



LES COURANTS DE DENSITE : UN PHENOMENE NATUREL QUI SE MANIFESTE DANS LES MILIEUX ARIDES

THE CURRENT DENSITY: A NATURAL PHENOMENON THAT MANIFESTS IN ARID REGIONS

REMINI B.

Département des Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie,
Université Blida 1, Blida 9000, Algérie

rem minib@yahoo.fr

RESUME

Nous examinons dans ce papier un phénomène naturel spectaculaire. Il s'agit des courants de densité et plus particulièrement les courants de turbidité. Un tel phénomène se déclenche lorsqu'il y a un contact entre deux fluides de densités différentes. Notre étude s'intéresse dans la première partie aux courants de turbidité qui se manifestent dans les réservoirs de barrages. Dans la deuxième partie, ce sont des courants de turbidité qui se manifestent dans une région désertique et se caractérisent par un soulèvement de la poussière dans l'air en formant un mur qui avance avec des vitesses moins importantes.

Mots clés : Courant de densité- Haboob- Sahara- Barrage – Erosion hydrique – Erosion éolienne.

ABSTRACT

In this paper we examine a spectacular natural phenomenon. These are the density currents and more particularly the turbidity currents. Such a phenomenon is triggered when there is contact between two fluids of different densities. Our study is concerned in the first part with the turbidity currents that occur in the reservoirs of dams. In the second part, turbidity currents manifest themselves in a desert region and are characterized by a rise of dust in the air forming a wall that moves forward with lower speeds.

Key words: Density Current - Haboob- Sahara- Dam - Water Erosion - Wind Erosion.

INTRODUCTION

Le contact de deux fluides de densités différentes engendre la formation d'un courant de densité qui se propage sur le fond sur plusieurs kilomètres. Deux cas de figures se présentent dans la nature. Le premier concerne l'arrivée d'une crue chargée en particules solides dans un lac de barrage. La différence de densités entre les deux liquides (eau chargée et eau douce) donne naissance à un courant de densité qui se propage sur le fond de la retenue. Beaucoup de travaux ont été effectués sur la plongée et les mécanismes de propagation et les conséquences des courants de turbidité notamment sur l'envasement des barrages (Duquenois, 1957; Remini, 1997 ; Remini et al, 1995a). Le deuxième cas concerne l'apparition des Haboubs dans plusieurs endroits du désert de Sahara. C'est un phénomène impressionnant qui se manifeste en période des vents violents lesquels génèrent une érosion éolienne qui se caractérise par la formation des tempêtes de sable pouvant ainsi envahir et couvrir une superficie sur plusieurs kilomètres. Contrairement aux courants de densité, peu d'études ont consacré au phénomène de Haboub. Nous examinons dans ce papier quelques exemples sur les courants de densité dans la nature. Une grande partie sera réservée aux courants de turbidité dans les barrages. Des tempêtes de poussières qui se propagent sous forme d'un courant de densité de grandes dimensions en plein désert du Sahara feront l'objet de modeste travail.

REGIONS D'ETUDES

D'une superficie égale à 2,38 millions de km², le territoire de l'Algérie est constitué de deux parties géographiques : les chaînes de l'Atlas au nord et le Sahara au sud qui représente plus de 84% de la superficie totale (fig. 1). Dans le Nord, l'Atlas Tellien forme avec l'Atlas Saharien situé plus au sud, deux chaînes montagneuses qui sont parallèles à l'ouest et se rencontrent vers l'Est. C'est au niveau de ces montagnes qui sont les lieux de l'érosion hydrique. Par conséquent les barrages réservoirs bâtis dans ces régions semi arides seront menacés par les courants de densité qui vont accélérer leur envasement. Le grand sud ; le désert du Sahara qui représente les 4/5 de la superficie du territoire, constitué de plusieurs paysages comme les Ergs (Grand Erg Occidental, Grand Erg Oriental, Erg Erraoui, Erg Chech, Erg Iguidi...), les

massifs rocheux (Les Eglab, le Hoggar et le Tassili), les plateaux, les Reg, les chotts, les sebkhas et les oasis. Cette immense superficie est le siège des vents violents qui provoquent de l'érosion éolienne donnant ainsi naissance à des gigantesques courants de densité (tempêtes de poussières ou Haboob) et des soulèvements de poussières dans l'atmosphère.

