

Etude Hydrogéologique préliminaire de la zone des flyschs à l'Ouest de Tétouan (Maroc)

[Hydrogeological preliminary study of the flysch area west of Tetouan (Morocco)]

Yassir TRIBAK, Karim EL MORABITI, and Rachid HLILA

Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tétouan, B.P 2121,
Université Abdel Malek Essaâdi, Tétouan, Maroc

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The flysch formations, due to their lithology, are rarely characterized, as hydrogeological prospecting target. However they are full of significant water resources in the study area located in the west of the city of Tetouan in northern Morocco. These water resources were evaluated relying on the limits determining and exploring of different aquifers included called "Limited aquifer systems". These aquifers three in number (Numidian system of Zinat, the Melloussa-Tisiren system and Quaternary-Tangier unit system), are characterized by a lithostratigraphic and structural context promoting storage of water. They were identified from: the inventory of water points, effectuation of lithologic and structural maps and geological cross-sections. This was complemented by measurement of groundwater levels and flow releases. So, it could reveal the impact of stratigraphic and structural context of the area on the establishment aquifer systems as well as their limitations.

KEYWORDS: Flysch, aquifer system, lithology, release, Morocco.

RÉSUMÉ: Les formations des flyschs, par leur nature lithologique, sont rarement considérées comme cible de prospection hydrogéologique. Toutefois, elles contiennent des ressources en eau non négligeables dans la zone d'étude située à l'Ouest de la ville de Tétouan au Nord du Maroc. Ces ressources ont été évaluées en se basant sur la délimitation et l'exploration des différents aquifères, dénommés « systèmes aquifères limités ». Ces aquifères, au nombre de trois (le système numidien de Zinat, le système de Melloussa Tisirène et le système de l'Unité de Tanger-Quaternaire) sont caractérisés par un contexte lithostratigraphique et structural favorisant un stockage d'eau plus ou moins important. Ils ont été identifiés à partir de l'inventaire des points d'eau, de l'élaboration des cartes lithologiques et structurales et des coupes géologiques. Les mesures des niveaux piézométriques et des débits des sources ont été effectuées. Tout ceci a permis de démontrer la répercussion du contexte stratigraphique et structural de la zone sur la mise en place des systèmes aquifères et de leurs limites.

MOTS-CLEFS: Flysch, système aquifère, lithologie, source, Maroc.

1 INTRODUCTION

L'eau est un facteur primordial de croissance économique et de développement social des populations. Son insuffisance est susceptible d'engendrer de graves dégâts pour les générations futures. Dans cette optique, au Maroc, de grands efforts sont déployés depuis plusieurs années afin de garantir la satisfaction de besoins en eau de la population. Pour cela, l'Etat marocain a adopté une stratégie basée d'un part sur la gestion rationnelle des ressources en eau et d'autre part sur la prospection de nouvelles ressources hydriques non exploitées. Toutefois, ce pays nord-africain tendant actuellement vers

une situation d'insuffisance en eau, doit fournir de grands efforts pour éviter une pénurie d'eau dans la prochaine décennie [4]. C'est dans ce contexte général que s'inscrit la présente étude. Son objectif est de contribuer à l'exploration de nouvelles zones pouvant abriter un certain potentiel hydrique. Ceci est appuyé sur :

- une étude hydro-climatique de la zone d'étude.
- l'inventaire des points d'eau existants.
- l'identification des systèmes aquifères de la zone d'étude et la détermination de leur potentialité.

1.1 CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES ET SOCIOECONOMIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

D'une superficie de 620 km², le secteur d'étude est situé à l'Ouest de la ville de Tétouan au Nord du Maroc entre les longitudes 5°25' et 5°45'Ouest et les latitudes 35°30' et 35°45'Nord avec un hiatus entre 5°25' et 5°30'Ouest et 35°35'50'' et 35°45'Nord (fig.1). Il fait partie de la chaîne rifaine dans sa partie externe qui comporte des unités allochtones (nappes des flyschs) pélicito-gréseuses en superstructure sur une unité autochtone à para-autochtone à dominance pélitique dénommée unité de Tanger [11].

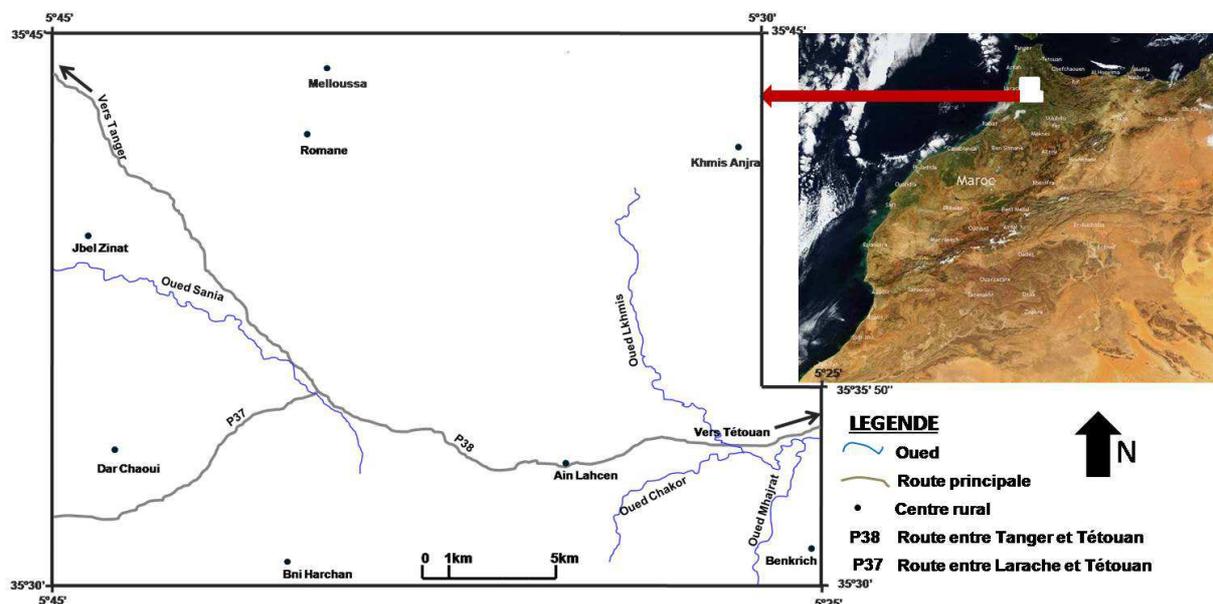


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

Ce secteur d'étude abrite une population essentiellement rurale, estimée à environ 80000 habitants, avec une densité de 128 habitants par km² (une densité forte) d'après les données du dernier recensement général de la population organisé par le Haut Commissariat au Plan du Maroc [13]. Une grande partie de cette population locale n'est pas liée au réseau public de distribution d'eau potable. Son alimentation en eau est satisfaite essentiellement par des sources et puits locaux, traditionnellement aménagée pour la plupart.

