

Etude hydrochimique des nappes de Témara et de la Chaouia côtière (Meseta marocaine)

Fouad AMRAOUI

Mots-clés : Hydrogéologie, aquifères côtiers, hydrochimie, Témara, Chaouia côtière.

ملخص

فؤاد العمرأوي. دراسة هيدروكيميائية للطبقتين المائيتين لتتمارة والشاوية الساحلية (الهضبة المغربية). تتواجد الطبقتان المائيتان لتتمارة والشاوية في منطقة ذات مناخ شبه جاف. وتبين دراسة كيمياء المياه للطبقتين أن سلوكهما الهيدروكيميائي يختلف في عدة نقاط كالسحنة الكيميائية ومقادير العناصر الكبرى، رغم تقاربهما الجغرافي وأوجه التشابه (درجة الحرارة، المرفولوجيا)، وهذا تحت تأثير النوعية الصخرية للتشكلات الجيولوجية، وعمق الطبقات وعلاقتها مع المياه البحرية أو تماسها مع تشكلات ملحية. ويمكن هذا التحليل المقارن من تقدير بعض العوامل ذات البعد المحلي (الجيولوجيا) أو الإقليمي (المناخ) والتي تسبب على كيمياء المياه.

RESUME

Les deux nappes côtières de Témara et de la Chaouia sont soumises à un climat semi-aride. L'analyse conjointe de la chimie de l'eau des deux aquifères montre, que malgré leur proximité géographique et l'existence de quelques traits de ressemblance (température, morphologie...), leur comportement hydrochimique diffère nettement sur certains points (faciès chimique, teneurs absolues en éléments majeurs ...), à cause de la nature lithologique des formations, de la profondeur des nappes sous le sol, de leur relation avec la mer ou du contact de terrains salifères ... Une telle analyse comparative a l'avantage de permettre d'apprécier certaines influences d'ordre local (géologie), ou d'ordre régional (climat) sur l'acquisition de la chimie des eaux.

ABSTRACT

Hydrochemical study of the Temara and coastal Chaouia aquifer nappes (Moroccan Meseta). The Temara and Chaouia nappes are located in a region of semi-arid climate. Comparative analysis of both aquifers shows that, despite their geographical proximity and the existence of some similarities (temperature, morphology...), their hydrochemical behaviour is clearly different in some aspects (chemical facies, absolute content of major elements...), because of the lithology of the geological formations, the depth of the nappes and their relationships with the seawater or the contact with saliferous strata.. Such comparative analysis has the advantage of allowing one to estimate the local (geologic) and regional (climatic) influences on the observed chemistry of the waters.

INTRODUCTION

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, etc.

L'hydrochimie des nappes a été étudiée depuis longtemps par un grand nombre d'auteurs (SCHOELLER, 1962). Cependant, l'étude comparative de deux aquifères proches soumis aux mêmes conditions climatiques, mais possédant chacun certains caractères géologiques propres, est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des nappes.

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

La région étudiée fait partie de la Meseta côtière (Fig. 1), ensemble de bas plateaux inclinés vers le

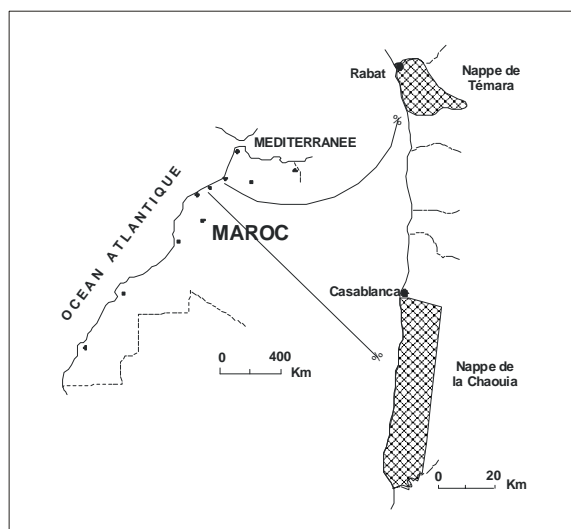


Figure 1. Carte de situation des nappes de Témara et de la Chaouia.

littoral. Le climat est de nature semi-aride avec une tendance vers le climat tempéré dans l'extrême nord.

Située juste au sud de Rabat, la nappe de Témara couvre une surface de 350 km². C'est une unité bien individualisée, limitée au NE et à l'est par l'oued Bou Regreg et son affluent l'oued Akreuch, au sud et au SW par l'oued Ykem, et au NW par l'océan Atlantique. Plus au sud, la grande partie de la Chaouia côtière s'étend de Casablanca à l'oued Oum Er Rbia (Azemmour), sur une distance de 65 km et une largeur de l'ordre de 15 km, soit une surface de quelques 1000 km².

Les deux régions se caractérisent par la présence d'un Paléozoïque à prédominance schisteuse fortement tectonisé. Pour la nappe de Témara, les formations primaires sont surmontées en discordance

par des marnes miocènes, puis par des formations plio-quaternaires (MILLIES LACROIX, 1974), alors que pour la Chaouia, des lambeaux de Crétacé (partie SW) surmontent le Paléozoïque, et l'ensemble est fréquemment recouvert par des terrains pliocènes et quaternaires peu épais (LECOINTRE & GIGOUT, 1949).

