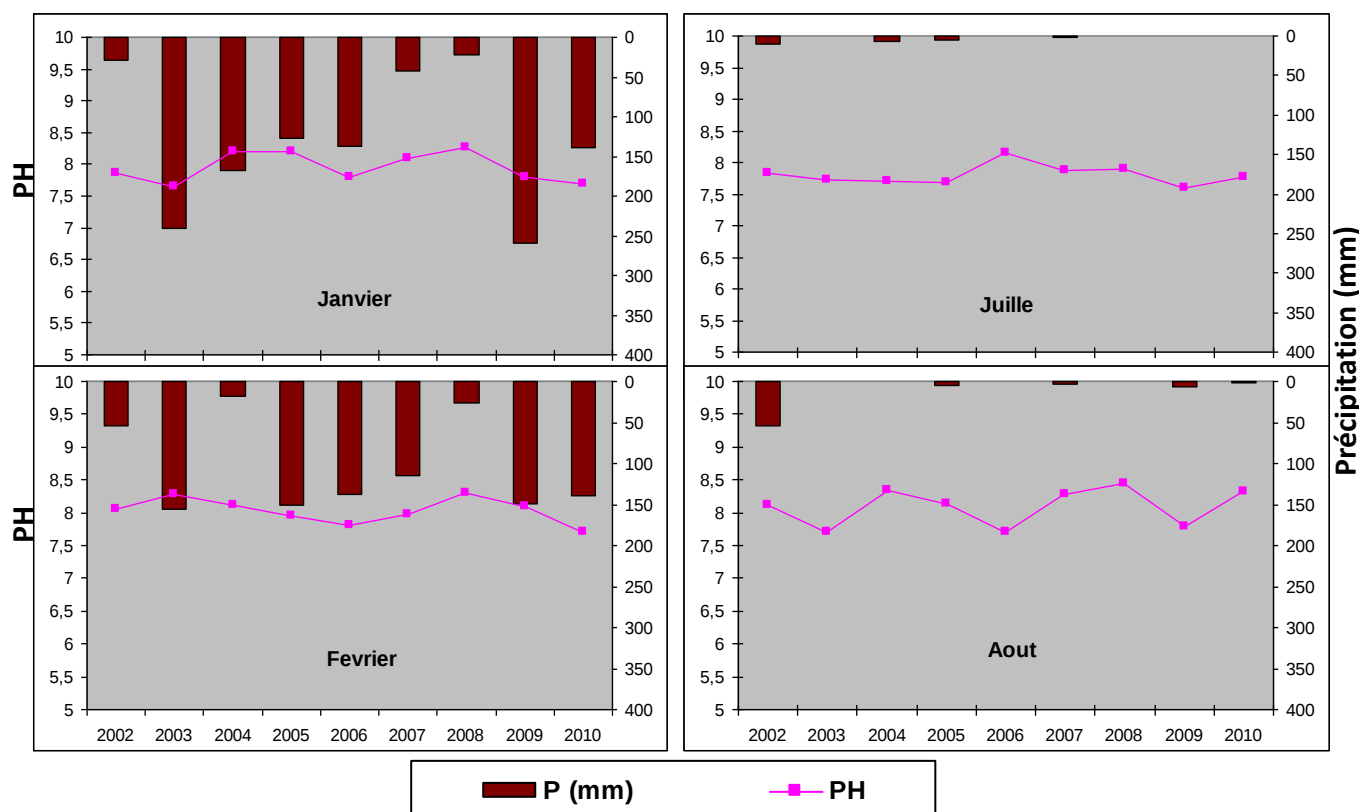
Tab (29) : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).

3- Evolutions des paramètres physico-chimiques et organoleptiques :

3-1 Les paramètres physiques :

3-1.1 Le pH :

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés.



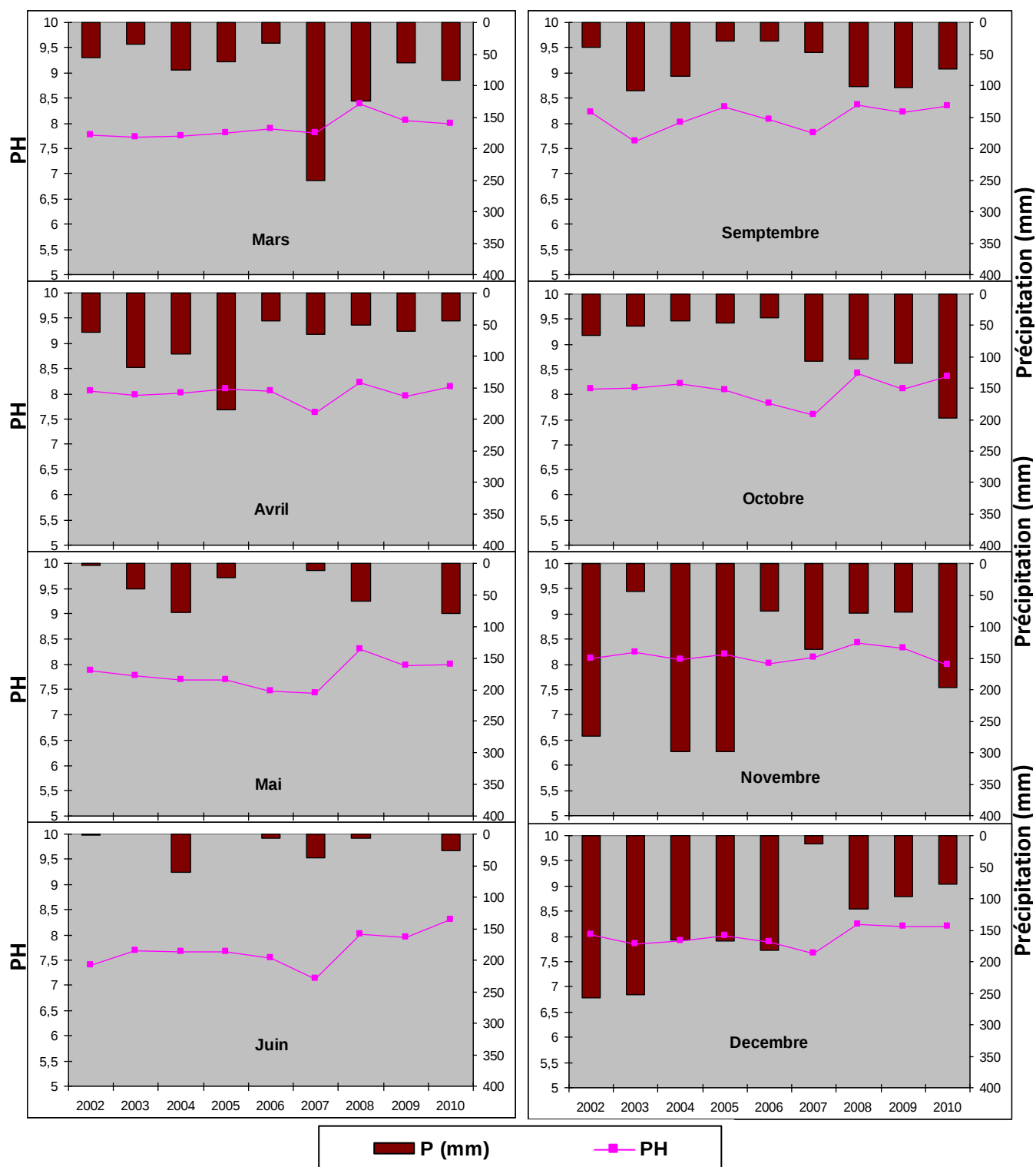


Fig (30) : Evolution annuelle du pH des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010).

Les eaux brutes du barrage Mexanna au cours de la période d'étude (2002/2010) ont un pH qui ne dépasse pas les normes de potabilité ($6.50 < \text{pH} < 8.50$). En plus, le pH des eaux demeure légèrement alcalin il a fluctué entre 7.13 et 8.44 toute ces années. Ces valeurs de pH favorisent une vie aquatique riche et diversifiée (Nisbet et Vernaux 1970). Les pH des mois d'automne sont les plus

élevés en raison de la concentration des minéraux dans l'eau après la saison d'évaporation Tab (30), la plus forte valeur est enregistrée en novembre 2008.

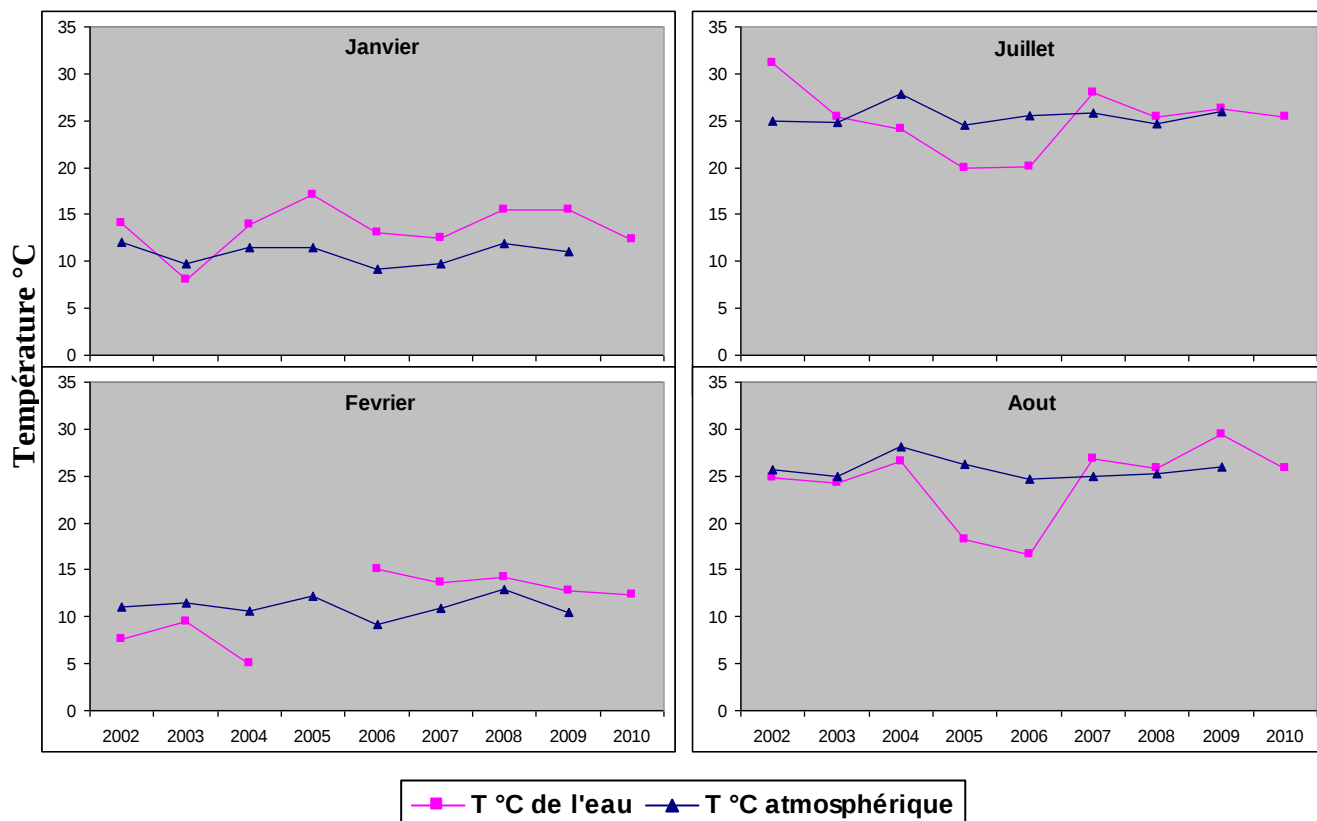
La figure (30) montre une augmentation des valeurs du pH durant les trois dernière années (2008, 2009, 2010) par rapport aux premières années.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne	7.99	8.07	7.90	8.01	7.79	7.70	7.80	8.09	8.11	8.08	8.17	7.97
maximum	8.26	8.30	8.38	8.21	8.29	8.29	8.15	8.44	8.37	8.42	8.42	8.24
minimum	7.65	7.81	7.72	7.62	7.42	7.13	7.60	7.7	7.65	7.60	8.00	7.67
Ecart type	0.23	0.16	0.21	0.16	0.27	0.34	0.16	0.28	0.24	0.25	0.14	0.18

Tab (30) : Paramètres statistiques du potentiel hydrique pH des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-1.2 La température :

La température des eaux superficielles dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire. La température influence des paramètres comme l'oxygénation, la conductivité, la solubilité de différentes substances, ... etc. Elle joue aussi un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation de l'eau. Elle varie en fonction de la température extérieure de l'air (saison), de la nature géologique et de la profondeur de l'eau.



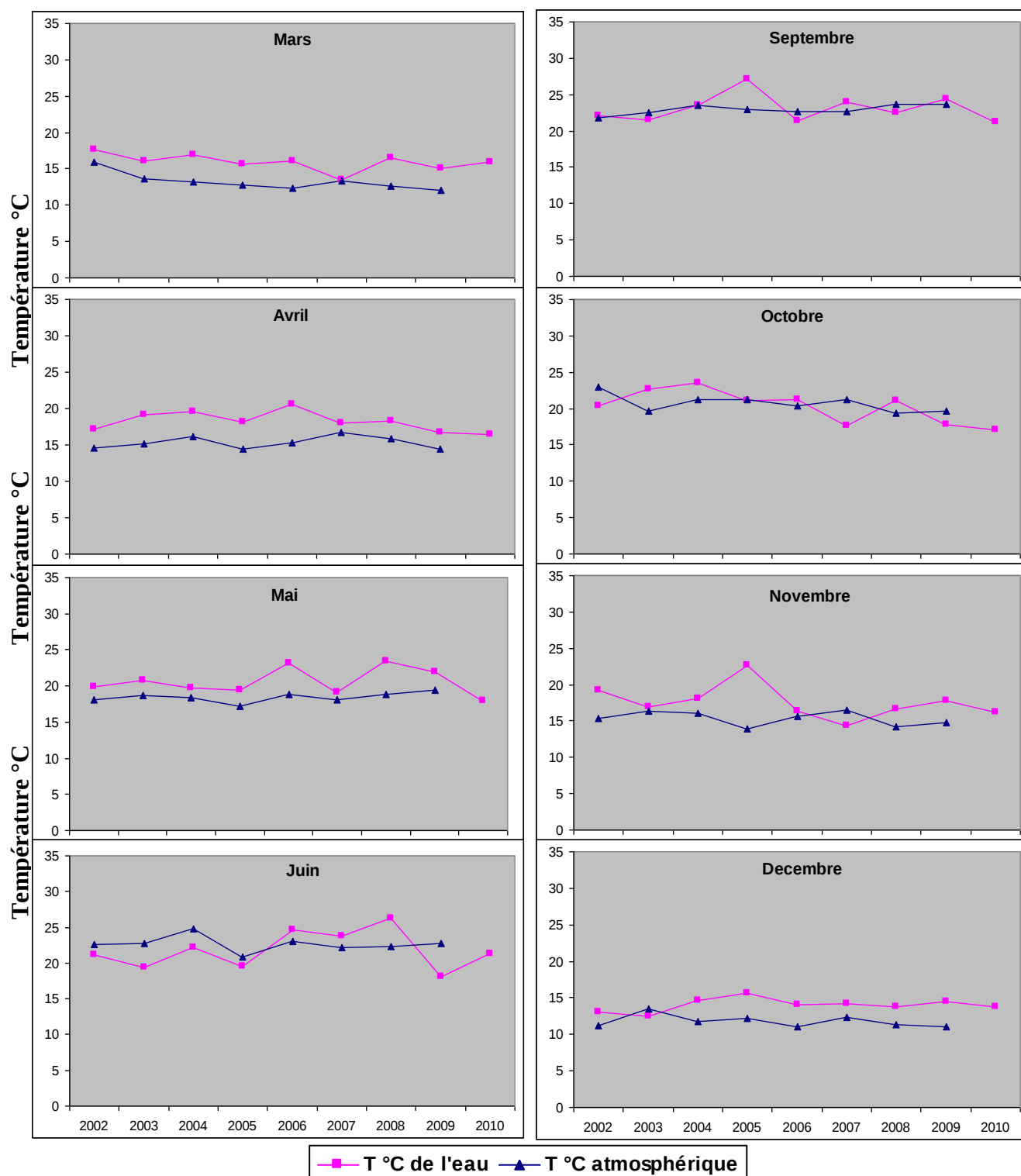


Fig (31) : Evolution annuelle de la température des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010).

D'après les courbes de la figure (31) la température des eaux du barrage varie en fonction de la température extérieure (l'aire), donc leur variation est saisonnière. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la saison estivale et les plus faibles pendant la saison hivernale. Banalement les températures des eaux sont inférieures à la température atmosphérique mais les courbes de la figure (31) montre le contraire et montre aussi des intersections entre les deux courbes (température

atmosphérique et température de l'eau), cela est due au non respect des heurs de mesures de la température des eaux par les opérateurs de SEATA, et que la température atmosphérique est la moyenne mensuelle alors que la deuxième est la maximale journalière.

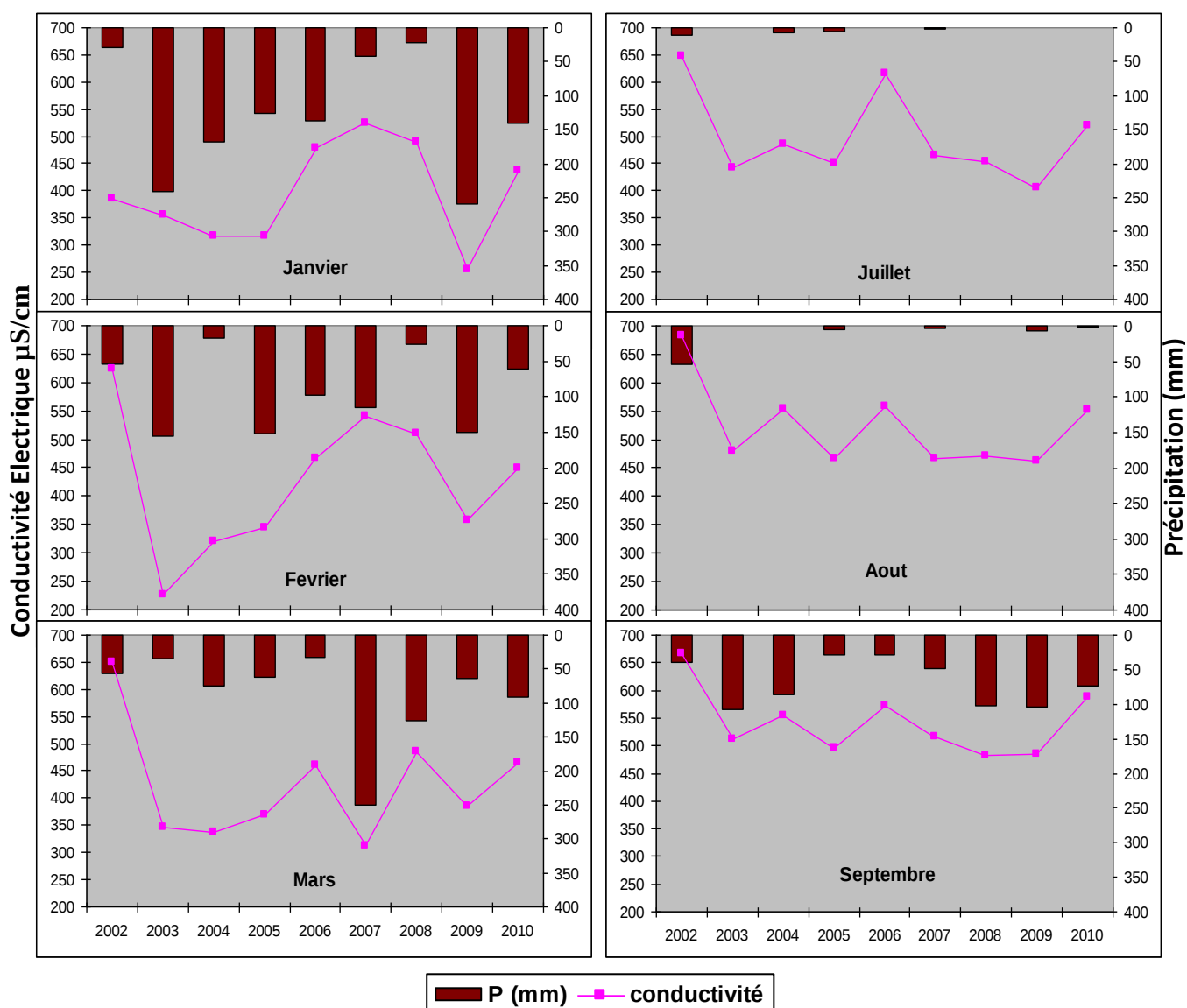
Comme il est dit précédemment la variation de température de l'eau suit celle de l'air, la valeur minimale enregistrée en février 2004 est 8°C et la maximale en juillet 2002 est 31.1°C.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne °C	13.54	11.5	15.91	18.24	20.6	21.78	25.06	24.26	23.06	20.27	17.5	14.02
Maximum °C	17	15.1	17.6	20.6	23.4	26.3	31.1	29.4	27.1	23.5	22.7	15.70
Minimum °C	8	5	13.5	16.5	17.9	18.1	20	16.7	21.2	17.1	14.3	12.5
Ecart type	2.75	3.55	1.16	1.36	1.87	2.67	3.48	4.14	1.90	2.29	2.35	0.93

Tab (31) : Paramètres statistiques de la température des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-1.3 La conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à transmettre un courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la quantité de sels (ions) dissous dans l'eau.