1.2 CARACTÉRISTIQUES HYDROCLIMATIQUES

Le secteur d'étude comporte quatre oueds importants (s'étalant sur quelques douzaines de kilomètres) ainsi que plusieurs petits oueds ou affluents temporaires ou torrentiels. Ces derniers drainent de grandes quantités d'eau vers les zones d'infiltration ; lesquelles jouent un rôle primordial dans l'alimentation et la réalimentation des aquifères de la région. Il faut noter aussi l'existence de quelques merjas et étangs dans la zone d'étude sur le bord des oueds ou sur des surfaces isolées.

La région d'étude est caractérisée par deux saisons, l'une sèche et chaude et l'autre humide et froide plus longue que la première [9].

1.3 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

1.3.1 CADRE GÉOLOGIQUE

Au plan géologique, le secteur d'étude fait partie du domaine rifain au Nord du Maroc contenant les nappes des flyschs en plus de quelques unités du Rif externe [18],[20] (fig.2). Le Rif externe représenté par l'unité de Tanger dans ce secteur, constitue le substratum des nappes des flyschs. Ces dernières sont composées par plusieurs séries engagées dans une tectonique de formations allochtones, dont la mise en place a été l'objet de nombreuses controverses.

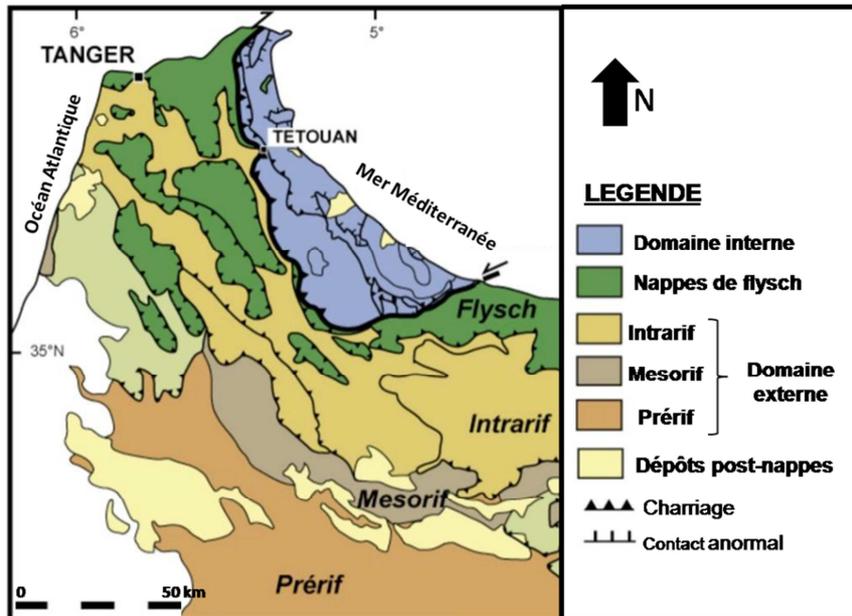


Figure 2 : Carte structurale de la chaîne du Rif (modifiée d'après la référence [21])

Selon les références [15] et [2] in [18], les unités des flyschs sont:

- l'unité de Beni Ider : développée surtout au front de la dorsale calcaire, elle a un faciès relativement fin à tendance molassique. Elle est constituée de marnes et calcaires d'âge Crétacé supérieur-Oligocène surmontés par une formation turbiditique d'Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur [6].
- l'unité de Tisirène: elle se rencontre parfois au-dessus de Beni Ider ou sur une nappe intermédiaire (Chouamat-Melloussa) ou directement sur l'unité de Tanger. Elle est caractérisée par un faciès diversifié composé d'une alternance de grès et d'argilite marneuse et pélitique du Crétacé inférieur et d'une formation pélagique du Dogger et Malm [12].
- l'unité de Melloussa-Chouamat : considérée plus haute que les premières, elle est constituée d'une alternance de grès et de marno-calcaires du Crétacé moyen et supérieur ainsi que de quelques éléments tertiaires [8].
- l'unité Numidienne : flottant sur l'unité de Tanger ou parfois superposée à la nappe de Beni Ider, son constituant le plus typique est le flysch gréseux grossier (gros bancs de grès holoquartzeux) d'âge Oligocène-Miocène inférieur [8].

Globalement, la zone d'étude comporte des affleurements appartenant aux formations de flysch, de vastes affleurements de l'unité de Tanger majoritairement argileux faisant partie du rif externe en plus de quelques formations quaternaires surtout alluviales.

1.3.2 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Trois systèmes aquifères de même lithologie ou de même contexte structural favorisant un stockage plus ou moins important des eaux, ont été identifiés dans la zone d'étude (fig.3). Ils ont été dénommés « Systèmes Aquifères Limités » (SAL) par analogie au concept de bassins d'amont introduit par la référence [1]. Cependant, il s'agit ici de réservoirs d'eau souterraine géographiquement limités (de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres carré). Ces réservoirs révèlent un écoulement des eaux dans des niveaux souterrains peu profonds.

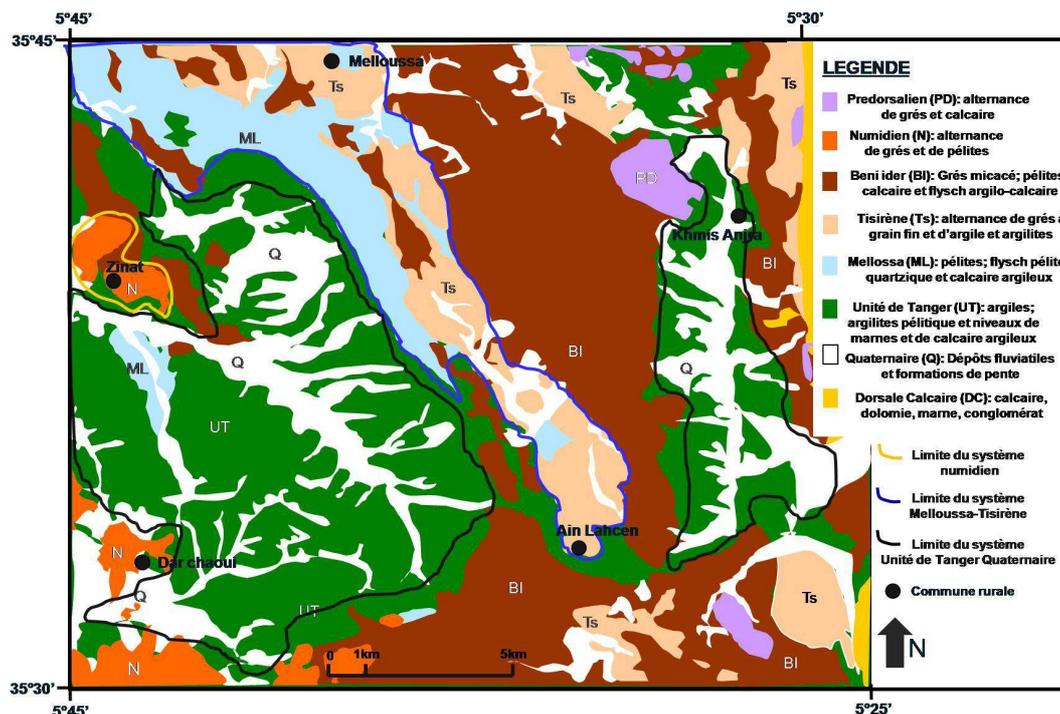


Figure 3 : Carte lithologique des systèmes aquifères limités identifiés dans le secteur d'étude

