

Hydrologie et bilans d'eau d'un barrage en zone karstique semi-aride: Hammam Grouz (Oued Rhumel, Algérie)

N. MIHOUBI¹, A. MEBARKI¹ & B. LAIGNEL²

¹ LASTERNE Laboratoire de recherche, Université de Constantine 1, Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, route d'Ain El Bey, 25000 Constantine, Algérie.
naouelmihoubi@yahoo.fr; az.mebarki@yahoo.com

² UMR CNRS 6143 M2C, Département de Géologie, Université de Rouen, Bâtiment IRESE A, Place E. Blondel, F 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France.
benoit.laignel@univ-rouen.fr

ملخص: يتمحور هذا البحث حول دراسة حوض أعالي رومال (1130 كلم²) حيث تعتبر العينات الهيدرولوجية منتظمة من خلال سد - خزان حمام غروز، الواقع في السهول الشبه قاحلة لمدينة قسنطينة. يحتوي هذا السد على تشكيلات كارستية والتي يظهر من خلالها العديد من المنابع المعدنية الحارة. تتم دراسة العمل الهيدرولوجي للسد (بقدره 45 hm³) من خلال معطيات حصيلة الضبط الشهري للفترة الممتدة ما بين سبتمبر 1987 إلى أوت 2010 فيما يخص تغير صبيب المنابع و السلوك الديناميكي لكارست. بعد العجز الكبير الذي شهدته خمسة عشر سنة من استغلال الخزان، إن الأمطار الاستثنائية للسنة الهيدرولوجية 2003/2002 تعتبر من الأمطار الأولى للسد، حيث نتج عنها مستوى ملحوظ لتسرب المياه و التي تم التأكد منها من خلال التخطيط الكيميائي.

يوضح التحليل المقارن للعينات المحسوبة في السد (أو روافد) مع تلك التي تم قياسها في محطة القياس الواقعة في المنبع، حجم التسربات التي قد تكون أكثر أهمية من التي تم قياسها في المنبع الوحيد لمنطقة حمام لذلك يستوجب تحقيق مورفولوجي و هيدرولوجي - جيولوجي معمق على الصعيد المحلي للنظام الهيدرولوجي.

الكلمات الأساسية: هيدرولوجيا، كارست، تسرب المياه، سد حمام غروز، واد رومال.

Résumé: Ce travail de recherche s'intéresse au bassin du haut Rhumel (1130 km²) dont les apports hydrologiques sont régularisés par le barrage-réservoir de Hammam Grouz. Situé dans les Hautes Plaines semi-arides constantinoises, ce bassin renferme des formations karstiques à partir desquelles émergent plusieurs sources, en partie thermales. Le fonctionnement hydrologique du barrage (capacité: 45 hm³) est étudié à travers les données du bilan de régularisation mensuelle de la période de septembre 1987 à août 2010, de l'évolution des débits des sources et du comportement dynamique du karst.

Après le sévère déficit qui a caractérisé quinze années d'exploitation de la retenue, les apports pluvieux exceptionnels de l'année hydrologique 2002/2003 sont à l'origine du premier déversement de crue du barrage et ont eu, pour conséquence, de remarquables débits de fuites d'eau, confirmées à l'aide des traçages chimiques. L'analyse comparative des apports calculés au barrage (ou affluent) avec ceux mesurés à la station de jaugeage, située à l'amont, a mis en évidence des volumes de fuites qui pourraient être plus importants que ceux mesurés aux seules sources du Hammam. Une investigation morpho-structurale et hydrogéologique approfondie s'impose à l'échelle régionale de l'hydrosystème.

Mots clés : hydrologie, karst, fuites d'eau, barrage de Hammam Grouz, Oued Rhumel.

Abstract: This hydrological research, focuses on upper Oued Rhumel basin (1130 km²), controlled by the Hammam Grouz Dam. This basin located at the semi arid High Plains region of Constantine contains karst formations drained by several springs, partly hydrothermal. The aim of this paper is the assessment of water dam leaks according to the water balance in the dam, springs discharge and other karst dynamic behaviors. The hydrological functioning of the dam (capacity: 45 hm³) is studied using data from the monthly balance of the reservoir, covering the period from September 1987 to August 2010. After the hard deficit observed during fifteen years of exploitation of the reservoir, the floods of the high rainy 2002/2003 year are at the origin of the first discharge of the spillway. Eventually, remarkable flow leaks were observed, which were confirmed using dye tracers. Analysis of the calculated inflow of the dam reservoir compared with discharge measured at the gauging station located at the upstream of the dam has revealed leakage. The leakages appear to be much larger than those measured at Hammam Grouz springs.

More detailed morpho-structural and hydrogeological studies are required to be applied at the regional scale of the hydrosystem.

Key words : hydrology, karst formations, leakages, Hammam Grouz dam, Rhumel.

1. Introduction

Le contexte géologique est un élément fondamental dans le choix des sites appropriés à la construction de barrages-réservoirs. Dans le cas particulier des formations calcaires, siège d'une évolution karstique, le phénomène de fuites d'eau à travers les rives et les fondations, s'avère souvent un frein redoutable à l'exploitation des retenues.

Comme Hammam Grouz, situé à proximité de la

ville de Oued Athménia (wilaya de Mila), plusieurs autres barrages en Algérie se sont trouvés confrontés à ce phénomène: Cheurfas (Oued Mebtouh) près d'Oran (GILI et al., 2004), Ouizert (Oued Sahouat) au Sud Ouest de la wilaya de Mascara (BENFETTA & REMINI, 2008), Foum El Gherza (Oued El Abiod) près de Biskra (REMINI, 2007). Dans le monde, des cas similaires sont cités par GILI et al. (2004): Montejaque (Rio Gaduares, Andalousie), Hales Bar (Tennessee, États-Unis), Keban (Euphrate, Turquie), Saint-Guilhem le Désert (Hérault, France).