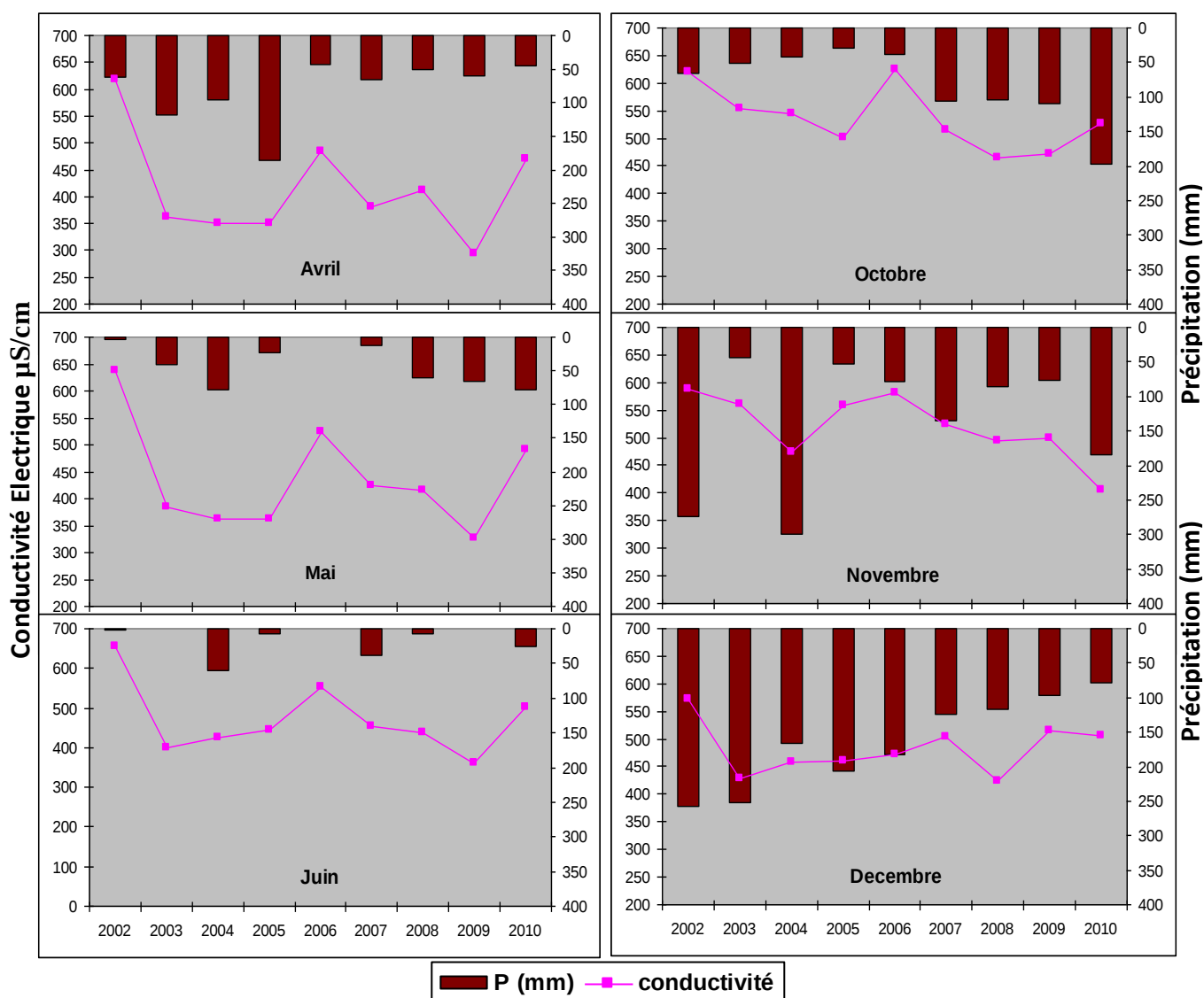


Fig (32) : Evolution annuelle de la conductivité électrique des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010).

Les conductivités des eaux du barrage fluctuent entre (226μS/cm Aout 2002 et 683μS/cm février 2003) ces valeurs sont distribuées symétriquement ou tour de la valeur norme (400 μS/cm) se qui rends ces eaux de bonnes qualités.

- 50-400 μS/cm : qualité excellente.
- 400-750 μS/cm : qualité bonne.
- 750-1500 μS/cm : qualité médiocre mais utilisable.
- >1500 μS/cm : minéralisation excessive.

La variation de la conductivité est en fonction des précipitations, les faibles valeurs sont marquées pendant les mois les plus pluvieux (décembre, janvier et février) à cause de la dilution, alors que eaux des mois d'aout, septembre, octobre et novembre sont les plus conducteurs d'électricité à cause de la concentration des minéraux dans les eaux après la saison de l'évaporation. On note que les mois de mars, avril, mai, juin et juillet montrent les mêmes évolutions en conductivité.

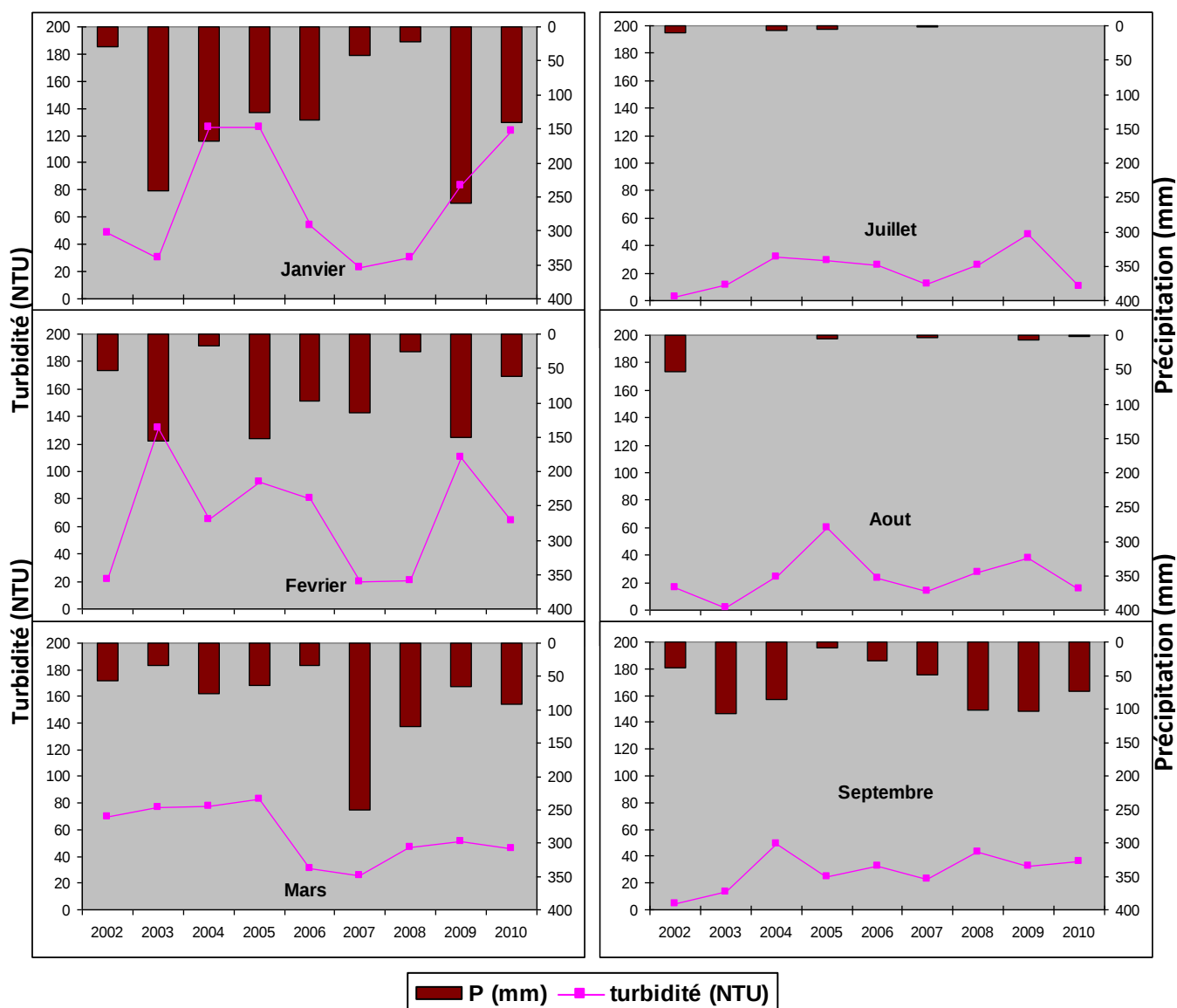
Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
moyenne $\mu\text{S/cm}$	390.1	423.5	423.1	413.1	436.2	470.5	498.1	512.2	541	536	520	454.4
Maximum $\mu\text{S/cm}$	525	624	650	618	637	654	647	683	667	625	589	577
Minimum $\mu\text{S/cm}$	254	226	311	293	326	362	405	461	483	465	406	273
Ecart type	97.3	132.9	105.5	97.5	98.5	88.2	82.1	73.7	60.3	57	59.2	96.37

Tab (32) : Paramètres statistiques de la conductivité électrique des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-2 Les paramètres organoleptiques :

3-2.1 La Turbidité :

La turbidité désigne la teneur de l'eau en matières qui le troublent. Dans les retenues d'eau elle est généralement causée par les particules colloïdales qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière dont le limon, l'argile, les matières organiques et inorganiques en fines particules. Dans les eaux eutrophes, peut aussi s'agit de bactérie et de micro algues.



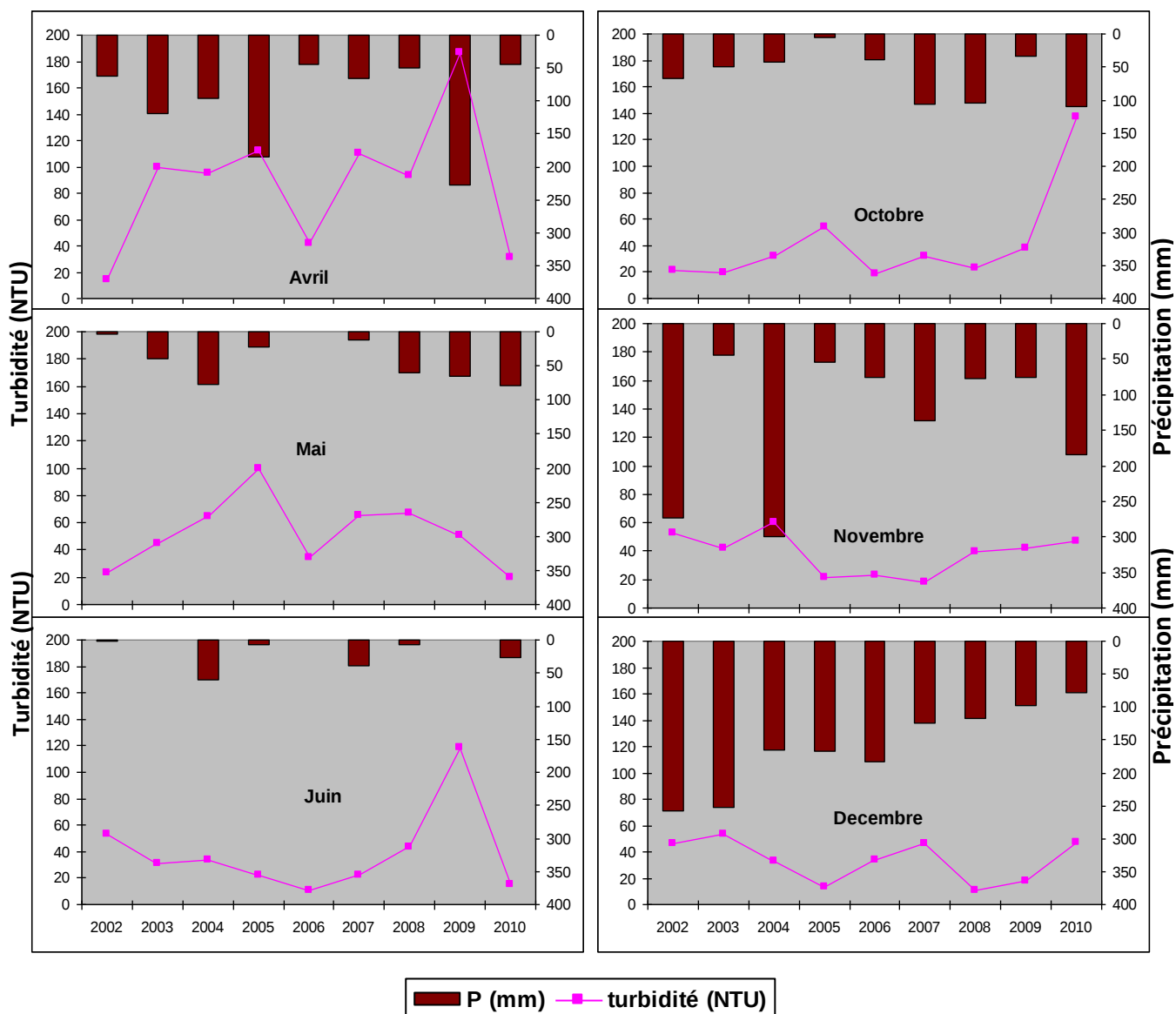


Fig (33) : Evolution annuelle de la turbidité des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010).

La turbidité des eaux superficielles est en relation directe avec les précipitations, la figure (33) montre que les pics de la turbidité suivent les fortes précipitations. Les eaux du barrage avaient des turbidités très élevées dépassant largement les normes de potabilité (5 NTU), elles ont fluctué entre 2 et 460 NTU. Les mois de décembre et de janvier sont les plus troubles alors que les eaux de juillet sont les plus claires.

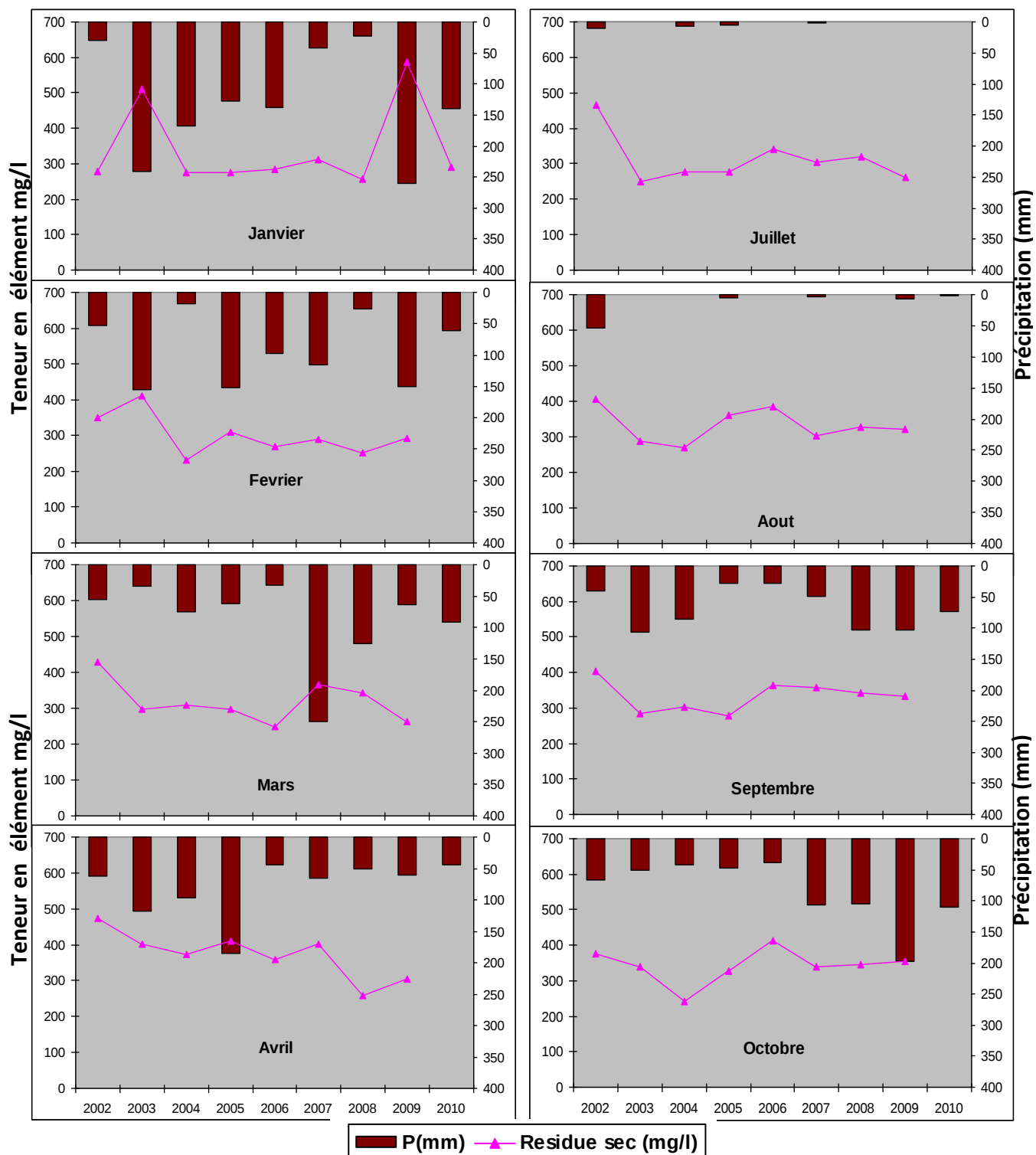
Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
moyenne	98.77	67.51	56.38	87.22	52.02	38.8	24.4	28.75	41.7	41.7	38.4	124.05
maximum	300	132	83	187	100	119	60	49	137	137	60.2	460
minimum	22.4	20	25.9	14	19.9	10.5	2	4.3	18.3	18.3	18.5	18.2
Ecart type	90.74	43.74	20.98	52.29	25.18	32.93	16.7	14.06	14.1	37.5	14.5	152.4

Tab (33) : Paramètres statistiques de la turbidité des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3 Les paramètres chimiques :

3-3.1 Le résidu sec :

Le résidu sec est défini comme étant la somme des éléments solides dissous dans l'eau. La détermination de ce paramètre des eaux non filtrées permet d'évaluer la teneur en matière dissoute et en suspension, la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes. Les valeurs obtenues permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau : pour des valeurs inférieures à 600 mg/l, l'acceptabilité par le consommateur est bonne, au dessus de 1200 mg/l, l'eau devient désagréable.



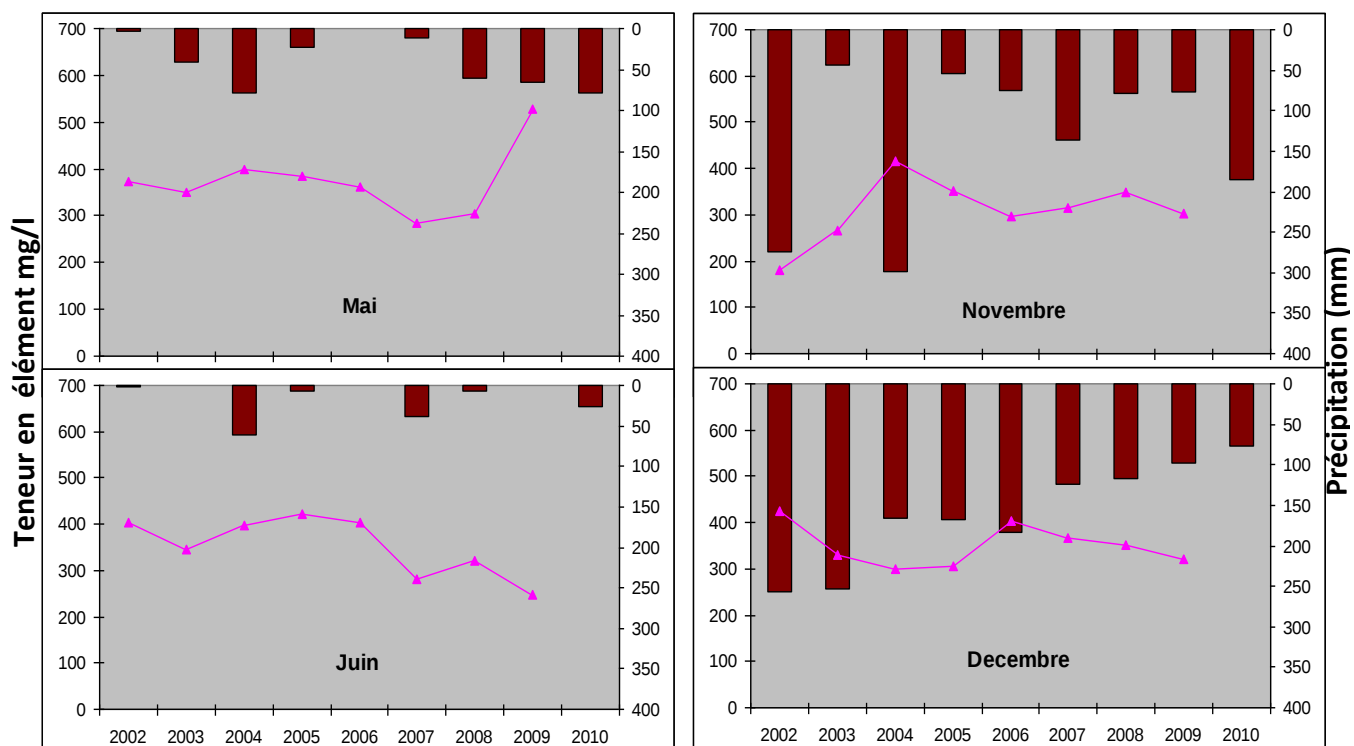


Fig (34) : Evolution annuelle de résidu sec des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010)

Les analyses chimiques des eaux du barrage montrent que les valeurs de résidu sec l s'échelonnent entre 180 et 588 mg/l. Les moyennes mensuelles du résidu sec sont très rapprochées (340 ± 30 mg/l), et les forets valeurs sont enregistrées pendant janvier, se qui fait une contradiction avec l'évolution de la conductivité électrique et des éléments chimiques qui sont maximums pendant les mois d'automne se qui pose des questions sur la fiabilité du dosage de cet élément.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	341.1	300.5	319.2	372.8	372	345.5	311.7	332.3	333.5	342	309	350.3
Maximum mg/l	588	411	430	473	529	405	466	424	405	414	417	424
minimum mg/l	256	232	248	259	284	280	250	300	277	242	180	300
Ecart type	120.5	57.3	58.8	66.7	74.2	50.4	69.3	47.6	40.7	48.7	69.6	45

Tab (34) : Paramètres statistiques du résidu sec des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3.2 La dureté dotale (TH) :

La dureté d'une eau correspond à la présence de sels de calcium et dans moindre mesure des sels de magnésium (strontium et baryum). On l'exprime en général en milligrammes par litre de carbonates de calcium.