La nappe de Témara se développe principalement dans des calcarénites plio-quaternaires et au niveau des schistes primaires dans la partie SW. Quant à la nappe de la Chaouia, de nature plus hétérogène, elle est contenue à la fois dans les formations grésocalcaires du Plio-Quaternaire, dans les marnocalcaires du Cénomanien et dans les terrains primaires schisteux, gréseux et quartzitiques (Fig. 2).

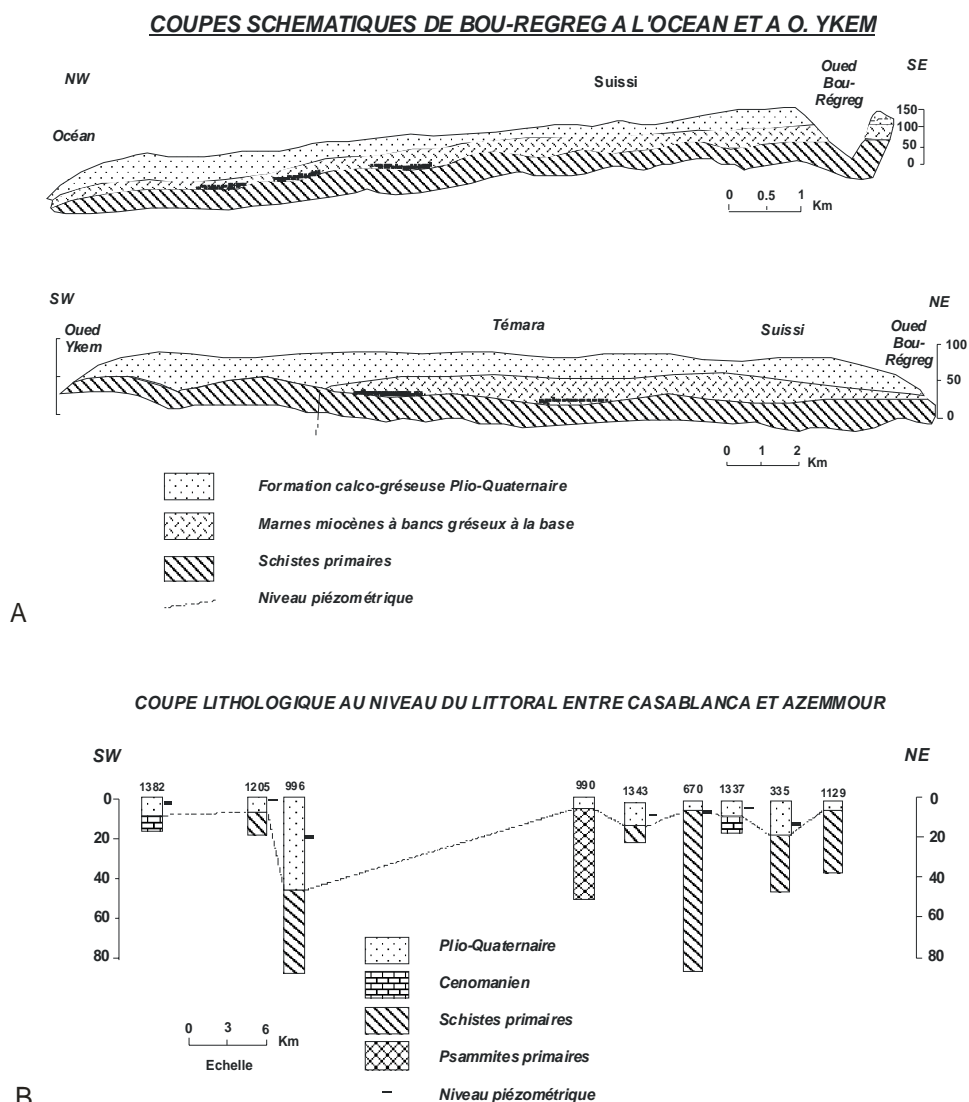


Figure 2. Coupes lithologiques au niveau des nappes de Témara (A) et Chaouia (B).

PRESENTATION ET CRITIQUE DES DONNEES

Afin de caractériser les deux nappes sur le plan hydrochimique, une analyse statistique portant sur les données chimiques a été faite. Les données collectées et traitées (DRPE, 1987), sont exposées ci-après.

NAPPE DE TEMARA

* 266 analyses (ions majeurs) effectuées entre 1962 et 1987, dont 70 % pour les seules années 1971 et 1987 et toutes faites en période de basses eaux. La répartition spatiale des données n'est pas homogène, mais la densité moyenne est assez importante (3 analyses/4 km²).

* 127 mesures de conductivité électrique de l'eau, faites en avril 1987, couplées à celles des profondeurs de la nappe.

NAPPE DE LA CHAOUIA

* 136 analyses effectuées en mars 1971. La répartition spatiale est homogène et la densité moyenne est de 1 analyse/7 km².

* 238 mesures de conductivité électrique faites au mois d'août 1986, couplées à celles des profondeurs de la nappe.

Les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour les analyses totales (< 5 %). La corrélation linéaire entre la somme des ions en me/l et la conductivité électrique à 25 °C est très bonne

avec un coefficient de corrélation de 0,99. On peut considérer les données comme fiables tout au moins en ce qui concerne l'aspect analytique.