Le barrage de Hammam Grouz régularise les eaux du bassin de l'oued Rhumel (1130 km²), à des fins d'alimentation en eau potable de Constantine, l'une des plus grandes villes de l'Est algérien (Figure 1).

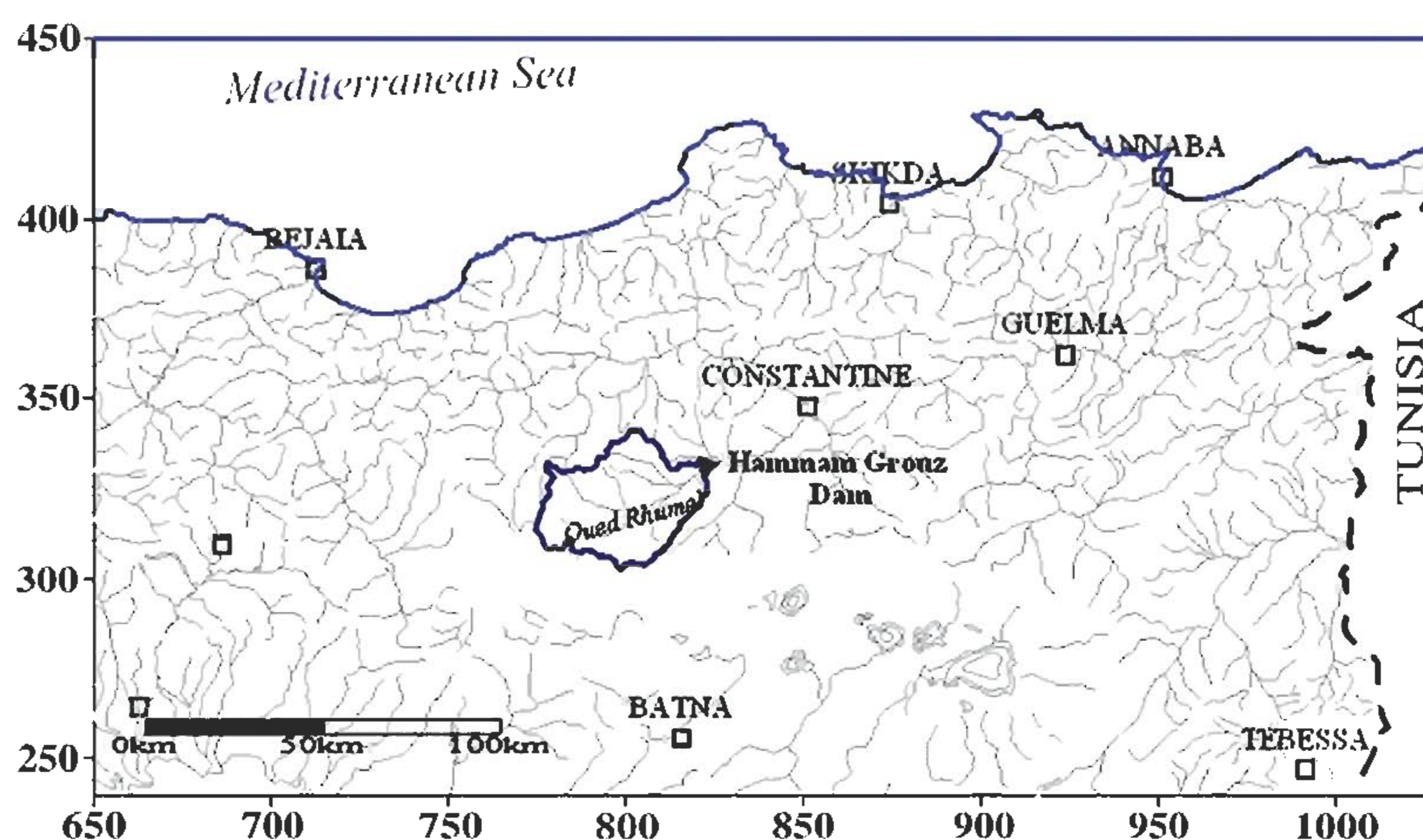


Fig. 1 Localisation du bassin de l'oued Rhumel au barrage de Hammam Grouz

Ce barrage est construit dans une cluse calcaire (Djebel Grouz), émergeant au sein d'un relief de hautes plaines dont la bordure Nord s'apparente aux collines du Tell méridional. Comme le montre la figure 2, le relief du bassin est représenté à partir du

Modèle Numérique de Terrain à maille de 100 m en coordonnées Lambert Nord Algérie, dérivé du MNA SRTM3 - Shuttle Radar Topography Mission – à maille de 90 m et traité à l'Université de Sophia-Antipolis (REZAK et al., 2012).

