

# LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DU QUARTIER BÉLOUIZDAD, CONSTANTINE, ALGÉRIE.

Rachid BOUGDAL\*, Alain LARRIERE\*\*, Bernard PINCENT\*\*, Marc PANET\*\*\*  
et Aïssa BENTABET\*\*\*\*

---

## RÉSUMÉ

Les glissements de terrain du quartier Bélouizdad à Constantine, sont de grande ampleur. Ils se manifestent le long d'un versant en grande partie, urbanisé, et s'étendent sur plus de 30 hectares. Plusieurs dizaines d'habitations ont ainsi été détruites. Les terrains mobilisés par ces mouvements correspondent aux alternances épaisses d'argiles et conglomérats miocènes. Ces derniers renferment plusieurs aquifères. L'étude de ces glissements de terrain est menée sur la base d'une reconnaissance par sondages profonds équipés soit en piézomètres soit en inclinomètres. Ces derniers ont mis en évidence des surfaces de ruptures parfois profondes (20 à 30m) et des déplacements vers le nord, en direction de l'oued Rhumel. L'utilisation d'un logiciel de calcul de stabilité « Talren » montre d'une part, la grande sensibilité des formations miocènes instables en présence d'eau et d'autre part, un regain appréciable du facteur de sécurité par diminution de la pression interstitielle. Les solutions préconisées sont par conséquent orientées vers un rabattement de nappes. Deux techniques sont recommandées : les tranchées drainantes profondes ou bien les galeries combinées avec des forages drainants rayonnants.

**Mots-clés** - Glissements de terrain - Argiles et conglomérats miocènes - Urbanisation - Inclinomètre - Calcul de stabilité - Zoning - Confortation.

## THE BELOUIZDAD DISTRICT LANDSLIDES, CONSTANTINE, ALGERIA.

### ABSTRACT

In Constantine, Belouizdad district landslides, are extensive. They occur along an area largely urbanized, and cover over 30 hectares. Dozens of homes were destroyed. The formations raised by these movements correspond to the alternating of thick Miocene clays and conglomerates. These contain several aquifers. The study of these landslides is carried out on the basis of recognition by deep boreholes equipped with piezometers and inclinometers. The inclinometers measurements have revealed failure surfaces sometimes deep (20 to 30m) and north displacement, towards the Rhumel Wadi. The use of a stability calculation software "Talren" shows on one hand, the high sensitivity of unstable Miocene formations in the presence of water and on

---

\* Université de Bab Ezzouar, USTHB, Alger. Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Laboratoire de Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et Planétologie.

\*\* Ingénieurs Experts, ARCADIS, Paris.

\*\*\* Expert international.

\*\*\*\* Chef de projet, ARCADIS, Paris.

- *Manuscrit déposé le 02 Mars 2011, accepté après révision le 21 Décembre 2011.*

the other hand, a significant revival of the safety factor by reducing the pore pressure. The recommended solutions are therefore a lowering of underground water levels. Two techniques are recommended : deep trench drains or galleries combined with drainage holes radiating.

**Keywords** - Landslides - Miocene clays and conglomerates - Urbanization - Inclinomater - Stability calculation - Zoning - Confortation.

## 1. INTRODUCTION

Parmi les nombreux sites de glissements de terrain situés à l'intérieur du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Constantine (PDAU), ceux de Bélouizdad sont des plus préoccupants par leur localisation en milieu urbain à forte densité de population, leur grande extension (plus de 30 ha) et l'ampleur des désordres qui touchent le bâti (Bougdal, 2007; Bougdal et al., 2011). Ces glissements de terrain, complexes, se manifestent le long d'un versant de pente moyenne 25%, comprenant, d'amont en aval, les quartiers : Bélouizdad, Kitouni, Maquisards, Kaïdi et Aouinet el Foul (ph. 1).

L'instabilité de ces zones est connue depuis au moins le début des années 1970. Les premières études entreprises conjointement par l'Université de Liège et le Laboratoire des Travaux Publics de Constantine (1987) ont été menées par sondages profonds (90 à 100m) sur la

partie haute du glissement (quartiers de Bélouizdad et Kitouni), soupçonnée la plus instable.

Le travail présenté ici, concerne l'ensemble du versant compris entre le plateau de Koudiat Aty et l'oued Rhumel (fig. 1). Il est mené sur la base :

- d'une exploitation des données d'études antérieures;
- d'une cartographie géologique à l'échelle du 1/2000<sup>ème</sup>;
- d'une investigation par 11 sondages équipés en piézomètres (SB) et 6 sondages carottés, équipés en inclinomètres (S);
- d'un inventaire des points d'eau (sources captées, émergences, fuites d'eau);
- d'une réalisation d'une série d'essais géotechniques, de leur interprétation de même que des calculs de stabilité.



**Photo 1** - Vue globale des glissements (G) de Bélouizdad

*General view of the Belouizdad landslides (G)*

## 2. CARACTÉRISATION GÉOLOGIQUE, HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Les glissements de Bélouzdad regroupent un ensemble de zones instables situées le long d'un versant de pente moyenne 25 %, orienté NO vers l'oued Rhumel. Cette déclivité est interrompue par deux niveaux de falaises conglomératiques, abruptes, de 10 à 15m de hauteur : la plus haute est située en contrebas des quartiers Kitouni-Maquisards, à la côte 530m, la plus basse dans la

partie aval du glissement (Kaïdi - Aouinet el Foul), à la côte 420m.

L'urbanisation de ce versant, qui date du début du 20<sup>ème</sup> siècle a, par ailleurs, entraîné une modification morphologique intense, par suite des travaux de terrassement et d'ouverture de routes d'accès aux différents quartiers. Les talus conglomératiques, taillés à la verticale, le long des boulevards Bélouzdad et Kitouni, sont les témoins de ces actions anthropiques.

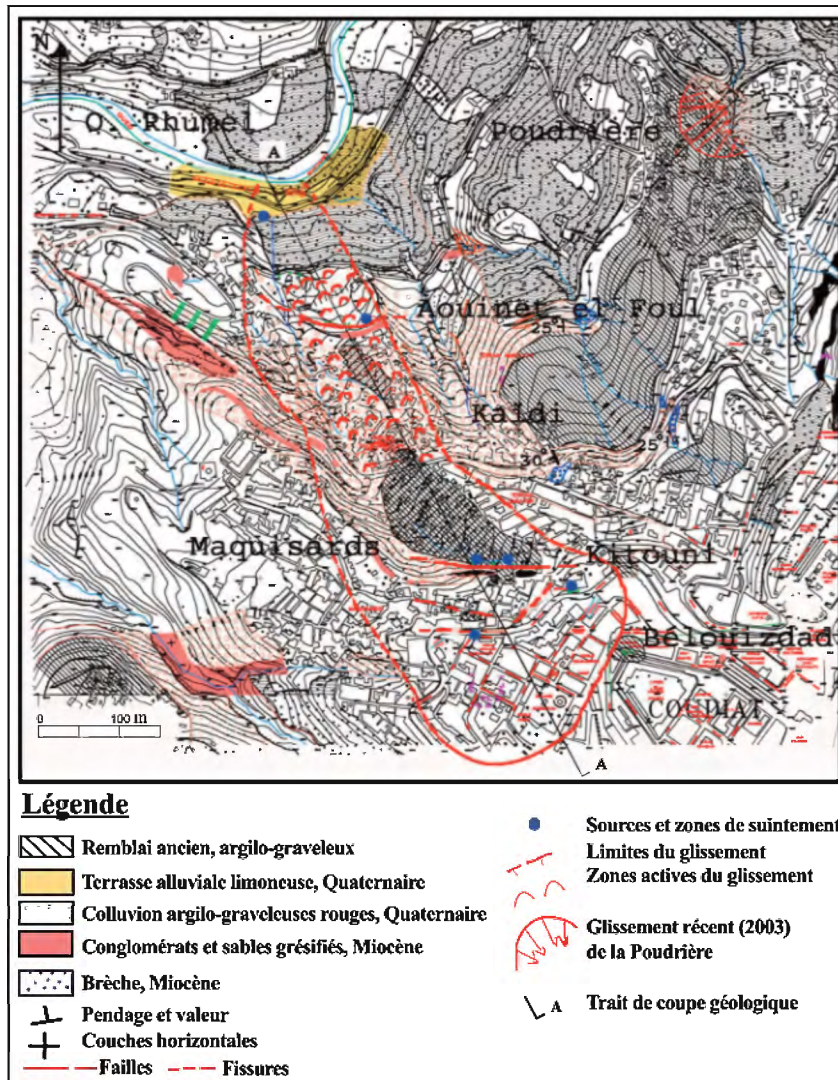


Fig. 1 - Glissement de Belouzzad

*Belouzzad landslides*

Les zones instables représentent une gouttière de forme allongée, de 1200m de long, sur 200 à 300m de large (fig. 1). Cette morphologie favorise la convergence d'eaux d'origine diverse : météorique, fuites d'eau potable et usée.

## 2-1. Stratigraphie

Le versant de Bélouizdad est représenté principalement, par des formations argilo-conglomératiques miocènes, épaisses (Bougdal et *al.*, 2007), recouvertes par des colluvions de même nature (fig.1).

La série stratigraphique, illustrée par une coupe géologique synthétique passant dans l'axe du glissement (fig. 2) et établie à partir des observations de surface et des sondages carottés.

Elle montre les termes suivants :

**- Des marnes grises et marno-calcaires, créta-cés, à la base.** Cette formation n'affleure pas sur le site du glissement ni à sa proche périphérie. Elle a été reconnue en profondeur (90-100m), par d'anciens forages réalisés dans la partie haute du glissement (Koudiat Aty, Bélouizdad).

Les coupes de sondages révèlent une roche dure finement litée, très fracturée, appartenant au complexe allochtone créta-cé (Vila, 1977; Lahondère, 1987) qui affleure largement plus à l'est du glissement de Bélouizdad (ph. 2).



**Photo 2** - Marnes et marno-calcaires créta-cés (nappes telliennes).

*Cretaceous marls and marly-limestones (tellian sheets).*

**- Un conglomérat de base** de la série miocène post-nappes, représenté par une brèche de pente épaisse, bien cimentée, à éléments hétérogènes de taille décimétrique dont on reconnaît, le faciès tellien et les calcaires néritiques cénomano-turonien. Cette brèche épaisse (plus de 60m) a été recoupée par la plupart des forages récents (fig. 2), entre 20 et 40m de profondeur.

Elle affleure localement dans le quartier de Kaïdi, et à l'extrémité est du versant instable (au lieu dit Poudrière), où elle renferme de gros blocs calcaires arrondis (ph. 3).

Elle est par contre, largement exprimée en surface, plus à l'ouest du site où elle forme les piedmonts du massif créta-cé de Chettabah. Coiffait (1992) la dénomme «conglomérat de Chettabah».



**Photo 3** - Brèche miocène à gros blocs calcaires.

*Miocene breccia and large limestone blocks.*

**- Une alternance d'argiles rouges et de conglomérats miocènes.** Les niveaux conglomératiques sont épais (10 à 15 m) et affleurent sous forme de 2 barres rocheuses (falaises). Les argiles sont assez denses (ph. 4), prennent localement une couleur verdâtre et renferment quelques graviers centimétriques. Elles admettent aussi, quelques niveaux franchement sableux, parfois grésifiés (sondage SB4, fig. 4).

Les conglomérats sont constitués de blocs et galets roulés, calcaires et gréseux, provenant des

## LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DU QUARTIER BÉLOUZDAD, CONSTANTINE, ALGÉRIE

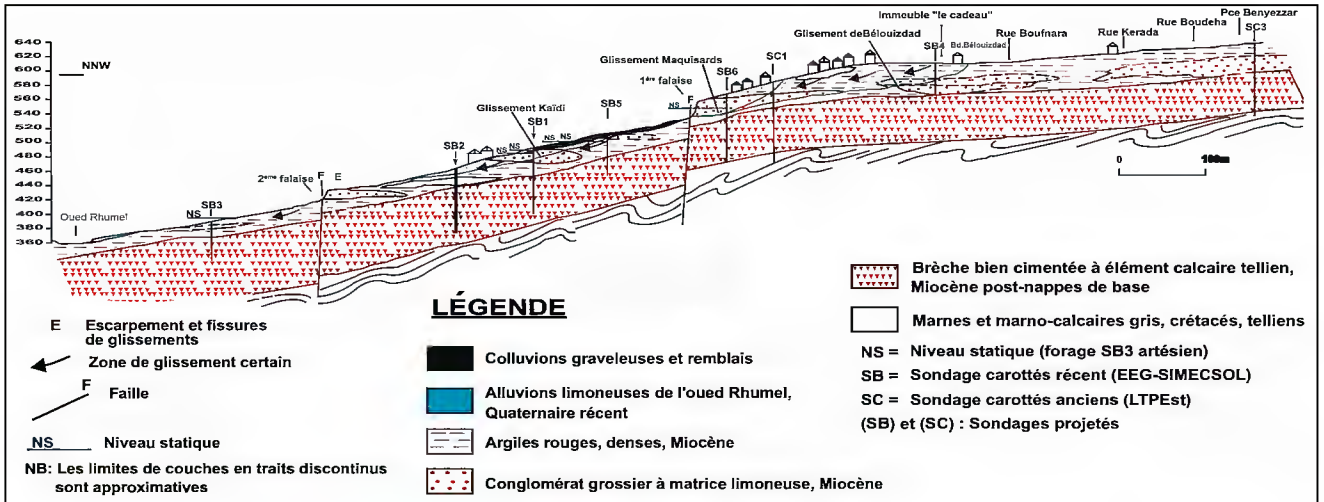


Fig. 2 - Coupe des glissements de terrain de Bélouizdad - Kitouni - Kaïdi

*Belouizdad - Kitouni - Kaïdi landslides cross section*

Photo 4 - Argile rouge à verdâtre et conglomérat grossier, miocènes.