Ce paramètre ne fait pas l'objet de normes strictes. Il varie le plus souvent entre 10 et 500mg/l. la valeur de 100 mg/l est couramment atteinte. Avec l'intervention d'autres facteurs (pH et alcalinité), une dureté de plus de 200 mg/l peut entraîner l'entartrage des canalisations et des appareils de chauffage. A l'inverse, une dureté trop faible (inférieur à 100 mg/l) ne permet pas la formation d'une couche carbonatée protégeant les canalisations de certains risques de corrosions.

Ce pendant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur en TH inférieurs à 60 mg/l de CaCO_3 ou à 30 mg/l de calcium et une eau douce et qu'au dessus, Il s'agit d'une eau dure (J. Rodier et Coll., 2005).

degré de dureté	concentration en mg/l de CaCO_3
Douce	0-60
Modérément douce	60-120
Dure	120-180
Très dure	180 et plus

Tab (35) : Classification des eaux selon la dureté.

Les eaux de la retenue Mexanna sont dures Tab (34), leur dureté varie entre 120 et 240 mg/L de CaCO_3 . Les valeurs les plus élevées sont observées pendant les mois d'août, septembre, octobre novembre et même par fois décembre, période venant après une évaporation est très élevé (juin et juillet).

Les ions qui sont responsables de la dureté sont les ions de calciums, en raison de leurs teneurs élevés dans les eaux de la retenue par apport celle de magnésiums, donc la dureté totale est composée en grande partie par la dureté calcique.

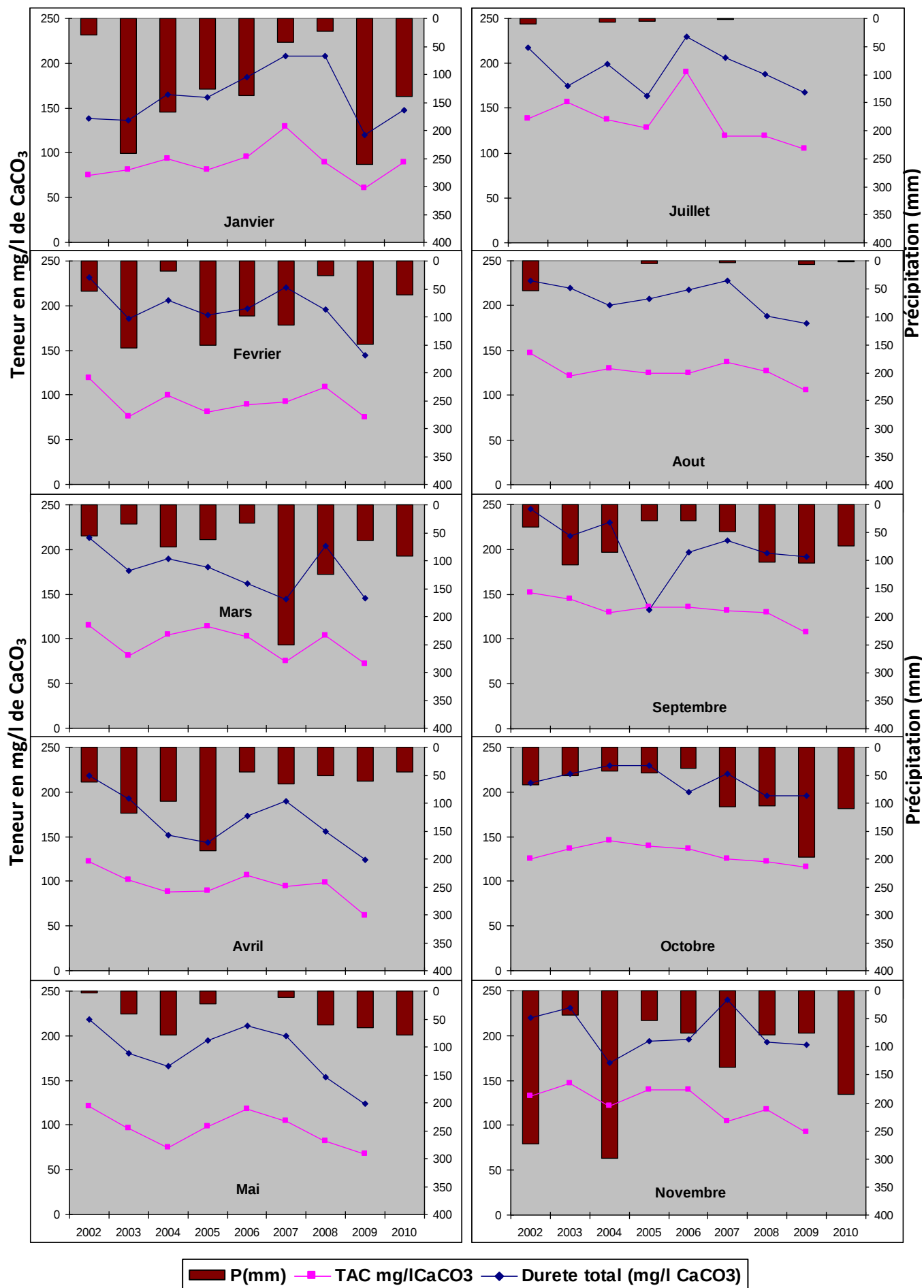
Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l de CaCO_3	163.2	196.2	176.9	168.6	180.9	180	193.4	208.6	202	212	204	201.1
Maximum mg/l de CaCO_3	208	232	213.3	217.8	217.8	227	230	228	245	230	240	235
Minimum mg/l de CaCO_3	120	144	144	124	124	130	164	180	133	196	170	159
Ecart type	31.41	24.1	25.3	30.64	31.5	25.5	23.9	18.1	33.3	14.3	23.7	24.1

Tab (36) : Paramètres statistiques de la dureté totale des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3.3 Le titre alcalimétrique complet :

Le TAC (titre alcalimétrique complet) est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau, il traduit le caractère basique d'une eau ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^-$), son unité est le mg/l de CaCO_3 . En titrant l'eau à analyser avec un acide, on obtient un premier point de neutralisation qui est le TA (titre alcalimétrique) et qui correspond à pH 8,2 (virage de la phénolphthaléine). À ce stade, on a neutralisé l'ensemble des hydroxydes et des carbonates.

En continuant le dosage, on est amené à un deuxième point de neutralisation à pH 4,4 (virage de l'hélianthine). On aura alors dosé la totalité des hydroxydes, carbonates et bicarbonates présents initialement.



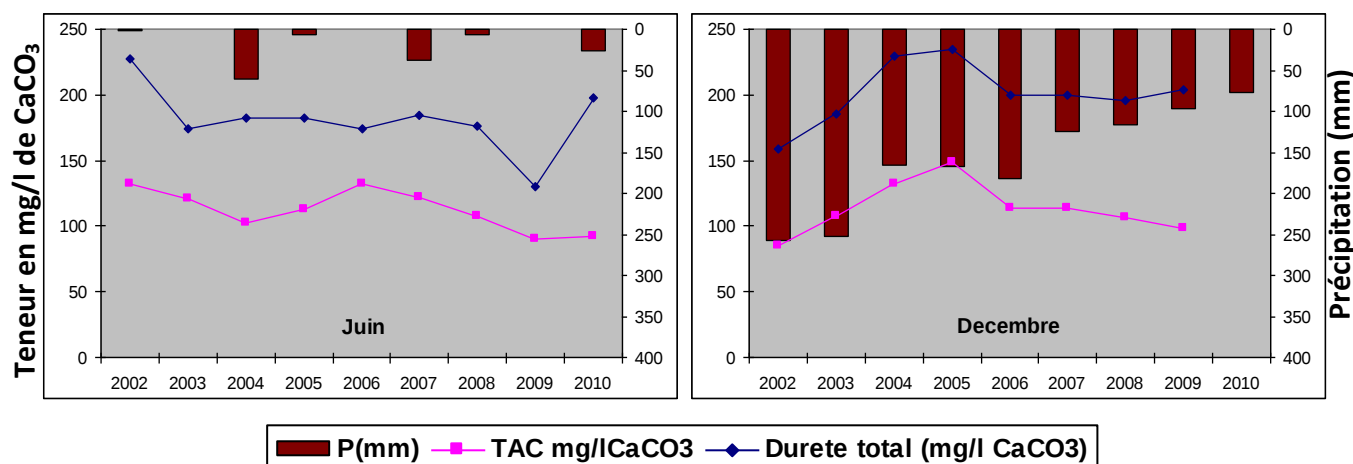


Fig (35) : Evolution annuelle du titre alcalimétrique complet (TAC) et la dureté totale des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010)

La variation du titre alcalimétrique complet est similaire à celle de la dureté totale Fig (35), sauf que les valeurs sont inférieures. Ils sont compris entre 60.3 et 136.4 mg/l de CaCO_3 . Les mois de printemps montrent les mêmes évolutions et les fortes teneurs sont marquées pendant la période d'été (de juillet à octobre).

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l de CaCO_3	88.12	92.48	95.81	95.14	95.44	112.3	136.4	127	133	130.7	124	113
maximum mg/l de CaCO_3	129	119	115	121.6	120.7	132	190	147	151	146	146	149
minimum mg/l de CaCO_3	60.3	75	71.54	61.74	67.7	90	105	105	107	115.	92.4	85
Ecart type	18.69	15.74	17.45	17.23	19.31	15.66	26.5	12.1	13.1	10.1	18.9	19.7

Tab (37) : Paramètres statistiques du titre alcalimétrique complet des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3.4 Les éléments majeurs :

La minéralisation de la plus part des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs on distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate.

3-3.4.1 Les cations :

3-3.4.1.1 Le calcium :

Le calcium est un élément alcalinoterreux, leur présence dans l'eau (ions Ca^{++}) est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypsifères (CaSO_4).

L'intervalle de variation des teneurs en calcium des eaux du barrage est très limité, il fluctue entre 35.2 et 79.7 mg/l. l'origine de ces calciums est l'horizon calcaire d'âge Lutétien trouvé sous la nappe numidienne. Les eaux en fortes teneurs en Ca sont ceux de septembre et octobre (60.9 et 61.7 mg/l).

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	48.2	53.1	51.6	46.4	52.6	56.2	52.4	58.3	60.9	61.7	57.6	56.3
Maximum mg/l	68.9	68.1	64.1	63.5	65.7	68.8	65.1	65.7	68.14	78.5	79.7	64.1
Minimum mg/l	33.7	40.9	36.9	35.3	39.3	48.1	38.5	51.3	53.7	44.1	49.7	45.7
Ecart type	13.1	9.97	9.98	9.01	8.99	6.31	8.1	5.31	4.49	10.3	10.6	6.7

Tab (38) : Paramètres statistiques du calcium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3.4.1.2 Le Magnésium :

Ses origines sont comparables à celle de calcium, cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).son abondance géologique (2.1 % de l'écorce terrestre) et sa grande solubilité font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (J.Rodier 1996).

Le magnésium est l'élément majeur le moins abondant dans les eaux du barrage que les autres éléments (cations et anions). Les teneurs en Mg^{2+} sont inférieures à 30 mg/L, elles varient entre 8.74 et 26.7 mg/L.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	12.5	13.1	14.9	14.3	11.9	13.7	15.5	14.3	16.4	16.1	15.2	15.9
Maximum mg/l	17.2	19.4	17.1	25.3	23.3	19.4	26.7	12.4	20.4	24.3	25.3	20.9
Minimum mg/l	8.74	9.23	10.7	8.74	6.31	9.7	11.1	12.6	13.6	8.74	8.74	10.7
Ecart type	2.90	3.65	2.15	5.47	5.47	3.25	5.37	1.32	2.6	5.18	5.5	3.1

Tab (39) : Paramètres statistiques du magnésium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010) .

3-3.4.1.3 Le Sodium et le Potassium :

Le potassium provient de l'altération des roches gneissiques et schisteuses, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK).

Les teneurs en potassium sont très faibles, au cours des enregistrements tableau (40), elles varient entre 3 et 7.6 mg/l. l'origine de potassium des eaux du barrage sont les argiles numidien.

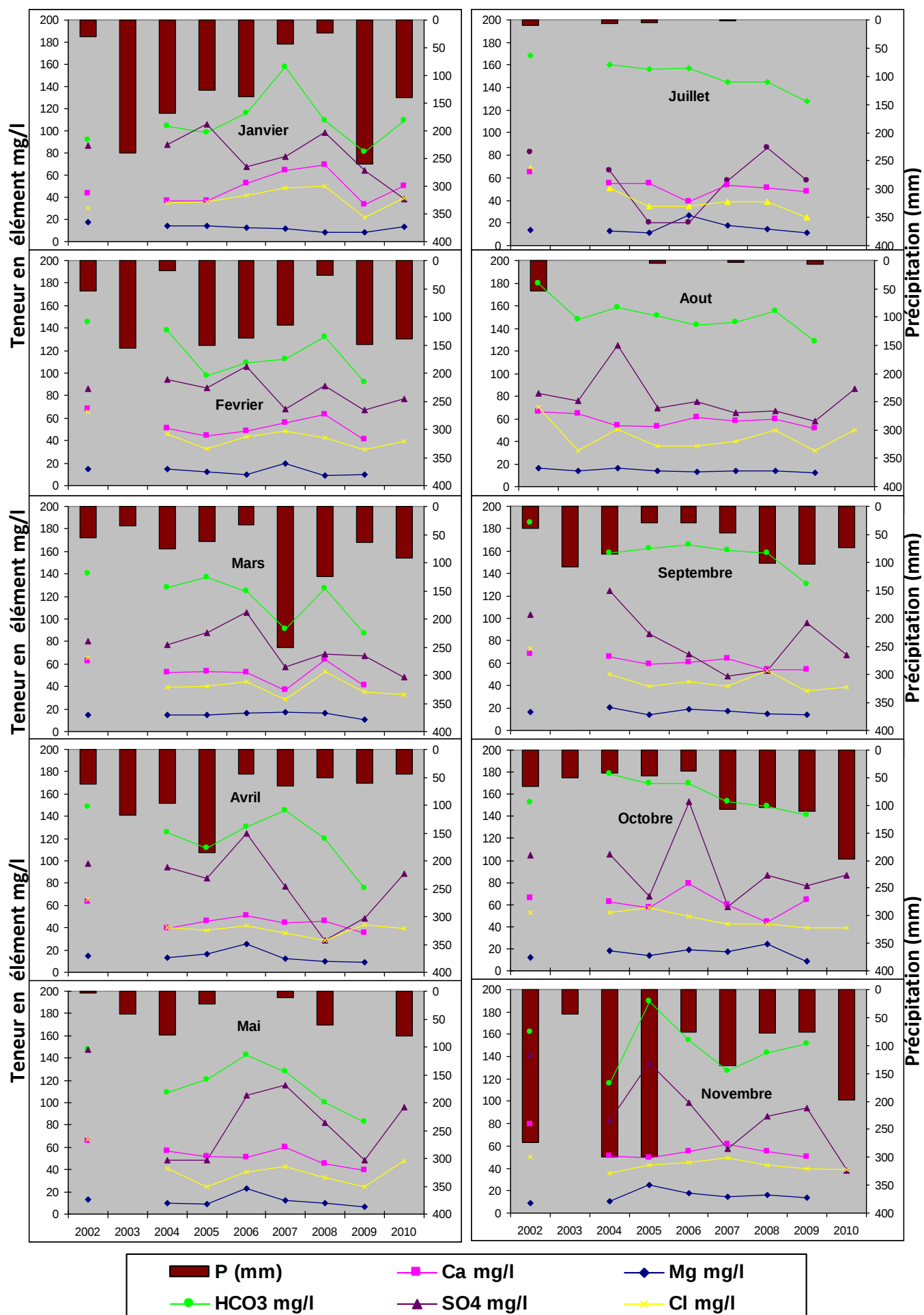
Les teneurs en sodium admises par l'OMS sont de l'ordre de 100 mg/l. les origines possibles de sodium sont la dissolution de couches salifères, le sodium dans les eaux peut provenir :

- du lessivage des formations riches en NaCl (argiles- marnes),
- des eaux usées d'origine industrielle et domestique,
- de l'invasion d'eau marine.

Le tableau (40) montre que le sodium a fluctué entre 24.6 et 60.7 mg/l.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Na ⁺ (mg/l)	24.6	48.9	39.45	40.2	40.75	44	56.8	60.7	57.81	52.14	60.3	41.2
K ⁺ (mg/l)	3.2	3.47	3.22	3.07	3.00	5.57	7.6	3.68	3.56	4.57	5.12	3.47

Fig (40) : Teneur en sodium et en potassium des eaux du barrage Mexanna pour l'année 2002.



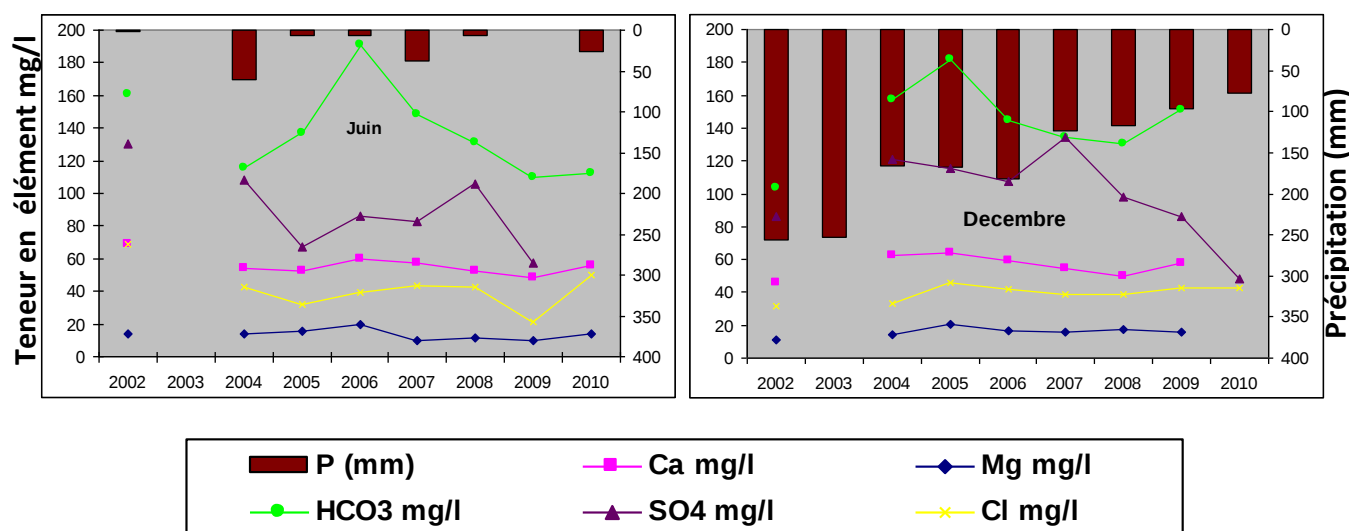


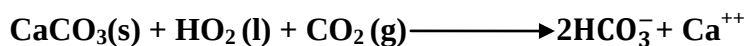
Fig (36) : Evolution des éléments majeurs des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois de (2002/2010)

3-3.4.2 Les anions

3-3.4.2.1 Les bicarbonates :

Les ions de bicarbonates sont définis par les hydrogénocarbonates et caractérisent essentiellement l'alcalinité des eaux naturelles.