A noter que la zone d'étude n'a fait l'objet d'aucune étude hydrogéologique détaillée, elle se caractérise par la présence de terrains semi-perméables surmontant des terrains peu à non perméable et limitée à l'Est par des terrains carbonatés. Lesdits terrains abritent des systèmes karstiques qui déversent d'assez importantes quantités d'eau au niveau des résurgences le long des terrains carbonatés.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DONNÉES ET MATÉRIEL

Les données utilisées dans cette étude sont ressorties de : 1/ deux cartes topographiques à l'échelle de 1/50000 (Ministère de l'agriculture, Royaume du Maroc) [16],[17]; 2/ deux cartes géologiques à l'échelle de 1/50000 (Ministère de l'énergie et des mines, Royaume du Maroc) [7],[14]; 3/ un inventaire effectué en parallèle des points d'eau existants dans le secteur d'étude 4/ la mesure des niveaux piézométriques des points d'eau sur deux campagnes 5/ le calcul des débits des sources sur deux campagnes 6/ la mesure des altitudes des points d'eau pris en considération dans la présente étude 7/ et la mesure de la direction et du pendage de certaines failles.

Le matériel utilisé comprend un GPS pour déterminer les coordonnées et les altitudes des points d'eau, un chronomètre pour calculer le débit des sources d'eau, une boussole pour déterminer la direction et du pendage de certaines failles Et un sonde pour la mesure des niveaux piézométriques au niveau des puits.

2.2 MÉTHODOLOGIE

Le choix de cette étude de recherche basée sur des petits bassins (Systèmes Aquifères Limités) est justifié par le contexte géologique et lithologique de la zone d'étude étant très diversifiés. La méthodologie du travail, axée sur des travaux de terrain et complétés par des travaux d'analyse et d'interprétation, se décline comme suit :

- La détermination des caractéristiques hydro-climatologiques locales, à savoir: l'évapotranspiration, les précipitations, la température et le ruissèlement. Pour se faire, les données de plusieurs stations météorologiques du secteur d'étude (ou très proches) ont été utilisées. Il s'agit des stations de Torreta, Ben Karrich, Amzal, Roumane, Bni Harchan, Dar Chaoui et Kalaya (fig.4). L'intervalle des chroniques de données utilisées pour toutes les stations et pour l'ensemble des paramètres cités ci haut est de 28 ans étant entre 1983 et 2010. L'évapotranspiration potentielle a été calculée avec la méthode de Thorntwaite *in* [10] qui utilise la moyenne mensuelle des températures journalières comme variable principale de calcul.

Cette méthode serait la plus convenable pour cette étude vu la superficie et la position géographique de la zone d'étude (appartenant aux zones méditerranéennes) [21]. Elle est exprimée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 * a * (10T/I)^b$$

Avec :

T : température moyenne mensuelle

I : l'indice annuel thermique

a : facteur de correction de la période de mesure et de la latitude ;

b : coefficient obtenu par une équation prenant en compte l'indice thermique fonction de la latitude et du mois.

Les pluies efficaces sont déduites à partir de la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle [5].

Le ruissellement est mesuré à l'aide du principe de [3] in [10]. Il est estimé comme étant le pourcentage de la différence mensuelle calculée entre les pluies efficaces moyennes et l'évapotranspiration potentielle.

- L'inventaire des points d'eau (puits et sources) faisant objet de cette étude. Ceci a été réalisé grâce à une exploration de terrain assez poussée qui a conduit à la détection des points d'eau déjà enregistrés sur les cartes topographiques de Tétouan (1/50000) et Melloussa (1/50000) et à l'identification de nouveaux points d'eau sur le terrain.
- L'identification et la caractérisation hydrogéologique (piézométrie et mesure des débits) des systèmes hydrogéologiques limités. Ces systèmes, identifiés par leur susceptibilité de contenir l'eau, ont été étudiés d'une façon singulière (un par un) ce qui a permis de ressortir les paramètres hydrodynamiques de chaque système aquifère selon les objectifs tracés, notamment : les niveaux piézométriques des aquifères, le sens de l'écoulement des eaux et l'estimation des réserves hydriques prospectées. Au niveau des puits, la mesure des niveaux piézométriques a été faite grâce à la mesure de la différence entre la profondeur de l'eau (déterminée par une sonde et un GPS) et le niveau marin alors que pour les sources d'eau, elle est déduite en se référant à leurs altitudes. Ces mesures ont été réalisées dans une première période sèche (Juillet et Aout de l'année 2009) et une deuxième période humide (Décembre 2011). Le calcul des débits a été réalisé dans une première période sèche des mois de juillet et Août 2010 et une autre pluvieuse de Novembre et Décembre 2012.
- Après la collecte des données hydrogéologiques, un travail de cartographie a été mené par l'élaboration des coupes et cartes hydrogéologiques de chaque système aquifère limité. Cette dernière opération a été réalisée en se basant sur les données des cartes géologiques de Melloussa (1/50000) et de Tétouan (1/50000) comparées et confirmées par l'observation et l'étude des différents systèmes aquifères sur le terrain.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISATION HYDRO-CLIMATOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Cette étude est basée sur l'analyse des précipitations, de la température, des l'évapotranspiration (ETP et ETR) et du ruissèlement. Pour ce faire, les données de plusieurs stations météorologiques cités avant ont été utilisées (fig.4).

Les variations du climat dans ce secteur sont minimales pour une période de 28 ans. Les précipitations moyennes annuelles enregistrent une moyenne de 729 mm/an, alors que les températures moyennes annuelles varient entre 17°C et 18°C. Selon le diagramme ombro-thermique, le secteur d'étude connaît une saison humide qui s'étend d'octobre à mai et une saison sèche de juin à septembre (fig.5).