*Red to green Miocene clay and coarse conglomerates.*

formations céno-mano-turonienne et numidienne, et d'une matrice limoneuse en faible proportion. Leur structure lenticulaire à l'intérieur des argiles, correspond à des chenaux fluviaux. Vers le sommet de la formation, les éléments grésocalcaires sont généralement prédominants et de grande taille. Le ciment est généralement carbonaté et confère aux conglomérats une consistance rocheuse.

Cette formation argilo-conglomératique est moins résistante que la brèche miocène sur la-

quelle elle est discordante (fig.2). Elle montre, d'après les coupes de sondages, une épaisseur moyenne de 30 m dans la partie aval des glissements et 40 à 50 m dans la partie amont. Elle est d'âge probable miocène terminal ou pliocène.

- **Des colluvions argilo-graveleuses quaternaires**, qui recouvrent, sous quelques mètres d'épaisseur les formations plus anciennes. Elles résultent de l'altération des conglomérats miocènes dont elles ne s'en distinguent, que par un aspect moins dense et moins bien structuré.

- **Des alluvions limoneuses** formant la terrasse alluviale la plus récente de l'oued Rhumel.

- **Des remblais hétérogènes** d'épaisseur variable, distribués sur l'ensemble du site du glissement et ses bordures. Ces remblais sont particulièrement épais en aval de Kitouni. Le talus abrupt qui délimite le quartier des Maquisards, montre plus de 5 m d'un mélange argilo-conglomératique à débris hétéroclites (plastique, ferraille, verre). Plusieurs habitations de ce quartier, sont fondées sur ces remblais qui paraissent anciens.

**2-2. Tectonique**

Les glissements de terrain sont situés sur le flanc est du synclinal de l’oued El Mellah. Cette direction structurale s’observe dans les rares affleurements de la brèche miocène qui affleure à l’est du glissement, avec des directions N 150 à N 180° et des pendages de 20 à 30° ouest.

Elle est moins marquée dans les argiles et conglomérats supérieurs qui paraissent discordants sur la brèche. Cette discordance angulaire



**Photo 5** - Ecoulement de la falaise la plus basse, suivant des fractures verticales, orientées est-ouest.

*Lower cliff collapse along vertical faults oriented East-West.*

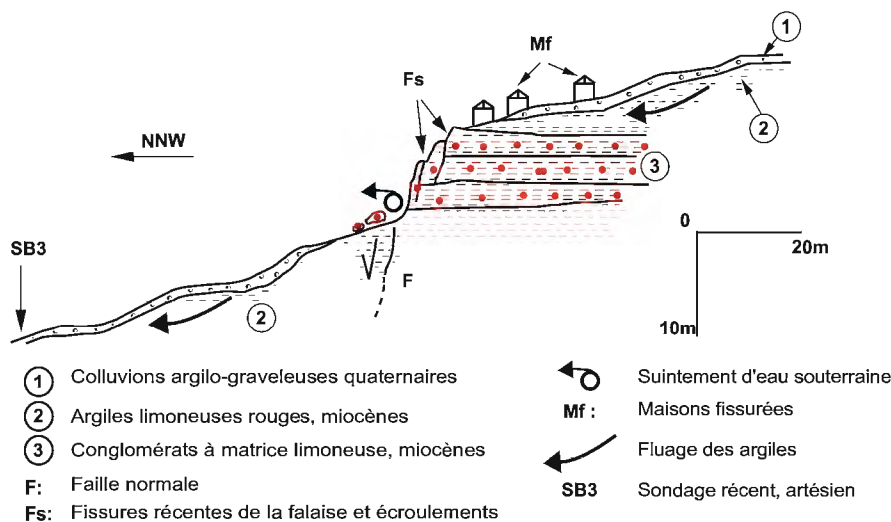
entre les deux conglomérats (brèche et poulingue) traduit l’évolution progressive de la déformation miocène post-nappes.

Les marqueurs de la tectonique cassante sont peu conservés dans ces terrains fragiles. Cependant, les deux niveaux de falaises conglomératiques qui ressortent bien en topographie dans le versant instable, ne semblent pas aléatoires. Elles résultent de fractures verticales orientées est-ouest, qui favorisent leurs fréquentes ruptures, en période humide (ph. 5 et fig. 3).

**2-3. Hydrogéologie du versant**

La zone instable de Bélouizdad comporte deux composantes qu’il est impossible de dissocier :

- les eaux d’origine naturelle;
- les eaux d’origine anthropique (fuites sur les réseaux d’eau potable et d’eaux usées, rejets directs de celles-ci dans le milieu naturel).



**Fig. 3** - Coupe de la basse falaise instable du quartier Kaïdi  
*Unstable lower cliff cross section in Kaïdi district*

### • *Eaux d'origine naturelle*

Les eaux souterraines sont localisées aussi bien en sub-surface où elles constituent des zones d'émergence qu'en profondeur où elles sont mises en évidence par les piézomètres.

Nous avons relevé une vingtaine de sources à l'intérieur de la zone de glissement et à sa périphérie (fig. 4) dont les plus importantes, sont situées, immédiatement à l'aval des deux falaises conglomératiques (figs. 3, 4 et 5). Ceci traduit le fait que les conglomérats qui les constituent, sont perméables et reposent sur des terrains argilo-limoneux, peu perméables, qui limitent la percolation verticale.

Onze sondages équipés en piézomètres, ont été réalisés et répartis sur l'ensemble du versant instable et sa périphérie (fig. 4). Nous n'avons

pu exploiter que 6 d'entre eux, les autres ayant été détériorés (tabl. I).

Le sondage SB03, situé dans la partie aval du versant instable, a été artésien pendant plusieurs semaines avec un débit de l'ordre de 1litre/seconde.

Une coupe hydrogéologique synthétique du versant instable de Bélouzdad (fig. 5) a été levée sur la base des coupes de sondages et des relevés piézométriques. Cette coupe permet les observations suivantes :

- Les eaux souterraines sont contenues dans les niveaux conglomératiques et sableux miocènes dont la matrice argileuse est soit absente soit en faible proportion et en partie dans la brèche miocène sous-jacente.

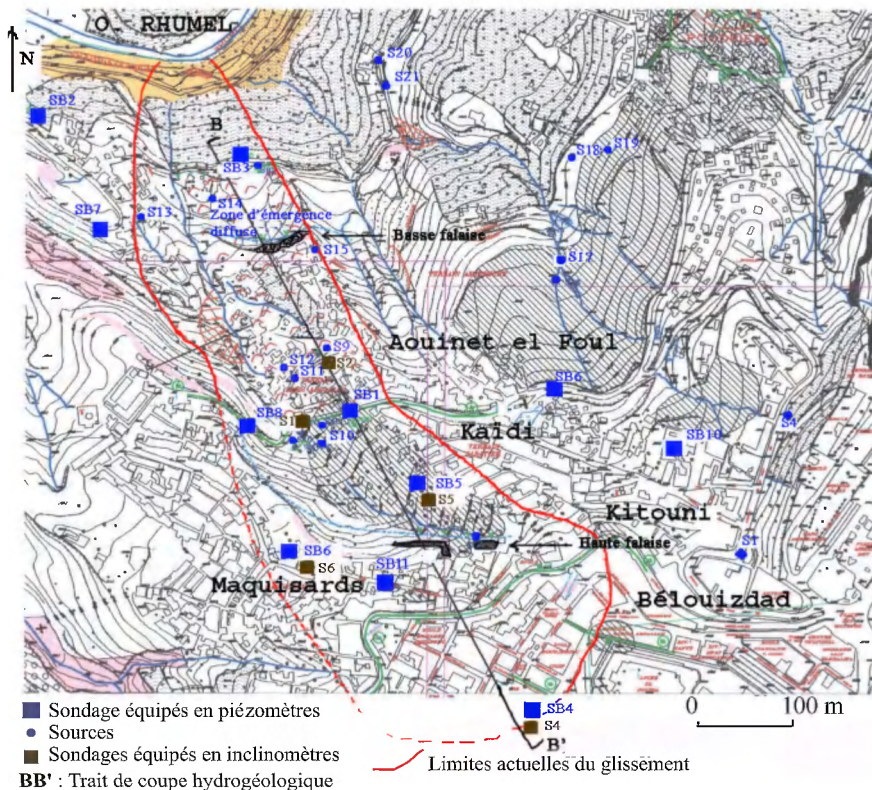


Fig. 4 - Position des points d'eau et des piézomètres dans le glissement de Bélouzdad.

*Location of water points and piezometers in the Belouzzad landslide.*

- La présence de niveaux argilo-limoneux très peu perméables, intercalés dans les conglomérats, individualise des aquifères superposés. En effet, le sondage SB4, réalisé en amont du glissement, a d’abord recoupé un niveau aquifère dès les premiers mètres de forage puis a subi une perte totale d’eau de forage, après avoir traversé une couche d’argile, jusqu’à 20-25m où il a recoupé un autre aquifère. Le sondage SB3, situé tout à fait au pied du versant, s’est révélé artésien avec un débit de près de 1 litre/seconde, après avoir traversé une couche d’argile formant le toit d’un aquifère conglomératique, localement en charge.

- La base des deux falaises conglomératiques est jalonnée par des suintements diffus indiquant la proximité de niveaux argileux sous les falaises.

- Le sondage SB2, situé en dehors de la zone instable, à 400m environ à l’ouest du SB3 artésien,

Tableau I - Relevés piézométriques (période : mai 2003 – juillet 2004).

*Piezometric measurements (période: may 2003 - july 2004).*

P : Profondeur d’eau (mètres) (*Water depth (meters)*); NP : cote du niveau piézométrique (mètres) (*ground-water level (meters)*).

sondages	11/05/2003		30/07/2003		30/09/2003		02/11/2003		30/12/2003		29/02/2004		30/05/2004		30/07/2004	
	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)	P(m)	NP (m)
SB1	3,48	484,7														
SB2			13,3	381,1												
SB4	2,05	603,4	2,58	602,9	3,05	602,4	2,01	603,5	1,13	603,3	1,1	604,4				
SB6	10,8	506,4	12,1	505,2	10,7	506,5	10,8	506,4								
SB11			11,8	547,9					20,2	539,5	20,9	538,9	20,3	539,4	21,2	538,5

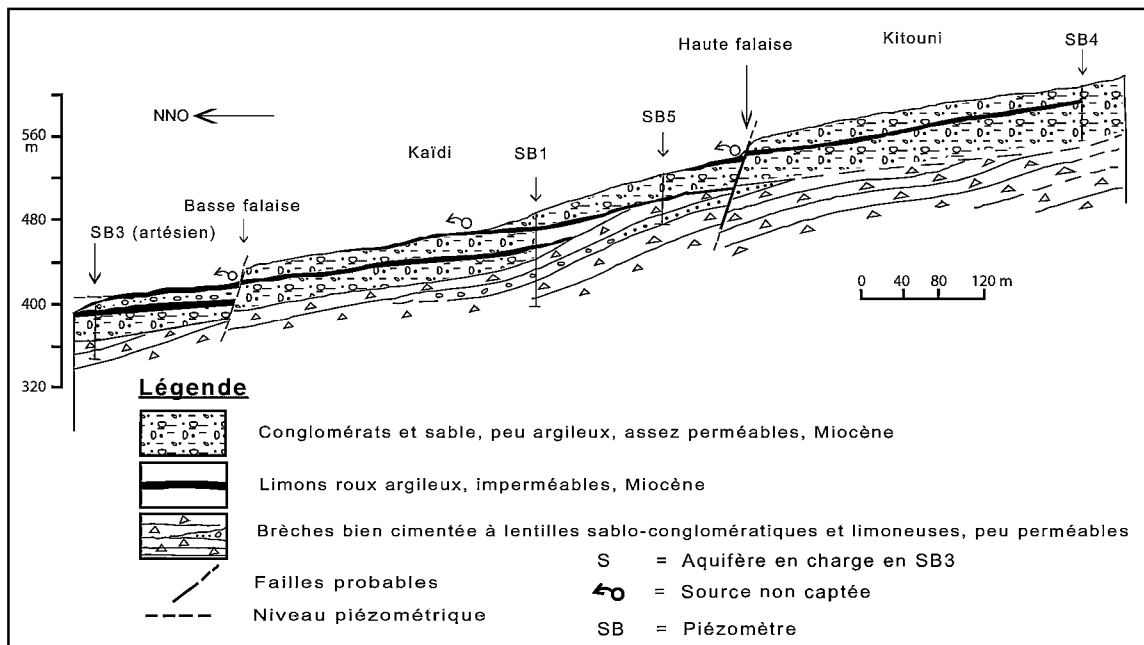


Fig. 5 - Coupe hydrogéologique synthétique du versant instable de Bélouizdad.  
*Synthetic hydrogeological cross section of the Belouizdad unstable slope.*



a recoupé le niveau piézométrique à 13.25m de profondeur; ces deux points se trouvant sensiblement à la même altitude. Cet exemple est révélateur de l'imprévisibilité des circulations d'eau dans ces formations lenticulaires.

- Dans le sondage SB5, la profondeur du niveau piézométrique mesuré (10 à 12m) correspond sensiblement au contact entre le conglomérat et la brèche miocène de base; ce qui laisse penser que cette brèche peut être localement aquifère.

- Les niveaux piézométriques mesurés à plusieurs périodes des années 2003 et 2004 sont peu influencés par les variations pluviométriques saisonnières, il en est de même d'ailleurs, des débits des sources. La vidange naturelle des eaux souterraines s'opère donc très lentement, sachant que les perméabilités restent faibles dans l'ensemble.

- Il est important de signaler que les côtes piézométriques mesurées dans les sondages sont dans la plupart des cas, la résultante de la contribution d'aquifères superposés. Une meilleure estimation des écoulements souterrains consiste à équiper les sondages en plusieurs piézomètres, captant chacun, une formation perméable bien distincte.