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carboniques. la somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Elles ont les mêmes origines que le calcium (les calcaires lutétiens) et se sont l'élément majeur le plus abondant dans les eaux du barrage. Le HCO_3 fluctue entre 80.5 et 191.1 mg/L. les mois de juin, juillet, aout et septembre sont caractérisés par les teneurs les plus élevées.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	108.2	117.9	119	122.3	118	138.2	151	151	160.3	159	148.9	143.2
Maximum mg/l	157.3	145.2	140	148.5	147	191.1	168	179	185.3	178	189.1	181.8
Minimum mg/l	80.5	91.5	87.2	75.3	82.5	109.8	128	128	130.5	141	115.5	103.7
Ecart type	22.7	20.7	21.4	24.5	23.3	28.1	13.2	14.7	16.1	13	24	24.3

Tab (41) : Paramètres statistiques des bicarbonates des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3.4.2.2 Les sulfates :

Les sulfates proviennent des roches gypseuses et l'oxydation des sulfures répandus dans les roches comme les pyrites. Les sulfates les plus fréquemment rencontrés sont les sulfates de sodium, les sulfates d'ammonium et le sulfate de magnésium. Bien que l'ion de sulfate soit l'un des anions les moins toxiques, une concentration de 250 mg/L peut occasionner des problèmes gastro-intestinaux

chez les enfants et une concentration de 300 mg/l peut être laxative chez les adultes. L'OMS considère que l'eau est non potable si la concentration en sulfate dépasse 500 mg/l.

Les valeurs observées dans le tableau (41) et la figure (36) montrent que les eaux de toute les mois ont des concentrations inférieures à la limite de potabilité, les valeurs extrêmes correspondent au mois d'octobre 92.2 mg/l, novembre 91.8 mg/l et décembre 99.6 mg/l. l'origine des sulfates des eaux du barrage sont les alluvions d'âge plio-quaternaire.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	78.1	84.3	74.1	80.4	86.4	91.2	55.8	78.3	80.9	92.2	91.8	99.6
Maximum mg/l	105.6	145.2	105.6	124.8	147.8	130.6	86.4	124.8	124.8	153	142	134.4
Minimum mg/l	38.4	67.2	48	28.8	48	57.6	20	57.6	48	57.6	38.4	48
Ecart type	21.4	13.8	17.9	29.9	36.9	25.3	26.8	19.6	26.5	29.8	34.9	26.7

Tab (42) : Paramètres statistiques des sulfates des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

3-3.4.2.3 Les chlorures :

Les chlorures sont présents dans presque toutes les eaux. Les concentrations sont très variables, pouvant passer d'une dizaine de mg/l à plus d'un millier de mg/l. La provenance des chlorures peut être due au passage de l'eau à travers des percolations de roches sédimentaires, à l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines et à l'épandage de chlorure de sodium et de calcium sur les routes. La concentration maximale en chlorure admis est de 250 mg/l, car à des concentrations supérieures, l'eau peut avoir un goût de sel. Les chlorures sont aussi des agents corrosifs à des concentrations élevées.

Les concentrations du Cl^- observées au niveau des eaux barrage montrent des teneurs inférieures aux normes de potabilité 350 mg/ L. Le tableau (43) montre que la variation des chlorures est très limité (de 21.3 mg/ l en janvier 2004 à 73.3 mg/ l en septembre 2007). L'observation des moyennes mensuelles montre que les valeurs extrêmes du Cl^- correspondent au mois de septembre, octobre et novembre. Les origines des chlorures des eaux du barrage sont les argiles numidien, les mares et les marnes argileuses d'âge lutétien.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	37.5	43.7	42.3	41.5	47.7	42.5	41.9	49.4	46.4	46.6	43.5	39.5
Maximum mg/l	49.6	84.2	65.2	65.94	67.4	68.8	68.8	70.2	73.3	56.7	49.9	46.08
Minimum mg/l	21.3	31.9	28.4	28.3	24.8	21.3	24.8	31.9	35.4	38.9	35.4	31.9
Ecart type	9.37	11.1	11.8	10.8	13.8	13.6	14.2	12.4	12.4	7.51	5.29	4.86

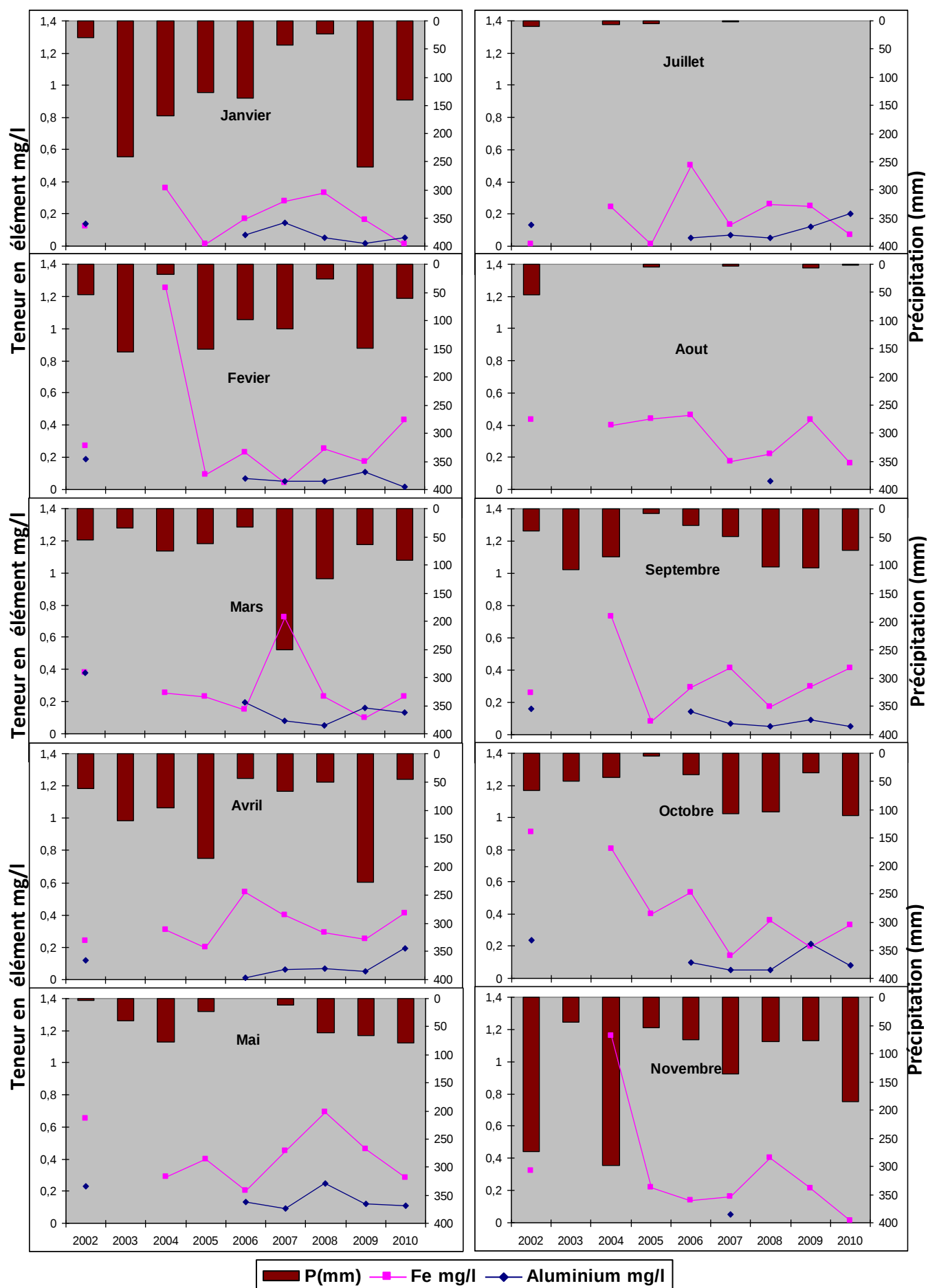
Tab (43) : Paramètres statistiques du chlorure des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

4- Evolution des paramètres polluants :

4-1 les métaux lourds :

4-1.1 Le fer :

Le fer est un élément lourd, toxique, il peut avoir une origine naturelle par lessivage des sols ou la dissolution des roches et minerais, ou une origine industrielle.



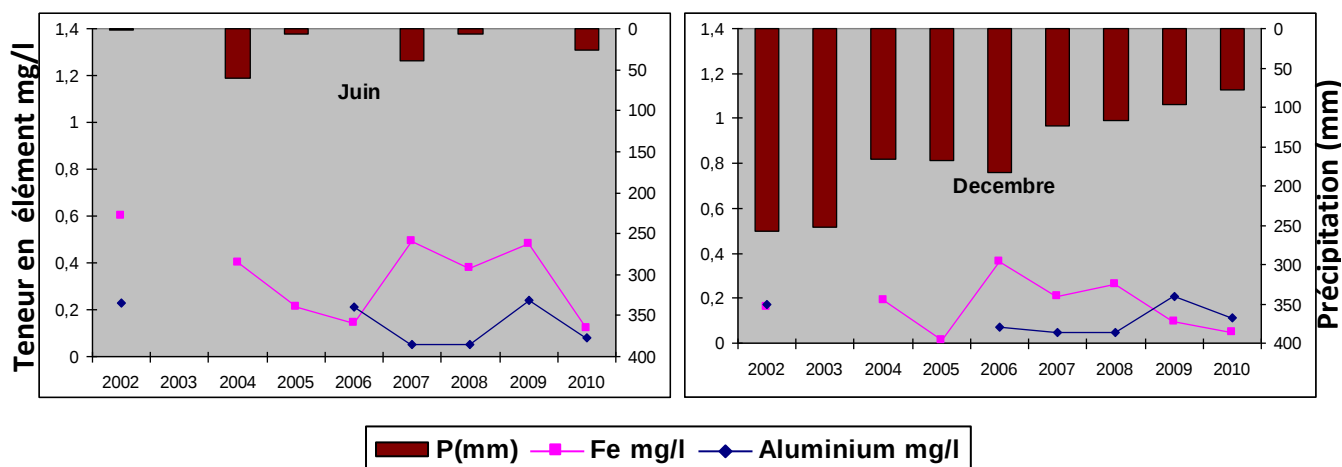


Fig (37) : Evolution annuelle du fer et d'aluminium des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010)

Les teneurs en fer sont très élevées dans les eaux du barrage, tous les mois présentent des maxima qui dépassent la norme 0.3 mg/l tableau (44). les variations de Fe sont comprises entre 0.01 et 1.25 mg/l. les fortes teneurs caractérisent les mois de octobre, novembre, décembre et janvier à cause de lessivage des sols par les fortes pluies.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	0.34	0.13	0.29	0.35	0.44	0.34	0.19	0.33	0.33	0.45	0.38	0.29
Maximum mg/l	1.25	0.26	0.72	0.54	0.69	0.6	0.5	0.46	0.73	0.91	1.16	1.16
Minimum mg/l	0.01	0.01	0.10	0.24	0.20	0.12	0.01	0.16	0.08	0.14	0.01	0.01
Ecart type	0.42	0.09	0.20	0.16	0.17	0.18	0.18	0.13	0.19	0.27	0.52	0.39

Tab (44) : Paramètres statistiques du fer des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

4-1.2 L'aluminium :

La présence de l'aluminium dans les eaux du barrage Mexanna est probablement due au lessivage des sols ou des roches du sous sols. L'Aluminium est classé comme le 3ème élément le plus abondant dans la croûte terrestre après le silicium et l'oxygène. Il entre dans la composition de tous les sols, plantes et tissus animaux.

La teneur de l'Aluminium trouvée dans les eaux du barrage est très variable, elle fluctue entre 0.01 et 0.38 mg/l. L'observation des maxima de Al^{+3} , tableau (44) montre que les mois de mars, juin, juillet, octobre et décembre ont des teneurs supérieures ou admise par l'OMS (0.2 mg/l). L'origine de l'aluminium sont le sol et les argiles numidiennes.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	0.078	0.081	0.166	0.084	0.155	0.143	0.103	/	0.093	0.122	/	0.11
Maximum mg/l	0.147	0.19	0.38	0.196	0.25	0.24	0.2	/	0.16	0.24	/	0.21
Minimum mg/l	0.016	0.02	0.05	0.01	0.09	0.05	0.05	/	0.05	0.05	/	0.05
Ecart type	0.053	0.06	0.117	0.065	0.067	0.092	0.058	/	0.046	0.083	/	0.066

Tab (45) : Paramètres statistiques d'aluminium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

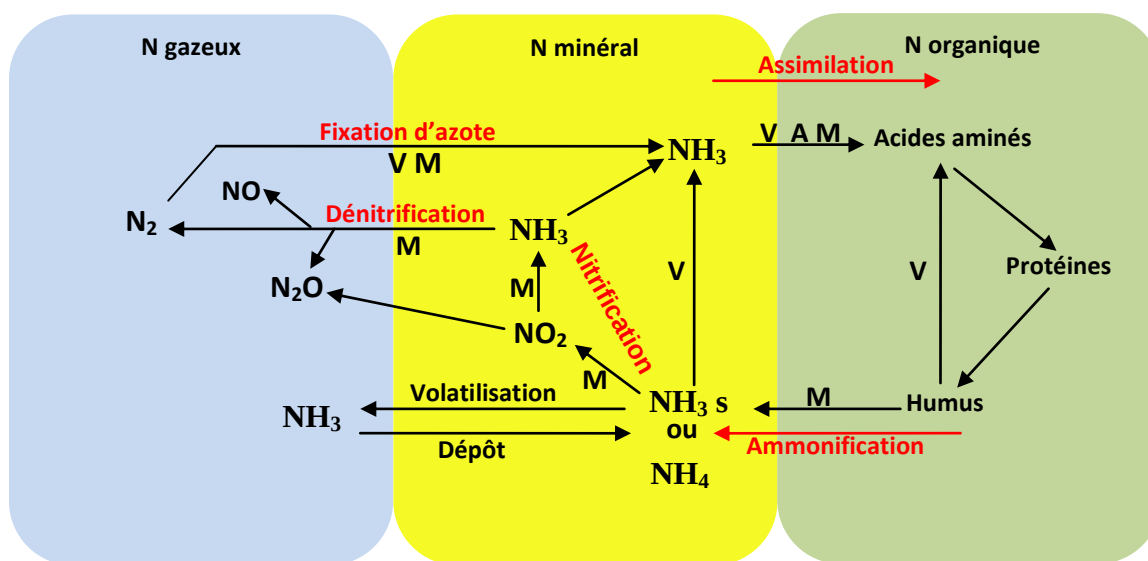
4-2 Les polluants organiques :

4-2.1 Le cycle d'azote :

L'azote est présent dans la nature sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium).

Le cycle d'azote est caractérisé par trois réservoirs : azote organique (acides aminés, protéines...), azotes minérales (nitrates NO_3^- ...) et composés gazeux (N_2 , NH_3 , N_2O ...) et est régi par des processus chimiques et biologiques permettant le passage d'une forme azotée à une autre.

Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation, cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en CO_2 et faible teneur en O_2 accroissent la concentration en ammonium dans l'eau.



A : animaux, M : microorganismes, V : végétaux, VM : symbioses végétal / microorganisme

Fig (38) : cycle d'azote.

4-2.1.1 L'ammonium NH_4^+ :

Les concentrations en ammonium fournissent des informations sur la pollution des eaux suite ou déversement des eaux usées ménagères ou à l'érosion et au lessivage des sols agricoles.

L'ammonium n'est pas très stable au plan chimique entre le prélèvement et l'analyse en laboratoire. Il faut compter avec une importante dégradation biologique durant le transport, cette transformation est particulièrement sensible pour de faibles concentrations. Il faut garantir une réfrigération appropriée de l'échantillon lors de prélèvement et du transport.

Les courbes de variation de l'ammonium montrent que les teneurs sont comprises entre 0.04 et 0.88 mg/l. Les mois de mars et avril montrent des valeurs élevées en NH_4 (0.57 et 0.88 mg/l) dépassant la norme de potabilité (0.5 mg/l). L'origine de ces ammoniums sont les rejets des eaux usées.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	0.143	0.135	0.189	0.37	0.094	0.13	0.125	0.104	0.119	0.109	0.07	0.169
Maximum mg/l	0.205	0.205	0.57	0.88	0.13	0.45	0.25	0.16	0.19	0.161	0.13	0.45
Minimum mg/l	0.064	0.056	0.064	0.064	0.064	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04
Ecart type	0.048	0.067	0.175	0.28	0.028	0.143	0.065	0.032	0.048	0.04	0.027	0.133

Tab (46) : Paramètres statistiques d'ammonium des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

4-2.1.2 Les nitrites NO_2^- :

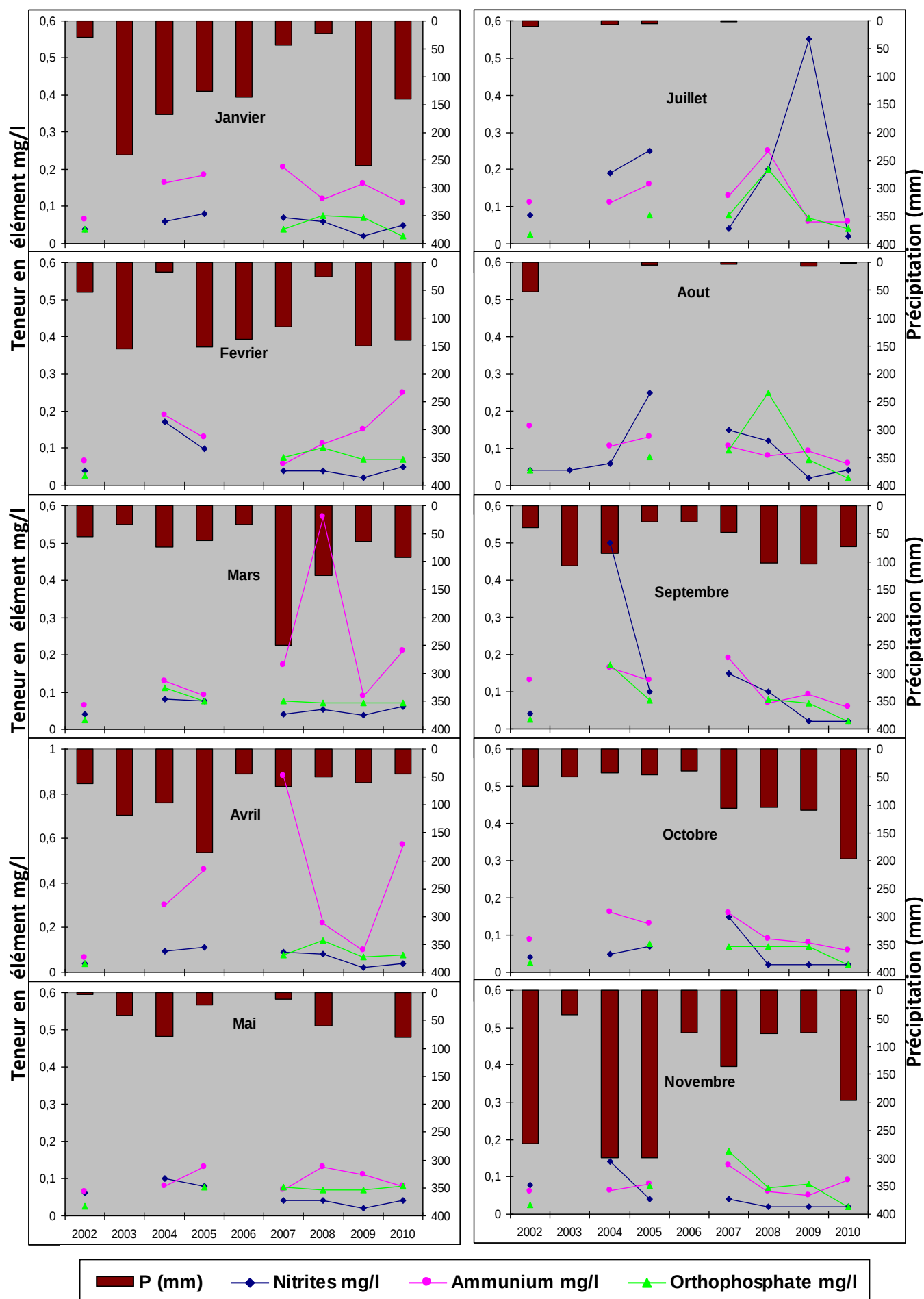
Les nitrites ou les azotes nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable de l'azote, représentant ainsi la forme de passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique.

Les nitrates sont instables ou plan biochimiques. Entre le remplissage des flacons et l'analyse au laboratoire, il faut compter avec une importante dégradation biologique durant le transport. En présence de fortes concentrations en ammonium les nitrites peuvent également apparaître par nitrification. C'est le raison pour la quelle les échantillons doivent être réfrigérées ($<4^\circ\text{C}$) et analysés rapidement après prélèvement.