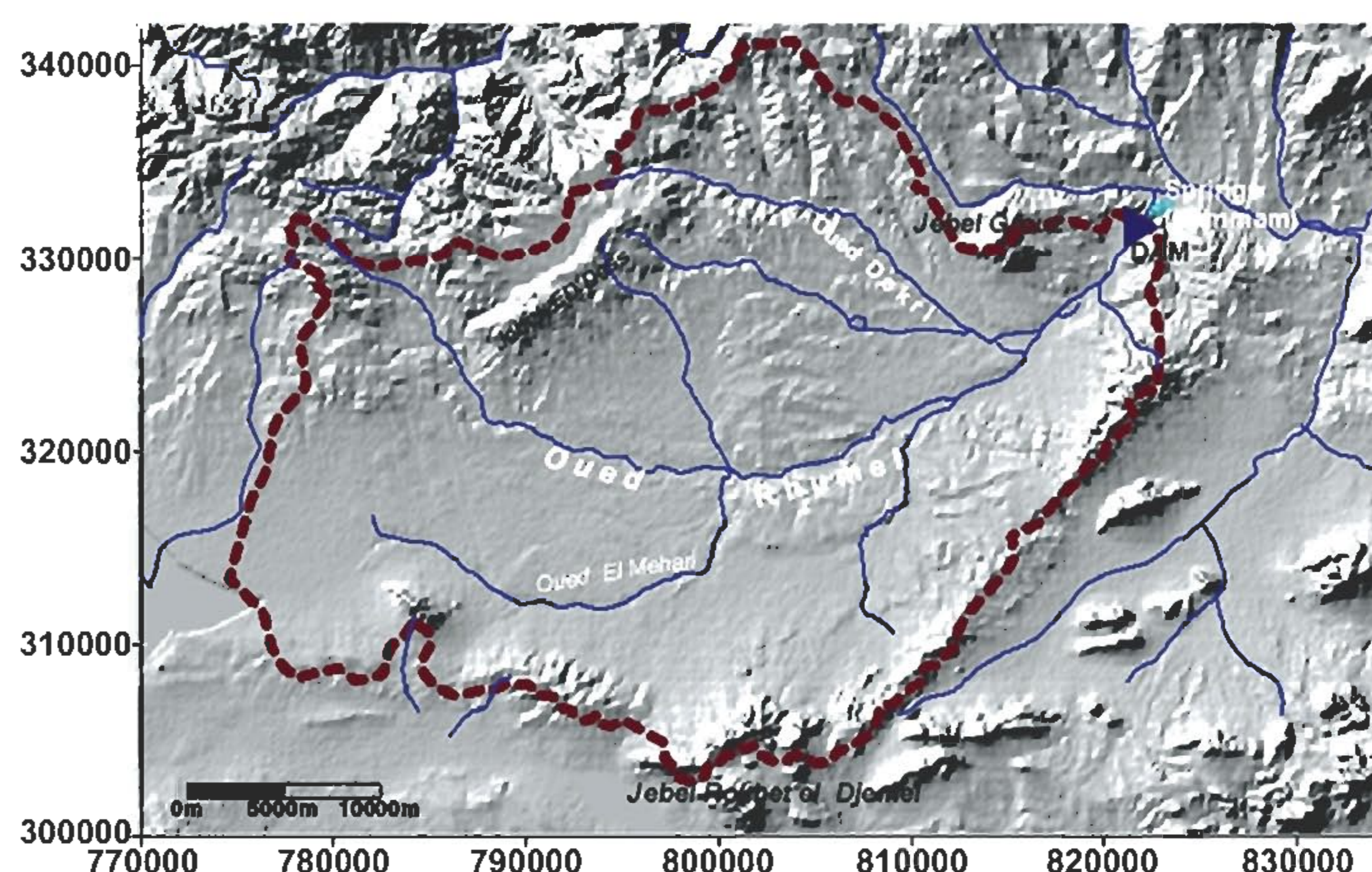


Fig. 2 Relief du bassin du haut Rhumel, vu à travers un Modèle Numérique de Terrain (MNT à maille de 100 m, coordonnées métriques Lambert Nord Algérie)

Dès sa mise en chantier en 1983, la présence du karst (cavités, fissures, dolines) sur le site de l'ouvrage a constitué le premier obstacle, auquel il a fallu parer par la mise en place d'un système d'étanchéité (béton projeté, tapis argileux sur 33 ha) (BINNIE ET PARTNERS, 1980; MEBARKI, 1994). Les problèmes sont apparus concrètement avec les apports pluvieux exceptionnels de l'année hydrologique 2002/2003 qui ont engendré de remarquables débits de fuites d'eau, et l'apparition d'importants gouffres au sein de la retenue (MEBARKI, 2009; MIHOUBI, 2009).

Le calcul du bilan d'eau du réservoir d'une part et les traçages chimiques d'autre part, ont confirmé l'ampleur des fuites d'eau et la complexité du système karstique régional.

2. Caractéristiques du bassin versant et du barrage

2.1 Contexte hydrogéologique et système karstique

Le bassin du haut Rhumel correspond aux Monts de Constantine, mais fait déjà partie, à l'Ouest, des Hautes Plaines sétifiennes. Il appartient à la chaîne alpine d'Algérie (plus précisément aux zones externes, segment de la chaîne des Maghrébides),

à cheval entre les séries pénitelliennes et les formations néritiques (WILDI, 1983). D'origine continentale, en majeure partie lacustre, les terrains superficiels du Mio-pliocène occupent de vastes espaces; les formations quaternaires, très peu épaisses, sont bien développées le long de la vallée du Rhumel et son affluent, l'oued Dekri. Les massifs rocheux carbonatés karstifiés, d'âge Crétacé à Eocène, émergent en horsts et grabens d'un ensemble de terrains à dominante marneuse (VILA, 1980).