Le schéma hydrogéologique global que l'on peut retenir est la présence de plusieurs aquifères lenticulaires formés essentiellement par les niveaux conglomératiques, les niveaux argileux jouant le rôle d'écrans imperméables.

#### • *Eaux d'origine anthropique*

Celles-ci ont deux origines :

- Les fuites des réseaux publics (eaux potables et usées), estimées à 40 % des pertes du réseau d'adduction de Constantine par l'étude de la SA-FEGE (1997). Depuis que ce diagnostic a été réalisé, des interventions ont été menées pour

améliorer la situation. Aucune donnée n'est cependant disponible pour en apprécier l'impact. On pourrait argumenter que les glissements de terrain sont à l'origine de ces désordres. Toutefois, les dégradations sur les réseaux affectent l'ensemble de l'agglomération, y compris là où il n'y a pas de glissement. Il y a donc un problème de vieillissement et de maintenance.

L'important programme de réhabilitation des réseaux prévu est une condition indispensable à la maîtrise des glissements.

- Les rejets incontrôlés d'un habitat précaire (quartiers des Maquisards, Kaïdi, Aouinet el Foul) soit directement vers les talwegs, soit par le biais de dispositifs d'infiltration de type puits perdus.

La conséquence de ces fuites et rejets sont multiples :

- augmentation du volume des eaux qui se retrouvent dans le sous-sol, en particulier à des niveaux où il n'y aurait probablement pas d'eau naturellement;

- les eaux usées sont potentiellement agressives, et peuvent de ce fait, modifier la structure des sols par action sur la structure des matériaux argileux et/ou mise en solution de minéraux carbonatés (dissolution). De tels rejets peuvent à eux seuls provoquer des instabilités.

La maîtrise de ces eaux constitue une composante majeure des dispositions de confortement qui peuvent être envisagées.

#### **2-4. Caractéristiques géotechniques des formations**

Les argiles conglomératiques miocènes et les conglomérats quaternaires correspondent aux formations les plus propices aux glissements de terrain. Les marnes et marno-calcaires crétacés,

de même que la brèche miocène bien cimentée, recoupés en profondeur par les sondages, sont de consistance rocheuse et donc plus stables.

#### *- Données de laboratoire*

Les essais géotechniques ont porté sur les niveaux fins de la formation argilo-conglomératique miocène à partir des carottes de sondages. Les niveaux plus grossiers ont été testés à partir de prélèvements de surface.

##### *\* les dépôts fins de la formation miocène*

Les essais granulométriques montrent que la fraction inférieure à 2mm est au moins supérieure à 97%, ce qui est une constante que l'on retrouve dans les études antérieures. La fraction inférieure à 100 $\mu$ m est supérieure à 70%. De ce fait, on pourrait attendre des plasticités élevées, ce qui n'est pas le cas, les indices de plasticité se situant entre 17 et 22 %.

On relèvera enfin, que les matériaux sont peu carbonatés (20 à 30 % de carbonates). La présence de gypse est relevée sous forme de trace, mais n'a pas fait l'objet de dosage.

##### *\* les dépôts grossiers de la formation miocène*

La présence de gros éléments a nécessité le recours aux prélèvements de surface par souci de représentativité des échantillons que les carottes de sondages ne peuvent garantir. Les paramètres mesurés et calculés sont la granulométrie, la densité sèche et la porosité. Quatre prélèvements d'un poids de 220 à 575 kg (suivant la taille de leurs plus gros éléments) ont été effectués sur site.

Les résultats essentiels sont les suivants :

- la plus grande dimension des éléments figurés dans les échantillons prélevés, est de 220 mm. Ceux-ci sont roulés, ce qui suggère une origine alluviale;

- 40 à 55% des éléments sont d'une taille supérieure à 10 mm, et 80 à 90 % > à 100 $\mu$ m;

- plus de 50% de la fraction inférieure à 100 $\mu$ m est constituée par des particules de taille inférieure à 10 $\mu$ m.

Sur la base des mesures effectuées, on peut calculer la porosité théorique ( $\phi$ ) du milieu. Celle-ci est de façon constante, supérieure à la porosité effective, c'est à dire celle qui intervient dans la capacité de l'eau à circuler au travers des formations.

Les valeurs sont les suivantes (ordre de grandeur) :

- $\phi$  = porosité théorique,  $\delta d$  = densité sèche;
- puits P1 :  $\phi$  = 21%,  $\delta d$  = 2.04
- puits P2 :  $\phi$  = 25%,  $\delta d$  = 1.84;
- puits P3 :  $\phi$  = 11%,  $\delta d$  = 2.18;
- puits P4 :  $\phi$  = 6%,  $\delta d$  = 2.29.

Les résultats exposés ci-dessus mettent en évidence la difficulté d'apprécier le rôle des conglomérats (sensu stricto), dans la circulation des eaux. Intuitivement, le caractère grossier de la formation conduit à considérer que celle-ci doit être perméable, voire très perméable. Or, même s'il n'y a pas de relation directe entre porosité calculée et perméabilité, il est certain que des porosités calculées de 6 à 11% (puits P3 et P4) correspondent à un milieu très peu perméable. Indépendamment de la présence de niveaux argilo-limoneux, il existe donc, dans la masse même des conglomérats grossiers, des horizons comportant une proportion suffisante de fines, pour les considérer comme des milieux fermés, peu perméables.

## **2-5. Description des désordres et des instabilités**

Les limites des glissements de Bélouizdad ont été tracées sur la base des dégradations cons-

tatées dans le bâti et la voirie. L'urbanisation d'une grande partie du versant instable ne permet pas de les délimiter autrement. Cependant, certains indices de terrain telles que la fissuration de talus conglomératiques et la morphologie moutonnée des formations argileuses, ont contribué à une meilleure identification des zones instables. Ces limites s'étendent sur une longueur d'environ 1000m, entre le boulevard Bélouizdad et l'oued Rhumel, et une largeur variant de 200 à 300m. La dénivelée entre l'escarpement de la tête du glissement le plus haut (Bélouizdad) et le glissement le plus bas (Aouinet el Foul) est de l'ordre de 210m.

Outre les dégradations subies par les constructions (ph. 6), les indices des glissements se manifestent aussi par des déformations bien marquées sur les chaussées : fissuration, affaissement (ph. 7).

Les désordres dans le bâti se traduisent par une fissuration très avancée de la totalité des constructions situées à l'intérieur de la zone instable. Il s'agit en particulier, de l'ensemble des



**Photo 6** - Bâtiment R+3, en maçonnerie, très endommagé, quartier Bélouizdad.

***Masonry building, heavily damaged, Belouizdad Neighborhood.***

flots délimités par le glissement du quartier de Bélouizdad jusqu'à la première falaise conglomératique, y compris la partie orientale du quartier des Maquisards. Les dommages s'expriment par le cisaillement des structures (poteaux, poutres, murs porteurs des constructions anciennes) et leur basculement par endroits.

Le passage est assez net entre le bâti endommagé et le bâti stable.

Dans la partie aval du glissement, le lotissement Aouinet el Foul, représenté par un habitat précaire, est fondé pour l'essentiel, dans un niveau argileux rouge, miocène. Les habitations en rez-de-chaussée sont très dégradées pour la plupart d'entre elles, et souvent basculées.

Du point de vue morphologique, une vue d'ensemble des glissements montre que les zones franchement argileuses (talus aval de la deuxième falaise, quartier Kaïdi) présentent un relief moutonné caractéristique des mouvements visco-plastiques. La forme en gouttière des glissements favorise la concentration des écoulements superficiels d'origine diverse, qui entretiennent les instabilités du versant.



**Photo 7** - Rue affaissée et maisons fissurées, quartier Kitouni.

***Collapsed Street and failed houses, neighborhood Kitouni.***

## 2-6. Conclusions

La synthèse des observations de terrain et notamment les indices d'instabilité et les effets induits par les glissements sur les constructions, permettent de faire la mise au point suivante :

- les glissements de Bélouizdad sont complexes dans leur ensemble et ne correspondent pas au schéma classique d'une masse glissée suivant une surface de rupture unique. La coupe géologique synthétique, passant par l'ensemble des quartiers endommagés (fig.2), suggère une série de ruptures progressives, d'aval vers l'amont dont les traces en surface correspondraient aux escarpements principaux observés et reportés sur la figure 1;
- la zone instable couvre toute l'étendue comprise entre le boulevard Bélouizdad et la rive gauche de l'oued Rhumel. L'escarpement en tête du glissement délimite d'une façon précise, les terrains instables des terrains plus stables situés sur le plateau de Koudiat Aty, vers le sud;
- les terrains particulièrement sensibles au glissement correspondent aux horizons argilo-limoneux roux, contenus dans les formations argilo-conglomératiques miocènes et quaternaires, sur lesquels sont fondés les quartiers les plus touchés;
- les niveaux franchement conglomératiques tels que ceux qui forment les deux falaises et les talus de la rue Kitouni, paraissent à première vue, relativement stables. Cependant, leur intercalation dans des argiles limoneuses, moins résistantes, ne les met pas à l'abri d'un mouvement gravitaire d'ensemble;
- la brèche de base, miocène, recoupée par l'ensemble des sondages récents, est stable, d'après la consistance rocheuse des affleurements observés (brèche bien cimentée) et d'après leur bonne tenue constatée sur le versant de forte pente du massif de Chettabah, situé plus à l'ouest;
- les failles, ou du moins les fractures, qui délimitent les deux falaises ont probablement con-

tribué à la déstabilisation du versant. Elles constituent des surfaces de faible résistance qui peuvent être remobilisées superficiellement, en surface de glissement. Dans ce mécanisme probable de ruptures régressives (d'aval en amont), la déstabilisation du quartier de Bélouizdad menace, à terme, le plateau très urbanisé de Koudiat Aty, situé en amont de l'escarpement du glissement;

- la profondeur de ces glissements est moins évidente à estimer sur la seule base des observations de surface et des coupes géologiques. Le recours aux mesures inclinométriques devient incontournable.

## 3. ÉTUDE DES GLISSEMENTS

### 3-1. Données inclinométriques et interprétations

L'objectif des mesures inclinométriques est de déterminer la profondeur des ruptures et l'amplitude et direction des déplacements horizontaux du terrain en fonction du temps. Pour cela, après avoir scellé un tube spécial dans un forage, on vient mesurer régulièrement l'inclinaison de ce tube à l'aide d'une sonde de mesure (inclinomètre).

Cinq tubes inclinométriques nommés S1, S2, et S4 à S6 (fig. 4), ont été installés sur les sites de Bélouizdad, Kitouni, Kaïdi. Les mesures ont été réalisées par le LTPE (Laboratoire des Travaux Publics de l'Est). La procédure de mesure est celle de la norme française NF 94 156.

En raison de l'ampleur et de la vitesse des déplacements du terrain, les tubes S1, S2 et vraisemblablement S4, ont été sectionnés empêchant les mesures dans la partie inférieure du tube. Les mesures inclinométriques traitées sont représentées avec, pour chaque inclinomètre :

- les courbes de variations angulaires et déplacements dans la direction A;

- les mêmes types de courbes suivant une direction B perpendiculaire à A.

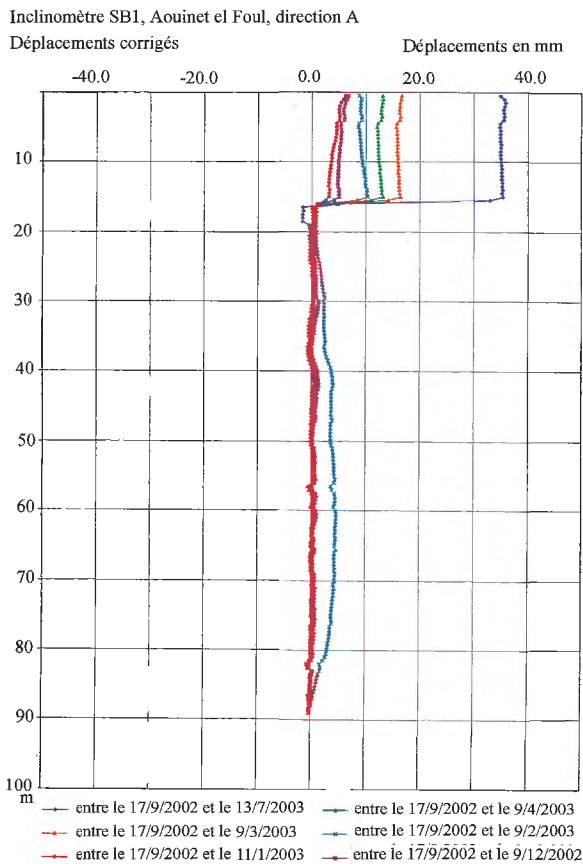
Plusieurs courbes sont superposées sur chaque graphe, montrant l'évolution des variations angulaires ou des déplacements en fonction du temps. Ces courbes font nettement apparaître la profondeur des surfaces de glissement (fig. 6). Pour les variations angulaires, les courbes présentent un pic correspondant à cette surface de glissement (fig. 7).

Le tableau II ci-dessous, synthétise les résultats de ces mesures. Les valeurs trimestrielles

ont été extrapolées des mesures effectuées dans la période concernée.