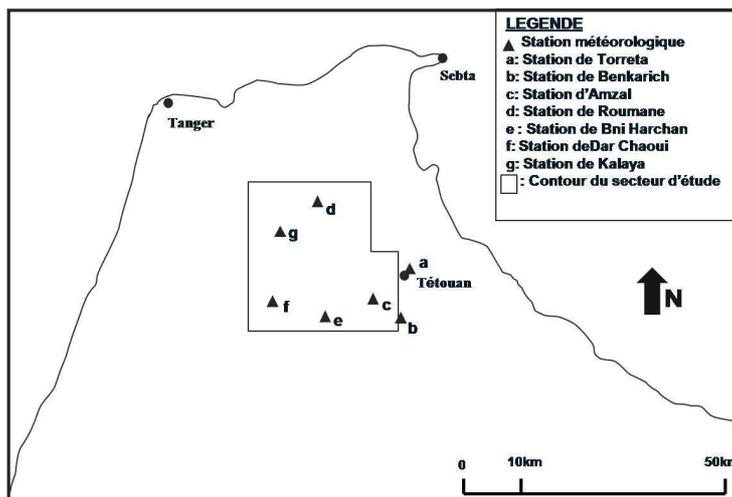


Figure 4 : Localisation des stations météorologiques dans la zone d'étude

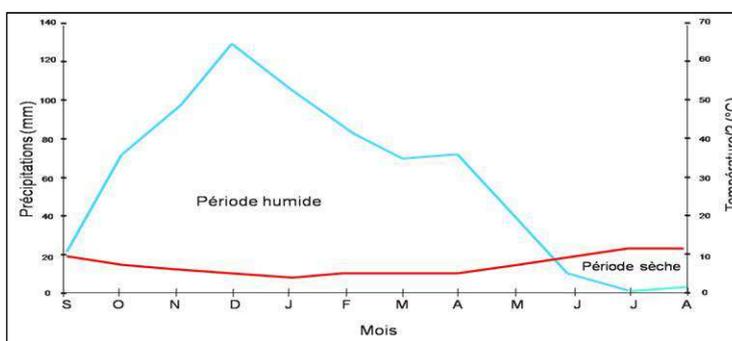


Figure 5 : Diagramme ombro-thermique 1983-2010

A la station de Ben Karrich pour la période 1983-2010, l'évapotranspiration potentielle annuelle est peu variable, sa moyenne est de 869,9mm/an. En admettant que la réserve facilement utilisable (RFU) est égale à 100, l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle est égale à 565,5 mm/an soit 78% de la pluviométrie moyenne interannuelle observée dans le secteur d'étude. Pour la même période de 28 ans, les pluies efficaces ont enregistré une moyenne annuelle de l'ordre de 157,55mm/an alors que le ruissellement est de 6,66%. Il est donc fixé à 47,7 mm/an pour la totalité du secteur d'étude.

3.2 SYSTÈMES AQUIFÈRES LIMITÉS

Le travail d'inventaire des points d'eau a permis de comptabiliser 158 points dans le secteur d'étude, dont 90 sources (48 sont pérennes) et 68 puits. Les points d'eau qui contiennent un potentiel hydrique considérable (sources d'eau pérennes et puits renouvelables) appartiennent dans leur plupart aux trois systèmes aquifères limités « SAL » cités ci haut, à savoir: le système numidien de Zinat, le système Melloussa-Tisirène et le système Unité de Tanger-Quaternaire (fig.6).

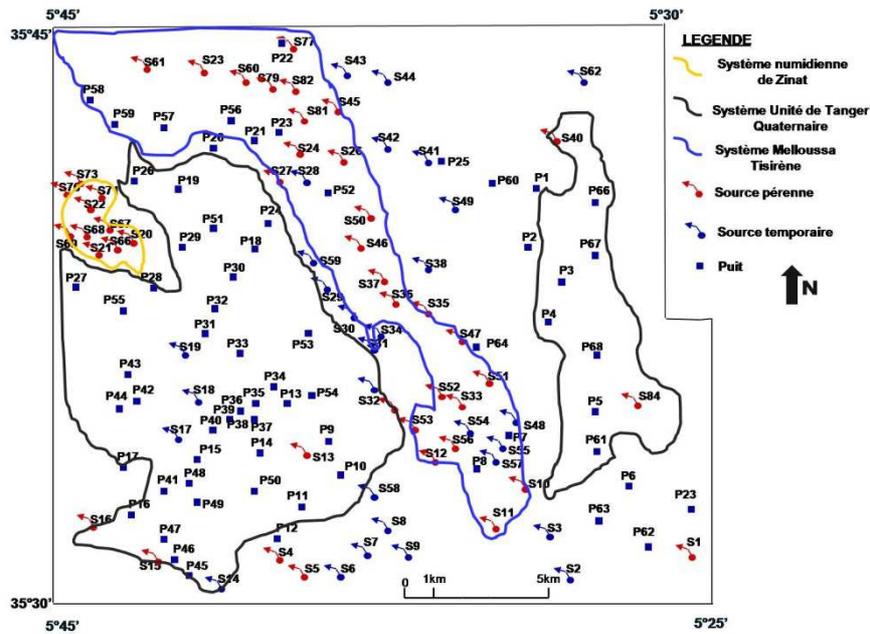


Figure 6 : Carte des points d'eau inventoriés sur les systèmes aquifère limités

3.2.1 SYSTÈME NUMIDIEN DE ZINAT

D'une superficie d'environ 5 km², c'est le système le plus limité géographiquement. Il est constitué principalement des grès du flysch numidien d'âge Oligo-Aquitainien avec une alternance d'argiles varicolores et de pélites sableuses à silteuses rouges à rares niveaux microbréchiques d'âge Eocène-Oligocène. La formation gréseuse constitue le principal réservoir d'eau dans le secteur sous forme de grands blocs pouvant atteindre plus de 200 m d'épaisseur (fig.7).

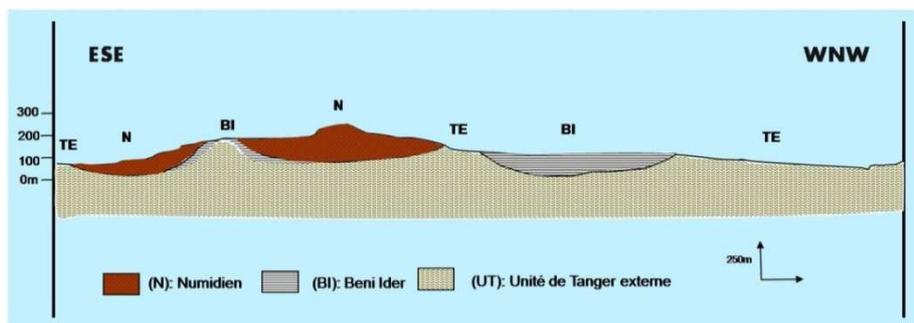


Figure 7 : Coupe synthétique du système numidien

LIMITES DU SYSTÈME NUMIDIEN DE ZINAT

Ce système, sous forme de deux losanges orientés NE-SW et E-W, repose sur le substratum argileux de l'unité de Tanger externe ou parfois sur le flysch de Beni Ider. Il est bordé par : 1) le flysch de Beni Ider dont la lithologie est très diversifiée mais qui révèle un comportement imperméable 2) l'unité de Tanger majoritairement argileuse 3) et dans une petite partie par des affleurements alluviales du Quaternaire. Le caractère des formations de limites de ce système est donc essentiellement aquiclude (Fig.8).