Les principales formations hydrogéologiques sont: la nappe libre des formations du recouvrement mio-plio-quaternaire, l'aquifère de l'Eocène dont la capacité d'accumulation est liée aux intercalations perméables, et enfin, l'aquifère des massifs calcaires du Crétacé, à perméabilité en grand (Figure 3). Ces aquifères peuvent être en liaison les uns avec les autres, à l'occasion de fractures. Au pied du Djebel Grouz, l'un des massifs fragmentés du néritique constantinois, limité par d'importantes failles favorisant la karstification actuelle, émergent les sources de Hammam Grouz (DUROZOY, 1960). Le réseau à l'amont de ces émergences est caractérisé par des relais profonds et lointains, provoquant souvent un certain thermalisme (VOUTE, 1967).

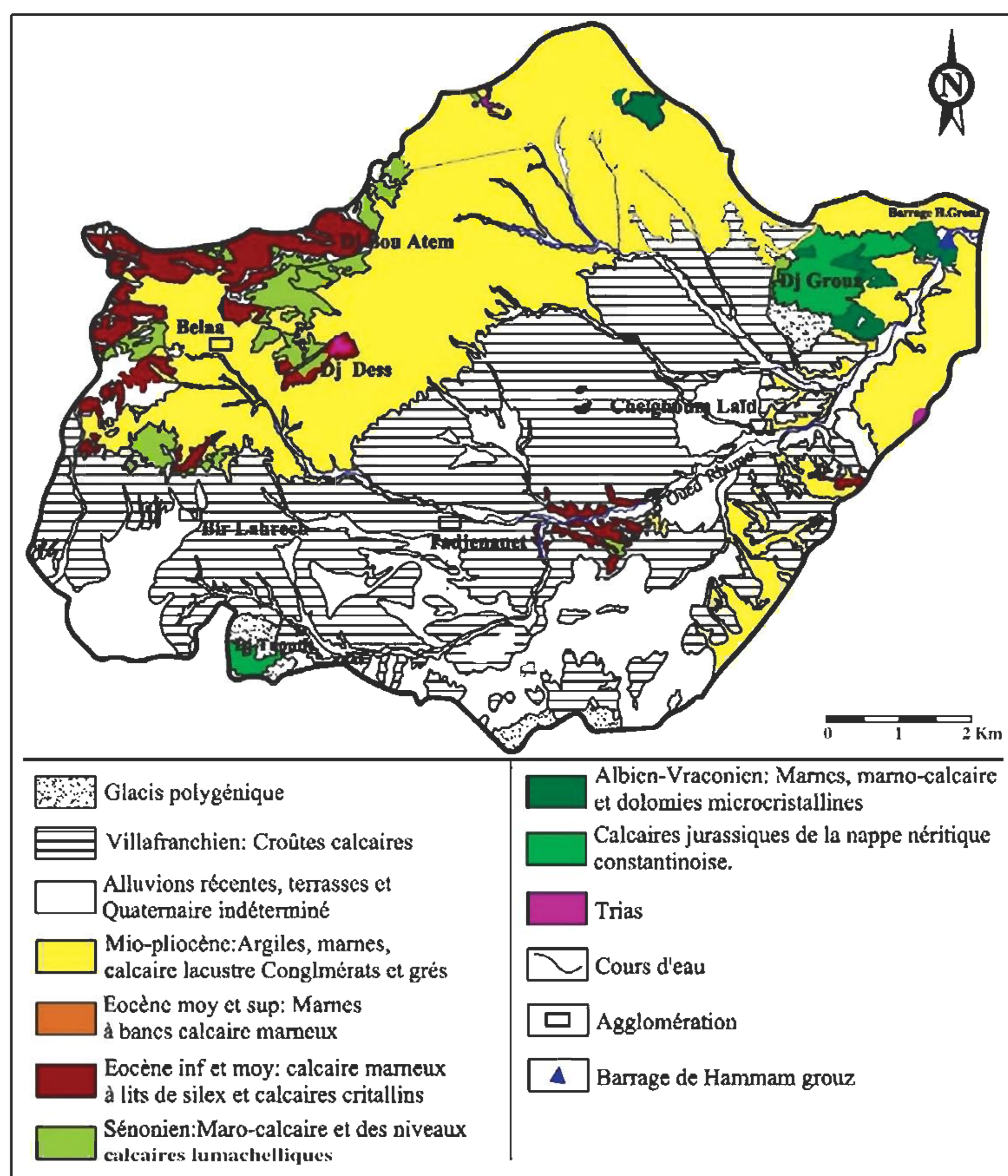


Fig. 3 Contexte géologique et hydrogéologique du bassin du haut Rhumel

2.2 Hydrologie du Haut Rhumel

Le bassin versant est soumis au climat semi aride (400 mm de pluies par an au Sud, plus de 500 mm par an au Nord; évaporation annuelle: 1100 mm). La station de jaugeage de Oued Athménia, située à l'amont immédiat du barrage, a permis d'estimer à 0.52 m³/s la moyenne interannuelle des débits de l'oued Rhumel (séries: 1964-1984 et 1993-2005), soit une lame d'eau écoulee de 14.4 mm/an (MIHOUBI, 2009). S'agissant des années hydrologiques exceptionnelles 2002/2003 et 2004/2005 qui ont fortement influencé la

vie du barrage, le débit moyen annuel a atteint respectivement 2.09 m³/s (avec un pic de 136 m³/s enregistré le 25 janvier 2003) et 1.99 m³/s. Le débit de base de l'oued Rhumel en étiage, se situe autour de 90-100 l/s (MEBARKI & THOMAS, 1988).

2.3 Caractéristiques du barrage Hammam Grouz

Le barrage est en béton poids, d'une hauteur au dessus de la fondation de 49.5 m et d'une longueur en crête de 217 m (BINNIE & PARTNERS, 1980) (Photos 1 et 2).