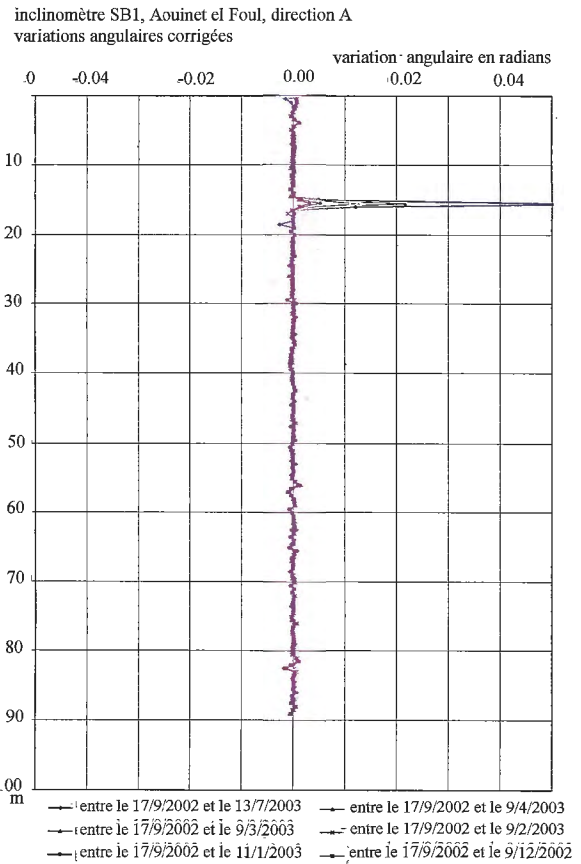
À ce stade des mesures, on peut noter que :

- tous les inclinomètres mettent en évidence une surface de rupture;
- les inclinomètres S1, S2 et S5 montrent des vitesses d'évolution proches, supérieures à celles observées sur les inclinomètres S4 et S6;
- l'orientation du déplacement de l'inclinomètre S4 est différente de celle des autres. Elle est sud-ouest. Sa vitesse de déplacement moyenne est la



**Fig. 6** - Mesures des déplacements corrigés, suivant A, sondage SB1.

**Measurements of corrected displacements, according to direction A, borehole SB1.**



**Fig. 7** - Mesures des variations angulaires suivant A, sondage SB1.

**Measurement of angular variations according to direction A, borehole SB1**

**Tableau II - Mesures inclinométriques. Synthèse.*****Inclinometer measurements. Synthesis.***

inclinomètre	prof. forage (m)	prof. surface de rupture (m)	direction de déplacement	déplacement en mm // vitesse de déplacement en mm par trimestre						observations	
				Trim 4, 2002	Trim 1, 2003	Trim 2, 2003	Trim 3, 2003	Trim 4, 2003	Trim 1, 2004		Trim 2, 2004
SB1	90	15-16	N 343°E	3 // 3	13//9	45//32					rupture après la mesure de juillet 2003
SB2	90	6-6,5	N315°E	5 // 5	15//14						rupture après la mesure de mars 2003
SB4	55	18,5-21,0	N225°E				0//0	3,4//3,4	6,6//3,2	6,8//0,2	tube bouché à 21 m
SB5	52	8	N325°E				0//0	10//10	38,8//28,6	44,5//5,7	
SB6	52	7,5-8,5	N325°E				0	11	16,6	17,7	

plus faible et le déplacement concerne un sous-ensemble du grand glissement qui semble débiter au niveau du square Guessoum en se développant vers le sud-ouest.

Les terrains recoupés par les sondages équipés en inclinomètres, sont hétérogènes : limons roux, conglomérats et sables grossiers et appartiennent à la formation miocène.

Si l'on se réfère à la coupe hydrogéologique (fig. 5), les profondeurs de rupture mesurées sont localisées, préférentiellement à la base de la première couche conglomératique (inclinomètres S1 et S2). Dans les autres inclinomètres, les ruptures se produisent dans les niveaux conglomératiques où la proportion d'argile est assez élevée. Dans les deux cas, les ruptures sont localisées sous le niveau de la nappe.

### 3-2. Suivi des mouvements par nivellement

Afin de contrôler la régression des zones instables du versant de Bélouizdad et de les délimiter plus précisément, un système de surveillance par nivellement de précision a été mis en place au début de l'année 2004.

Le nivellement donne des mesures très précises (+/- 0,5 mm d'incertitude sur le déplacement)

qui permettent de détecter très tôt les déplacements. Des repères spéciaux ont été conçus pour les sites instables de Constantine.

Plusieurs points de mesures ont été installés suivant des profils traversant les zones instables et calés sur des points extérieurs à celles-ci, dans des endroits supposés stables.

Les mesures consistent à déceler les variations d'altitude des points par rapport à la mesure origine du 7/02/2004. Les premiers résultats obtenus sur un intervalle de temps de 10 mois (entre le 7/02/2004 et le 30/11/2004) montrent très peu de variations altimétriques, à l'exception des quartiers Kaïdi et Kitouni où des tassements de 8 à 25 cm ont été relevés.

Une instrumentation de ces glissements au GPS a été également programmée. Nous ne disposons pas des résultats de ces mesures.

## 4. ANALYSE DE STABILITÉ

Nous nous trouvons, ici, en présence de grands glissements, relativement profonds et actifs, pour lesquels la pression interstitielle est l'élément moteur prépondérant. Le déclenchement de ces glissements, probablement antérieurs à l'urbanisation, est la conséquence de phénomènes dont

l'accumulation a contribué à l'instabilité des pentes : fracturation, érosion en pied, fortes pressions interstitielles et séismes.

#### 4-1. Calculs de stabilité d'un glissement déclaré

Pour les calculs de stabilité nous avons sélectionné la méthode des perturbations, développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et intégrée dans le logiciel de calcul de stabilité des ouvrages et pentes TALREN (Talren 4, Terrasol). Elle est particulièrement bien adaptée au calcul des ruptures non circulaires qui sont celles observées sur le site. Nous ne reviendrons pas sur la méthodologie des calculs de stabilité que nous avons largement développée dans l'étude du pont de Sidi Rached (Pincent et *al.*, 2008). Nous rappelons juste que les calculs consistent à analyser, dans la relation  $F=f(\varphi, U)$  les effets des variations de la pression interstitielle  $U$  sur le facteur de sécurité  $F$ , pour des angles de frottement effectif,  $F$  étant le facteur de sécurité.

Dans cette étude, nous avons distingué quatre zones instables participant au même mouvement d'ensemble. Elles sont dénommées :

- glissement Bélouzdad, le plus en amont du site et s'étendant en aval, jusqu'à la première falaise;
- glissement Guessoum proche du glissement Bélouzdad mais de direction différente;
- glissement Maquisards se prolongeant jusqu'à la première falaise;
- glissement Kaïdi.

#### Hypothèses des calculs

Quatre vingt trois calculs ont été réalisés pour établir les graphes du coefficient de sécu-

rité en fonction de l'angle de frottement et de la pression interstitielle, traduite en terme de profondeur de nappe.

Ce champ des pressions interstitielles est schématisé par une nappe dont le toit est confondu avec le terrain naturel (TN). Pour simuler l'effet d'un drainage, le toit de cette nappe est rabattu par bonds de 5 m.

Les hypothèses des calculs sont données dans le tableau III :

**Tableau III - Analyse de stabilité. Hypothèses de calcul.**

#### Stability analysis. Calculation hypotheses.

Glissement	Masse volumique du terrain (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion	Angle de frottement (°)	Profondeur de la nappe
Glissement Guessoum	20	0	12, 15, 20, 25	0, -5, -10, -20
Glissement Bélouzdad	20	0	12, 15, 20, 25	0, -5, -10, -15, -20
Glissement Maquisards	20	0	12, 15, 20, 25	0, -5, -10, -15, -20
Glissement Kaïdi	20	0	12, 15, 20, 25	0, -5, -10, -20

#### 4-2. Résultats des calculs et analyse

Les variations du coefficient de sécurité en fonction de la profondeur de nappe et de l'angle de frottement ont été étudiées pour chacun des quatre glissements. Nous présentons à titre d'exemple les variations du coefficient de sécurité obtenues pour le glissement de Bélouzdad (fig. 8)

L'examen des différents graphes de variations du facteur de sécurité pour les quatre glissements de terrain permet de relever les points suivants :

- Le coefficient de sécurité s'accroît de 50% si on rabat la nappe de :

- 7 à 9 m pour le glissement de Guessoum;
- 10 m pour le glissement amont, de Bélouzdad;
- 5 à 7 m pour le glissement de Kaïdi A.

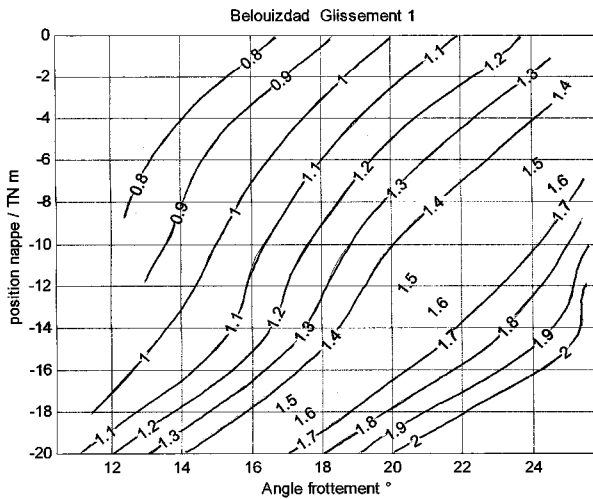
- Les angles de frottement du sol qui peuvent expliquer les glissements avec des champs de pressions interstitielles raisonnables se situent entre 17,5 et 24°. Dans cette fourchette, la valeur de 21° pour l'angle de frottement, apparaît comme la plus vraisemblable. Ce choix est cohérent avec les informations fournies par les essais de laboratoire qui classent le sol à la frontière des argiles et limons plastiques.

**Effet d'un séisme**

L'effet d'un séisme sur la stabilité des pentes se calcule par une méthode pseudo-dynamique qui prend en compte l'effet de l'accélération sismique sur les contraintes induites par la masse du terrain. On ne considère ici, que l'effet d'une accélération sismique horizontale.

En envisageant le drainage comme solution principale de stabilisation, la méthodologie de calcul consiste à :

- se placer tout d'abord dans un domaine de paramètres expliquant la rupture hors séisme, avec les paramètres géomécaniques les plus probables ( $c' = 0, \varphi' = 21^\circ$ ) et les plus défavorables ( $c' = 0, \varphi' = 17,5^\circ$ );
- adopter le champ des pressions interstitielles qui donne un coefficient de sécurité de 1,5 avec les paramètres géomécaniques les plus probables, hors séisme;
- calculer le coefficient de sécurité pour une accélération horizontale donnée. L'accélération adoptée dans les calculs :  $s = 0,09 \text{ g}$ , correspond à une période de retour de 100 ans (CGS, 2004).



**Fig. 8** - Variation du coefficient de sécurité en fonction de l'angle de frottement et de profondeur de nappe; glissement de Bélouizdad

**Variation of the safety factor based on the friction angle and sheet depth; Belouizdad landslide**

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant (tabl. IV) :

**Tableau IV** - Variation du coefficient de sécurité suivant les paramètres sismique, hydrogéologique et géotechnique.

**Safety factor variation according to the seismical, hydrogeological and geotechnical parameters.**

Glissements	Accélération horizontale (g)	Position de la nappe / TN (m)	Angle de frottement du sol (°)		Coefficient de sécurité	
Guessoum	0	-9	17.5	21	1.2	1.5
	0.09	-9	17.5	21	0.8	1.0
Bélouizdad	0	-10	17.5	21	1.2	1.5
	0.09	-10	17.5	21	0.8	1.0
Kaïdi	0	-7	17.5	21	1.2	1.5
	0.09	-7	17.5	21	0.8	1.0
Maquizards	0	-15	17.5	21	0.8	1.0
	0.09	-15	17.5	21	0.6	0.8



### 4-3. Conclusions

À l'exception du glissement Maquisards, les résultats des calculs sont remarquablement proches. Ceci s'explique par le fait que la géométrie de ces glissements est semblable et que le drainage est calé (position de la nappe) pour obtenir un coefficient de sécurité de 1,5 avec les caractéristiques géomécaniques les plus probables, hors séisme :  $c' = 0$ ,  $\varphi' = 21^\circ$ .

Si l'on provoque un rabattement de 10 m environ, le coefficient de sécurité, hors séisme, atteint la valeur suffisante de 1,5 environ.

Le rabattement n'assurera pas la stabilité des glissements dans le cas d'un séisme dont l'accélération horizontale dépasserait 0,09 g.

## 5. SOLUTIONS TECHNIQUES DE STABILISATION RECOMMANDÉES

Les travaux géologiques menés sur site de même que les résultats des essais inclinométriques et les calculs de stabilité montrent que les eaux superficielles et souterraines jouent un rôle essentiel dans la déstabilisation du versant de Bélouzdad. C'est pour cette raison que la recherche des solutions de stabilisation est orientée vers la maîtrise du facteur eau sous toutes ses formes.

Pour ce qui concerne les eaux superficielles (potables et non potables), le réseau de canalisation doit être minutieusement examiné afin de repérer les fuites et rétablir les sections défectueuses. Le maintien en bon fonctionnement des ouvrages destinés à contrôler les eaux, quel que soit leur type, requiert la mise en place d'un programme d'entretien particulier.

Pour ce qui concerne les nappes profondes, deux techniques de drainage ont été recommandées dans le cadre de cette étude : les tranchées drainantes profondes qui exigent des moyens de terrassements spéciaux ou bien les galeries com-

binées à des forages drainants rayonnants. Le dimensionnement de ces deux techniques, que nous ne reprendrons pas ici, est présenté dans le rapport d'étude du glissement de Bélouzdad (DUC, 2004), rapport disponible auprès de la Direction de l'Urbanisme de la Wilaya de Constantine.

Il est recommandé par ailleurs, de protéger les berges de l'oued Rhumel, à la base du versant de Bélouzdad. Cette protection est destinée à stopper l'érosion déstabilisatrice, sapant la partie aval des glissements. Cette protection sera constituée par des enrochements, ou gabions, d'une taille et/ou d'un poids tel, qu'ils ne puissent être mobilisés par le flot auquel ils seront soumis. En outre, ils doivent :

- être agencés, de telle sorte qu'ils ne soient pas affouillables;
- ne pas réduire la section d'écoulement de l'oued;
- être résistants à la corrosion, dans le cas d'une solution impliquant la mise en place de gabions.