Les nitrites sont très toxiques pour la faune. Des concentrations élevées en nitrites peuvent être observées par suite la de transformations biologiques de l'ammonium en nitrates, ou en condition anaérobie lors de la dénitrification des nitrates en nitrites (NO_2^-) ou en azote gazeux (N_2). L'intervalle de fluctuation des nitrites dans les eaux du barrage Mexanna est de 0.02 à 0.55 mg/l. l'observation des valeurs maximales du tableau (47), montre que les eaux de tous les mois sauf janvier et mars ont des concentrations supérieurs à la norme de potabilité (0.1 mg/l). Les mois de juin, juillet, aout et septembre sont les plus polluées. On peut lie cette pollution à deux origines, la première ou lessivages des sols riches en matières fécales animales et humaines pendant la saison pluvial. La deuxième pendant la saison sèche, causé par les rejets directs des eaux domestiques dans la cuvette du barrage surtout que leur superficie est très petite se qui favorise la concentration rapide des éléments polluants (les nitrites).

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	0.05	0.065	0.05	0.068	0.054	0.08	0.189	0.09	0.132	0.052	0.051	0.05
Maximum mg/l	0.08	0.17	0.08	0.11	0.1	0.32	0.55	0.25	0.5	0.15	0.14	0.13
Minimum mg/l	0.02	0.02	0.038	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ecart type	0.01	0.051	0.017	0.034	0.027	0.1	0.18	0.078	0.168	0.046	0.04	0.041

Tab (47) : Paramètres statistiques des nitrites des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).



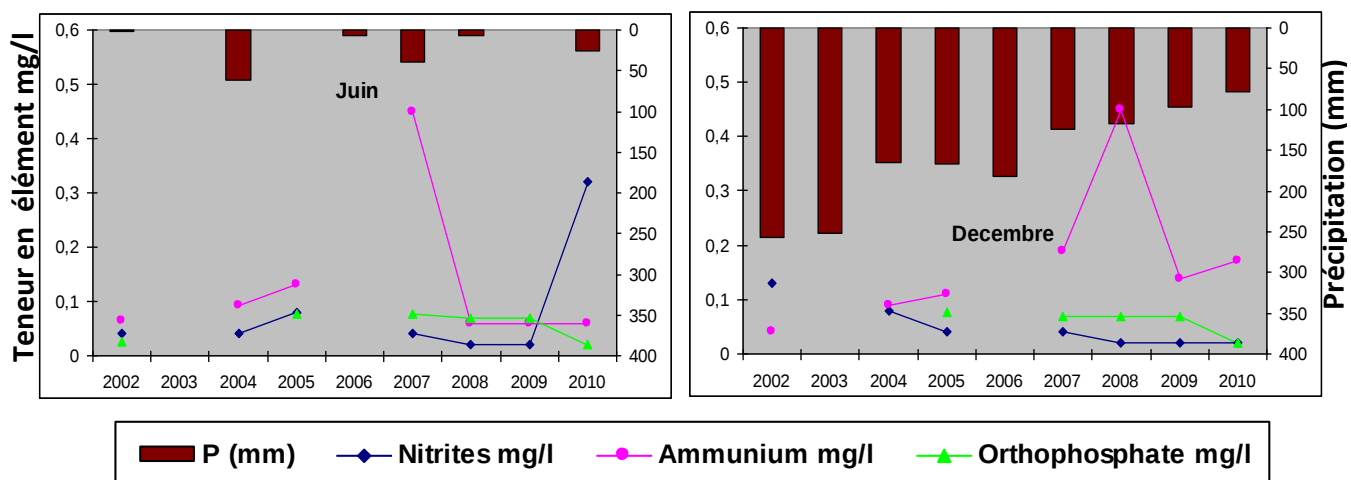
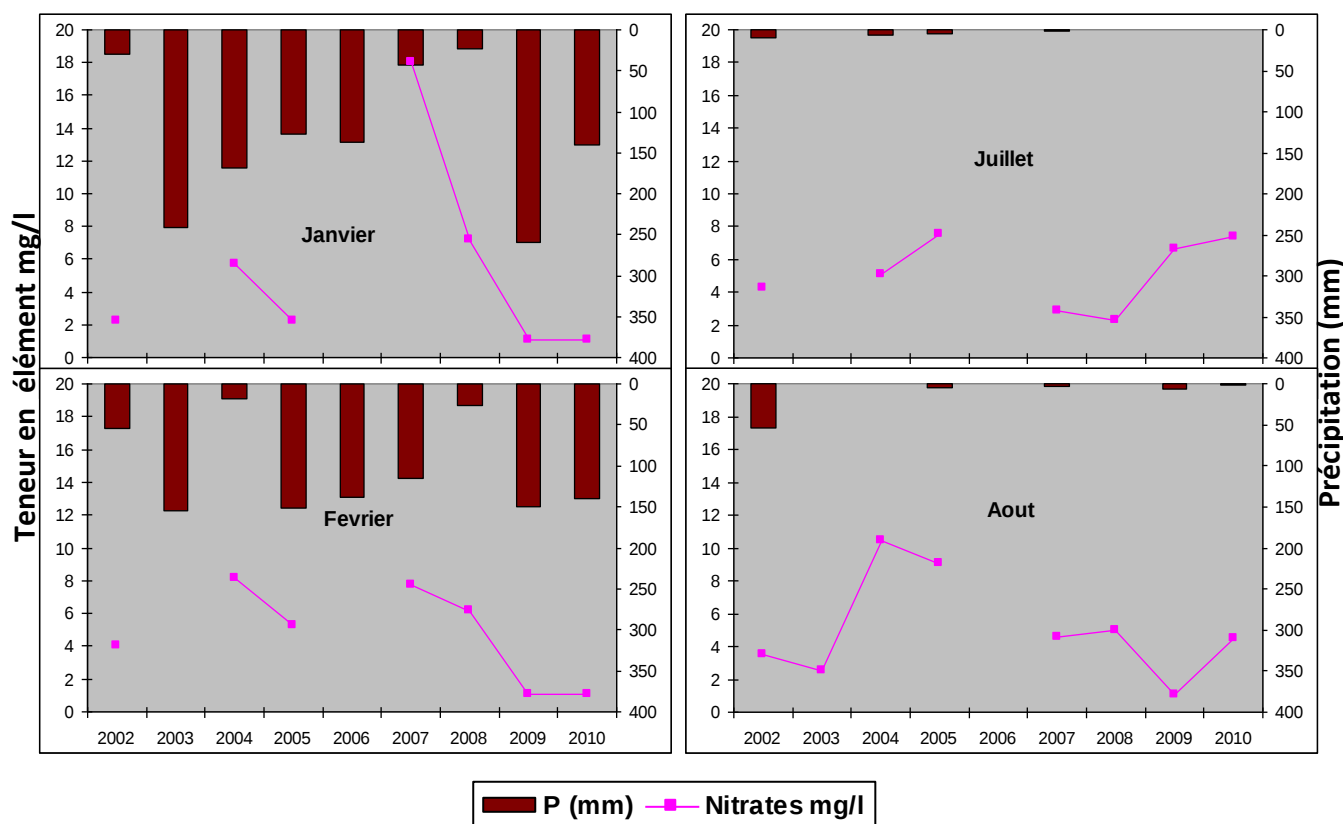


Fig (39) : Evolution annuelle d'ammonium, Nitrite et d'orthophosphate des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010).

4-2.1.3 Les nitrates NO_3^- :

Représente la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est forme très soluble. Pour le cas où l'oxygène vient à manquer, les nitrates agissent néanmoins comme des récepteurs d'électrons (oxydants) et forme des composés réduits d'azotes qui eux sont toxiques : nitrates et ammonium.



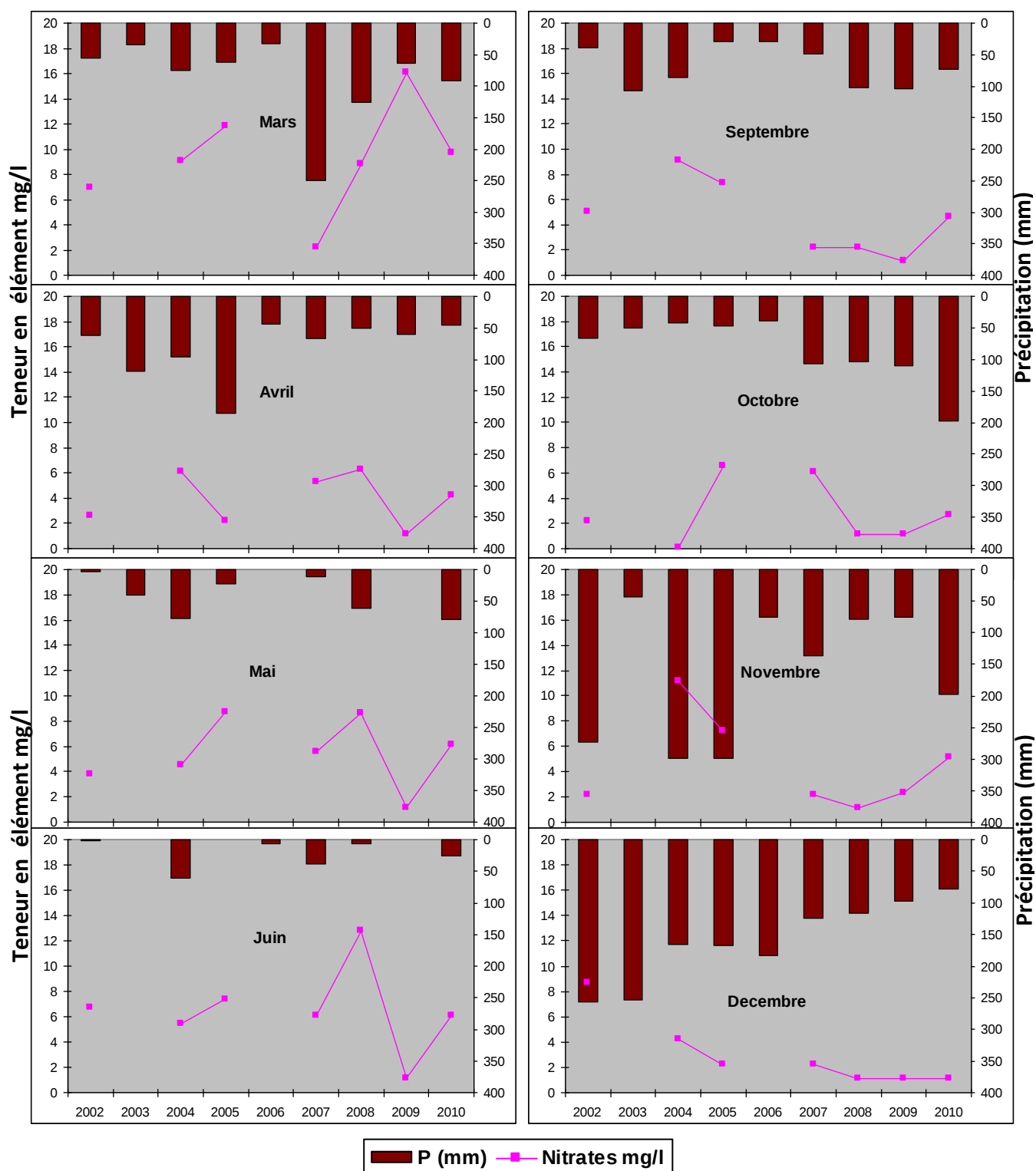


Fig (47) : Evolution annuelle des Nitrates des eaux du barrage Mexanna au cours de chaque mois (2002/2010).

Les teneurs en nitrate sont très faible (inférieure à 20 mg/l), les extrêmes étant compris entre 6.26 et 18 mg/l, alors que les moyens mensuelle fluctue au tour de 5 mg/l. la densité de la faune et de la flore dans le bassin versant du barrage et les matières organiques enfouies dans le sol sont l'origine

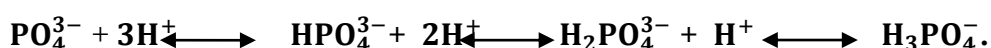
des nitrates des eaux du barrage après une transformation bactérienne appelée « minéralisation ». En plus des rejets de collectivités à l'amont de cuvette pouvant aussi concourir à l'enrichissement significatif des nitrates dans les eaux.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	5.29	4.02	8.66	3.96	5.49	6.7	5.15	5.08	4.9	2.83	3.67	2.94
Maximum mg/l	18	7.71	16.11	6.29	8.7	12.84	7.55	10.44	9.09	6.52	7.2	8.7
Minimum mg/l	1.1	1.1	2.2	1.1	1.1	1.1	2.3	1.1	1.1	0.09	1.1	1.1
Ecart type	6.62	2.97	4.12	2.04	2.69	3.74	1.1	3.16	3.0	2.52	2.07	2.76

Tab (48) : Paramètres statistiques des nitrates des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

4-2.2 Les orthophosphates :

Les phosphates peuvent se trouver sous différentes formes oxydées, méta phosphate HPO_3 , pyrophosphate $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ et ortho phosphate H_3PO_4 . En milieux aqueux les formes méta et pyrophosphates tendant vers la forme orthophosphate pour des pH compris entre 5 et 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphates sont données par les réactions :



D'après la figure (46) et le tableau (49) nous observons que les valeurs des orthophosphate pour les années précédentes sont largement inférieures à la norme (5mg/l) ils sont de l'ordre de 10^{-2} mg/l, la valeur la plus élevée est enregistrée en aout 2008 est de 0.25 mg/l.

Paramètres statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne mg/l	0.049	0.068	0.071	0.08	0.066	0.056	0.081	0.092	0.073	0.055	0.073	0.061
Maximum mg/l	0.076	0.1	0.112	0.14	0.08	0.076	0.2	0.25	0.171	0.076	0.17	0.076
Minimum mg/l	0.02	0.025	0.025	0.04	0.026	0.02	0.025	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ecart type	0.023	0.027	0.025	0.036	0.02	0.026	0.061	0.078	0.054	0.025	0.054	0.023

Tab (49) : Paramètres statistiques des orthophosphates des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

5- Evolution des paramètres microbiologiques :

L'eau peut être contaminée par différents microorganismes tels que des bactéries, des virus ou des parasites. Ils proviennent des eaux usées ou des déjections animales qui renferment des quantités très importantes d'organismes pathogènes ou non.

La contamination de l'eau peut se produire au niveau des ressources, des ouvrages de captage, de traitement ou de stockage, ou même dans les conduites de transport lorsque ces installations sont défectueuses, mal entretenues ou mal protégées.

Pour ne pas nuire à la santé, l'eau de consommation ne doit pas contenir d'organisme pathogène.

5-1 Les coliformes totaux :

Construit un groupe hétérogène des bactéries d'origine fécale (dont les bactéries *E. coli*) et environnementale. En effet, la plupart des espèces peuvent se trouver naturellement dans le sol et la

végétation. Leur présence dans l'eau n'indique généralement une contamination fécale ni un risque sanitaire, mais plutôt une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau.

La concentration maximale acceptable de coliformes totaux dans l'eau sortant d'une usine de traitement dans les systèmes publics, semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable est d'aucun coliforme détectable par 100 ml.

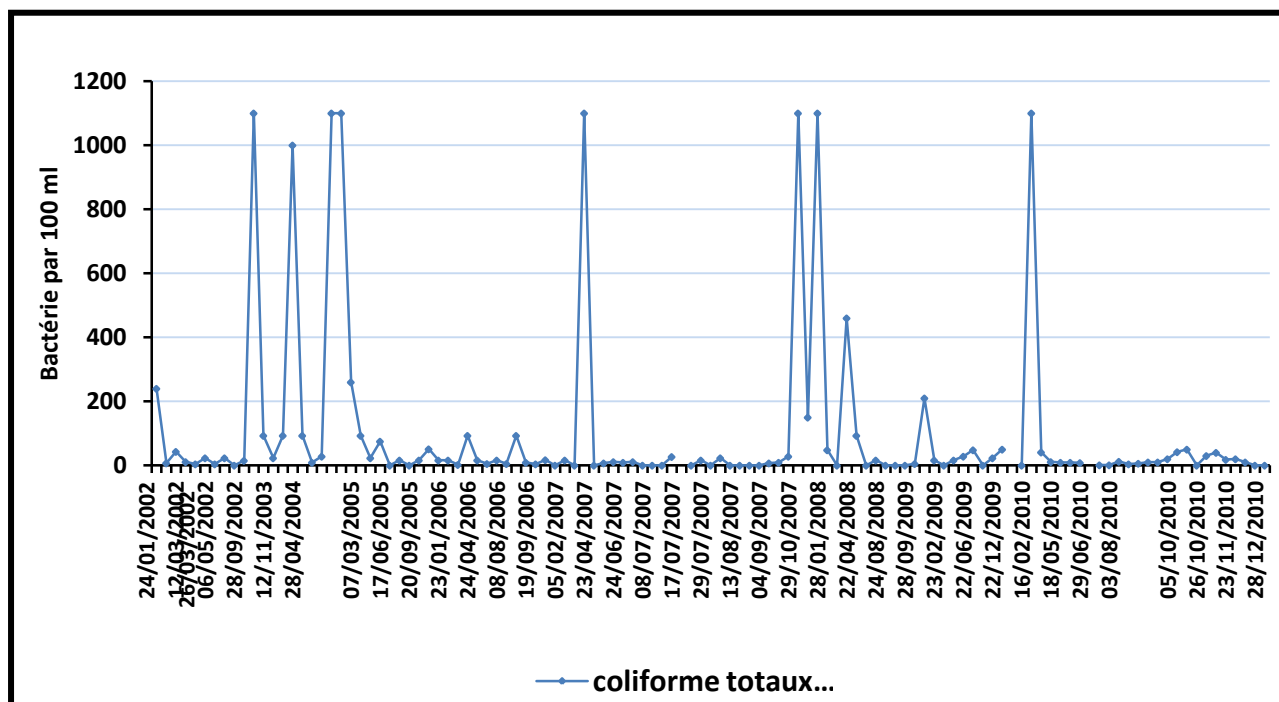


Fig (41) : Evolutions de la teneur en coliformes totaux des eaux du barrage Mexanna (2002/2010)

Les teneurs en coliformes totaux obtenus dans les eaux du barrage sont largement supérieures à la norme de qualité admise l'eau potable qui est d'aucun bactérie /100 ml.

Les teneurs élevées en coliforme totaux sont marquées pendant la période humide (d'octobre jusqu' au avril), elles varient généralement entre 210 et 1100 bactérie /100 ml. Cette teneur élevée est due au lessivage des sols riches en matière organique et de fumiers des animaux domestiques et sauvages à cause de la densité du couvert végétal du bassin versant. Et elle due aux fosses septiques de la population trouvée dans le bassin versant.

Ou cour de la période sèche la teneur en coliformes totaux fluctue entre 0 et 150 bactérie /100 ml.

5-2 Les coliformes fécaux :

Sont très abondante dans la flore intestinale humaine et animale, et c'est aussi la seule qui soit strictement d'origine fécale. Les coliformes fécaux sont considérés comme le meilleur indicateur de contamination fécale. Leur présence dans l'eau signifie que cette dernière est contaminée par une pollution d'origine fécale et qu'elle peut donc contenir des microorganismes pathogènes. La source de contamination est près de la ressource en eau. . L'organisme indicateur est E. Colis.

La gastro-entérite est la maladie la plus fréquente associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales. Bien que cette maladie soit souvent bénigne, elle peut parfois avoir des conséquences très graves sur la santé. D'autres maladies plus rares comme les hépatites ou les méningites peuvent aussi être provoquées par l'ingestion d'eau contaminée.