Photo. 1 (ANBT, 29 mars 2005) Vue amont et retenue du barrage de Hammam Grouz



Photo. 2 (ANBT, 11 avril 2005) Vue aval et déversement de crue du barrage de Hammam Grouz

Le barrage comporte un évacuateur de crue (dimensionné pour un débit de 4150 m³/s), une vidange de fond, deux galeries de drainage et trois prises d'eau localisées dans le corps du barrage. Une digue de col en remblai se trouve à l'Est du barrage principal.

La retenue qui s'étend sur une surface inondable de près de 500 ha, représente un volume total de 45 hm³ (dont une tranche morte de 4 hm³) pour une cote de retenue normale de 727 m. Le débit régularisé prévu par les études est de 16 hm³ par an.

3. Données et résultats du bilan de régularisation

3.1 Données et approche du bilan

Les principales données exploitées sont de deux types:

- les données du bilan de régularisation du barrage, établies par l'A.N.B.T. (Agence Nationale des

Barrages et Transferts) au pas de temps journalier, couvrent une période de vingt trois (23) ans, allant de la mise en exploitation de l'ouvrage en septembre 1987 jusqu'à août 2010;

- les données hydrologiques de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). Il s'agit de la série de débits moyens journaliers (septembre 1993 - août 2005) de l'oued Rhumel, issue de la station de Oued Athménia, et des mesures des fuites d'eau (une quarantaine de débits instantanés) effectuées, d'avril 2003 à juillet 2007, sur les sources du Hammam.

Les calculs de l'affluent (apports en écoulement ou entrées) et du défluent (somme des sorties: lâchers et pertes), permettent de suivre l'évolution du gain et perte de capacité de la retenue suivant la relation simplifiée du schéma de la Figure 4. Dans le cadre de ce bilan, l'affluent est dit « négatif » si la perte de capacité du barrage dépasse le défluent (mesures et calculs du bilan à vérifier).

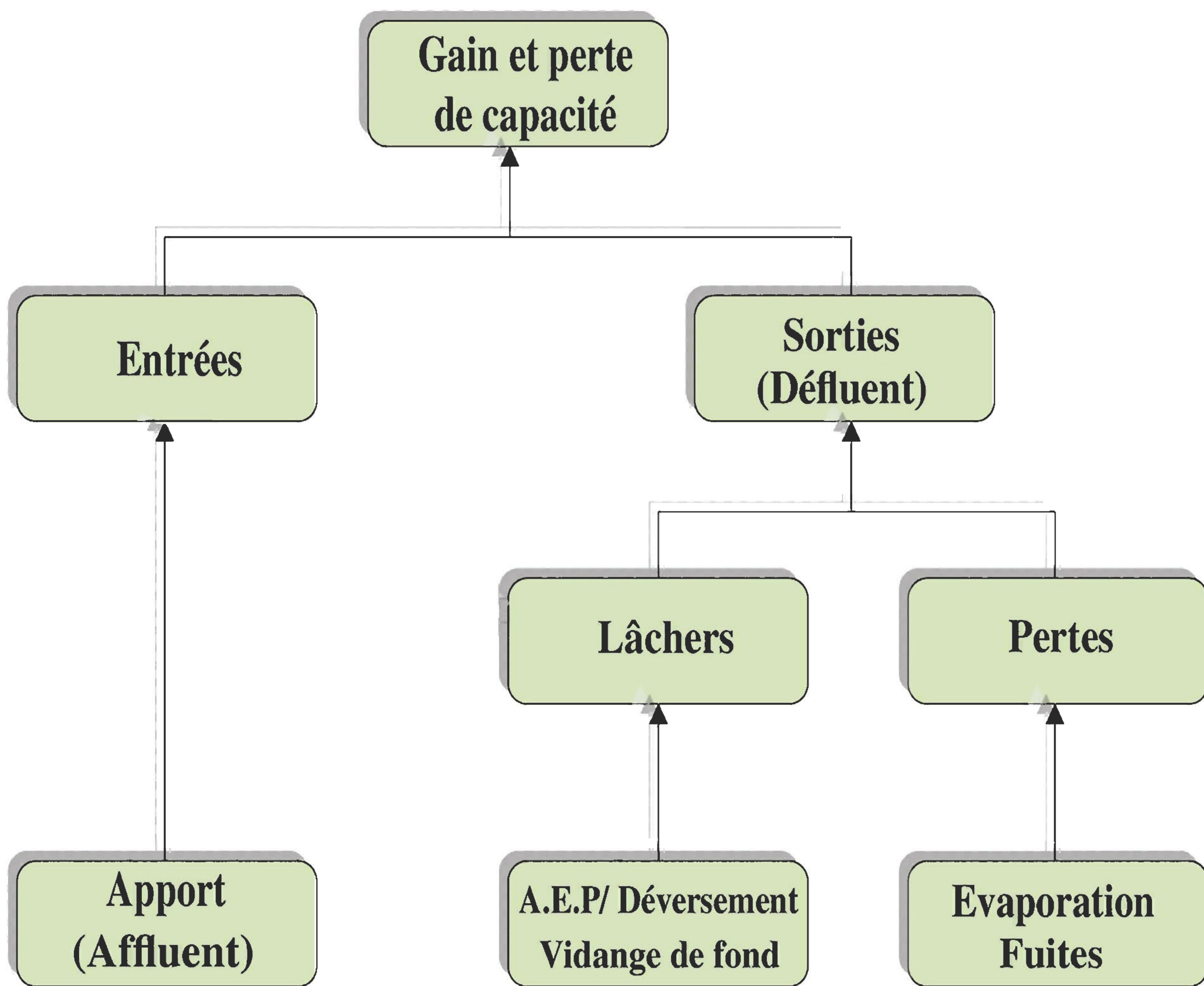


Fig. 4 Schéma représentatif des éléments du bilan d'eau d'un barrage

L'étude de la relation pluie-débit, la comparaison entre apport jaugé et affluent ainsi que le suivi des débits des fuites, sont des étapes indispensables pour l'explication du déstockage anormal constaté au barrage.