Les valeurs des résidus secs en g/l ont été obtenues en multipliant par un facteur 0,67 pour Témara et 0,64 pour la Chaouia (pentes des droites de régression entre les conductivités électriques à 25 °C et résidus secs des analyses totales).

Les nombreuses analyses chimiques disponibles sur la nappe de Témara présentent l'inconvénient d'être asynchrones, mais presque toutes ont été faites en période de basses eaux ; elles sont donc représentatives de cette période.

INTERPRETATION HYDROCHIMIQUE GENERALE

Le traitement statistique sur l'ensemble des données chimiques des eaux des deux nappes, permet de dégager les résultats suivants.

TENEURS ABSOLUES EN ELEMENTS MAJEURS (Fig. 3)

La concentration en un élément donné pour une certaine fréquence relative est systématiquement plus élevée pour la nappe de la Chaouia que pour Témara. Par conséquent, les eaux de la Chaouia sont beaucoup plus chargées que celles de la nappe plio-quaternaire de Témara. Le tableau I résume les teneurs moyennes en éléments majeurs des deux nappes exprimées en me/l.

Tableau I : Teneurs moyennes des ions majeurs des deux nappes

Nappe		Cl	HCO ₃	SO ₄	Na	Ca	Mg	Total
Témara	teneur	3,9	4,1	0,8	3,9	4	2,5	19,2
	%	20	22	4	20	21	13	100
Chaouia	teneur	25,4	5,6	4	20,9	8,5	6,6	71
	%	36	8	6	29	12	9	100

L'abondance des ions diffère d'une nappe à l'autre ; à Témara, quatre ions de presque la même importance dominant : les bicarbonates et les chlorures pour les cations, et le calcium et le sodium pour les anions ; par contre, les eaux de la Chaouia se caractérisent par la prédominance des chlorures et du sodium.

CARACTERISTIQUES GENERALES DES EAUX (Fig. 4)

L'amplitude de variation des teneurs absolues en éléments majeurs a été déterminée pour les deux

nappes. Quelques valeurs extrêmes éliminées (5 %) correspondent en général à des anomalies liées à des particularités géologiques. Suivant la classification de WATERLOT relative à la potabilité, l'eau de la nappe de Témara est d'une qualité bonne à passable, alors que celle de la Chaouia est d'une qualité passable à mauvaise. Le tableau II résume les résultats obtenus.

FACIES HYDROCHIMIQUE DES EAUX (Fig. 5)

Le tableau III résume la fréquence des faciès chimiques mis en évidence à travers les deux nappes.

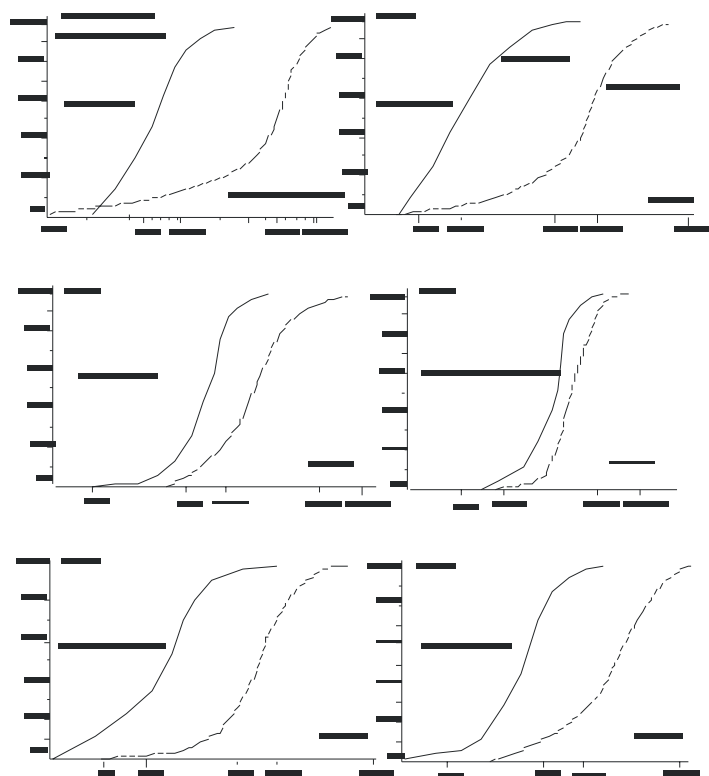


Figure 3 : Fréquences cumulées des teneurs absolues en ions majeurs des nappes de Témara et de la Chaouia.