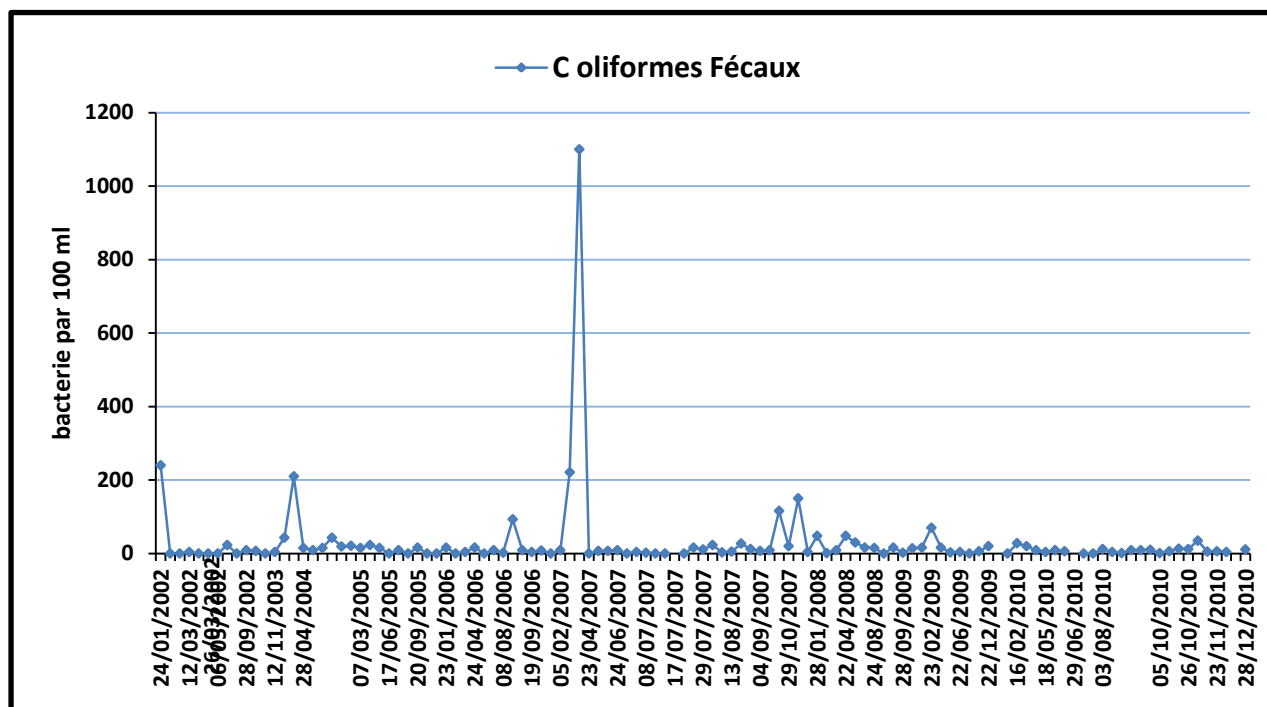


Fig (42) : Evolutions de la teneur en coliformes fécaux des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

Les dynamiques d'abondance des coliformes fécaux évoluent presque de la même manière que les coliformes totaux, sauf que les nombres des bactéries sont inférieurs par apport.

Le nombre des bactéries coliformes fécaux a varié entre 0 et 240 bactérie /100 ml au cours de la période d'étude avec un cas exceptionnel de 1100 bactérie /100 ml marqué en mars 2007.

5-3 Les streptocoques fécaux :

Ils sont en grande partie d'origine humaine et surtout animale. La présence de streptocoques fécaux confirme le cas d'une pollution d'origine fécale même en l'absence de coliformes fécaux. Le S.F. survit longtemps dans les eaux. La provenance de la pollution est donc lointaine.

Les streptocoques fécaux des eaux du barrage Mexanna ont deux origines, la première humaine, causée par les rejets des eaux usées de l'habitation du bassin versant de la retenue et la deuxième animale.

La teneur des streptocoques fécaux varie entre 0 et 1100 bactérie /100 ml, les fortes valeurs sont marquées pendant les mois de décembre, janvier et février.

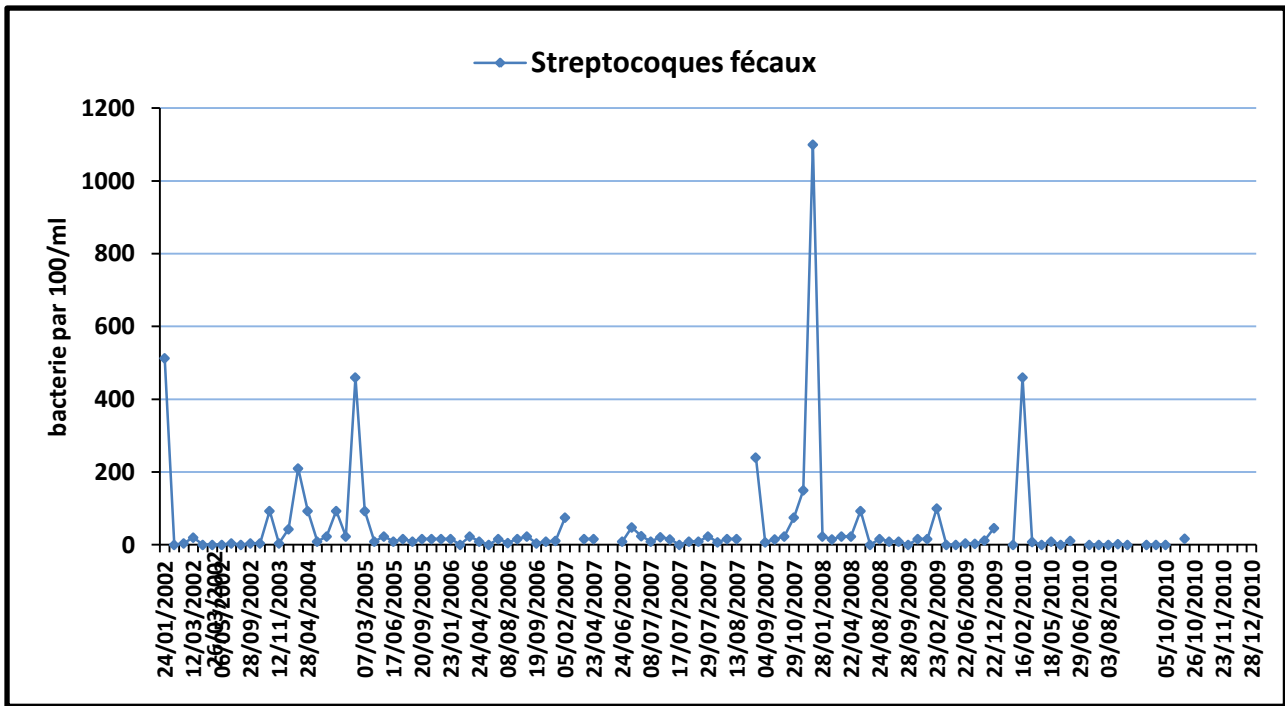


Fig (43) : Evolutions de la teneur en des streptocoques fécaux des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

5-4 Les Clostridiiums sulfito-réducteurs

Les Clostridiiums sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau sous une forme végétative. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants, ils constituent aussi un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection.

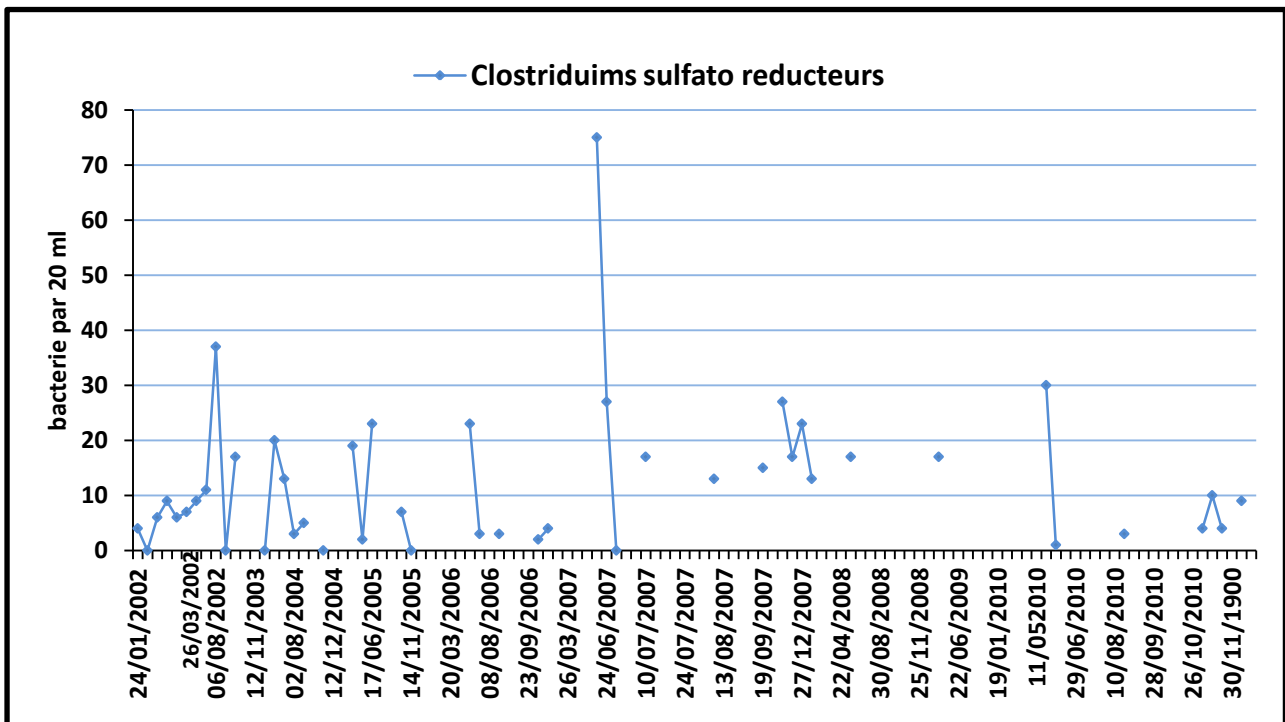


Fig (44) : Evolutions de la teneur en Clostridiiums sulfito réducteurs des eaux du barrage Mexanna (2002/2010)

La présence des bactéries Clostridiums sulfite réducteurs dans les eaux de la retenue est très faible par rapport aux autres bactéries, elle se fluctue entre 0 et 75 bactérie / 100 ml.

5-5 Les germes totaux à 37 °C :

C'est le dénombrement des germes de tous les types capables de se développer aux températures considérées. Cependant une série de numération de ces germes pratiquée sur des échantillons prélevés successivement dans un puits ou une autre source seront d'une grande utilité, car une augmentation soudaine du nombre des colonies peut être le premier signe indicateur de contamination.

Les germes totaux sont susceptibles d'être d'origine humaine animale ou tellurique (en provenance du sol) ils constituent un critère d'évaluation des conditions sanitaires de la distribution (ressource, réseau, entretien déficient, stagnation de l'eau, présence de nutriments...). Une faible valeur est le témoin d'un bon état du système de distribution.

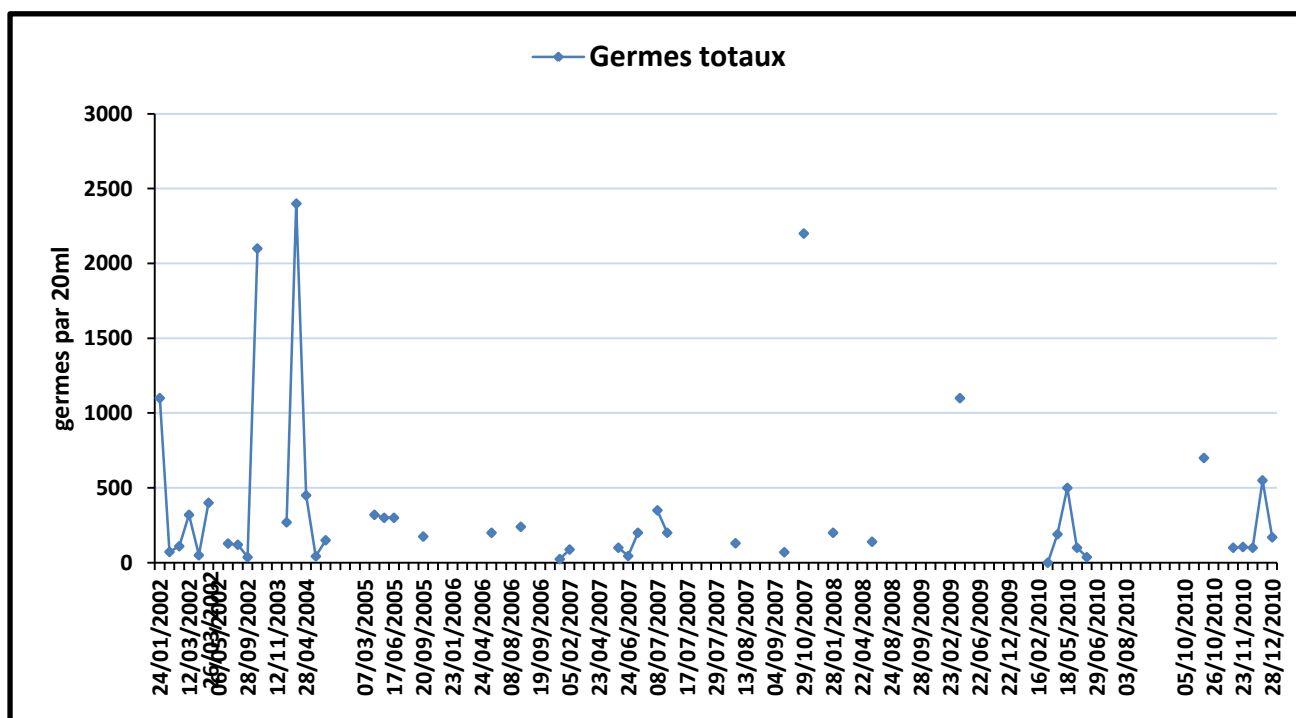


Fig (45) : Evolutions de la teneur en germes totaux des eaux du barrage Mexanna (2002/2010)

Les résultats de dénombrement des germes totaux dans les eaux du barrage sont représentées dans la figure (45), ils oscillent entre 0 et 2800 bactérie /20 ml. Les mois les plus pluvieux sont les plus contaminés à cause de lessivage des sols et du fumier des animaux riche en ces germes.

3.4 Origine de la contamination fécale

L'origine de la pollution fécale est reliée au rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF). Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4 (Tableau 50), la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées) (BORREGO et ROMERO, 1982). Lorsqu'il est inférieur à 0,7, l'origine animale, notamment le bétail et en particulier les moutons, semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau (GELDREICH, 1976).

Dates	CF/SF	Dates	CF/SF	Dates	CF/SF
24/01/2002	0,47	20/03/2006	0,17	19/09/2007	0,60
13/02/2002	0,00	24/04/2006	1,78	19/10/2007	5,04
12/03/2002	0,20	24/07/2006	0,56	29/10/2007	0,27
21/07/2002	5,75	08/08/2006	0,40	25/11/2007	1,00
28/09/2002	2,25	21/08/2006	5,81	27/12/2007	0,00
17/02/2003	1,75	30/08/2006	0,39	28/01/2008	2,09
05/08/2003	0,00	19/09/2006	1,00	18/02/2008	0,07
12/11/2003	1,00	23/09/2006	0,89	24/03/2008	0,39
22/11/2003	1,00	30/10/2006	0,00	22/04/2008	2,09
26/01/2004	1,00	05/02/2007	0,12	26/05/2008	0,32
28/04/2004	0,16	07/05/2007	68,75	24/08/2008	0,94
02/08/2004	1,00	28/05/2007	0,00	30/08/2008	0,00
28/08/2004	0,65	24/06/2007	1,00	21/10/2008	1,78
13/10/2004	0,46	30/06/2007	0,00	27/10/2008	0,88
20/10/2004	0,83	06/07/2007	0,17	25/11/2008	1,00
12/12/2004	0,05	08/07/2007	0,22	23/02/2009	0,70
07/03/2005	0,16	10/07/2007	0,00	22/06/2009	1,00
05/04/2005	2,56	15/07/2007	0,00	16/08/2009	0,00
17/05/2005	0,65	22/07/2007	0,00	15/02/2009	0,50
17/06/2005	0,00	24/07/2007	1,78	22/12/2009	0,43
08/08/2005	0,56	29/07/2007	0,48	16/02/2010	0,06
05/08/2005	0,00	31/07/2007	3,29	24/03/2010	2,50
20/09/2005	1,00	05/08/2007	0,19	18/05/2010	0,44
14/11/2005	0,00	13/08/2007	0,31	08/06/2010	0,55
05/12/2005	0,00	28/08/2007	0,05	03/08/2010	0,00
23/01/2006	1,00	04/09/2007	1,00	10/08/2010	2,00

Tab (50) : Origine de la pollution selon le rapport coliformes fécaux/streptocoque fécaux (CF/SF).

Seulement 5.12% des échantillons donnent un rapport (CF/SF) nettement supérieur à 4, et ça pendant les mois de juillet, août et octobre (période sèche) donc la contamination fécale est d'origine humaine. Cette pollution est du ou rejets des douars (Mexanna, M'jouda) situés sur les rives de la cuvette du barrage.

Alors que 94.88 % des échantillons ont un rapport (CF/SF) inférieur à 4, dont 65.75% sont nettement inférieur à 0.7. En générale la contamination fécale des eaux du barrage est d'origine animale.

6- Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive : son objectif est de présenter graphiquement le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday & al. 1982 ; Philipeau 1992). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Gaudin, 1982 ; Diday & al. 1982 ; Philipeau 1992 et Deverin 1992).

Pour des raisons évidentes de faciliter la visualisation des individus, l'ACP réduit les dimensions des espaces.

Les espaces retenus seront donc à une dimension (c'est-à-dire des droites) ou, et c'est le cas le plus fréquent, à deux dimensions, c'est-à-dire des plans (Philipeau 1992).

Les droites et plans issus d'une ACP ne seront pas réalisés avec les variables initiales : la méthode recherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale : cet indice est appelé première composante principale au premier axe principal.

Ensuite une seconde composante est recherchée et ceci sous deux conditions :

- Avoir une corrélation nulle avec la première.
- Avoir à son tour, la plus grande variance.

Ainsi cette deuxième composante fournit la plus grande information non expliquée par la première. Le processus se déroule ainsi jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale, la part de l'information expliquée par chacune d'elle devenant de plus en plus faible (Diday & al. 1982 ; Philipeau 1992).

6-1 Analyse en composantes principales des éléments physico-chimiques :

6-1.1 Corrélation linéaire :

Avant d'entamer l'analyse des résultats par l'utilisation de l'ACP, il est intéressant d'avoir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux (Tab (51), il en ressort ce qui suit :

Les fortes corrélations entre les couples (CE/Ca), (CE/HCO₃), (CE/Dt), (Tur/Rs), (Tur/Ca), (Tur/HCO₃), (Tur/P), (Tac/Dt), (Tac/Ca), (Tac/HCO₃), (Dt/Ca), (Dt/HCO₃), (Dt/Cl), (Ca/HCO₃) (Ca/Cl) et (HCO₃/Cl)

	pH	T	CE	Tur	Rs	Tac	Dt	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	Fe	NO ₃	NO ₂	NH ₄	P
pH	1.00																
T	-0.22	1.00															
CE	0.02	0.28	1.00														
Tur	-0.10	-0.19	-0.56	1.00													
Rs	-0.21	0.13	0.05	0.54	1.00												
Tac	0.19	0.06	0.56	-0.43	-0.09	1.00											
Dt	0.04	0.35	0.73	-0.54	-0.10	0.59	1.00										
Ca	-0.01	0.15	0.80	-0.53	-0.12	0.58	0.72	1.00									
Mg	0.04	0.00	-0.08	-0.04	-0.12	-0.12	-0.19	-0.16	1.00								
HCO ₃	0.03	0.33	0.72	-0.52	-0.09	0.63	0.95	0.70	-0.20	1.00							
SO ₃	0.08	0.02	0.38	-0.21	-0.09	0.22	0.34	0.38	-0.06	0.36	1.00						
Cl	-0.01	0.21	0.82	-0.46	0.11	0.44	0.59	0.69	-0.07	0.60	0.42	1.00					
Fe	0.04	0.00	0.09	-0.05	0.02	-0.00	0.08	0.08	-0.12	0.05	0.26	0.09	1.00				
NO ₃	-0.01	0.01	0.01	-0.15	-0.14	-0.10	0.08	0.06	0.36	0.04	0.07	0.03	0.10	1.00			
NO ₂	-0.01	0.21	-0.03	-0.11	-0.16	0.05	0.18	0.05	-0.06	0.16	-0.09	-0.12	0.10	0.23	1.00		
NH ₄	-0.01	0.03	-0.13	-0.01	0.06	0.12	-0.06	-0.03	-0.05	0.02	-0.07	-0.09	0.04	0.00	0.14	1.00	
P	0.12	-0.49	-0.36	0.47	0.17	-0.19	-0.36	-0.29	-0.02	-0.40	0.02	-0.23	-0.01	-0.18	-0.13	0.01	1.00

Tab (51) : Coefficient de corrélation entre les variables (paramètres physico-chimiques)

6-1.2 Valeurs propres :

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leur interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs propres totales.

Facteur	Valeurs propres	Pourcentage total des variances.	Valeurs propres cumulées	Pourcentage cumulé
1	5.48	34.26	5.48	34.26
2	1.70	10.66	7.19	44.91
3	1.40	8.75	8.59	53.66
4	1.18	7.40	9.77	61.06
5	1.15	7.22	10.93	68.29
6	1.01	6.33	11.94	74.62
7	0.79	4.96	12.73	79.58
8	0.69	4.29	13.42	83.87
9	0.62	3.89	14.04	87.76
10	0.55	3.44	14.59	91.20
11	0.52	3.28	15.12	94.47
12	0.35	2.24	15.47	96.71
13	0.19	1.25	15.67	97.96
14	0.16	1.04	15.84	99.00
15	0.09	0.57	15.93	99.57
16	0.06	0.43	16.00	100.00

Tab (52) : valeurs propres et pourcentages cumulés des axes principaux.

Le premier axe principal a une valeur propre égale à 5.48, il explique 34.26 % de la variation totale, la seconde composante égale à 1.70 explique 10.66 % de la variance totale.

Les Pourcentages de variation ne sont pas assez élevés pour les deux premiers axes avec un cumule de 44.91 %. Pour nos interprétations, nous allons se limiter au trois premier axes avec un cumule de 55.66 %.