3.2 Résultats du bilan de régularisation

Jusqu'à l'année hydrologique 2001/2002, les données de variation de la capacité de fin d'année du barrage traduisent un remplissage modeste de la retenue et donc un faible taux moyen de régularisation interannuelle, de l'ordre de 30% (Figure 5). Cependant, les apports pluvieux exceptionnels de

l'année 2002/2003 sont à l'origine du premier déversement de crue dans la vie du barrage. Le cumul des déversements au terme de l'année hydrologique en question a atteint 10.2 hm³ alors que celui des vidanges de fond a atteint 17.67 hm³ (Tableau 1) (MIHOUBI, 2009).

Cet évènement hydrologique exceptionnel s'est accompagné d'importants volumes de fuites d'eau, apparus au niveau des sources du Hammam, à l'aval de la digue du barrage. Le débit de ces sources qui était en régime naturel moyen de 60-120 l/s, a augmenté de façon brusque, atteignant jusqu'à 1.5 m³/s en avril 2003.

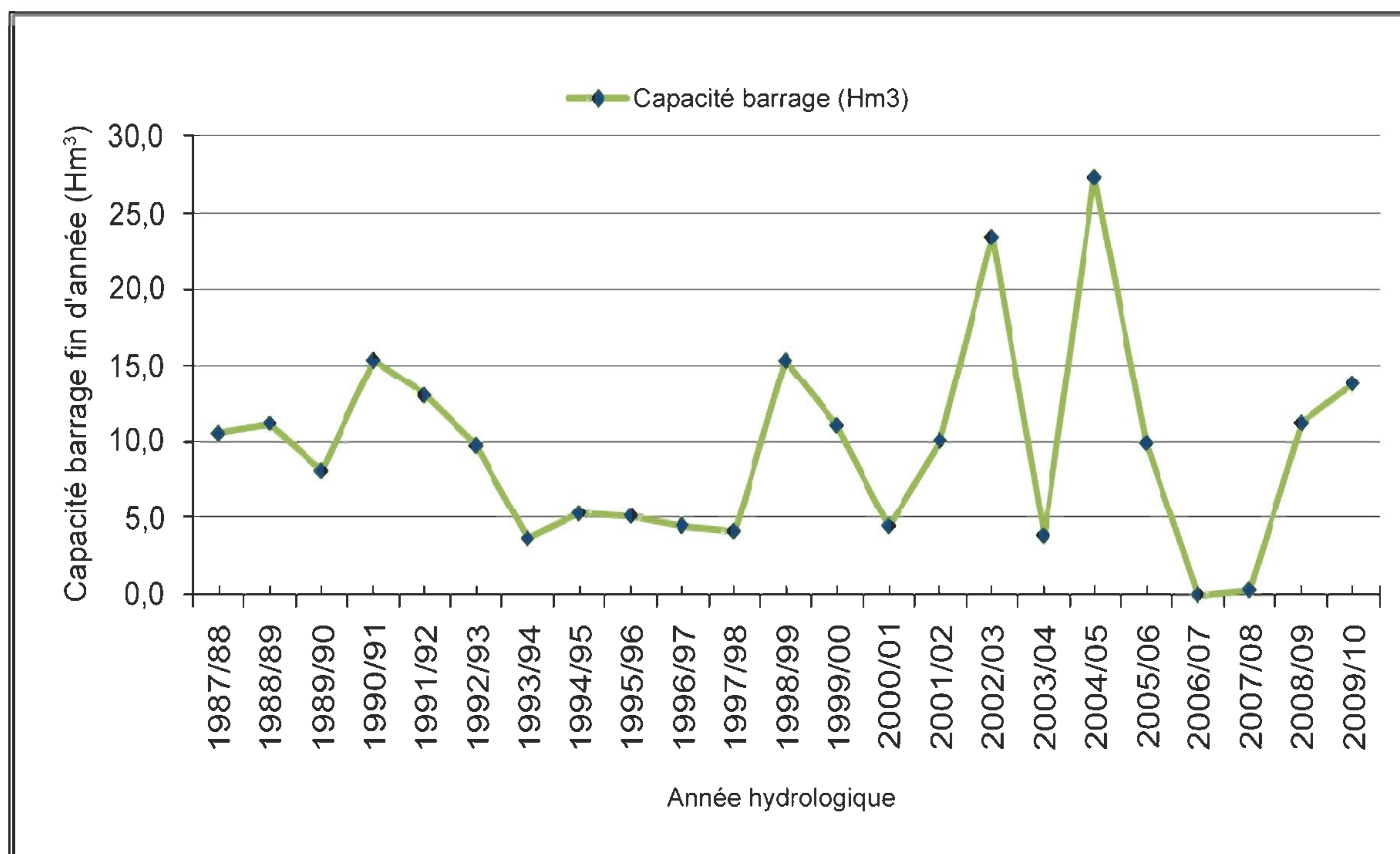


Fig. 5 Variations annuelles de la réserve du barrage Hammam Grouz (de 1987/1988 à 2009/2010)

4. Mise en évidence des débits de fuites

Des écarts importants ont été décelés entre l'affluent (apport au barrage) et l'apport annuel de l'oued Rhumel mesuré à la station de jaugeage, située à l'amont immédiat de la retenue (Figure 6).