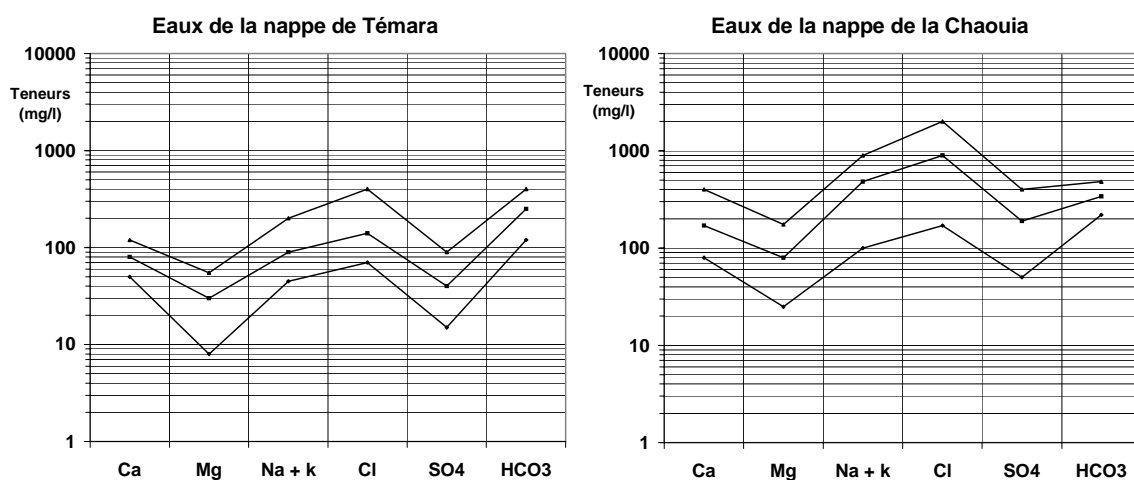


Figure 4 : Enveloppes de variation des teneurs en éléments majeurs dans les nappes de Témara et de la Chaouia.

Alors que le faciès chloruré sodique est de loin le plus représentatif de la nappe de la Chaouia, celle de Témara regroupe quatre faciès relativement importants, avec une prédominance de la famille bicarbonatée calcique, témoignant de l'importance des formations carbonatées dans l'aquifère.

CARTES DES CHLORURES (Fig. 6)

Les teneurs élevées en chlorures dans la partie SW de la nappe de Témara en bordure de mer, peuvent être mises en relation avec les affleurements des calcaires massifs dévoniens, tectonisés et faillés, facilitant une contamination locale par l'eau de mer.

Tableau II : Amplitudes de variation des teneurs en éléments majeurs des nappes de Témara et de la Chaouia.

Nappe		Ion	Cl	HCO ₃	SO ₄	Ca	Na	Mg
Témara	teneur mg/l	Min	70	120	15	50	45	8
		Moy	140	250	40	80	90	30
		Max	400	400	90	120	200	55
Chaouia	teneur mg/l	Min	170	220	50	80	100	25
		Moy	900	340	190	170	480	80
		Max	2000	480	400	400	900	175

Tableau III : Fréquences des faciès chimiques des nappes de Témara et de la Chaouia.

Faciès	HCO ₃ – Ca	Cl – Na	HCO ₃ – Na	Cl – Ca	Cl – Mg	HCO ₃ – Mg
Témara	45 %	22 %	16 %	15 %	2 %	0 %
Chaouia	4 %	86 %	2 %	5 %	2 %	1 %

alors qu'à l'extrême NE, dans les terrasses du lit du Bou-Regreg, les teneurs élevées seraient en relation avec le contact des sols salins.

Pour la nappe de la Chaouia, des teneurs anormalement élevées atteignant 4 g/l sont localisées particulièrement à l'ouest de Bir Jédid. Elles seraient en relation avec la faible profondeur de la nappe, qui favorise les fortes évaporations et donc la concentration en sels. De plus, le recyclage de l'eau par l'irrigation rend celle-ci de plus en plus chargée (BENTAYEB, 1972).

CARTES DES RESIDUS SECS (Fig. 7)

Pour Témara, le résidu sec dépasse rarement le seuil de 1 g/l. La contamination locale mise en évidence par la carte des chlorures dans la partie SW en bordure de l'océan se confirme. Les eaux de la Chaouia quant à elles sont beaucoup plus chargées, avec un résidu sec qui varie entre 0,3 et 5,5 g/l. Le secteur SW où la nappe se développe dans les marno-calcaires est le moins minéralisé, alors que la région à l'ouest de Bir Jédid et certains secteurs plus localisés, présentent des eaux extrêmement chargées. Les différentes zones à résidu sec élevé se superposent à quelques détails près aux zones à fortes teneurs en chlorures.

Le traitement statistique des données (Fig. 7), confirme la plus grande minéralisation des eaux de la Chaouia par rapport à Témara. La minéralisation plus élevée de la nappe de la Chaouia est vraisemblablement liée à la faible profondeur de la nappe.

INTERPRETATION DE LA DIFFERENCIATION HYDROCHIMIQUE

La différenciation hydrochimique mise en évidence entre les deux nappes peut s'interpréter par des influences majeures, qui sont par ordre d'importance : géologique, climatique et anthropique.

CONTEXTE GEOLOGIQUE

La nature géologique des terrains est responsable en grande partie des variations de la composition chimique des eaux. Plusieurs spécificités propres à chaque nappe peuvent être avancées pour expliquer en grande partie les fortes minéralisations des eaux de la Chaouia par rapport à Témara.

Nature lithologique des formations aquifères

Alors que la nappe de Témara se développe presque exclusivement dans les calcaires gréseux, les eaux de la Chaouia circulent, suivant les secteurs, dans des formations grésocalcaires du Plio-Quaternaire, dans les marno-calcaires du Cénomani et dans les terrains primaires surtout schisteux, gréseux et quartzitiques.