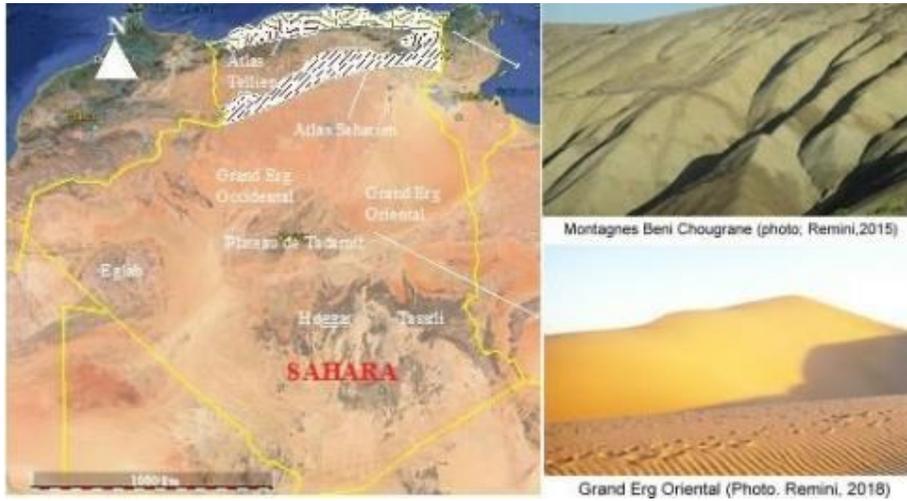
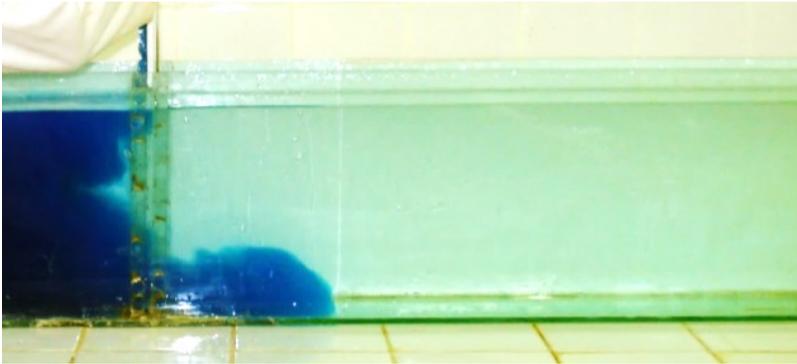


Figure 1 : Régions de l'apparition des courants de densité (Remini, 2019 sur la base du Google Earth)

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Apparition d'un courant de densité

Lorsque deux fluides (eau ou air) de densités différentes entrent en contact, le fluide le plus dense se déplace sur le fond (sous le fluide le moins dense) par différence de densité. Dans ce cas, on parle de courants de densité qui prend la forme d'une lame de fluide très dense bien individualisée (fig. 2(a, b et c)). Il est constituée d'une tête aérodynamique et un corps qui se propage sur plusieurs kilomètres jusqu'à l'évanouissement totale du courant de densité. Ce dernier se déplace sous l'effet du facteur de pression $\Delta\rho/\rho_m$. Sa vitesse de propagation dépend de la masse volumique du fluide dense.



a) temps 3s



b) temps 5s



c) temps 8s

Figure 2 : Propagation du courant de densité dans un canal (Photo. Remini, 2016)

Les courants de densité dans les lacs des barrages

Les particules solides qui sont entraînées sous forme d'un courant de densité proviennent du phénomène de l'érosion. On parle de l'érosion hydrique dans le cas où le ruissellement (eau) est la cause de l'arrachement des particules fines de leurs positions initiales. Dans le cas, où c'est le vent qui est le responsable de ce phénomène, on parle de l'érosion éolienne.

Les sols des régions arides et semi arides sont les plus exposés au phénomène d'érosion. Après leur longue saison sèche de plus de 6 mois, les sols sont disséqués et ameublés. Généralement ce sont les premières crues d'automne, des crues de courtes durées (crues éclairées) mais de fortes intensités pluviométrique qui provoquent une érosion hydrique très intense (fig. 3(a, b et c)). Elles arrachent des tonnes de terres qui vont être drainées par les crues à travers les oueds jusqu'aux lacs de barrages (obstacles). Les bassins versants du nord algérien enregistrent les valeurs de l'érosion les plus élevées de la planète. Plus de 180 millions de tonnes est la masse des terres érodés annuellement au niveau des bassins versant du nord algérien. C'est ainsi que le taux d'érosion a atteint des valeurs extrêmement élevées dépassant le seuil de 5000 t/km².an dans le bassin versant d'oued Agrioum (Demmak, 1982).



a) Début de formation d'une ravine (bassin versant de Chellif) (Photo. Remini, 2014)



b) Etat avancé de l'érosion (bassin versant de Chellif) (Photo. Remini, 2014)



c) Etat très dégradé et devient impossible d'agir (Bassin versant de Beni Chougrane) (Photo. Remini, 2015)