## 6. CONCLUSIONS

Les instabilités de Bélouzdad couvrent une surface d'environ 30 ha. Elles s'étendent sur une longueur d'un kilomètre entre le boulevard Bélouzdad, en amont, et la rive gauche du Rhumel en aval. La largeur varie entre 200 et 300 m. La dénivelée entre la tête du glissement (côte 600) et sa base certaine (côte 390) est de l'ordre de 210 m.

Nous nous trouvons ici, en présence de grands glissements, profonds et actifs, dont le déclenchement initial est vraisemblablement la conséquence de phénomènes dont l'accumulation a contribué à l'instabilité des pentes : érosion en pied, fortes pressions interstitielles et séismes. Leur localisation en milieu urbain a provoqué des dégradations intenses dans le bâti.

L'investigation par sondages équipés d'inclinomètres, montre que les surfaces de rupture sont profondes (6 à 21 m) et localisées dans les argiles rouges, saturées et conglomérats miocènes. L'analyse des calculs de stabilité par le logiciel Talren 4, confirme les glissements de terrains déclarés et montre que les pressions interstitielles jouent un rôle prépondérant dans leur déclenchement. En effet, le coefficient de sécurité s'accroît de 50% si on rabat la nappe de:

- 7 à 9 m pour le glissement Guessoum;
- 10 m pour le glissement de Bélouizdad;
- 5 à 7 m pour le glissement de Kaïdi.

Deux techniques de drainage ont été recommandées dans le cadre de cette étude : les tranchées drainantes profondes qui exigent des moyens de terrassements spéciaux ou bien les galeries combinées à des forages drainants rayonnants. En cas de séismes dont les accélérations dépasseraient 0.09 g, ces rabattements n'assureraient pas la stabilité recherchée.

Un plan d'instrumentation (mesures, surveillance) a été établi pour les grands glissements qui affectent la ville de Constantine tels ceux de Bélouizdad. Ce plan prévoit d'installer de nouveaux inclinomètres en les doublant parfois de piézomètres, dans la partie haute du site de manière à surveiller l'efficacité des solutions adoptées (galeries ou tranchées drainantes).

**Remerciement :** Nous remercions les professeurs R. Bahar et A. Issaadi pour les corrections et suggestions apportées à cet article, et qui nous ont permis de l'améliorer.

## BIBLIOGRAPHIE

- BOUGDAL, R. 2007.** Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord. *Thèse Doctorat, Univ. Bab Ezzouar, USTHB, Alger, 194p.*
- BOUGDAL, R., BELHAI, D. ET ANTOINE, P. 2007.** Géologie détaillée de la ville de Constantine et ses alentours : une donnée de base pour l'étude des glissements de terrain. *Bull. Serv. Géol. Nat. de l'Algérie*, vol.18, n° 2, pp. 161-187.
- BOUGDAL, R., PINCENT, B., PANET, M. ET BENTABET, A. 2011.** Les glissements de terrain du quartier Bousouf à Constantine, Algérie. *Bull. Serv. Géol. Nat. de l'Algérie*, vol. 22, n°3, pp. 337-359.
- CENTRE DE GÉNIE PARASISMIQUE (C.G.S) 2004.** Rapport final: Etude de l'aléa sismique de la région de Constantine.
- COIFFAIT, P.E. 1992.** Un bassin post-nappes dans son cadre structural : l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord-orientale). *Thèse Doctorat Es-Sciences, Paris, 502p.*
- DIRECTION DE L'URBANISME ET DE LA CONSTRUCTION, CONSTANTINE (D.U.C), 2004.** Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine
- EVANS, G. 1998.** Les glissements de terrain dans la ville de Constantine, Algérie . Géologie, géotechnique et travaux de correction potentielle. *Direction de l'Urbanisme et de la Construction, Wilaya de Constantine. 48 p.*
- LAHONDÈRE, J.C. 1987.** Les séries ultratelliennes d'Algérie Nord orientale et les formations environnantes, dans leur cadre structural. *Thèse es-Sciences, Paris, 240p.*
- PAULSEN, S. 1999.** Glissements de terrain dans la ville de Constantine. Mission des experts du 1 au 9/12/1999. *Direction de l'Urbanisme de la Construction, Wilaya de Constantine.*
- PINCENT, B., BOUGDAL, R., PANET, M. ET BENTABET, A. 2008.** Le pont Sidi Rached à Constantine, Algérie : une culée dans un grand glissement de terrain. *Bull. Serv. Géol. de l'Algérie*, vol.19, n° 3, pp. 197-215.
- SAFEGE, 1997.** Étude des ressources en eau de la région de Constantine. *Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Constantine.*
- VILA, J.M. 1977.** Carte géologique de Constantine à 1/200 000. *Serv. Carte, Géol. Algérie.*

# **IMPACT DU CONTEXTE GÉOSTRUCTURAL ET DU BISEAU SALÉ SUR LA CONTAMINA- TION DES AQUIFÈRES CÔTIERS ORANAIS (ALGÉRIE NORD-OCCIDENTALE).**

**Hamidi MANSOUR\*, Abdelmansour NADJI\*, Mohamed FOUKRACHE\*  
et Ibrahim ZEROUAL\***

---

## **RÉSUMÉ**

Si la contamination par le biseau salé dans les complexes dunaires paraît évidente sur les côtes oranaises (massif dunaire de Terga), il n'en est pas de même pour certains aquifères karstiques et circuits hydrothermaux en bord de mer (massifs littoraux de l'Oranie) où émergent des eaux anormalement chlorurées sodiques, riches en magnésium, dont le contact avec les niveaux évaporitiques est bien établi.

Dans un premier temps, nous avons examiné la profondeur moyenne du biseau salé et ses conditions d'avancée à l'intérieur du domaine dunaire (cartographie piézométrique et hydrochimique, prospection géologique, géophysique et application du modèle théorique de «Ghyben-Herzberg»), nous avons ensuite voulu savoir si le faciès chloruré sodique et magnésien des émergences karstiques et hydrothermales résulte d'un mélange en profondeur des eaux douces du Karst et d'eau de mer ou d'un apport d'eau salé ayant circulé dans des niveaux évaporitiques connus dans la région.

À défaut d'études isotopiques, nous avons utilisé la méthode des rapports caractéristiques, particulièrement celle du rapport Brome/Chlore qui a conduit à mieux préciser l'origine de la contamination des eaux et du contexte géostructural dans lequel sont disposés les griffons des conduits karstiques et hydrothermaux.

**Mots-clés** - Aquifères karstiques - Biseau salé - Circuits hydrothermaux - Complexes dunaires - Géostructural - Griffons.

## **IMPACT OF GEOSTRUCTURAL CONTEXT AND SALT WATER INTRUSION INTO THE CONTAMINATION OF ORAN COASTAL AQUIFERS (NORTH WESTERN OF ALGERIA)**

### **ABSTRACT**

If contamination by salt water intrusion in dunes complexes on the Oran region coasts seems very clear (Terga dunes massive), it is not true for some karst aquifers and hydrothermal circuits in the sea (solid coastal Oranis massifs) where emergent water abnormally sodium chloride, rich-magnesium, whose contact with evaporitic levels is well established.

Initially, after reviewing the average depth of the salt water intrusion and its inside progression conditions within dunes field (mapping piezometric and hydrochemical, geological,

---

\*Laboratoire de Géoresources, Environnement et Risques Naturels, Département des Sciences de la Terre, FSTGAT, Université d'Oran, Algérie. I\_mansou\_1@yahoo.fr

- Manuscrit déposé le 26 Avril 2011, accepté après révision le 22 Janvier 2012.

geophysical exploration and theoretical model of "Ghyben Herzberg"), we then wanted to know if the sodium and the magnesium chloride facies emergences and hydrothermal karst is a mixture of deep karst fresh-water and seawater or if we should think of a supply of salt water that has circulated on evaporitic levels known in the region.

In the absence of isotopic studies, we used the method of reporting features, particularly the relation Bromine/Chlorine, which has led us to clarify the origin of the contamination and the context in which are arranged geostructural griffins of karstic and hydrothermal conduits.

**Keywords** - Karst aquifers - Salt water intrusion - Hydrothermal circuit - Dunes complexes - Geo-structural - Griffins.

## I - CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

### 1 - Introduction

La région étudiée appartient aux massifs littoraux oranais qui s'étendent sur une bande côtière formant un système de horst et de graben (fig. 1). Le littoral oranais du bassin du Chéelif à l'est, à la vallée de la Tafna à l'ouest, présente un ensemble de môles et de massifs anciens. Les émergences des sources y sont nombreuses, laissant échapper des eaux appartenant à deux familles : les unes bicarbonatées calciques ou magnésiennes qui peuvent être considérées comme caractéristiques du karst; les autres chlorurées à pôle sodique.

Lorsque le contact entre les complexes dunaires avec le milieu marin est bien visible, il est en général facile d'expliquer l'origine de la minéralisation. Toutefois, il y a lieu de signaler dans certains cas, l'existence des circuits ascendants délivrant des eaux métrio à méso thermales (Vengosh *et al.*, 2002). Les griffons étant masqués par les formations alluvionnaires.

### 2 - Cadre géostructural des massifs littoraux de l'Oranie (fig. 2)

En Oranie, l'étroite dépendance entre les axes structuraux et l'hydrographie (principaux oueds, linéaments des Chotts et Sebkhass) sur de grandes distances, reflète l'existence de grands accidents qui ont favorisé l'émergence de sources thermo-minérales (Issaadi, 1992).

Les massifs littoraux sont séparés des monts des Tessalas et des Béni Chougrane (nappes telliennes) par les bassins de la M'léta et de l'Habra qui forment un sillon allongé WSW-ENE. Le volcanisme d'âge pliocène et quaternaire connu dans la région de Témouchent serait dû à des épisodes extensifs récents ayant permis la remontée du magma (Guardia, 1975).

On distinguera, ainsi, trois systèmes d'accidents, confirmés par les directions linéamentaires et les alignements sismiques (Issaâdi, 1996) :

- failles transverses NNE-SSW;
- systèmes de failles d'orientation globale NE-SW marquant la limite des plaines;
- systèmes d'accidents d'orientation générale W-E.

Il apparaît donc une étroite relation entre la disposition géographique des sources thermo-minérales et les accidents transverses, qui sont d'autant plus marqués lorsque ces derniers sont recoupés par le deuxième système de failles orientées W-E et NW-SE.

Par leur position structurale particulière et leur faciès marneux et gypso-salin, les formations triasiques participent d'une façon notable à la contamination des aquifères à perméabilité de fissures et de chenaux.

IMPACT DU CONTEXTE GÉOSTRUCTURAL ET DU BISEAU SALÉ SUR LA CONTAMINATION DES AQUIFÈRES CÔTIERS ORANAIS  
(ALGÉRIE NORD-OCCIDENTALE)

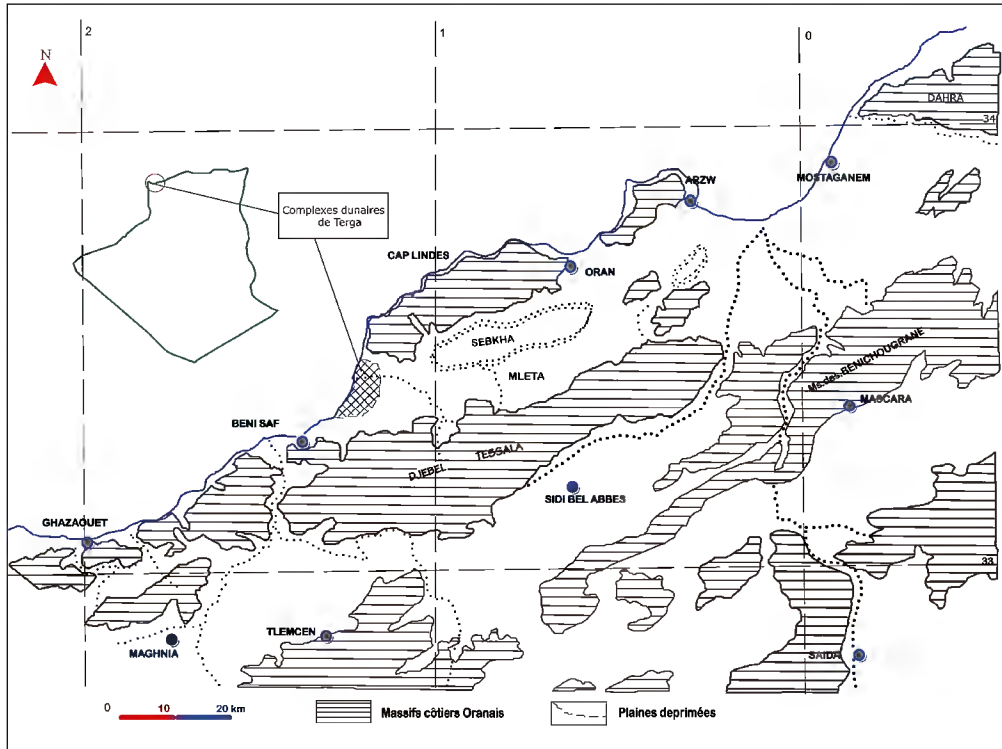


Fig. 1 - Plan de situation du littoral oranais.  
*Location of the Oran Coast.*

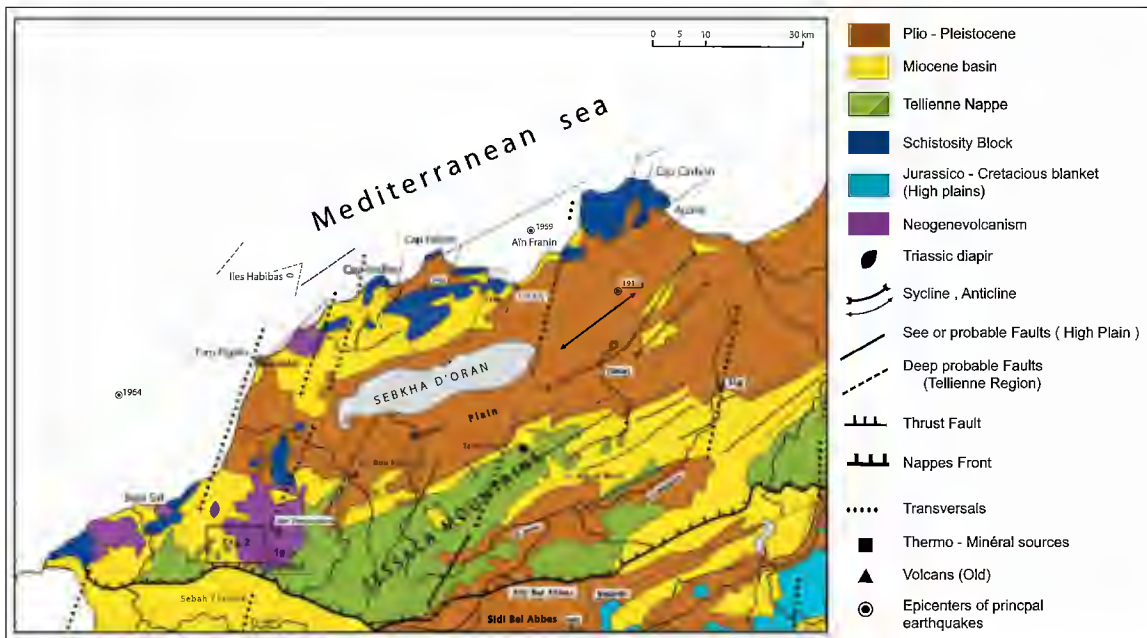


Fig. 2 - Carte tectonique de l'Algérie Nord occidentale (B. Fenet, 1975).  
*Tectonic map of the North Western Algeria (B. Fenet, 1975).*