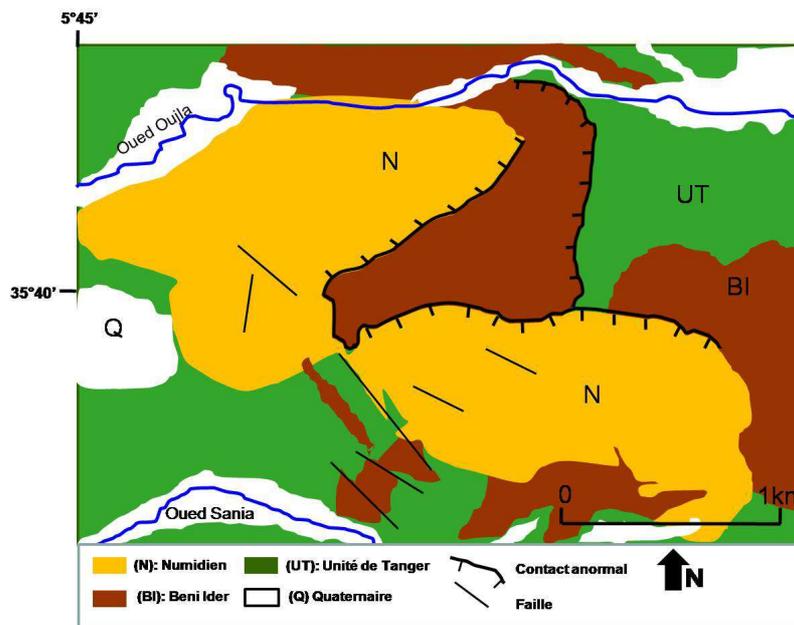


Figure 8 : Carte géologique du système numidien de Zinat (d'après la référence [8])

RÉSURGENCES

L'étude structurale des formations géologiques de ce système révèlent deux types de résurgences vis-à-vis de leur localisation (Fig.9) : des résurgences situées sur le contact de la formation gréseuse de l'Oligo-Aquitainien avec d'autres entités lithologiques comme Ain El Ghouzlan (S20), Ain Khbichou (S70) et Ain Sahrij (S67) et des résurgences situées sur une faille comme celle de Ain Guemot (S21) et de Ain Jdida (S66).

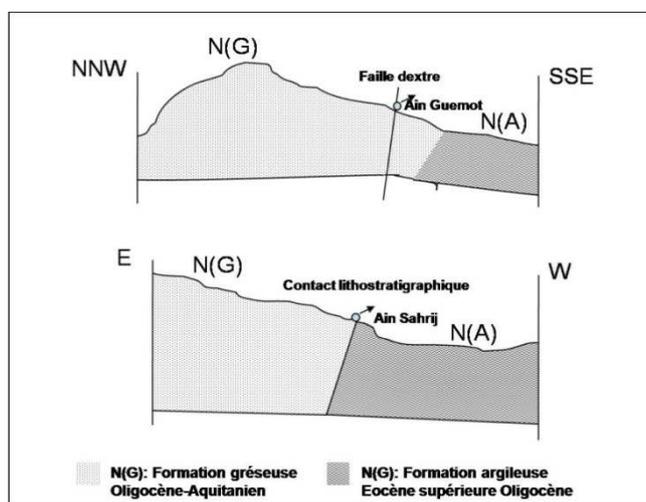


Figure 9 : Coupes des deux types de sources du système numidien

Ce système comporte un nombre assez important de sources pérennes (11 au total) de débit moyen à faible (entre 0.02 et 0.2 l/s). Le débit de ces sources ne connaît pas une grande fluctuation entre les périodes de crues et de décrues à l'exception des sources de faible débit (de moins de 0,05 l/s) (Tab.I)

Tableau I : Débits des sources du système numidien de Zinat

Sources	Débit (l/s)	
	Crue (Juillet et Aout 2010)	Décrue (Novembre et Décembre 2012)
S20	0,2	0,15
S21	0,1	0,07
S22	0,1	0,1
S66	0,05	0,03
S67	0,15	0,1
S68	0,1	0,07
S69	0,05	0,02
S70	0,05	0,02
S71	0,2	0,15
S73	0,05	0,02
S86	0,2	0,2

CARTE PIEZOMETRIQUE ET SENS D'ÉCOULEMENT

L'écoulement des eaux des sources situées sur le contact avec la formation argileuse de l'Eocène supérieur-Oligocène est souvent ralenti par cette dernière ce qui explique les faibles débits observés. D'après la carte piézométrique, la décharge des eaux du système numidien de Zinat se fait au profit de l'oued Sania passant au niveau de sa limite Sud et de l'oued Oujja passant au niveau de sa limite nord (fig.10).