6-1.3 Etude des variables :

La contribution de chaque variable dans la formation de la composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré, autant que ce coefficient est important, autant que la variable contribue à la formation de l'axe.

Le tableau (53) de la corrélation des variables aux principaux axes, montre que les variables sont mieux représentées avec l'axe 1.

Libellé de la variable	Axe1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
pH	0,11	-0,05	-0,64	0,33	0,21
T °C	0,40	-0,01	0,56	0,38	0,14
CE	0,89	0,22	-0,00	-0,00	-0,19
Tur (mg/l)	-0,71	0,48	0,19	-0,01	-0,06
Rs (mg/l)	-0,15	0,71	0,43	-0,18	-0,03
Tac (mg/l)	0,89	0,04	0,17	0,01	0,07
Dt (mg/l)	0,66	0,11	-0,04	0,34	0,24
Ca (mg/l)	0,84	0,07	0,00	0,03	-0,27
Mg (mg/l)	0,47	0,02	-0,13	-0,36	0,45
HCO ₃ (mg/l)	0,89	0,04	0,14	-0,06	0,13
SO ₄ (mg/l)	0,44	0,22	-0,38	-0,41	-0,15
Cl (mg/l)	0,77	0,29	-0,04	-0,14	-0,22
Fe (mg/l)	-0,49	0,42	-0,05	-0,01	-0,06
NO ₃ (mg/l)	0,05	-0,49	0,05	-0,35	-0,56
NO ₂ (mg/l)	0,09	-0,55	0,45	0,05	-0,06
NH ₄ (mg/l)	-0,06	-0,19	0,19	-0,59	0,55
P (mm)	-0,25	0,27	-0,36	-0,25	0,11

Tab (53) : Corrélation des variables aux principaux axes.

Tandis que le pH, la température et les précipitations, ont une représentation médiocre sur l'axe 1, mais assez bien corrélées sur l'axe 3. Même pour NO₃, NO₂ et le résidu sec qui sont bien représentés sur l'axe 2. Les autres éléments tels que, la conductivité électrique, la turbidité, Tac, dureté totale, Ca, Mg, HCO₃, SO₄, Cl et le fer sont bien corrélés au premier axe.

L'étude du cercle de corrélation permet de ressortir les variables corrélées entre elles, et par conséquent les dissemblances et les ressemblances entre ces dernières.

6-1.4 Représentation graphique de l'ACP des éléments physico-chimiques :

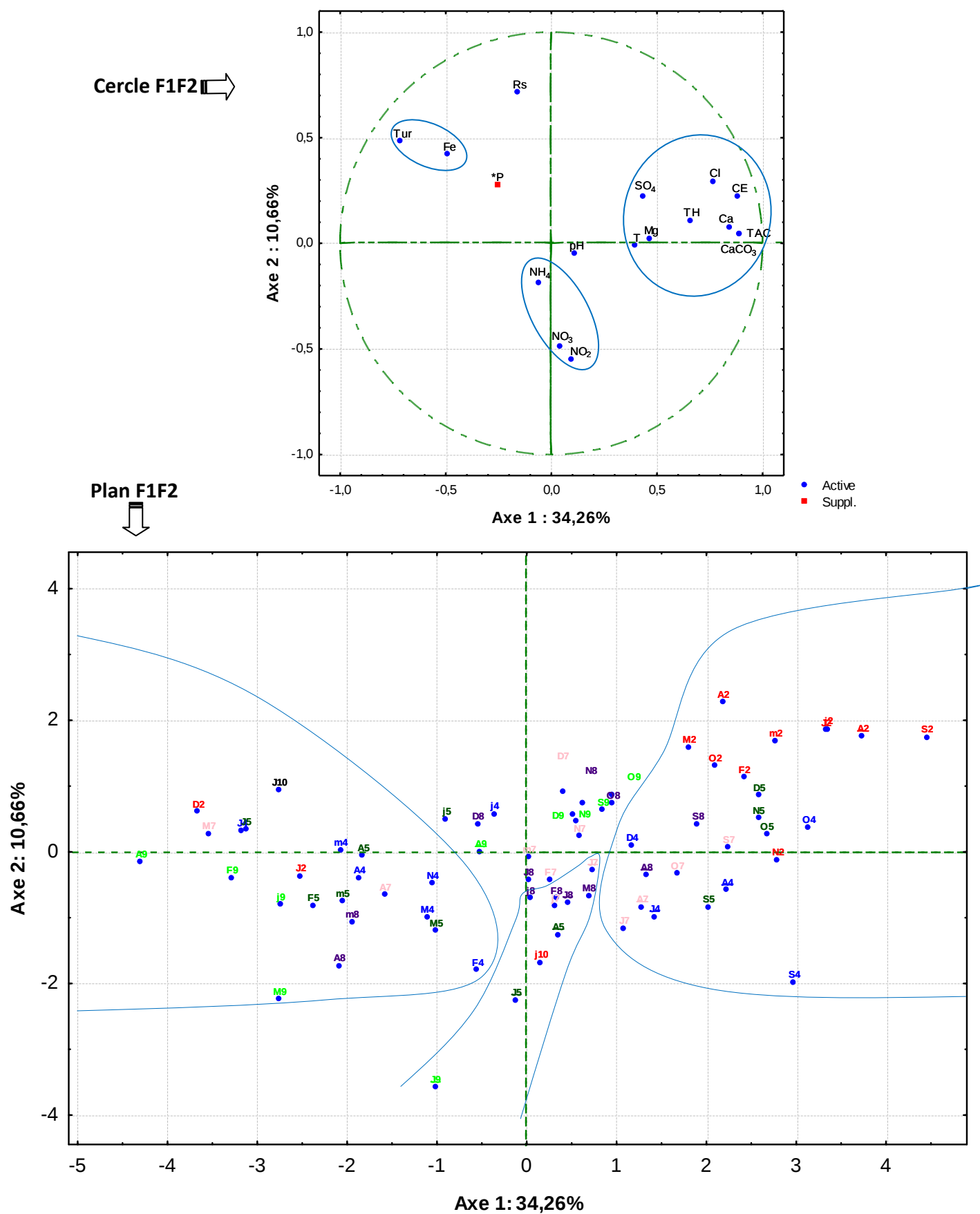


Fig (46) : Cercle et plan F1F2 d'ACP des éléments physico-chimiques des eaux du barrage Mexanna.

Le chiffre désigne l'année et la lettre désigne le mois (J) janvier, (j) juin, (J) juillet, (A) avril, (A) aout (M) mars, (m) mai.

● Cercle F1F2 :

Le traitement a donné une inertie de 44.92 % pour les deux axes F1 et F2 :

L'observation du cercle F1-F2 Fig(45), montre que l'axe F1 dans son sens positif présente un nuage de points représentant les éléments responsables des faciès chimiques, entre autre le faciès dominant le bicarbonate calcique, dont les fortes teneurs en CaCO_3 , Ca et sont bien marquées.

Dans son sens négatif, l'axe F1 visualise aussi un groupe de point mais dans le sens négatif composés par la turbidité et le fer, sont deux éléments polluants. On peut considérer l'axe F1 comme axe de minéralisation.

L'axe F2 dans le sens négatif regroupe NH_4 , NO_3 et NO_2 et dans le sens positif. Donc l'axe F2 représente la pollution en éléments nutritifs (les éléments du cycle de l'azote).

● Plan F1F2 :

Le nuage de point montré par l'axe F1 dans la partie positive représente les eaux des mois de (août, septembre, octobre) et les mois de novembre et décembre des années sèches (2004 et 2005, ce sont les eaux caractérisées par une forte minéralisation (cercle F1F2). La minéralisation est apparue après les deux premiers mois d'été (juin et juillet) qui sont caractérisés par une forte évaporation se qui augmente la concentration des minéraux dans l'eau entre cette dernière et la saison des précipitations.

L'axe F2 montre une pollution en nitrates et en nitrites selon le cercle F1F2, les eaux qui correspondent à cette baptisation sont celle des mois du juin et juillet. Cette pollution est causée par les seuls apports liquides entrants à la cuvette de la retenue qui sont les rejets domestiques des douars situés sur les rives du lac du barrage.

Les eaux responsables de la turbidité et de la forte teneur en fer sont celles des mois d'hiver et du printemps (janvier, février, mars, avril et mai) à cause de précipitation élevée qui lessive les sols riches en Fe.

● Cercle F1F3 :

Le cercle F1-F3 représentant 43.01 % de la variance cumulée. L'observation du cercle figure (46), montre que pour l'axe F1 est celui de minéralisation, les fortes teneurs en chlorures, calcium et en bicarbonate sont bien marquées, dont sont les éléments responsables des faciès chimiques (le carbonate calcique).

L'axe F3 fournit seulement 8.75% de l'information (valeur faible), il est considéré comme axe de pollution dans sa partie positive, parce qu'il fait sortir les nitrites et l'ammonium. Le côté opposé de cet axe montre le pH dans la partie négative, donc cet axe représente aussi l'alcalinité des eaux. On note que l'axe F3 montre une opposition entre la température et la précipitation.

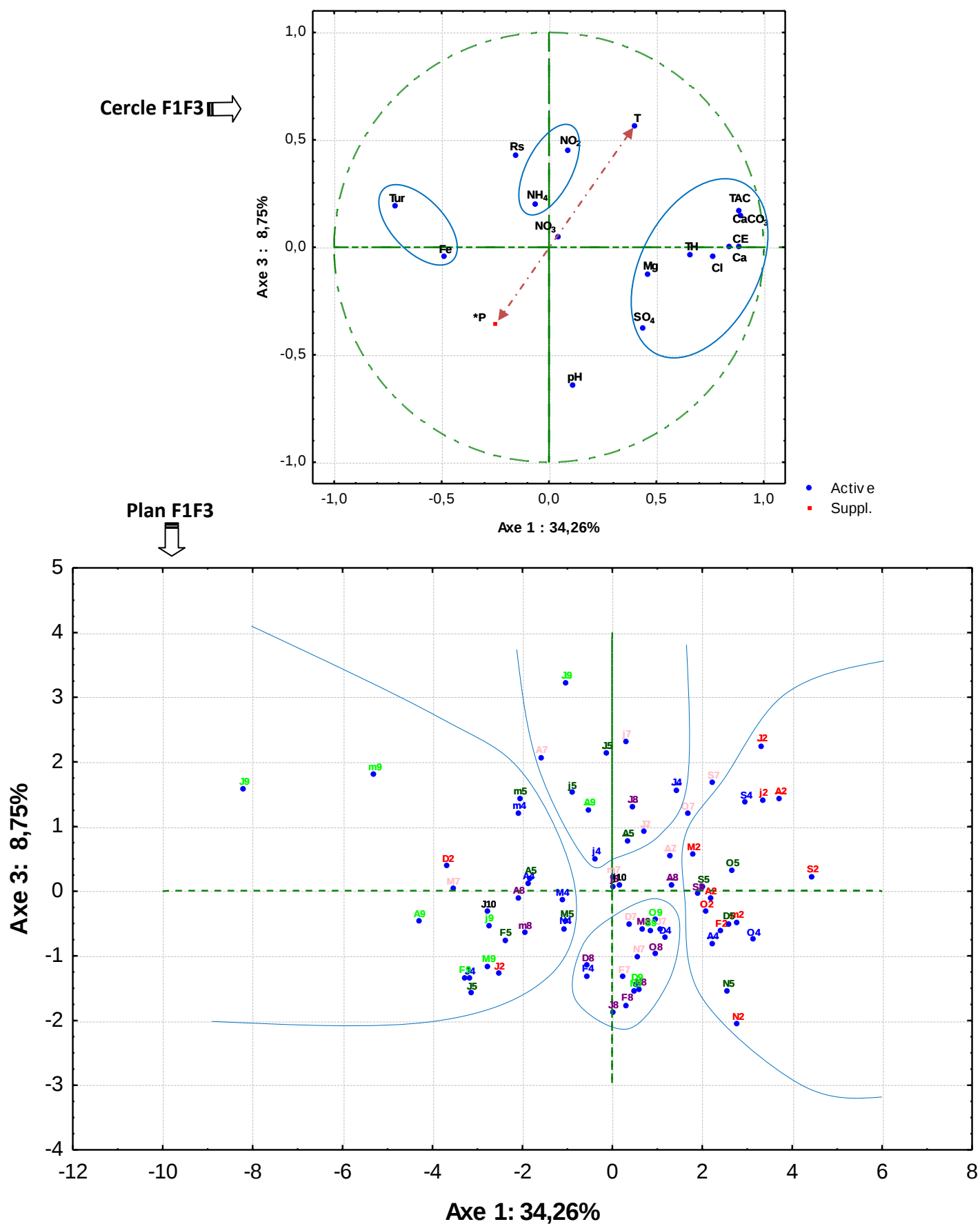


Fig (47) : Cercle et plan F1F3 de l'ACP des éléments physico-chimiques des eaux du barrage Mexanna.

Le chiffre désigne l'année et la lettre désigne le mois(J) janvier, (j) juin, (J) juillet, (A) avril, (A) aout(M) mars, (m) mai.

Plan F1F3

D'après le plan d'individus (F1F3) les eaux de hautes minéralisations relient ou premier axe dans son sens positif, sont ceux des mois d'août, septembre, octobre et pour une faible proportion novembre.

Cette minéralisation est due à l'évaporation élevée pendant les mois de juin et juillet ce qui augmente la concentration des ions dans l'eau.

La minéralisation est observée seulement pour les premières années de la vie du la retenue (2004 et 2005) et surtout l'année 2002 où le barrage n'était pas en service.

Le deuxième groupe d'individus montrés par l'axe1 dans sa partie négatif, caractérise les eaux ont la même évolution en turbidité et en fer. Elles correspondent ou mois de janvier, février, mars, avril, et mai où les précipitations sont élevées.

L'axe 3 est celui de pollution, est caractérisé par un nuage de points dans sa partie négative regroupant les nitrites et le résidu sec. Ce groupe d'individus représente les eaux des mois de juin juillet et août. Alors qu'à sa partie positive, l'axe 3 regroupe les eaux des mois décembre, janvier et février, dont elles sont très diluées à cause des précipitations élevées se qui leurs donnent une évolution similaire en pH (eaux alcalines).

Le point qui représente le résidu sec sur les cercle F1F2 et F1F3 n'apparu pas dans le nuage des points responsable à la minéralisation des eaux, ce qui confirme que le dosage du résidu sec n'est pas fiable.

6-2 Analyse en composante principale des éléments bactériologiques :

6-2.1 Corrélation linéaire :

Le tableau de corrélation entre les variables prises deux à deux révèle ce qui suit :

Une corrélation entre les germes totaux et les coliformes totaux, les germes totaux et les nitrates, Les coliformes totaux et les streptocoques fécaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, les streptocoques fécaux et les nitrates et entre les Clostridium sulfaté réducteurs et l'ammonium.

On note aussi une corrélation négative entre la température et les bactéries sauf les coliformes totaux.

	Gt	CT	CF	SF	CI	NO ₃	NO ₂	NH ₄	P	pH	T
Gt	1,00										
CT	0,25	1,00									
CF	0,69	0,19	1,00								
SF	0,20	0,33	0,31	1,00							
CI	0,11	0,16	0,07	0,22	1,00						
NO ₃	-0,36	0,02	-0,16	-0,24	-0,09	1,00					
NO ₂	-0,13	-0,13	-0,05	-0,08	0,06	0,38	1,00				
NH ₄	0,06	0,11	-0,00	0,08	0,32	-0,06	0,58	1,00			
P	0,15	0,06	0,11	0,19	0,10	-0,11	-0,05	0,28	1,00		
pH	0,07	0,20	0,12	-0,26	-0,37	0,05	-0,09	0,02	0,18	1,00	
T	-0,21	0,06	-0,27	-0,37	-0,22	0,13	0,23	-0,03	-0,57	0,09	1,00

Tab (54) : Coefficient de corrélation entre les variables (paramètres bactériologiques)

6-2.2 Valeurs propres

La valeur propre pour le premier axe principal est égale à 2.74 il explique 24.74 % de la variation totale, la seconde composante égale à 1.79 explique 17.94 % de la variance totale.

Nous allons nous limiter aux deux premiers axes (F1, F2) pour les interprétations, ces axes totalisent un pourcentage d'inertie égale à 42.68 % de la variance totale.

Facteur	Valeurs propres	Pourcentage total des variances.	Valeurs propres cumulées	Pourcentage cumulé
1	2.74	24.74	2.47	24.74
2	1.79	17.94	4.27	42.68
3	1.47	14.68	5.74	57.36
4	1.06	10.64	6.80	68.00
5	0.94	9.41	7.74	77.41
6	0.81	8.11	8.55	85.52
7	0.72	7.25	9.28	92.77
8	0.35	3.50	9.63	96.26
9	0.21	2.11	9.84	98.37
10	0.16	1.63	10.00	100.00

Fig (55) : valeurs propres et pourcentages cumulés des axes principaux

6-2.3 Etude des variables

Le tableau (54), montre que la plupart des variables bactériologiques se corrélaient bien avec le premier axe négativement, alors que les nitrates se corrélaient positivement avec le même axe. Le deuxième axe regroupe les NO_2 et NH_4 et les Clostridiiums sulfite réducteurs dans son sens négatif. Ces variables seront les mieux représentées sur le plan.

	Axe1	Axe2	Axe3	Axe4	Axe5
Gt	-0,75	0,09	-0,35	-0,29	-0,06
CT	-0,39	-0,04	-0,42	0,77	-0,08
CF	-0,72	0,08	-0,38	-0,28	0,30
SF	-0,65	-0,21	0,21	0,32	0,17
CI	-0,36	-0,59	0,30	0,18	-0,14
NO3	0,52	-0,20	-0,21	0,25	0,71
NO2	0,33	-0,75	-0,35	-0,24	0,15
NH4	-0,07	-0,78	-0,33	-0,15	-0,28
pH	0,09	0,41	-0,71	0,03	-0,04
T	0,54	0,03	-0,34	0,17	-0,44
P	-0,31	-0,10	-0,02	-0,09	0,13

Tab (56) : Corrélation des variables aux principaux axes.

6-2.4 Représentation graphique de l'ACP :

.

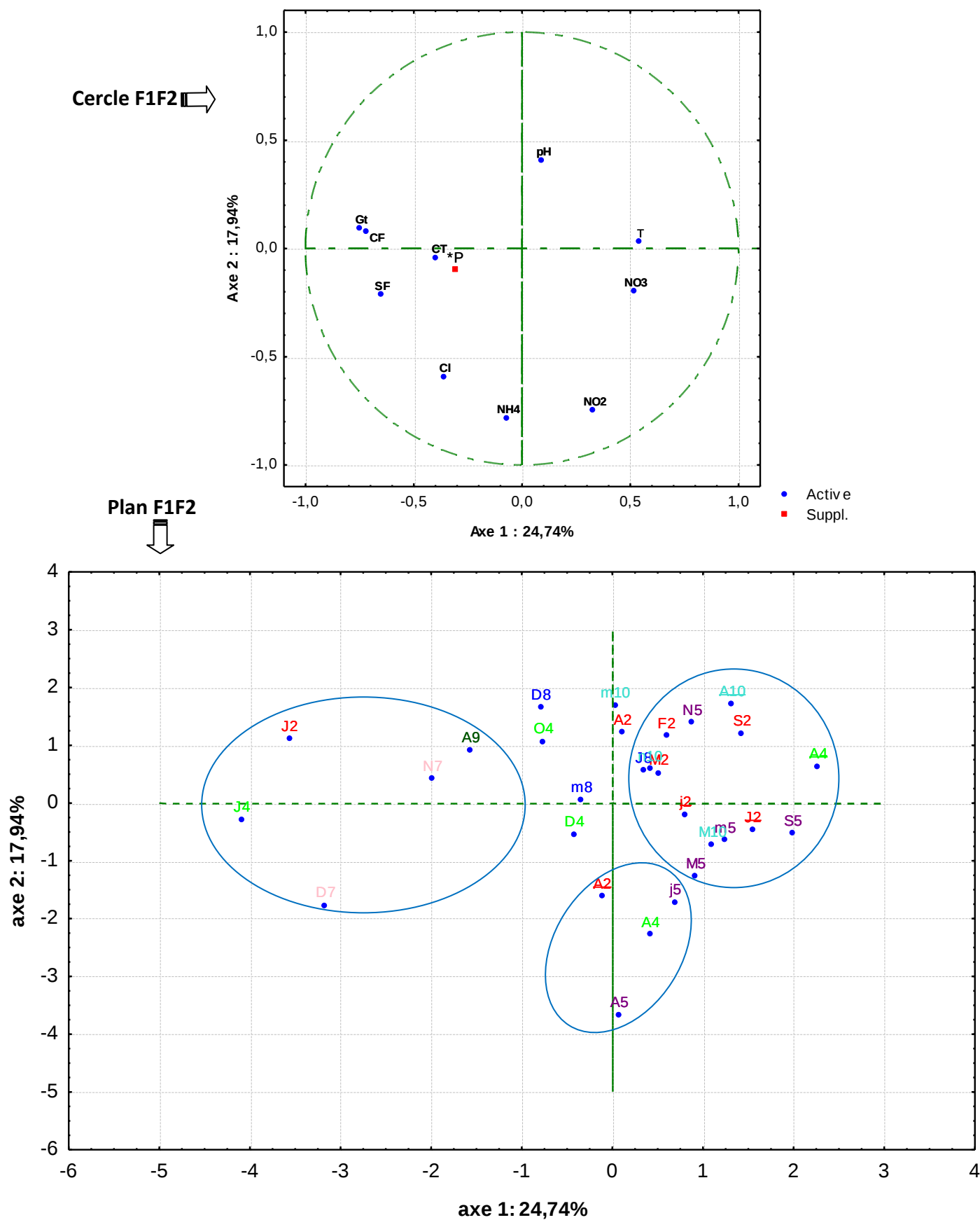


Fig (48) : Cercle et plan F1F2 d'ACP des éléments bactériologiques des eaux du barrage Mexanna.