### 3 - Relation d'équilibre entre les aquifères karstiques et la mer

En milieu karstique, lorsque la circulation des eaux souterraines s'effectue au niveau de fissures et des chenaux, plutôt que d'une interface généralisée, il faudra tenir compte des relations particulières établies entre chaque système aquifère (température et physico-chimie) et la mer (variations thermiques, composition chimique et densité des eaux de la Méditerranée). Les chasses d'eau qui se produisent au moment des crues lorsqu'il existe un stenokarst, peuvent suivant les cas, amener à l'exutoire des eaux diluées ou au contraire fortement minéralisées.

Dans le contexte précis de cette étude, nous avons rencontré les densités des eaux suivantes:

- douces du karst :  $d = 1,0008$ ;
- peu minéralisées :  $d = 1,00092$  à  $1,00412$ ;
- minéralisées :  $d = 1,016$  à  $1,0299$ ;
- hyperminéralisées :  $d = > 1,16$ .

La thermalité observée au niveau de certaines émergences, va avoir pour effet de réduire la densité des eaux, donc d'entraîner des modifications de la position de l'interface :

- Aïn Franin :  
 $d = 1,0054$  à  $4^\circ$ ,  $0,9988$  à  $37^\circ$ ;
- Source d'arcole :  
 $d = 0,9975$  à  $21,5^\circ$ ;
- Hammam Bou Hadjar :  
 $d = 0,9910$  à  $59^\circ$ ;
- Hammam Sidi Abdelllys :  
 $d = 0,9960$  à  $33^\circ$ ;
- Hammam Chiguer :  
 $d = 1,005$  à  $20^\circ$ ,  $0,9955$  à  $30,5^\circ$ .

## II - INTRUSION MARINE DANS LES COMPLEXES DUNAIRES DE LA BASSE TAFNA

Nous avons pris en considération l'aval du bassin versant de l'oued El Maleh (région de Terga),

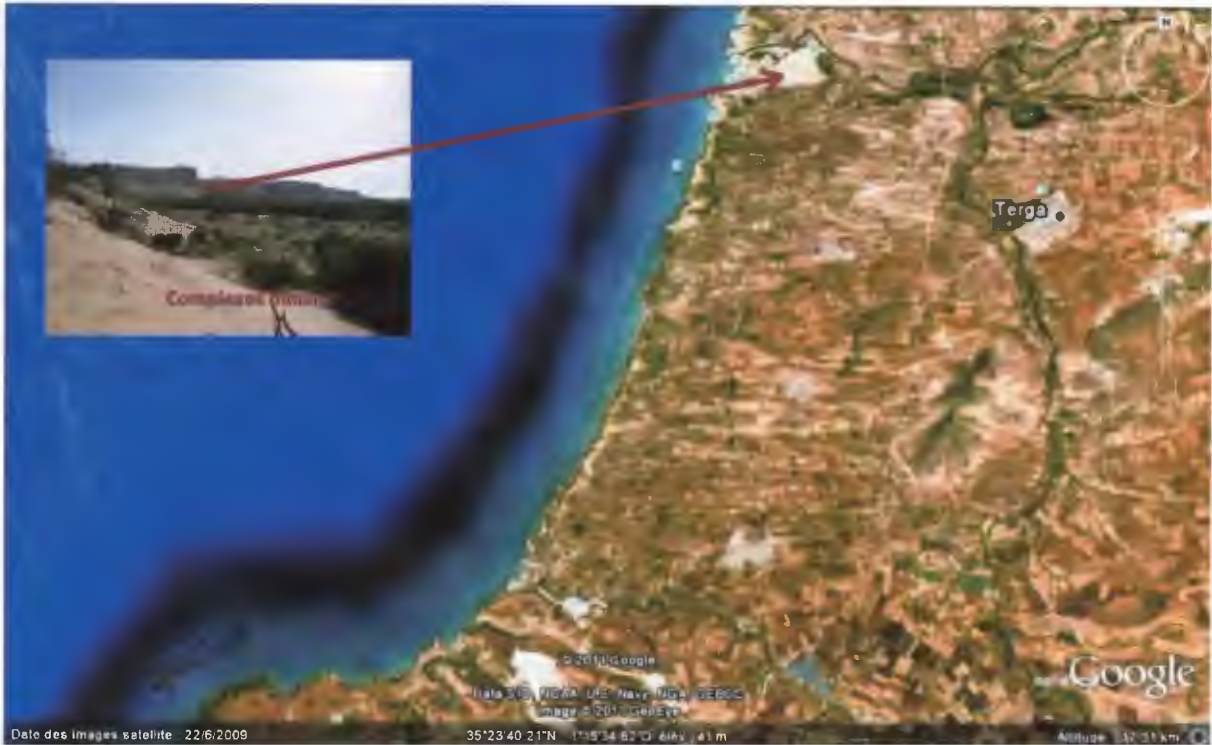
car il présente une entité hydrogéologique vulnérable où l'équilibre hydrodynamique entre les eaux douces des complexes dunaires (fig. 3) et les eaux marines demeure perturbé à certains endroits (Mansour et *al.*, 2006). Pour argumenter l'avancée du biseau salé à l'intérieur du domaine dunaire, nous avons considéré dans un premier temps le chimisme des nappes, ensuite la prospection électrique représentée par les coupes hydrogéologiques orientées perpendiculairement à la côte; démarche réalisée également sur la nappe côtière, à l'est d'Alger (Mania et *al.*, 1985). L'emploi du modèle de Ghyben-Herzberg, basé sur la position des points d'eau par rapport à la mer est venu étayer notre raisonnement.

### 1 - Morphologie de la nappe dunaire et conditions aux limites

Nous avons repris les cartes piézométriques établies par Mansour (1989) et Foukrache (2001) sur lesquelles nous avons procédé à une réactualisation sur la base d'études plus récentes, réalisées par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Oran; ANRH (2010).

En premier lieu, il faut noter que la morphologie générale de la nappe demeure inchangée. Au niveau des vallées, l'écoulement souterrain épouse globalement l'écoulement superficiel suivant une direction générale sud-nord; il s'agit essentiellement d'un aquifère type nappe de vallée. Mis à part l'anomalie piézométrique, due à l'influence des pompages (forage F2) au niveau d'El Aricha, l'interprétation de la carte piézométrique (fig. 4) fait ressortir quatre unités hydrogéologiques liées à la configuration de l'hydrographie de la région. On distinguera du nord au sud :

- unité de l'Oued Sassel : un petit axe de drainage véhicule les eaux vers la mer; l'autre partie de la nappe est drainée vers le sud-ouest;



**Fig. 3 -** Vue satellitaire et photo des complexes dunaires de la vallée de Terga.

***Satellite and photo sight of the dune complexes of the Terga valley.***

- unité de l'Oued El Maleh : un important axe de drainage draine les eaux souterraines vers la mer. En effet, la vallée forme un véritable réceptacle qui collecte l'ensemble des eaux souterraines et superficielles;

- unité de l'Oued Sennane : l'apparition d'une anomalie piézométrique dépressionnaire paraît à priori liée à une concentration de captage dans le secteur. Entre les trois massifs d'El Maleh (Sidi Kacem, Menguel et Necissa-Tounit), on peut noter l'existence d'un étranglement (gouttière) qui collecte les eaux de la nappe. Le forage F4, débitant 30 l/s est suralimenté par les eaux ascendantes de l'aquifère bicouche formé par les basaltes et les calcaires sous jacents;

- vallées des oueds Sidi Djelloul et El Hallouf: une ligne de partage des eaux sépare les basaltes des calcaires du plateau de Sidi Safi. L'alimentation de la nappe s'opère essentiellement à par-

tir du plateau calcaire. À l'ouest du forage F1, les schistes et quartzites du Djebel Houawria constituent une limite à potentiel nul, faisant obstacle à l'écoulement souterrain.

L'alimentation de ces unités hydrogéologiques se fait essentiellement par transfert latéral à partir des piémonts des formations calcaires et dolomitiques, ceinturant les complexes dunaires.

## **2 - Carte hydrochimique**

Les valeurs observées s'échelonnent entre 500 mg/l au sud-est dans les calcaires liasiques du djebel Menguel et 10.000 mg/l au centre de la vallée de l'Oued El Maleh. La carte des minéralisations montre trois zones sensibles à l'avancée du front qui apparaissent très nettement le long de la côte (fig. 5) :

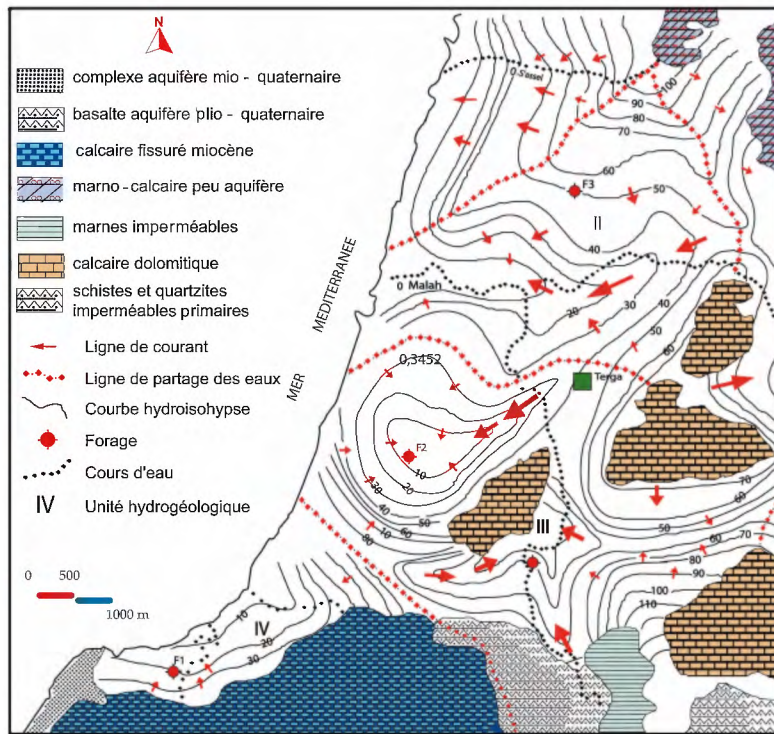


Fig. 4 - Morphologie de la nappe et conditions aux limites des complexes dunaires.  
**Morphology of the dunes complexes layer and boundary conditions.**

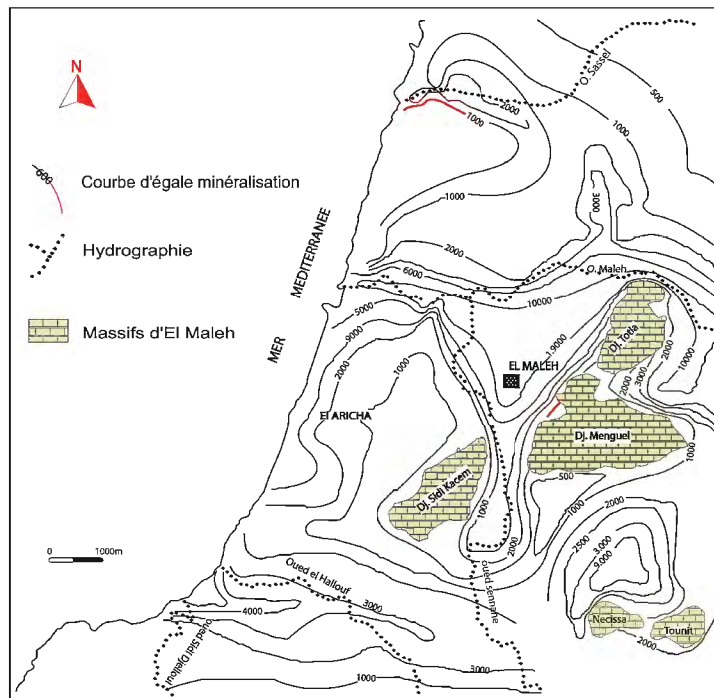


Fig. 5 - Carte des minéralisations des complexes dunaires.  
**Map of the dunes complexes mineralizations.**



- embouchure de l'Oued El Maleh (10.000 mg/l);
- région nord du djebel dunaire d'El Aricha (4.000 mg/l);
- plateau dunaire compris entre les vallées de Sidi Djelloul et d'El Hallouf (5.000 mg/l).