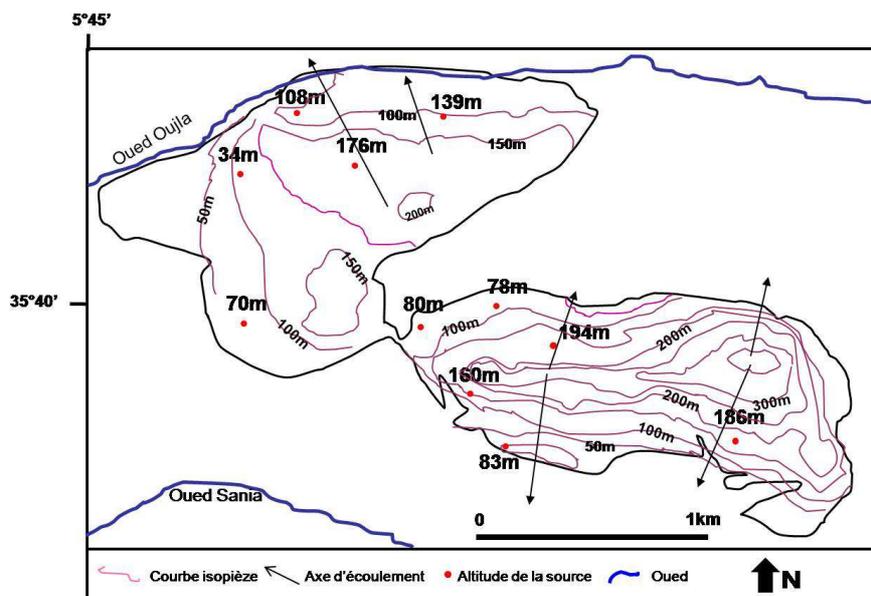


Figure 10 : Carte piézométrique du système numidien et sens d'écoulement

3.2.2 SYSTÈME MELLOUSSA-TISIRÈNE

D'une superficie d'environ 52 km², ce système est très diversifié sur le plan lithologique (calcaire, grès, pélites..). Sur le plan géologique, ce système est composé, en plus des deux formations caractéristiques (Flyschs de Melloussa et Tisirène), de quelques affleurements sus jacentes tel que le flysch de Beni Ider, de l'unité de Tanger et du Quaternaire. Il est très accidenté avec une densité très importante de failles de différentes natures. C'est le flysch de Tisirène constitué de grès d'âge Barrémien à Albien qui joue le rôle du réservoir principal de ce système. Le flysch de Melloussa de sa part est formé d'une formation périto-quartzique d'âge Barrémien à Albien et de pélites et argiles calcaireux du Crétacé supérieur (Fig. 11 et fig.12).

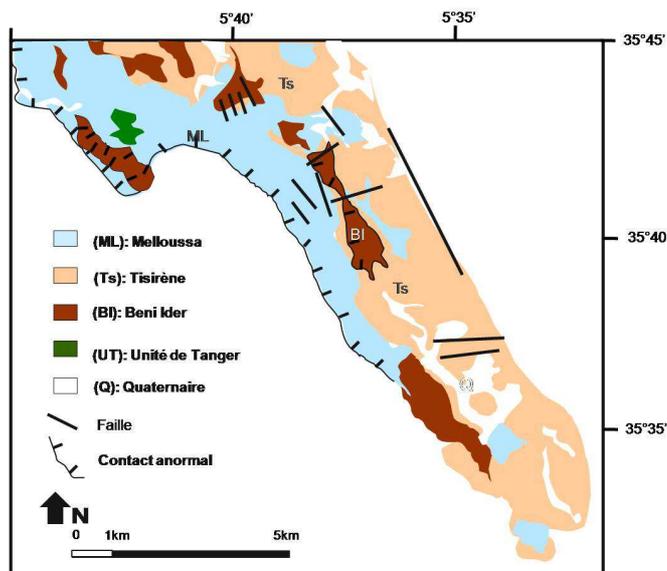


Figure 11 : Carte géologique du système Melloussa Tisirène (d'après la référence [8])



Figure 12 : Coupe synthétique du système Melloussa Tisirène (d'après la référence [8])

LIMITES DU SYSTÈME MELLOUSSA-TISIRÈNE

Le système Melloussa-Tisirène, aux limites bien distinctes, est très répandu géographiquement. Il est limité à l'Est et en partie au Nord par le très grand affleurement du flysch de Beni Ider constitué d'une alternance de calcaires, pélites, grès micacé et argiles datant du Crétacé moyen au Tertiaire. Cette formation avec des faciès lithologiques assez diversifiés se comporte comme un aquiclude en raison de son caractère généralement imperméable. Cependant, des apports d'eau assez importants proviennent de cette formation limitrophe grâce aux ruissellements des eaux de précipitation sur son terrain imperméable. Les autres limites du système sont constituées de la formation argileuse de l'unité de Tanger externe d'âge Turonien-Sénonien et dans certains cas de quelques affleurements assez limités du flysch de Beni Ider. Le substratum du système Melloussa-Tisirène est constitué de l'unité de Tanger externe qui se comporte comme un aquiclude, compte tenu de sa nature géologique essentiellement pélitique.

RÉSURGENCES

Ce système comporte un grand nombre de sources (15 sources pérennes), dont les débits sont assez variables allant de 0,02l/s à 0,7 l/s. Les principales sources de ce système ($q > 0.3$ l/s) sont: Ain Zemij (S26), Ain Roumane (S82), Ain Tnine (S77) et Ain Lahcen (S12). Il existe aussi un grand nombre de sources à débits faibles à moyens (compris entre 0,05 l/s et 0,2 l/s) surtout au niveau du village de Melloussa au Nord et quelques dans Dchars (nomination de petit village au nord du Maroc) du secteur d'étude. A noter que la plupart des sources est localisée au niveau du contact entre la formation du flysch de Melloussa et celle du flysch de Tisirène ou bien sur un niveau de faille.

Tableau 2 : Débits des sources du système Melloussa Tisirène

Sources	Débit (l/s)	
	Crue (Juillet et Aout 2010)	Décrue (Novembre et Décembre 2012)
S12	0,2	0,2
S23	0,05	0,05
S24	0,1	0,05
S26	0,5	0,4
S27	0,1	0,05
S29	0,07	0,05
S32	0,07	0,05
S33	0,12	0,1
S34	0,15	0,1
S60	0,2	0,2
S61	0,15	0,1
S74	0,07	0,05
S77	0,35	0,3
S81	0,25	0,2
S82	0,3	0,3

CARTE PIÉZOMÉTRIQUE

Dans le système Melloussa-Tisirène, il a été difficile d'effectuer une carte piézométrique précise en raison de son hétérogénéité stratigraphique, de sa complexité structurale et de son caractère morphologique montagneux anarchique.

Selon la carte piézométrique (Fig. 13), le sens d'écoulement est généralement orienté depuis le centre vers la partie ouest du système ou parfois depuis le centre vers le Sud à l'exception de la parcelle Nord Est où l'écoulement des eaux se fait vers le centre qui est caractérisé par une grande concentration des sources. Les eaux du système Melloussa-Tisirène alimentent certaines sources du secteur d'étude, l'oued Sania et la formation de l'unité de Tanger-Quaternaire.