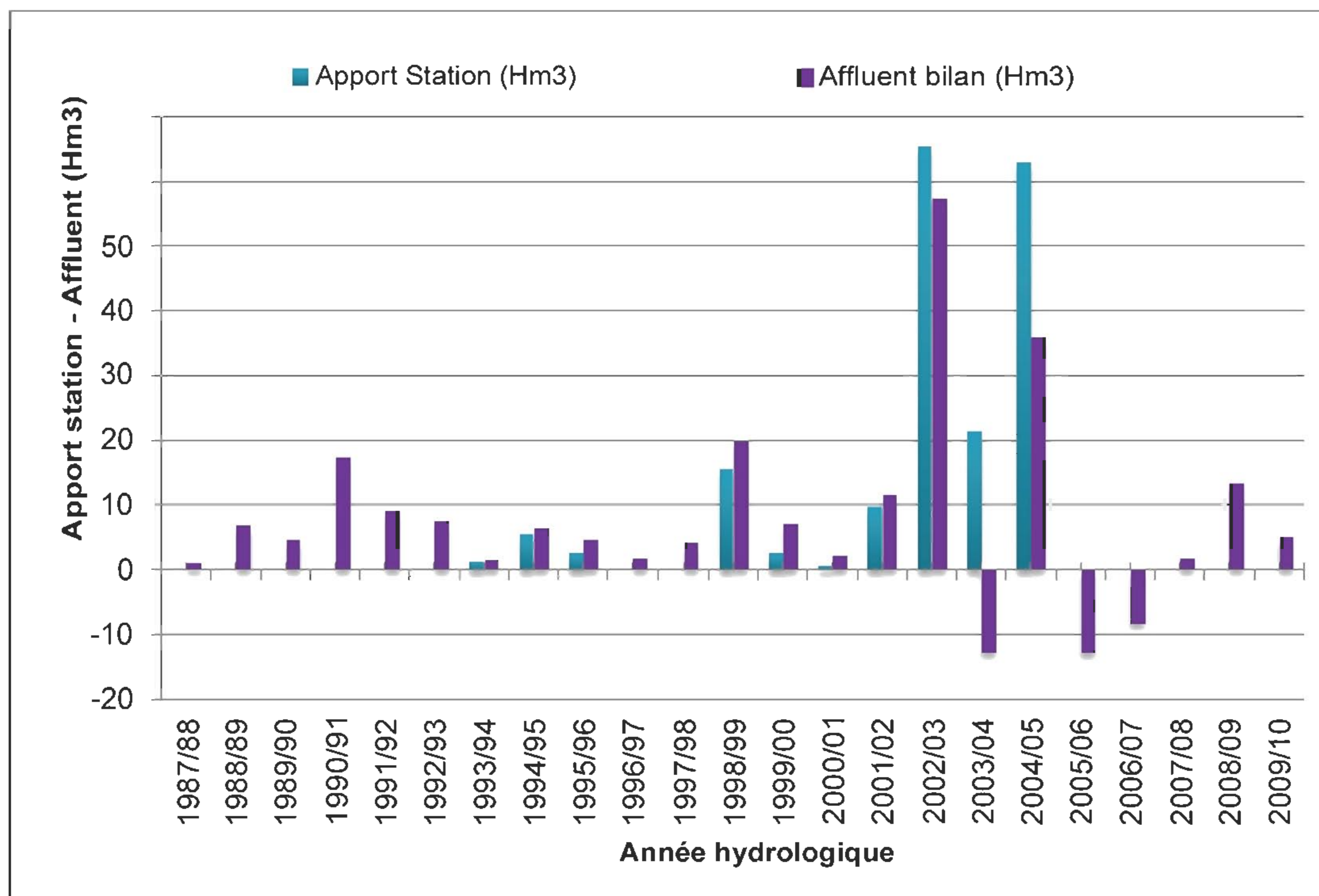


Fig. 6 Variations annuelles de l'affluent au barrage Hammam Grouz et de l'apport jaugeé à la station de O. Athménia
*La série des apports de l'oued Rhumel mesurés à la station de jaugeage se limite à la période de septembre 1993 à août 2005

Ces écarts rendent compte des débits de fuites d'eau du barrage qui pourraient être bien plus importants que ceux mesurés par l'A.N.R.H sur les émergences du Hammam. Les débits de fuites corrigés s'élèvent

à 7.4 hm³ en 2002/2003, à 32.3 hm³ en 2003/2004 et à 26.2 hm³ en 2004/2005 (Tableau 1). Cela suppose que d'importantes fuites d'eau prendraient d'autres destinations à travers les conduits karstiques.