### 3 - Coupes géo-électriques

L'interprétation des travaux de prospection électrique (Rapport ANRH, 2010) appuyée par les données géologiques et la synthèse des forages, nous a permis d'établir des coupes hydro-géologiques orientées perpendiculairement à la côte, mettant en relief la portée de la pénétration de l'interface eau douce – eau salée et de sa profondeur (fig. 6).

- *Coupe A (plateau Ouled Tahoui-Ouled Boudjmaâ)* : l'aquifère est formé par les grès pliocènes, surmontés par les sables dunaires. La profondeur du biseau salé varie entre 25m et 30m. L'avancée des eaux marines atteint 2.500m.

- *Coupe B (Vallée de l'Oued El Maleh)* : l'interface se situe seulement à quelques mètres du niveau du lit de l'oued. La pénétration des eaux marines est notable, empruntant le couloir représenté par la vallée de l'Oued El Maleh. L'avancée de l'interface atteint 6.000m à l'intérieur des terres.

- *Coupe C (Terga - Douar Djebara)* : l'aquifère est formé essentiellement par les complexes dunaires. L'interface se situe entre 12m et 15m de profondeur tout près de la côte pour atteindre 35m à 40m plus au sud au droit des dunes vives. L'avancée des eaux marines atteint 3.000m.

- *Coupe D (versant sud du Djebel Sidi Kacem)* : L'aquifère est formé par les sables et grés dunaires avec une profondeur d'interface de 12m

à 15m. L'avancée du front salé est amortie par la barrière du Djebel Sidi Kacem.

- *Coupe E (vallée de l'Oued Sennane)* : l'interface se situe entre 10m et 12m de profondeur. Une discontinuité géologique (changement latéral brusque de faciès décelé par la géophysique) arrête cependant l'avancée du front salé à 1.800m de la côte.

- *Coupe F (Vallée de l'Oued El Hallouf)* : Les calcaires crayeux du Miocène qui supportent les sables dunaires forment le principal aquifère. L'interface se situe vers 8m de profondeur. La pénétration des eaux marines est contrecarrée par cette discontinuité à 1.200m de la côte.

### 4- Position de l'interface selon le modèle de Ghyben-Herzberg (Herzberg, 1901)

#### - Théorie du principe du mouvement d'interface

On peut admettre que lors du déplacement de deux fluides non miscibles, l'un d'eux déplace entièrement l'autre et une interface est supposée exister. On résout l'équation de continuité par application de la loi de Darcy dans chacun des domaines séparément. Les conditions aux limites qui existent à l'interface sont l'égalité des pressions et l'égalité des vitesses de Darcy.

Les pressions étant ainsi égales sur toute l'interface, on en déduit sa profondeur h :

$$h = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} \cdot H$$

$\rho_1$  : masse volumique de l'eau de la nappe;  
 $\rho_2$  : masse volumique de l'eau de mer;  
 H : pression piézométrique.

Le déplacement de l'interface est donné par la vitesse microscopique moyenne normale des deux fluides à l'interface :  $V = Vn/Wc$  ( $Wc$  : porosité cinématique).

La surface libre et le biseau salé sont des lignes de courant de l'écoulement et les équipotentielles leur sont orthogonales. On observe dans la pratique, une zone de transition entre l'eau douce et l'eau salée dont la faible épaisseur immobile s'explique par le fait que l'eau douce s'écoule vers l'exutoire littoral et entraîne constamment les eaux salées qui diffusent. Partant de l'équation de Ghyben-Herzberg, il devient possible de calculer la profondeur de l'interface qui sera essentiellement fonction de la minéralisation et de la température de l'eau douce. Ainsi, pour une eau de mer moyenne présentant une densité de 1,02812, si H représente la charge de l'eau douce, nous obtiendrons les résultats consignés dans le tableau I :

Au delà de 30 g/l, il y aura entre l'eau de mer et dans certains cas d'eaux hyper-minéralisées du Trias, inversion du phénomène : les eaux continentales s'enfonçant sous les eaux de mer.

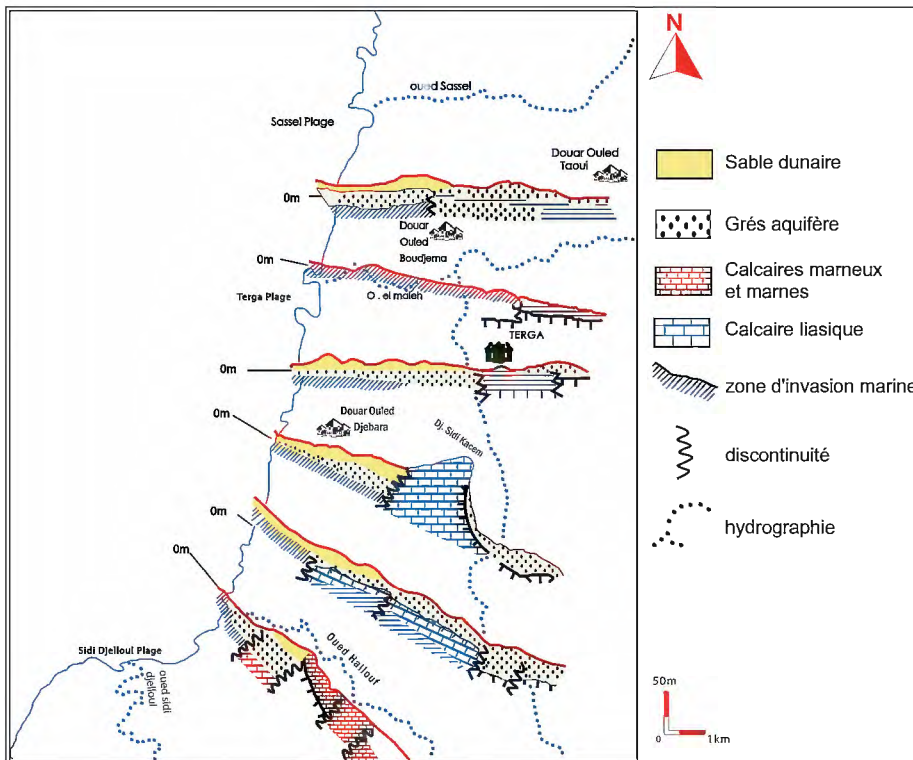
**Tableau I** - Profondeur de l'interface à partir du modèle Ghyben-Herzberg.

*Depth of the interface from the Ghyben-Herzberg model.*

Minéralisation (mg/l)	Densité eau douce	Profondeur interface
0.5	1.00052	40.87 x H
1.0	1.00092	41.57 x H
5.0	1.00412	48.00 x H
10	1.00812	59.70 x H

**- Calcul de la profondeur du biseau salé**

En tenant compte de la composition chimique des eaux douces plus ou moins minéralisées s'écoulant vers la mer ainsi qu'une densité d'eau de mer moyenne égale à 1.02812, nous obtiendrons les résultats consignés dans le tableau II :



**Fig. 6** - Coupes hydrogéologiques schématiques de l'invasion de l'aquifère dunaire par les eaux marines.  
*Hydrogeological schematic cross section of the dunes aquifer invasion by the sea water.*

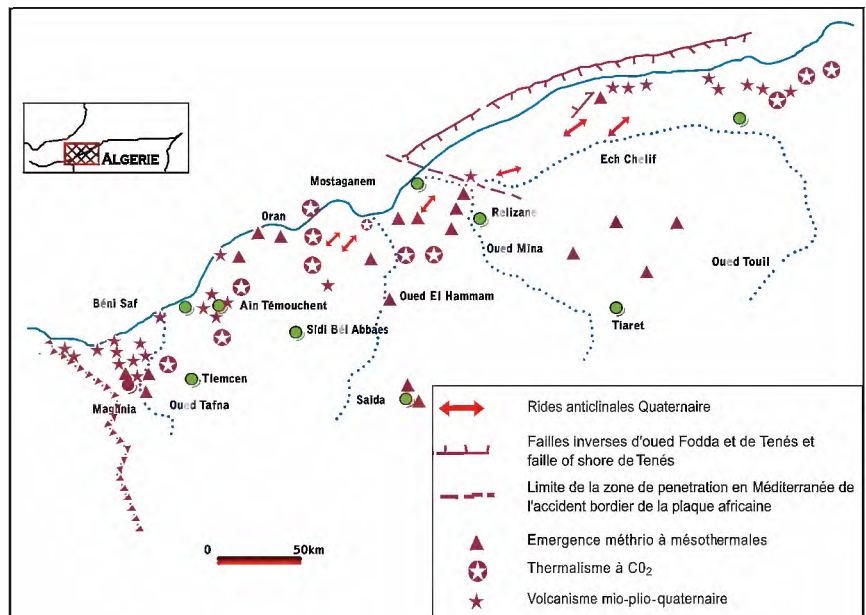
**Tableau II - Profondeurs de l'interface à partir de coupes hydrogéologiques**  
*Depths of the interface from hydrogeological cross section*

Coupes (A à F)	Distance/mer (m)	Minéralisation (mg/g)	Densité (eau douce)	Charge piézométrique H (m)	Profondeur interface (m)
A	2000	2000	1.00172	1.5	56.9
B	700	10000	1.00812	1.0	50.4
C	1500	4000	1.00332	1.8	72.8
D	3000	3500	1.00292	2.5	99.5
E	500	2000	1.00172	2.0	75.5
F	1000	6000	1.00992	1.0	43.3

Si nous prenons l'exemple de la coupe A, nous observons au contact côte/mer, une profondeur d'interface de 24m; à 2000m par rapport à la mer, l'interface s'approfondit à 57m. Ainsi, plus la distance par rapport à la mer est importante et plus l'interface se situe à une profondeur plus grande (Custodio, 2002). La profondeur du biseau salé selon le modèle de Ghiben-Herzberg paraît plus grande par rapport à celles estimées à partir des coupes hydrogéologiques. Ceci paraît logique car la prospection électrique donne la profondeur du biseau salé juste à la limite entre la côte et la mer alors que le modèle tient surtout compte de la position des points d'eau par rapport à la mer.

### III - INTERACTION ENTRE LES SYSTÈMES KARSTIQUES ET LA MER

Les études géothermiques (Kazi Tani, 1986) montrent la présence d'un volcanisme apparent sur la Tafna, à Aïn Témouchent comme à Mohammédia (ex. Perrégaux) ou sur la Mitidja. Il est considéré comme responsable aussi bien des émissions carbo-gazeuses observées sur de nombreuses sources (Verdeil, 1988) que d'une augmentation des valeurs du gradient géothermique (fig. 7).



**Fig. 7 - Répartition des sources thermominérales à dégagement gazeux sur le littoral oranais**

*Distribution of thermo mineral springs gassing on the Oran coast*

## 1 - Origine de la minéralisation des eaux du karst

Les liaisons établies entre les conduits karstiques et le milieu marin montrent deux cas de figure : une origine connue avec plusieurs variantes et une autre plus difficile où le lessivage des apports par les évaporites reste une origine à prendre en considération.

### - *Minéralisation connue*

- Pénétration de l'eau salée dans les conduites karstiques comme à travers les formations alluvionnaires.
- Pénétration de l'eau souterraine dans la mer. Les exutoires peuvent se trouver étagés. Le contact pouvant se faire en conduits libres ou sous les alluvions.
- Pénétration simultanée d'eau karstique dans la mer et d'eau de mer dans le karst par un système d'aspiration d'eau de mer par effet venturi et expulsion par une source basse qui commande le dynamisme (Dahmani et Bithorel, 2001).

### - *Minéralisation des apports par les évaporites*

L'origine de la minéralisation n'est pas visible et des apports d'eau ayant lessivé des évaporites sont possibles. En Oranie, les formations géologiques récentes, affectées d'accidents structuraux, masquent les contacts entre conduits karstiques et milieu marin. La recherche d'un modèle explicatif nous conduit à prendre en considération l'émergence carbo-gazeuse d'Aïn Franin, classée dans les eaux thermales de chaleur modérée et à faciès sulfaté calcique, riches en bicarbonates magnésiens. L'émergence de la source se fait à la faveur d'une faille de direction méridienne, limitant le contact d'un ensemble de gypses associés à des dolomies triasiques avec les marnes du Miocène, qui viennent butter à

l'est contre les schistes Primaires du Djebel Khar (fig. 8).

A partir du gradient moyen régional et de la température de l'eau de la source considérée, nous avons estimé la profondeur du réservoir à 700 mètres. Selon ces considérations, nous préjugeons l'existence d'un réservoir carbonaté, qui serait piégé entre les gypses triasiques et les marnes du Miocène. La tectonique régionale des massifs côtiers, responsable de la mise en place des horsts et des grabens aurait engendré la subsidence de ce réservoir carbonaté. Les analyses chimiques effectuées sur cette émergence traduisent une certaine stabilité spatio-temporelle alors qu'une grande variabilité chimique est observée sur les massifs dunaires.

## 2 - Méthode des rapports caractéristiques

A défaut de pouvoir utiliser l'analyse isotopique susceptible de répondre directement à la question posée, nous avons cherché en nous fondant sur l'étude des rapports caractéristiques s'il ne serait pas possible d'améliorer l'explication sur les diverses origines de contamination des aquifères côtiers, notamment ceux ayant une relation avec les niveaux évaporitiques qui paraissent pouvoir être rattachés au Trias.