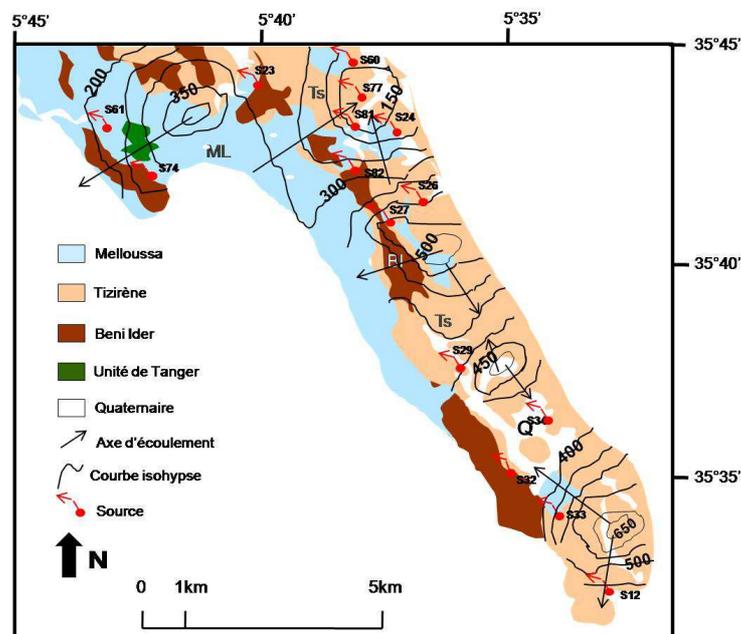


Figure 13 : Carte piézométrique du système Melloussa Tisirène et sens d'écoulement

3.2.3 SYSTEME DE L'UNITE DE TANGER-QUATERNAIRE

Ce système est subdivisé en deux tronçons, le premier est situé à l'Ouest du secteur d'étude s'étendant sur une superficie approximative de 54 km². Il est constitué de l'unité de Tanger externe majoritairement argileuse et des dépôts alluviaux du Quaternaire. Le deuxième tronçon (d'une superficie de 20 km²) est composé de la formation du Quaternaire constituée des dépôts fluviatiles ou alluviaux reposant sur l'unité de Tanger interne qui est aussi majoritairement argileuse. La mise en place des formations quaternaires sur l'unité de Tanger est sous forme de poches sédimentaires incluses au sein des formations de l'unité de Tanger.

LIMITES DU SYSTÈME UNITÉ DE TANGER-QUATERNAIRE

Dans les deux tronçons de ce système, les formations sus-jacentes du Quaternaire reposent sur l'unité de Tanger (substratum imperméable). Ce dernier se comporte comme un aquiclude à aquitard dans certains cas. Le premier tronçon occidental est caractérisé par la présence d'un cours d'eau (Oued Sania), dont la longueur atteint une quinzaine de kilomètres et dont le débit est plus ou moins important. Des échanges d'eau se font probablement entre ce dernier oued et le premier tronçon du système aquifère étudié dans ce paragraphe selon la charge hydrique. Il existe aussi d'autres oueds plus petits qui traversent ce tronçon tels que l'oued Oujla et l'oued El Mkabriyech. Le deuxième tronçon oriental est caractérisé par le passage de l'oued Khmis au niveau de la formation quaternaire sur une dizaine de kilomètres ayant certainement des échanges avec le deuxième tronçon du système (Fig.14).

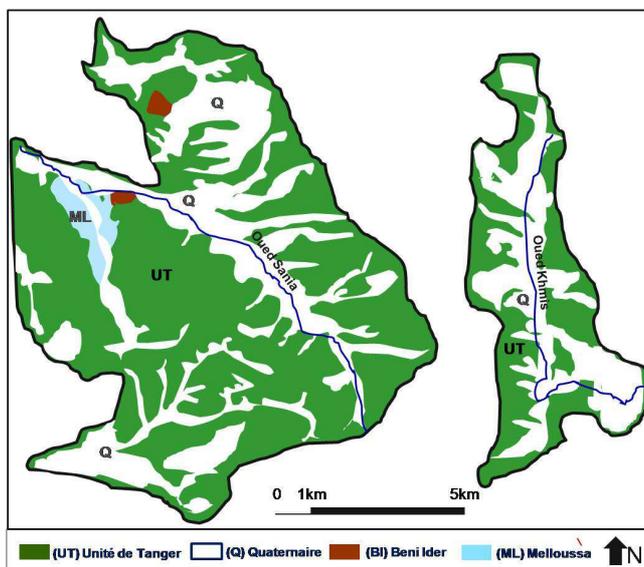


Figure 14 : Carte géologique des deux tronçons du système de l'Unité de Tanger Quaternaire (d'après la référence [8])

Le système de l'Unité de Tanger Quaternaire comporte 25 puits révélant parfois des quantités d'eau assez importantes avec une épaisseur saturée d'eau qui varie entre 5 et 13 mètres. Ce système alimente deux sources pérennes. Le niveau piézométrique des points d'eau du système de l'Unité de Tanger Quaternaire varie considérablement entre la période de crue et celle de décrue (Tab.III).

A noter que la détermination du gradient hydraulique n'a pas été possible dans ce système car il ne s'agit pas d'un aquifère homogène continu, mais plutôt d'un ensemble de poches quaternaires partiellement saturées en eau. Toutefois, les charges hydriques les plus faibles sont situées aux alentours de l'oued Sania au premier tronçon et de l'oued Khmis au deuxième tronçon. Ce système aquifère limité alimenterait ces oueds en eau (Fig.15).

Tableau 3 : Niveaux piézométriques des points d'eau du système Unité de Tanger Quaternaire

Points d'eau	Niveau piézométrique (m)	
	Crue (Juillet et Aout 2009)	Décrué (Décembre 2011)
P16	74	72
P41	88	85
P46	96	92
P40	78	70
P42	109	109
P55	65	61
P28	46	45
P33	68	65
P34	86	83
P13	92	90
S13	135	135
P53	164	162
P32	73	69
P30	63	61
P51	66	62
P18	119	118
P26	97	96
P1	85	83
P66	94	91
P2	54	51
P3	62	60
P4	40	37
P5	22	20
P68	42	38
P61	18	16
P67	68	63
P84	28	28

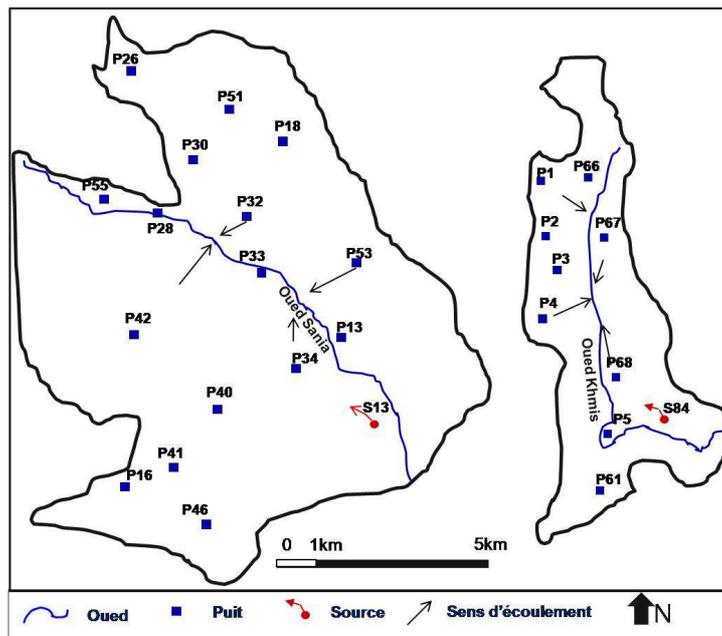


Figure 15: Sens d'écoulement dans le système Unité de Tanger Quaternaire

4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'étude singulière de chaque système aquifère limité, caractérisé par un contexte lithostratigraphique et structural particulier, a permis d'évaluer globalement le potentiel hydrique de la zone d'étude malgré son hétérogénéité. Ainsi, les objectifs principaux tracés ont été réalisés, à savoir : l'inventaire des points d'eau du secteur d'étude, l'identification des systèmes aquifères abritant des valeurs d'eau souterrain importantes (vus les besoins de la population locale en eau) et la réalisation des coupes et cartes géologiques et hydrogéologiques.