Le chiffre désigne l'année et la lettre désigne le mois(J) janvier, (j) juin, (J) juillet, (A) avril, (A) aout(M) mars, (m) mai.

Le cercle de corrélation F1-F2 représentant 42,68 % de la variance cumulée est le plus représentatif.

L'axe F1 représentant 24.74 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points, le premier nuage dans la partie négative, regroupant tous les paramètres bactériologiques (germes totaux, coliformes totaux coliformes totaux et streptocoques fécaux) sauf les *Clostridium* sulfite réducteurs qui sont bien reliés au deuxième axe. Le deuxième nuage dans le sens négatif regroupe les NO_3 et la température.

L'axe 2 visualise les NO_2 et les NH_4 dans le côté négatif et le pH dans l'autre côté positif.

Le plan d'individus montre que les eaux contaminées par les bactéries sont celles des mois de novembre, décembre et janvier. Alors que les eaux polluées en nitrates sont celles de la période de juillet, août et septembre.

Les eaux caractérisées par des teneurs élevées en nitrites et en ammonium représentent les mois de juin, juillet et août.

Conclusion :

L'interprétation des analyses des eaux du barrage Mexanna au cours de la période (2002-2010) montrent que :

Les diagrammes de Stiff et Piper pour l'année 2002, ont montré que les faciès chimiques des eaux sont le bicarbonaté calcique et sulfaté bicarbonaté calcique, alors que diagramme de Richards a montré que les eaux du barrage sont de bonne qualité pour l'irrigation.

L'étude de l'évolution des paramètres physico chimique et organoleptiques montre que ces derniers sont influencés par deux phénomènes naturels : les précipitations et la géologie.

Les fortes concentrations en minéraux sont marquées pendant les mois d'août, septembre et octobre et les faibles concentrations pendant janvier et février.

Les teneurs en fer et en aluminium dans les eaux du barrage sont inquiétante parce qu'elles dépassent les normes de potabilité au cours de plusieurs mois, malgré que leurs origine est naturelle sol et la géologie.

La présence des polluants organiques dans les eaux du barrage est dans les normes sauf les nitrites qui montrent des excès dépassant largement la norme 0.1 mg/l.

L'interprétation des analyses bactériologiques montre une contamination fécale à deux origines animales et humaines.

L'analyse en composante principale des analyses physico-chimiques et des analyses bactériologiques confirment les résultats obtenues précédemment.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'interprétation des différents résultats obtenus par les différentes méthodes nous amène aux conclusions suivantes :

Situé dans la willaya d'El Tarf à l'extrême Nord-Est Algérien près de la frontière Algéro-Tunisienne, la retenue de Mexanna occupe une cuvette de superficie de 4 km² environ et une capacité de stockage de 41.5 million m³ destiné essentiellement pour l'alimentation en eau potable des deux willayas El Tarf et Annaba.

Le bassin versant de la retenue est constitué de formation d'âge éocène supérieur à oligocène, c'est la série numidienne qui caractérisé par une alternance d'argilo gréseuse.

La synthèse des données hydroclimatiques nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuses avec des températures élevées.

La température moyenne annuelle est de 17.73 °C, elle est assez régulière par contre la moyenne annuelle des précipitations est de 838.1 mm à Ain Assel et de 793.7 mm à Roum El Souk.

L'étude de type de climat on utilisant le climagramme d'Emberger à montré que notre zone d'étude est Sub humide, elle est marquée par une évapotranspiration réel (ETR) de 59 % (station de Ain Assel) 56.98 % (station de Roum El Souk), alors que la lame d'eau ruisselée constitue 23.4 % et 21.0 % de la lame d'eau précipité respectivement à Ain Assel et Roum El Souk .

L'étude hydrologique a été abordée par la quantification des apports annuels liquides et solides, l'apport moyen annuel de l'oued Kebir Est au niveau de la station de jaugeage d'Ain Assel semble très importants 222.3 hm³. Ainsi que l'apport solide moyen annuel de l'oued donne un âge approximatif de 50 ans à la retenue, soit 43.9 10⁵ T/an.

Le volume d'eau régularisé par le bassin versant est très important 222.3 hm³/an, seulement 41.5 hm³ d'eau (soit 18.44 %) sont captées par cette retenue et 65 hm³ (soit 29.23 %) seront captées par la retenue de Bougous à l'amont de la première. Malgré la pénurie en eau en Algérie 116.3 hm³ (soit 52.31%) d'eau vont coulées vers la mer on en inondant les plaines en l'aval (Tarf, Bouteldja).

L'interprétation des analyses chimiques des eaux du barrage a permis de mettre en évidence l'évolution temporelle ainsi la qualité des eaux au cours de cette période (2002-2010).

Les histogrammes réalisés (Piper et Stif), ont montré que les bicarbonates dominent dans la région d'étude et sont accompagnés des sulfates et de calcium.

La concentration des éléments chimiques dans les eaux du barrage est saisonnière, les fortes valeurs sont marquées pendant la période sèche et les faibles valeurs pendant la période humide en raison de la dilution.

La minéralisation des eaux du barrage est influencée naturellement par la géologie et les précipitations. Les eaux brutes du barrage sont de bonnes qualités, presque tous les paramètres analysés fluctuent dans les normes de l'OMS surtout les éléments majeurs.

Pour les éléments nutritifs, les résultats obtenus montrent que les eaux du barrage sont fortement polluées en nitrites presque pendant toutes les mois (teneurs supérieurs à la norme), alors que les nitrates et l'ammonium sont à la norme.

Les concentrations en fer et aluminium sont supérieurs à celle des eaux potables, donc le contrôle de ces deux éléments est nécessaire même après le traitement pour ne pas nuire la santé public.

L'analyse bactériologique a permis d'apprécier une contamination fécale des eaux du barrage par les eaux usées et par faune domestiques et sauvages vivré dans le bassin versant de la retenue. Malgré que l'élimination des microorganismes dans l'eau est facile par simple ajout d'hypochlorite (eau de javel), mais le contrôle de l'évolution de ces derniers reste nécessaire pour ne pas arriver à un stade de pollution grave (eutrophisation des eaux du barrage).

L'analyse en composante principale (ACP) a permis de déterminé les eaux qui ont une évolution similaire (même caractéristiques chimiques).

L'étude de chimisme des eaux du barrage a montré que ces derniers sont de bonnes qualités même sans traitement, car tous les éléments étudié ne présente pas des excès qui provoquer des maladies.

Malheureusement l'éventuelle étude n'a pas permis d'envisager le problème d'odeur apparue dans les eaux en 2007, ce qui nécessite d'autres études dans d'autre domaine scientifique tel que la biologie surtout que les algues sont très répandues dans la cuvette du barrage.

Pour protéger le barrage Mexanna de pollution dans les prochaines années il est recommandé de :

- Une étude biologique pour avoir une idée sur les algues trouvées dans la cuvette du barrage : ses origines et ses conditions de vie.
- Contrôler les activités humaines à l'amont du bassin versant.

- Le bon aménagement des eaux usées de la population du bassin versant surtout que leurs nombre va augmenter à cause du projet de l'habitat rural lancé par l'état dans les dernières années.

Les Références Bibliographies

Les références bibliographiques :

Allain Marre (1981) : Le Tell Oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne (Etude géomorphologique).

Athamena Malika (2006) : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud Sétifien. Mémoire de magister .Université d'Batna.

A.Foutlane, A.Bouloud & A.Ghedda: Restauration de la qualité des eaux des retenues de barrages

Benjamin Kiersch : Les impacts de l'utilisation des terres sur les ressources en eau: un examen de la littérature existante

Brisou. J (1968) : la pollution et virale et parasitaires des eaux littorales et ses conséquences sur la santé public. France.

Bouabdallah Siham et Sekrani Radia(1995) : hydrologie du bassin d'oued El Kebir en amont de la station de Ain Assel, en vue de la construction du barrage de Mexa. Mémoire d'ingénieur .Université d'Annaba.

Boufekane Abdelmadjid (2005): Cartographie de vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de l'oued Djendjen et modélisation de la nappe. Mémoire de magister. Université d'Alger.

Boughrara Nabil (2009) : Impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines dans la plaine de Meboudja. Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Boukhouna Sabah (2008) : impact de l'oued Bounamoussa sur la qualité des eaux de la nappe alluviale superficielle d'El Assour wilaya d'El Tarf. Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Boulabaeiz Mahrez (2006) : Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien. Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Bou Saab. H, Nassif. N, Antoine. G, El Samrani, Daoud. R, Medawar. S & Ouaini. N : Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban) Revue des sciences de l'eau, vol. 20, n° 4, 2007.

C. Abdelbaki : Apport des systèmes d'information géographique dans l'évaluation de la qualité des eaux souterraines — Cas de la plaine de Maghnia — Willaya de Tlemcen — Algérie Université de Tlemcen.

Cheikh Salah. O et Hacene-Chouche. S (1999) : Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéologique du barrage Bougous extrême Nord Est Algérien. Mémoire d'ingénieur .Université d'Annaba

Derradji. F, Bousnoubra. H, Kherici. N, Romeo. M & Caruba. R : impact de la pollution organique des eaux superficielles dans le Nord-Est Algérien. Article scientifique Sécheresse 2007 ; 18 (1) : 23-7.

Direction des études des milieux et de recherche hydraulique : étude hydraulique de l'oued Kebir Est au site de barrage Mexanna.

Drouiche A (2008) : Phénomène de la remontée ; impact et conséquence sur la nappe phréatique d'Oued Souf (cas de la zone de rejet, Ville d'El Oued). Mémoire de magister. Université d'Annaba.

El Ghachtoul. Y, Alaoui Mhamidi. M et Gabi. H : Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (Maroc) : causes, conséquences et consignes de gestion. Article scientifique, érudit vol. 18, numéro hors série, 2005.

El haissoufi et al., (2011) : pollution des eaux de puits de certains cartiers de la ville de Fes, Maroc. Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 5, N°1

Gaagai Aissam (2009) : Etude hydrogéologique et hydrochimique du bassin versant du barrage Barbar sur l'oued sur oued El Arab région Est de l'Algérie. Mémoire de magister. Université Batna.

Gueade G. A, Ouattara A, Edia O. E, Gourene : Influence de la Géologie du Milieu Sur les Caractéristiques Physico-chimiques de Quelques Petits Cours d'eau Naturels du sud de la côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest. Université d'Abobo-Adjamé. Côte d'Ivoire

Handouzi Mohamed Ali, Bechiri Mouloud (2007) : caractéristiques de quelques aquifères de l'extrême nord est algérien cas de secteur : El Tarf, Annaba, Skikda, Guelma, Souk Ahras et Tébessa. Mémoire d'ingénieur .Université d'Annaba.

Haied Nadjib (2008) : Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja (NE Algérien). Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Jean -Marie Vila : la chaine alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens.1980

Khelfaoui Fayçal (2008) : Ressource en eau et gestion intégrée dans le bassin versant du Saf Saf. Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Khelfaoui Hakim (2007) : impact des rejets industriels sur les eaux souterraines cas de la région de Berrahal (Algérie). Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Labar Sofiane (2009) : Evaluation de la pollution des eaux souterraines dans un milieu industriel (cas de la zone industrielle de Skikda, N.E. Algérien). TH Doctorat es science univ. Annaba (2009)

Mecibah Ilyes (2008) : Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien) Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Mohamed El Wartiti, Amina Malaki & Nezha EL Mahmoudi: Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains.

Mouchara. N (2009) : Impacts des lâchées du barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée Seybouse dans sa partie amont (Nord Est Algérien). Mémoire de magister. Université d'Annaba.

Selka. G, Debbal .Z (2007) : Evaluation des effets environnementaux de l'oued Mouilah sur la Pérennité du Barrage Hammam Boughrara. Université de Tlemcen.

Mohamed El Wartiti, Amina Malaki & Nezha EL Mahmoudi: Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains.

Saadali Badreddine (2007) : étude de la qualité des eaux des sources issue du massif dunaire de Bouteldja Algérie extrême nord oriental. Mémoire de magister. Université d'Annaba
T. Mechahed, F. Yakoubi : Suivi Hydrobiologique du Barrage de Keddara Durant l'Année 2009.

Les annexes

Annexe 1 : Apports mensuels liquides de l'oued Kebir Est à la station hydrométrique de Ain Assel.

Années	APPORTES MENSUELS EN 10 ⁶ m ³ .												APPORTES total en (10 ⁶ m ³)
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
1947-48	0,114	5,906	5,435	48,15	37,613	16,662	17,235	19,836	13,175	7,706	0,900	0,10	174,73
1948-49	0,417	2,030	62,038	37,283	94,090	44,131	59,185	7,836	5,960	0,842	0,842	0,220	314,51
1959-50	0,250	3,211	32,520	10,826	53,970	25,460	79,790	44,170	4,750	1,360	0,372	0,200	256,43
1950-51	0,150	0,945	6,660	16,536	32,207	46,860	13,054	1,920	1,940	0,540	0,104	0,150	120,77
1951-52	0,350	26,500	26,720	42,209	68,671	82,056	31,950	30,979	12,173	1,384	0,372	0,035	323,05
1952-53	0,573	0,878	35,378	151,517	131,528	32,148	55,402	6,584	26,658	2,72	8,41	2,236	454,03
1953-54	0,098	34,878	66,549	38,137	98,779	114,675	42,466	41,272	2,890	0,407	0,220	0,054	440,43
1954-55	0,049	5,084	22,768	47,560	31,330	24,388	37,790	17,877	0,39	0,096	0,048	0,056	187,44
1960-61	0,238	0,377	0,485	14,811	98,104	73,306	6,989	1,350	0,277	0,137	0,080	0,027	98,40
1961-62	0,015	0,399	1,138	1,178	7,917	75,620	12,947	13,955	0,736	0,249	1,028	0,027	114,18
1962-63	0,400	0,550	4,116	32,00	33,255	91,80	1,830	50,806	18,550	6,436	0,326	0,120	249,20
1963-64	1,949	1,459	0,280	24,925	76,323	32,903	14,757	3,569	0,418	0,215	0,096	2,670	159,56
1964-65	0,171	0,972	6,866	1,66	83,068	101,860	30,194	17,973	5,614	1,319	0,359	0,316	250,37
1965-66	0,311	0,319	0,979	19,105	16,764	7,567	49,540	51,443	24,070	3,603	1,130	0,455	175,286
1966-67	0,290	0,660	3,706	33,866	31,522	42,256	9,580	4,700	0,707	0,194	0,160	0,160	127,801
1967-68	1,148	1,294	2,258	21,870	60,070	23,498	18,968	3,025	0,552	0,122	0,08	0,054	132,94
1968-69-	0,023	0,000	0,500	12,457	45,066	12,892	8,230	14,774	2,938	0,181	0,035	0,027	97,13
1969-70	12,307	29,465	3,157	156,756	31,755	27,412	60,502	13,465	4,604	0,555	0,091	0,032	340,10
1970-71	0,018	1,692	0,306	29,080	42,308	70,751	45,500	68,175	5,196	0,956	0,163	0,016	264,27
1971-72	0,311	7,778	1,369	2,812	49,277	43,527	22,303	67,290	19,530	1,965	8,351	0,080	224,59
1972-73	0,391	0,699	0,407	2,936	95,458	55,467	188,305	29,45	3,993	0,656	0,067	0,029	377,86
1973-74	0,122	05,930	1,172	9,870	2,370	15,750	14,980	31,008	3,440	0,342	0,062	0,00	85,05
1974-75	0,451	2,186	53,12	23,883	23,529	64,614	19,499	10,892	12,591	0,845	0,150	0,002	211,78
1975-76	0,01	0,005	4,292	10,612	12,669	21,532	49,076	4,873	39,279	2,011	1,687	0,099	146,14
1976-77	0,231	6,792	68,304	14,549	27,826	9,091	2,553	20,409	2,555	1,192	0,070	0,019	153,59

[illegible]

Annexe 2 : Analyses bactériologiques des eaux du barrage Mexanna (2002/2010).

	Germe totaux (Germe/ml)	Coliformes totaux (Bactérie/100 ml)	Coliformes totaux (Bactérie/100 ml)	Streptocoques Fécaux	Clostridiiums sulfito réducteurs (Bactérie /20 ml)
24/01/2002	1100	240	240	513	4
29/01/2002	72	7	0	0	0
13/02/2002	110	43	0	4	6
12/03/2002	320	11	4	20	9
26/03/2002	50	4	0	0	6
23/04/2002	400	23	0	0	7
06/05/2002		4	0	0	9
21/07/2002	128	23	23	4	11
06/08/2002	120	0	0	0	37
28/09/2002	37	15	9	4	0
17/02/2003	2100	1100	7	4	17
05/08/2003		93	0	93	
12/11/2003		23	4	4	
22/11/2003	270	93	43	43	0
26/01/2004	2400	1000	210	210	20
28/04/2004	450	93	15	93	13
02/08/2004	43	9	9	9	3
28/08/2004	150	28	15	23	5
13/10/2004		1100	43	93	
20/10/2004		1100	19	23	0
12/12/2004		260	21	460	
07/03/2005		93	15	93	
05/04/2005	320	23	23	9	19
17/05/2005	300	75	15	23	2
17/06/2005	300	0	0	9	23
08/08/2005		16	9	16	
05/08/2005		0	0	9	
20/09/2005	175	16	16	16	7
14/11/2005		51	0	16	0
05/12/2005		16	0	16	
23/01/2006		16	16	16	
18/02/2006		2	0	0	
20/03/2006		93	4	23	
24/04/2006		16	16	9	
22/05/2006	200	5	0	0	23
24/07/2006		16	9	16	3
08/08/2006		5	2	5	
21/08/2006	240	93	93	16	3
30/08/2006		9	9	23	
19/09/2006		4	4	4	
23/09/2006		17	8	9	
30/10/2006	24	0	0	11	2
05/02/2007	88	16	9	75	4
26/02/2007		IND	221		
26/03/2007		1100	1100	16	
23/04/2007		I	0	16	

07/05/2007		7	7		
28/05/2007	100	11	7		75
24/06/2007	45	9	9	9	27
30/06/2007	200	11	0	48	0
06/07/2007		IND	4	24	
08/07/2007	350	IND	2	9	
10/07/2007	200	IND	0	21	17
15/07/2007		27	0	15	
17/07/2007				/	
22/07/2007		IND	0	9	
24/07/2007		16	16	9	
29/07/2007		IND	11	23	
31/07/2007		23	23	7	
05/08/2007	130	IND	3	16	13
13/08/2007		IND	5	16	
20/08/2007		IND	27		
28/08/2007		IND	12	240	
04/09/2007		7	7	7	
19/09/2007	70	9	9	15	15
19/10/2007		28	116	23	
29/10/2007	2200	1100	20	75	27
25/11/2007		150	150	150	17
27/12/2007		1100	4	1100	23
28/01/2008	200	48	48	23	13
18/02/2008		IND	1	15	
24/03/2008		460	9	23	
22/04/2008		93	48	23	
26/05/2008	140	IND	30	93	17
22/07/2008		16	16	/	
24/08/2008		IND	15	16	
30/08/2008		0	0	9	
21/09/2008		IND	16	9	
28/09/2009		5	2	/	
27/10/2008		210	14	16	
25/11/2008		16	16	16	
23/02/2009		IND	70	100	
20/04/2009	1100	16	16	/	17
19/05/2009		28	3	/	
22/06/2009		48	4	4	
16/08/2009		0	0	3	
15/02/2009		23	6	12	
22/12/2009		50	20	46	
19/01/2010					
24/01/2010		0	0	0	
16/02/2010		1100	28	460	
24/03/2010	0	41	20	8	
11/05/2010	190	11	9	0	
18/05/2010	500	9	4	9	30
25/05/2010	100	9	9	0	1
08/06/2010	37	8	6	11	
29/06/2010					

20/07/2010		1	0	0	
27/07/2010		1	0	0	
03/08/2010		12	12	2800	
10/08/2010		4	4	2	
24/08/2010		6	1	0	3
07/09/2010		10	9		
14/09/2010		10	9	0	
28/09/2010		20	10	0	
05/10/2010		42	1	0	
12/10/2010		50	6		
09/11/2010	700	ind	13	17	
26/10/2010		30	12		
03/11/2010		40	35		4
14/11/2010	100	18	5		10
23/11/2010	105	20	6		4
30/11/1900	100	10	4		
21/12/2010	550	ind			9
28/12/2010	170	ind	11		