Les schistes, grâce à leur grande surface de contact eau-roche et à leur lente circulation, ont en général un résidu sec élevé. On comprend donc que les eaux de la Chaouia soient particulièrement chargées. En terrain calcaire, la dissolution des carbonates est limitée par la pression de CO₂, et la vitesse de dissolution dépend de la nature de ces calcaires. La circulation de l'eau se fait

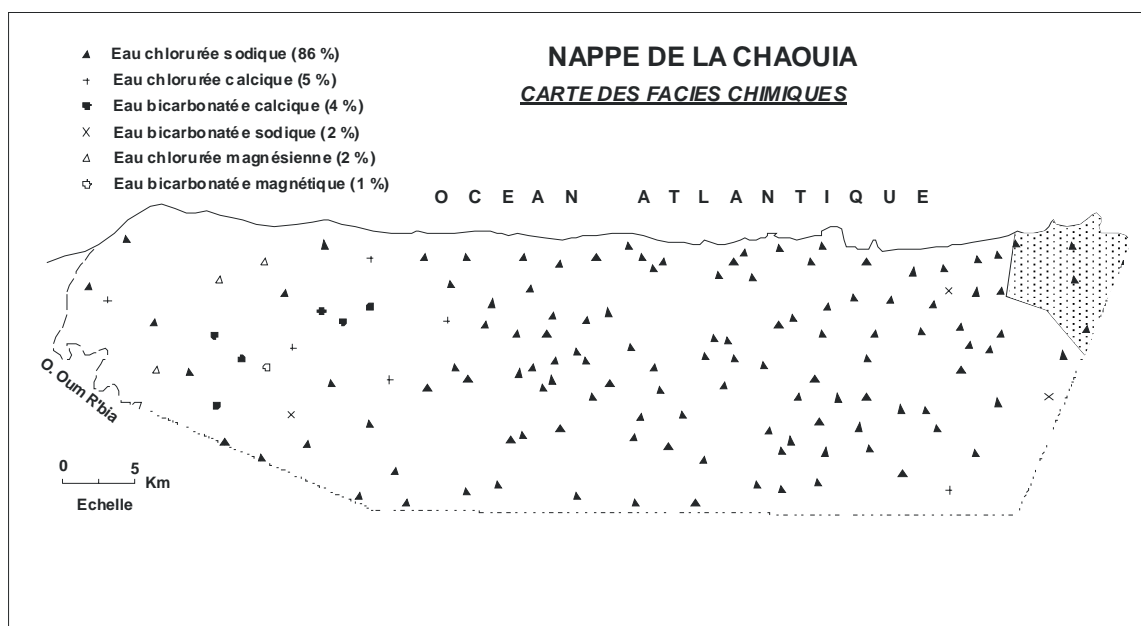
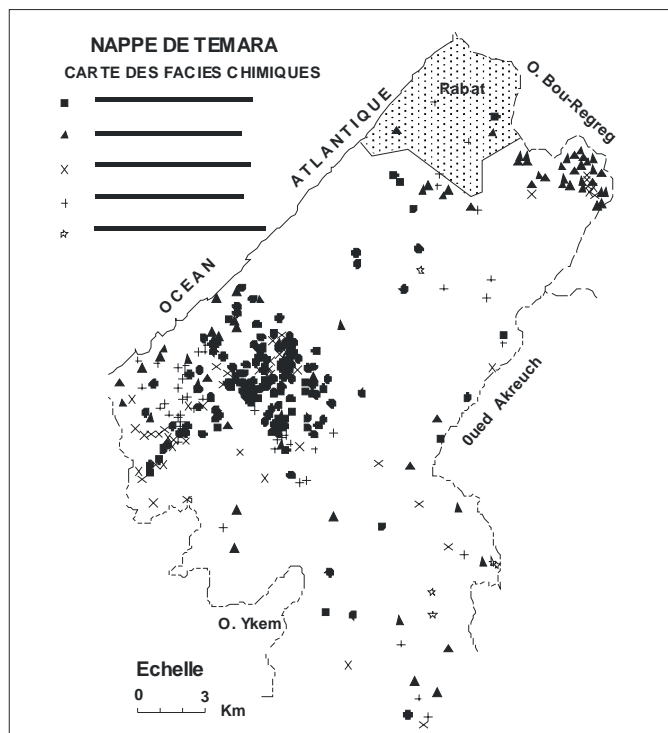


Figure 5 : Cartes des faciès chimiques des nappes de Témara (en haut) et de la Chaouia (en bas).