Les données recueillies ont également permis de tirer les conclusions suivantes:

- Le secteur d'étude contient des quantités d'eaux souterraines plus ou moins importantes vu la densité des points d'eaux y existant et vu leur pérennité, sauf qu'elles sont concentrées dans certaines zones (au niveau du flysch de Tisirène, du flysch numidien et de la formation Quaternaire).
- Les sources d'eau les plus importantes du secteur d'étude sont situées au niveau des contacts stratigraphiques entre deux formations géologiques ou sur des failles. Parmi ces points d'eau, les sources pérennes peuvent fournir des productivités comprises entre 2 l/s dans le système numidien et 4,5 l/s dans le système Melloussa Tisirène (soit une décharge moyenne de 3,25 l/s).
- Les potentiels d'eau découverts dans la zone sont surtout superficiels ou de subsurface ne dépassant guère 10m de profondeur par rapport au sol sauf exceptions;

Toutefois, ces potentiels hydriques ne sont pas toujours bien explorés dans certains lieux qui révèlent parfois de grandes quantités en écoulement ou en jaillissement, notamment et particulièrement dans certains secteurs du flysch de Tisirène. Dans ce sens, il est recommandable de renforcer et valoriser les ressources situées dans les petits bassins ou bassins d'amont et ne pas se concentrer uniquement sur les ressources situées dans les grands bassins versant ou bassins d'aval.

REFERENCES

- [1] **Ambroise B**, "Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : Processus et facteurs", *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 11, n° 4, pp. 471-496, 1998.
- [2] **Andrieux J**, *La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine*, 1975 ; in Michard A, *Eléments de géologie marocaine*, Editions du service géologique marocain, Rabat, pp. 265-266, 1976.
- [3] **Bodega, M. A., Pulido-Bosch, A. & Trac, N. Q**, "*Modelo maternático del acuifero detrítico de la plana de Gandia-Denia. Simp. Nac. Hidrogeologia*", 1181-1199. AGE y GTH, Valencia, Spain, 1976 ; in El Morabiti , *Contribution à la reconnaissance hydrogéologique de l'aquifère de Martil-Alila (Tétouan, Maroc)*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université Abdel Malek Essaâdi de Tétouan, 217 p, 1991.
- [4] **Bzioui M**, "*Rapport national sur les ressources en eau au Maroc*", Publication de UN Water-Africa, 94p, 2004.
- [5] **Castany G**, *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*, Edition Dunod, Paris, 236 p, 1982.
- [6] **Chiochini U., Francis. R, Ryan. W et Vannucci S**, "*Geologia di alcune successioni torbiditiche crétaés-terziari appartenenti, flyschs maurétanien del Rif settentrional (Marocco)* ", Studi. Géol. Camerti, V.IV, pp. 37-65, 1980.
- [7] **Durand-Delga M., Didon J., Magné J., Feinberg H. et Fleury J. J**, *Carte géologique du Rif Melloussa* (Echelle 1/50000), Editions du service géologique du Maroc, 1984.
- [8] **Durand-Delga M, Hottinger L, Marçais J., Mattauer M., Milliard Y. et Suter G**, *Données actuelles sur la structure du Rif*, Mém. H. série. Soc. Géol. France, pp. 399-422, 1960-1962.
- [9] **El Gharbaoui A**, *La terre et l'homme dans la péninsule tangitane. Etude sur l'homme et le milieu dans le Rif occidental*, Edi. Institut scientifique de Rabat, Service géologique et géographique, Rabat, Maroc, 439 p, 1981.
- [10] **El Morabiti K**, *Contribution à la reconnaissance hydrogéologique de l'aquifère de Martil-Alila (Tétouan, Maroc)*, Thèse de 3^{ème} cycle, Université Abdel Malek Essaâdi de Tétouan, Maroc, 217 p, 1991.
- [11] **El Mrihi A**, *Structures et cinématique de mise en place des nappes de flysch Mauretaniens (Rif externe nord occidentale) : Elaboration d'un modèle*, Thèse de Doctorat de l'Université Abdel Malek Essaâdi Tétouan, Maroc, 376 p, 2005.
- [12] **Gubeli A**, *Stratigraphische und sedimentologisches untersuchungen der detreitischen unterkeide-serien des zentralen Rif (Marokko)*, Thèse de Doctorat, Université Zürich Ronéot (Allemagne), 543p, 1982.
- [13] **Haut Commissariat au Plan**, *Recensement générale de la population au Maroc*, Rabat, Maroc, 2014.
- [14] **Kornprobst J, Griffon J.C, Leikine M,Raoult J.F et Durand Delga M**, *Carte géologique du Rif Téouan-Ras Mazari (Echelle 1/50000)*, Editions du service géologique du Maroc, 1985.

- [15] **Lespinasse P**, *Géologie des zones externes et des flyschs entre Chaouen et Zoumi (Centre de la Chaîne Rifaine, Maroc)*, Thèse de Doctorat d'Etat, Paris VI (France), 1971 ; in Michard A. *Eléments de géologie marocaine*, éditions du service géologique marocain, Rabat, pp. 265-266, 1976.
- [16] **Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire**, *Carte topographique du Maroc Melloussa (Echelle 1/50000)*, Division de la carte, Rabat, 1965.
- [17] **Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire**, *Carte topographique du Maroc Tétouan (Echelle 1/500000)*, Division de la carte, Rabat, 1970.
- [18] **Michard A**, *Eléments de géologie marocaine*. Editions du service géologique marocain, Rabat, 41p, 1976.
- [19] **Negro F., De Sigoyer, J., Goffé, B., Saddiqi, O., Villa, I.M**, *Tectonic evolution of the Betic-Rif arc: New constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on white micas in the Temsamane units (External Rif, northern Morocco)*, *Lithos*, vol. 106, 93-109, 2008.
- [20] **Piqué A**, *Géologie du Maroc, les domaines régionaux et leur évolution structurale*, Marrakech, Maroc, 284p, 1994.
- [21] **Pulido B**, *Datos hidrogeológicos sobre el borde occidental de Sierra Nevada*, Serie universitaria n° 123, Fund. Juan March. 51p, 1980.