Tableau 1. Bilan d'eau du barrage de Hammam Grouz de 2002/2003 à 2004/2005

Année	Début d'année	Durant l'année						Fin d'année		Apport station de jaugeage (hm ³)	Ecart Apport station - Affluent (hm ³)	
	Capacité (hm ³)	Lâchers			Pertes		Défluent (hm ³)	Affluent (hm ³)	Capacité (hm ³)			Gain ou perte de capacité (hm ³)
		AEP (hm ³)	Déversement de crues (hm ³)	Vidange de fond (hm ³)	Evaporation (hm ³)	Fuites mesurées par ANRH (hm ³)						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) [2+3+4] + [5+6]	(8) [9-1] + 7	(9)	(10) [9 - 1]	(11)	(12) [11-8] - 6	
2002/03	10.100	10.775	10.204	17.674	4.671	0.619	43.943	57.324	23.481	13.381	65.33	7.387
2003/04	23.481	2.967	0.000	0.000	1.828	1.931	6.726	-12.848	3.836	-19.645	21.38	32.297
2004/05	3.836	5.402	0.138	1.687	4.218	0.967	12.412	35.720	27.356	23,500	62.91	26.22

Les écoulements des sources du Hammam, constatés en janvier 2003, étaient chargés d'argile rougeâtre, liée vraisemblablement à la détérioration du tapis argileux de protection de la cuvette du barrage (Photo 3). Les traçages chimiques effectués du 29 juin au 3 juillet 2003 à l'aide de la rhodamine, ont

confirmé l'origine de ces fuites, attribuée au lac du barrage. Autre manifestation des fuites karstiques, l'apparition au sein de la retenue, en avril 2003, d'un premier gouffre (vortex) d'un diamètre d'environ 1.50 m (Photo 4), et en novembre 2007, d'un deuxième gouffre de diamètre deux fois plus important.



Photo. 3 Les écoulements en aval du barrage accompagnés d'argile



Photo. 4 Gouffre karstique (vortex n°1) au sein de la retenue de Hammam Grouz

5. Conclusion

Le barrage de Hammam Grouz est implanté dans un site de gorge calcaire façonné par l'oued Rhumel au Djebel Grouz. Le flanc droit du massif, siège d'une grande faille NW-SE et de conduits karstiques, favorise d'importantes pertes d'eau, vers les sources en aval du lac de barrage. Ces fuites, révélées au grand jour depuis l'année hydrologique exceptionnelle 2002/2003, sont confirmées par les calculs du bilan du réservoir, les traçages chimiques et l'apparition de gouffres au sein de la retenue.

Les débits de fuites mesurés sur les seules sources du Hammam, s'avèrent nettement sous-estimés et d'autres exutoires probables restent à explorer. Malgré les différentes solutions de colmatage (voile d'injection, plombage des vortex) effectuées par l'organisme gestionnaire, le problème de déstockage du barrage n'est pas maîtrisé. Il nécessite une investigation approfondie (traçages chimiques, études géophysique et morpho-structurale) sur l'ensemble de l'hydrosystème du haut Rhumel.

Le barrage de Hammam Grouz, objet de préoccupation scientifique et de projets en coopération entre les Universités de Constantine et de Rouen (projet de recherche soutenu par l'Agence Universitaire de la Francophonie dans le cadre des Projets de Coopération Scientifique Inter-universitaire-; thèse de doctorat en co-encadrement) peut servir de site pilote de référence pour étudier les fuites karstiques des lacs de barrage, situés en contexte lithologique carbonaté et climatique semi-aride.

Références Bibliographiques

- BENFETTA H. & REMINI B., 2008. Les fuites d'eau à travers le barrage algérien de Ouizert. *Sécheresse*, 19 (3): 185-92.
- BINNIE & PARTNERS., 1980. Barrage de Hammam Grouz-Monographie. Ministère de l'Hydraulique, D.P.R.H., Alger, 49 p.
- DUROZOY G., 1960. Etude géologique de la région de Châteaudun du Rhumel. Publ. Serv. Carte Géol. Algérie, Nlle série n°22, Alger.
- GILLI E., MANGAN C. & MUDRY J., 2004. Hydrogéologie: objets, méthodes, applications. Dunod, Paris, 301 p.
- MEBARKI A., 1982. Le bassin du Kebir Rhumel. Ressources en eaux et aménagement en Algérie. Thèse de doctorat 3ème cycle, Université de Nancy II, 302 p.
- MEBARKI A. & THOMAS C., 1988. Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau. Application au bassin du Kébir-Rhumel dans le Constantinois (Algérie). *Hydrologie continentale*, 3 (2): 89-103.
- MEBARKI A., 1994. Le barrage d'Hammam Grouz (Haut-Rhumel, Constantinois). Bilan et perspectives d'un aménagement hydraulique en zone semi-aride. *Méditerranée*, 80 (3-4): 15-22.
- MEBARKI A., 2009. Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des Publications Universitaires, Alger, 389 p.
- MIHOUBI N., 2009. Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Mémoire de Magister (Hydrogéologie), Faculté des Sciences de la terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Université Mentouri de Constantine, 239 p.
- REMINI B., 2007. Problématique de l'eau en Algérie. Office des Publications Universitaires, Alger, 162 p.
- REMINI B., LEDUC C. & HALLOUCHE W., 2009. Evolution des grands barrages en régions arides: quelques exemples algériens. *Sécheresse*, 20 (1): 96-103.
- REZAK S., LABORDE J.P. & ERRIH M., 2012. Validation d'un modèle numérique de terrain adapté à la modélisation hydrologique régionale sur l'Algérie du Nord. *Hydrological Sciences Journal*, 57 (5): 1-14.
- VILLA J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. Thèse de doctorat en science, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 2 t. tome 1, 315 p.
- VOUTE C., 1967. Essai de synthèse de l'histoire des environs d'Aïn Fakroun, Aïn Babouche et des régions limitrophes. Publ. Serv. Carte Géol. Algérie. Nlle sér. n°36, 2 t., Alger, 390 p.
- WILDI W., 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de géol. dynamique et de géogr. phys.*, 24 (3): 201-297.