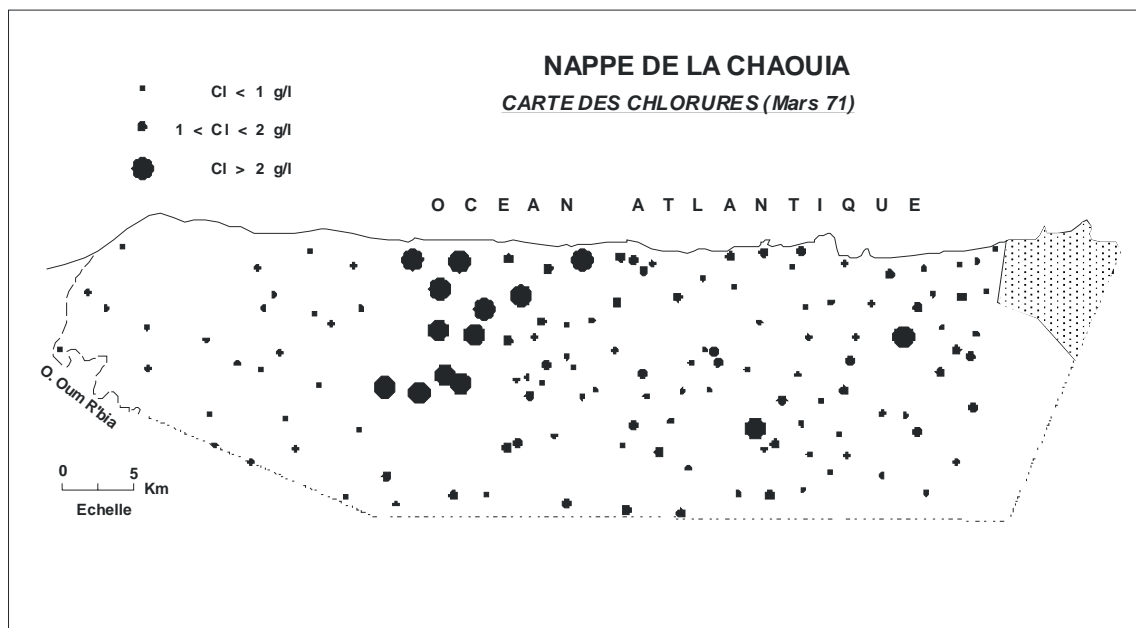
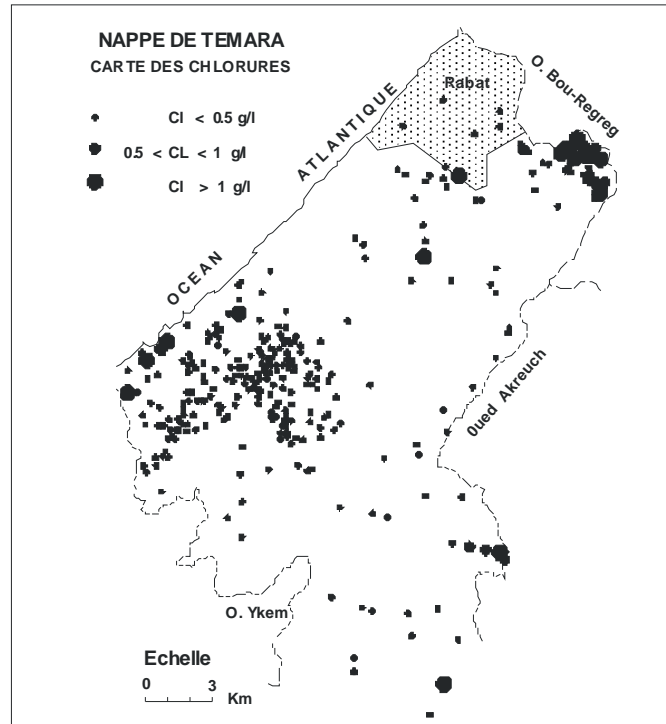


Figure 6 : Cartes des chlorures dans les nappes de Témara (en haut) et de la Chaouia (en bas).