### - *Rapport Cl/TAC*

Le standard a été défini à Salinas Valley en Californie à partir du rapport Cl/TAC (Barbecot, 1999). Les valeurs croissantes traduisent la contamination progressive de la nappe d'eau douce par la mer. En Oranie, nous avons rencontré tous les stades possibles de la contamination. Ces résultats appellent toutefois quelques remarques :

- Les eaux de la mer, des étangs, des sebkhas et des chotts présentant des rapports identiques.
- À Aïn Ouarka (Aïn Sefra), Arbal (Tafraoui, Oran) les valeurs très élevées ne traduisent pas

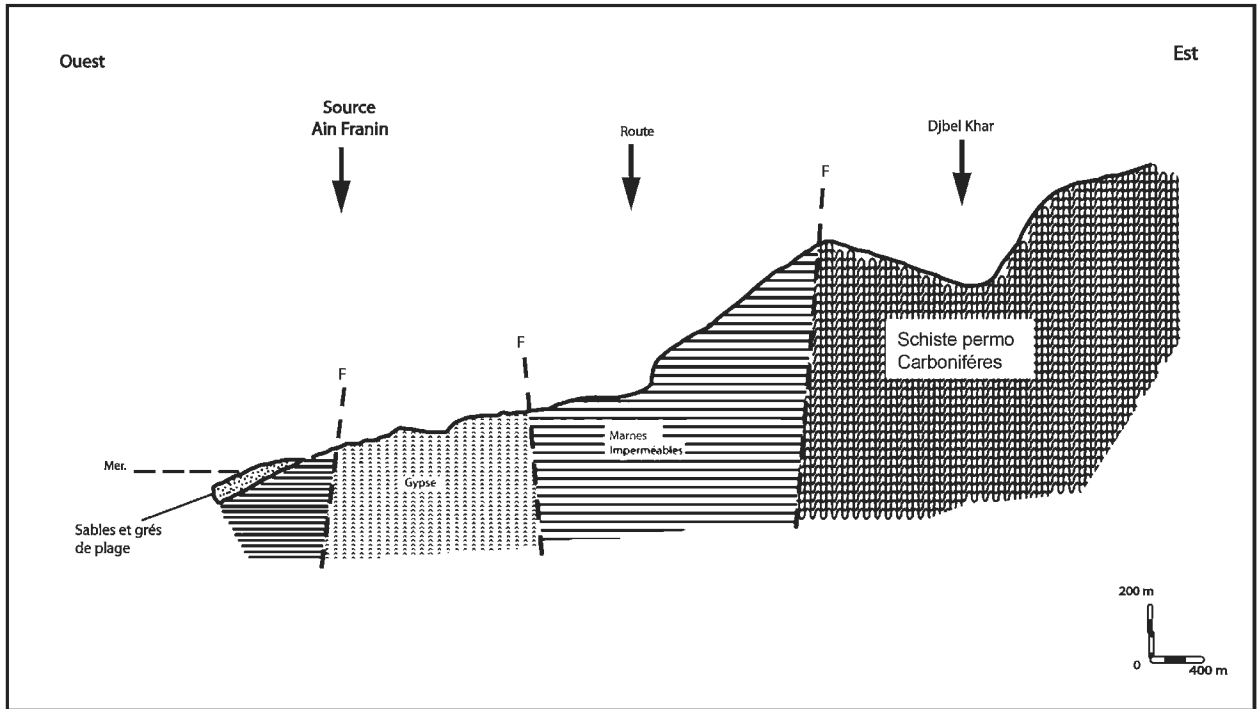


Fig. 8 - Cadre géostructural d'émergence de la source thermique de Aïn Franin.

**Geostructural Setting emergence of the Aïn Franin hot springs.**

l'influence de la mer mais celle des évaporites du Trias sur la minéralisation des eaux.

- À Aïn Franin, Hammam Selama, les valeurs peu élevées ne témoignent pas de l'absence d'une contamination mais sont l'effet du déséquilibre entraîné par la surcharge carbogazeuse au niveau des sources.

Finalement, le standard américain reste intéressant lorsque dans un secteur connu on veut étudier la progression d'une contamination saline mais il n'est d'aucun secours pour préciser l'origine de cette contamination.

**- Rapport  $Br^- / Cl^-$  -**

Ces deux anions forment ainsi un bon couple de traceurs concernant l'origine d'une eau et justifie l'utilisation courante du rapport  $Br^- / Cl^-$  pour l'étude des eaux souterraines (Davies et al., 2001). Il est souvent utilisé pour discriminer une

eau ayant été en contact avec des évaporites. Si en période de non alimentation pluviale, on suit l'évaporation des eaux dans une sebkha (grande sebkha d'Oran – sebkha du Soldat – sebkha des coteaux du Hamoul), un chott (Chergui), on constate parallèlement au dépôt des divers systèmes d'évaporites une concentration du Brome dans les eaux mères (Mansour et al., 2006).

La cristallisation finale conduira à des mélanges isomorphes avec les chlorures des métaux légers qui constituent la tête de la série évaporitique : Carnallite et Bischofite.

Vinogradov (1944) montre que le rapport  $Br^- / Cl^-$  permet de caractériser l'origine du Brome :

- Les eaux en contact avec de la halite qui est l'un des premiers termes cristallisés alors que le brome reste en solution, en contiennent très peu: le rapport est inférieur à  $2,5 \cdot 10^{-3}$ .

- Les eaux de mer actuelles et anciennes présentent un coefficient dit normal, le rapport est compris entre  $2,5$  et  $3,3 \cdot 10^{-3}$ .
- Les eaux dérivées d'anciennes saumures ou ayant rencontré des évaporites de tête de série présentent des valeurs comprises entre  $3,3$  et  $6,6 \cdot 10^{-3}$ .

Les analyses que nous avons effectuées sur différentes catégories d'eau, nous ont conduits à présenter la classification suivante concernant le rapport Br/Cl :

- eaux chlorurées à hyperchlorurées :  $2,1 \cdot 10^{-6}$  à  $1,2 \cdot 10^{-5}$ ;
- eaux en contact avec la halite :  $0,23$  à  $1,4 \cdot 10^{-3}$ ;
- eaux de mer actuelles :  $2,8$  à  $3,54 \cdot 10^{-3}$ ;
- eaux en contact avec d'anciennes saumures ou d'évaporites :  $> 3,05 \cdot 10^{-2}$ .

Dans les eaux souterraines dites normales, le Brome y est présent avec des teneurs allant de l'état de traces non dosables à  $1$  mg/l. Pour le chlore, les concentrations sont peu élevées en climat tempéré ( $40$  mg/l pour les eaux des forages) alors qu'en régime aride, les concentrations sont plus élevées ( $1500$  mg/l dans les eaux des calcaires miocènes du massif du Murdjadjjo à Oran).

L'échelle des valeurs ainsi définie, va nous permettre de reprendre les problèmes posés et de préciser l'origine de la contamination des eaux et, par là même, le contexte lithostratigraphique et structural des émergences.

- Aïn Nouissy.  $R_{br} = 2,6 \cdot 10^{-4}$ . Les eaux sont en contact avec de la halite associée aux gypses dans lesquels est établi le circuit hydrothermal en amont de l'émergence.
- Aïn Dadayoub.  $R_{br} = 12 \cdot 10^{-3}$ . L'émergence est liée à des niveaux évaporitiques de tête de série.

Malgré la proximité de la mer et la circulation des eaux dans des dolomies fissurées, il ne semble pas qu'il y ait une contamination secondaire à ce niveau. Une étude isotopique serait cependant nécessaire pour arriver à une conclusion définitive.

- Aïn Franin.  $R_{br} = 2,2$  à  $2,5 \cdot 10^{-3}$ . L'augmentation progressive de la teneur en chlorures au fil des analyses (de  $795$  mg/l en 1944 à  $905$  mg/l actuellement) avait fait penser à une contamination marine se développant avec le temps. Il ne semble pas que ce soit le cas. Il semble plutôt que la minéralisation soit due à une contamination par de la halite associée (émergence dans les gypses).

Le rapport  $r_{Cl} / r_{TAC}$  varie entre  $0,35$  à  $0,62$  ne peut présenter de signification en raison du caractère carbogazeux de la source.

- Hammam Madagh.  $R_{br} = 1,4 \cdot 10^{-3}$ . La faible teneur du rapport conforterait l'hypothèse d'une contamination par de la halite, étant donné les conditions structurales du secteur. La présence de dolomies dans lesquelles circulent les eaux est confirmée par la valeur élevée du rapport caractéristique  $r_{Mg} / r_{Ca} = 1,23$ .

- Source de Kristel.  $R_{br} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ . -  $Cl / TAC = 1,84$ . -  $r_{Mg} / r_{Ca} = 0,68$ . On observe un léger déséquilibre qui conduit à penser à une mise en contact avec de la halite, l'indépendance avec le milieu étant marqué par la faiblesse des rapports  $r_{Mg} / r_{Ca}$ .

#### IV - CONCLUSION

Le littoral oranais soumis à un régime méditerranéen, montre cependant un micro-climat, commandé par un effet de Foehn (apports par condensation qui réalimentent les aquifères situés en contrebas des massifs côtiers). L'intrusion marine a été analysée selon deux contextes hydrogéologiques différents :

- En milieu continu, dans les complexes dunaires, l'interprétation de la cartographie hydro-géochimique couplée à l'utilisation de la méthode de Ghyben-Herzberg a permis de faire ressortir une contamination majeure par le front salé empruntant le couloir de l'Oued El Maleh. Ainsi, le long de la côte, dans la basse vallée de la Tafna, la pénétration de l'interface eau douce-eau salée et de sa profondeur ont été mises en évidence.

- En milieu discontinu, particulièrement dans les circuits hydrothermaux, les contacts entre les eaux souterraines profondes et les niveaux évaporitiques, rattachés au Trias sont plus ou moins marqués. La minéralisation des aquifères côtiers peut ainsi avoir une origine complexe due à la fois à une contamination par le milieu marin et à la présence en profondeur de gisements d'halite.

L'apport de l'hydrochimie, basée sur l'utilisation du rapport Brome/Chlore s'est révélé un bon indicateur quant à l'origine minérale de certains circuits hydrothermaux. La faible valeur du rapport Brome/Chlore conforterait l'hypothèse d'une contamination par de la halite.

## BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES ANRH. 2010.** Rapports hydrogéologiques internes. Terga, wilaya de Témouchent.
- BARBECOT, F. 1999.** Approche géochimique des mécanismes de salinisation des aquifères côtiers. *Thèse de doctorat, Paris XI*, 261p.
- CUSTODIO, E. 2002.** Coastal aquifers as important natural hydrogeological structures. In : Bocanegra, Martines and Massone (Editors), *Groundwater and human development*, pp. 1905-1918.
- FENET, B. 1975.** Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogène Nord Maghrébin : les monts du Dj. Tessala et les massifs du littoral oranais. *Thèse de doctorat ès Sciences. Univ. de Nice*, 301p., 101 fig., 4pl.
- DAHMANI, B ET BITHOREL, C. 2001.** Déminéralisation des eaux saumâtres de Brédéah dans la région du bassin hydrogéologique oranais. *Revue désalinisation*, 137, pp. 297-309. 3 fig., 7 tab.
- DAVIES, S.N., CECIL, L.D., ZREDA, M. AND MOYSEY, S. 2001.** Chlorine-36, Bromide and the Origin of Spring Water. *Chemical geology*, 179, pp. 3-16.
- FOUKRACHE, M. 2001.** Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew – Béni Saf). *Thèse de Magister*, 321p., 140 fig., 94 tab.
- GUARDIA, G. 1975.** Géodynamique de la marge alpine de l'Oranie Nord Occidentale. *Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Nice*, 289p.
- HERZBERG, A. 1901.** Die Wasserversorgung einiger Noordseebäder. *Jour. für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. München*, 44, pp. 815-819; pp. 842-844.
- ISSAADI, A. 1992.** Le thermalisme dans son cadre géostructural. Apport à la connaissance de la géologie profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. *Thèse de doctorat d'état. Univ. Alger*, 253p.
- ISSAADI, A. 1996.** Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux thermominérales algériennes. *Bull. Serv. Géol de l'Algérie*, vol. 7, n° 1, pp.71-85, 8 fig., 4 tab.
- KAZI TANI, N. 1986.** Evolution géodynamique de la bordure nord africaine. Approche mégaséquentielle. *Thèse de doctorat ès Sciences. Université de Pau*, 871p.
- MANIA, J., IMERZOUGUÈNE, S. ET BRAILLON, J.M. 1985.** Pollution marine de la nappe côtière à l'Est d'Alger. *BRGM*, n° 3, pp. 213-226.
- MANSOUR, H. 1989.** Hydrogéologie des complexes dunaires à l'ouest d'Oran. *Thèse de Magister. Université d'Oran*, 320p., 142 fig., 73 tab.
- MANSOUR, H., FOUKRACHE, M ET ZEROUAL, I. 2006.** Apport de l'hydrochimie pour l'exploration des eaux souterraines de l'aquifère côtier oranais. *Revue Géomagheb*, n° 03, pp. 11-18. Maroc.

- VENGOSH, A., MAREI, A., GUERROT, C. AND PANKRATOV, I. 2002.** An enigmatic salinity source in the Mediterranean coastal aquifer and Gaza Strip: utilization of isotopic (B, Sr, O) constraints for searching the sources of groundwater contamination. *Goldschmidt Conference, Davos, Switzerland, August*, pp. 18-23.
- VERDEIL, P. 1988.** Les karsts du bord de mer et les problèmes de contamination par le biseau salé. *6<sup>o</sup> coll. Hydrol. Pays. Calc. Besançon, 3<sup>ème</sup> série*, vol. n°6, 245p.
- VINOGRADOV, A.-P. 1944.** The Cl/Gr coefficient of underground waters. *Ac. Scr. URSS*, vol. 44, pp. 74-77.