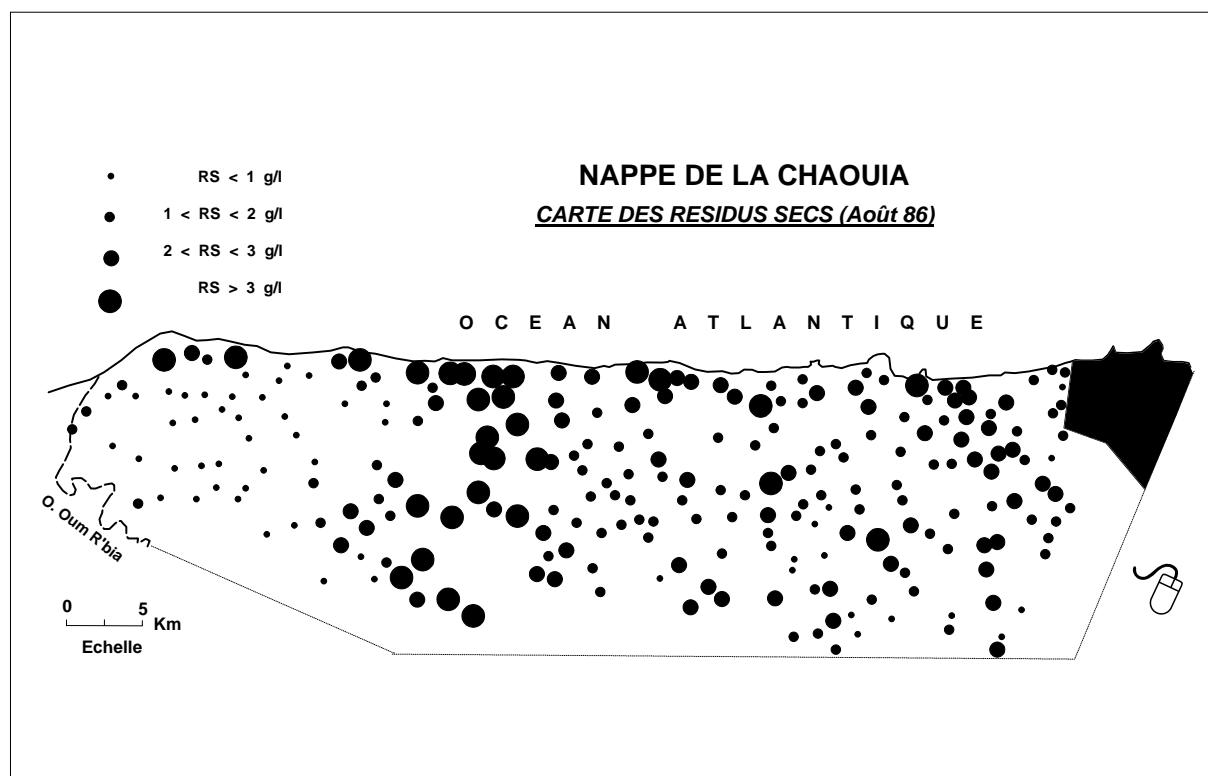
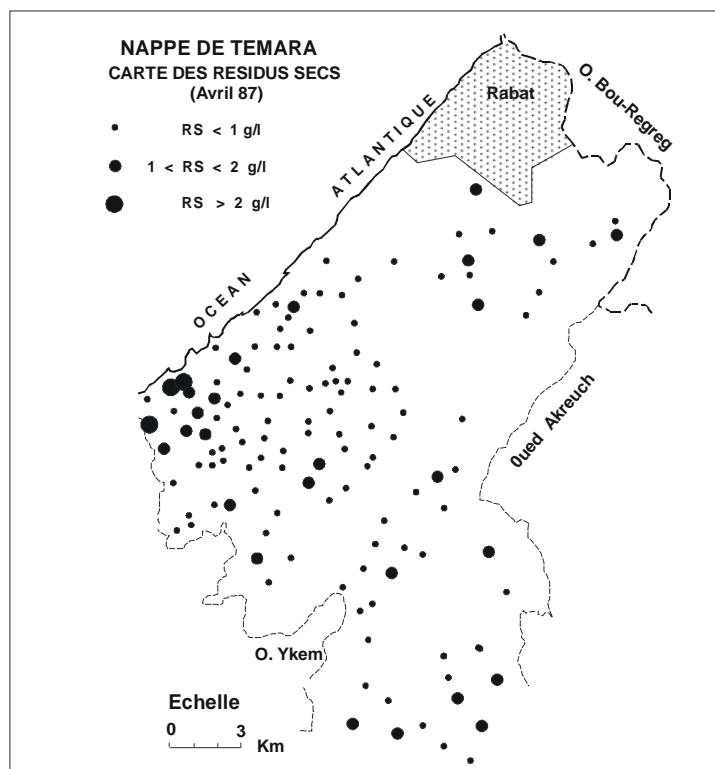


Figure 7 : Cartes des résidus secs dans les nappes de Témara (en haut) et de la Chaouia (en bas).

essentiellement par fissures. Les surfaces d'attaque sont en général réduites par rapport au volume d'eau circulant, le résidu sec est faible. C'est le cas des calcarénites de Témara et des marno-calcaires de la Chaouia.

Sols

La production de CO_2 est en relation avec la vie dans le sol, plus cette production est élevée, plus les attaques chimiques le sont aussi et par conséquent la concentration en HCO_3 sera grande. Comme la nature et le degré de développement des sols sont souvent liés à la géologie régionale, ce facteur est à prendre en considération pour justifier la différence de comportement hydrochimique des eaux entre les deux régions.

Nature et géométrie du réservoir

Alors que la nappe de la Chaouia a un substratum constitué de schistes primaires, dont les eaux à son contact sont très minéralisées, les eaux de la nappe plio-quadernaire de Témara sont isolées des schistes (sauf dans la partie SW) par la formation marneuse miocène. A cause du faible nombre de sondages de reconnaissance qui existent sur les bandes côtières des deux nappes, on connaît mal la topographie du substratum à ce niveau et par conséquent, on ne peut délimiter des secteurs plus ou moins vulnérables à une pollution marine.

INFLUENCE CLIMATIQUE

Précipitations

Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande.

La figure 8 montre l'importance des pluies relevées à la station de Rabat (nappe de Témara) et à la station de Casablanca (nappe de la Chaouia). Une bonne corrélation apparaît entre les deux stations, mais avec une lame d'eau moyenne interannuelle établie sur 35 ans (1951-1985) plus importante à la station de Rabat (561 mm), qu'à la station de Casablanca (434 mm).

L'influence de la latitude permet d'expliquer, au moins en partie, la meilleure qualité de l'eau de la nappe de Témara par rapport à celle de la Chaouia, dans la mesure où l'importance relative de la pluie permet un meilleur lessivage des terrains et une plus grande dilution des sels.

Evaporation

L'action de l'évaporation est particulièrement nette sur la composition chimique des eaux. Par évaporation, la concentration des chlorures et des sulfates et par là le résidu sec de l'eau contenue dans la couche superficielle du sol augmente. Cette eau plus ou moins renouvelée des profondeurs à la surface par capillarité, amène une véritable ascension des sels.

Les deux régions étudiées se caractérisent par une période pluvieuse en hiver, où les mouvements descendants de l'eau prédominent et par une période sèche en été, où les pluies estivales ne parviennent pas aux nappes.

La température mensuelle moyenne pour la période 1961-1975 (15 ans) à la station de Casablanca est toujours légèrement supérieure à celle relevée à la station de Rabat, mais l'écart ne dépasse jamais $0,4^\circ\text{C}$, ce qui est insignifiant. Les durées d'insolation annuelles relatives aux deux stations sont aussi très comparables.

Ces observations poussent à ne pas retenir ce facteur d'élévation de température comme l'une des causes responsables de la différenciation chimique entre les eaux des deux nappes, seulement l'importance des phénomènes d'évaporation est d'autant plus grande que la profondeur de la nappe est faible et les conditions climatiques sévères.

La figure 9 montre que dans l'ensemble, la nappe de la Chaouia est souvent plus proche de la surface et donc *a priori* plus sujette aux phénomènes d'évaporation, d'autant plus qu'elle est moins arrosée et à climat plus aride que la nappe de Témara.

INFLUENCE ANTHROPIQUE

Les activités humaines, notamment les rejets domestiques et industriels, et les pratiques agricoles peuvent influencer localement sur la qualité chimique de l'eau de la nappe. Dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages libèrent également des lixiviats riches en polluants. Les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes rend

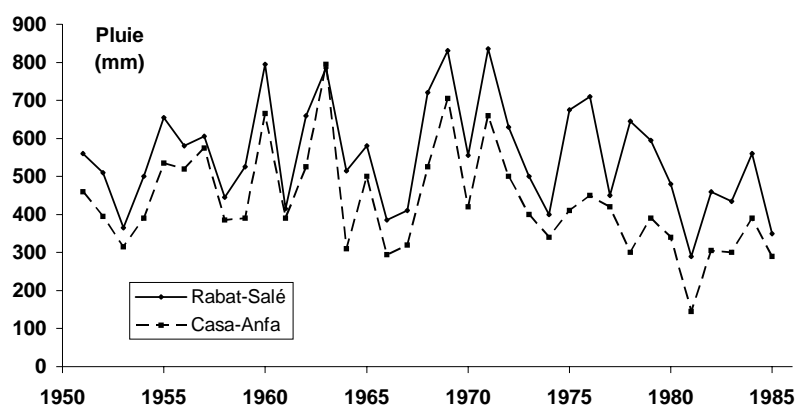


Figure 8 : Pluviométrie interannuelle des stations de Casablanca et de Rabat.

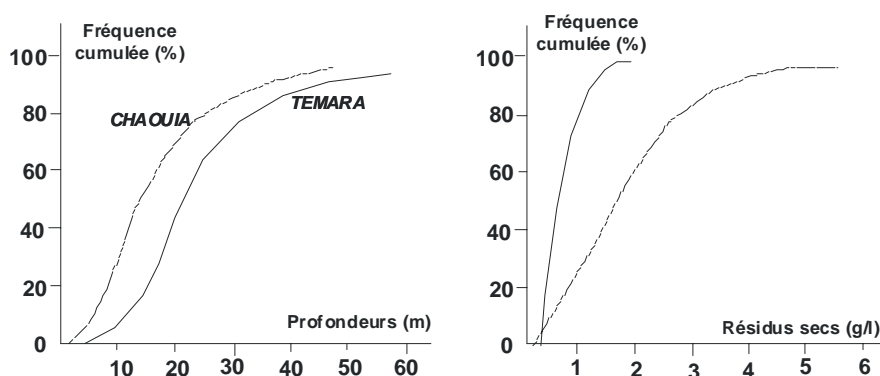


Figure 9 : Fréquences cumulées des profondeurs et des résidus secs des deux nappes.

impropres à la consommation humaine les eaux souterraines.

CONCLUSIONS

L'importance de la minéralisation des eaux de la Chaouia par rapport à Témara trouve en grande partie son explication dans la nature géologique des terrains, qui influe fortement sur la composition chimique des eaux. D'autres facteurs de moindre importance peuvent être avancés, notamment l'activité humaine (rejets domestiques, décharges, rejets industriels, pratiques agricoles...), et la zonalité climatique qui est fonction du degré d'aridité, se caractérisant par des concentrations et des dilutions plus ou moins grandes des eaux (la Chaouia est moins arrosée que Témara, elle est plus touchée par les phénomènes d'évaporation et elle est plus sensible à l'effet de la température, en raison de sa faible profondeur).

Il serait intéressant d'étendre ce genre de démarche comparative à un plus grand nombre de nappes, afin

de pouvoir apprécier la part des différentes influences sur la chimie de l'eau.

REFERENCES

- AMRAOUI, F. (1988) - *Apports de l'analyse hydro-géologique comparative, exemples des nappes de Témara et de la Chaouia côtière*. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Sci. Techn. Languedoc, Montpellier, France.
- BENTAYEB, A. (1972) - *Etude hydrogéologique de la Chaouia côtière*. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Sci. & Techn. Languedoc, Montpellier, France.
- D.R.P.E. (1987) - *Données hydrochimiques et climatiques de la région côtière entre Rabat et Azemmour*. Rapport inédit, Rabat.
- LECOINTRE, G. & GIGOUT, M. (1949) - *Carte géologique provisoire des environs de Casablanca (1/200 000) et notice explicative*.
- MILLIES LACROIX, A. (1974) - *Carte géotechnique de la zone de Rabat (1/50 000)*. Notes & Mém. Serv. géol. Maroc, 238.
- SCHOELLER, H. (1962) - *Les eaux souterraines*. Masson, Paris.

Manuscrit reçu le 27 janvier 1999