Figure 3 : Processus d'érosion dans un bassin versant semi-aride

Dans les régions arides, les crues sont rares mais lorsqu'elles surviennent elles peuvent être violentes et dévastatrices. Elles peuvent en un temps très court envahir les cours d'eau et les plaines. Les crues d'automne sont les plus

dangereuses. Les oueds sont généralement à sec ou parfois on trouve un filet liquide qui s'écoule au fond du lit mineur de l'oued. Pendant la crue, l'eau peut atteindre le niveau maximum de la section transversale de l'oued en un temps assez court. Dans de telles régions, on parle de crues éclaires. En quelques heures, l'oued peut revenir à sa position initiale (à sec). La descente rapide du niveau d'eau provoque des éboulements et des glissements des berges. Ce sont des tonnes de terres qui se déposent sur le fond de l'oued. La crue suivante qui peut intervenir dans une heure comme dans une année, elle emporte avec elle ces quantités de boue qui vont accroître la concentration en particules fines dans les eaux de la crue. Différent de celui des rivières (écoulement permanent), le processus du sapement des berges des oueds est beaucoup plus complexe. Des masses de terres importantes s'érodent lors des crues qui font augmenter la section de l'oued et par conséquent élargir la largeur au miroir de l'oued de quelques mètres en quelques années seulement. Ceci engendre une perte de plusieurs hectares de terre agricole au cours des années (fig. 4).



Figure 44 : Sapement des berges dans l'oued Chellif (Tronçon Boughezoul) (Photo. Remini, 2006)

Cette masse de terre diluée dans les eaux de la crue augmentera la teneur en sédiments dans les oueds (fig. 5). La concentration en particules fines peut atteindre même la valeur de 500 g/l. Des valeurs de 265 g/l ont été enregistrées dans l'oued Isser et de 300 g/l dans l'oued Labiod (Remini, et Mazouz, 2018).



Figure 5 : Eau chargée dans l'oued El Hammam (Photo. Remini, 2015)

Ces quantités de particules en suspension sont véhiculées par l'oued jusqu'à la queue du lac barrage (fig. 6). Le contact entre les eaux chargées de la crue et celle des eaux claires du lac du barrage amorce un courant de densité à quelques mètres de l'entrée du lac. On parle du point de plongée (Remini et al, 1995b) (fig. 6 et 7).



Figure 6 : Une vue de l'entrée du lac du barrage de Keddara (Photo. Remini, 2017)

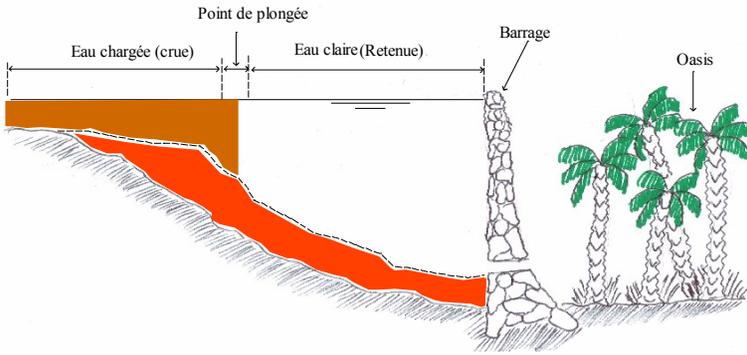


Figure 7 : Schéma du point de plongée dans une retenue d'un barrage (Schéma, Remini 2019)

Le contact d'une eau chargée (densité dépassant 1,030) avec celle des eaux claires du lac (densité égale à 1) provoque la naissance d'un courant densité grâce à la force hydrostatique (fig. 8).

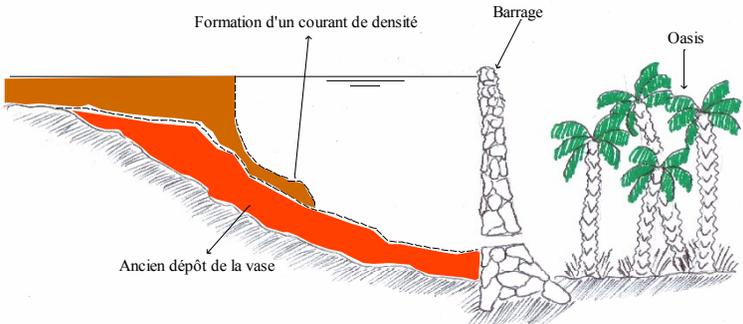


Figure 8 : Formation d'un courant de densité au fond du lac d'un barrage (Schéma, Remini, 2019)

Une fois amorcé, le courant de turbidité prend la forme d'une lame d'eau boueuse bien individualisée qui se propage sur le fond du lac (fig. 9 et 10). Sa vitesse est de quelques mètres par seconde dépend de la densité du courant (ou la concentration). La hauteur d'un courant de densité peut atteindre une hauteur de 2 m en moyenne (Remini, 1997 ; Remini et al, 1995). Il peut se propager sur une longueur qui peut atteindre les 20 km (Remini, 1997 ; Remini et Toumi, 2017 ; Remini et Benfetta, 2015 ; Remini et al, 2018). Ces courants de densité se manifestent le plus souvent durant les premières crues d'automnes dans les retenues de barrages de formes canal. On peut citer par exemples les cas d'Ighil Emda, Oued El Fodda, Ghrib (Remini et al, 2019), Foum El Gherza (Remini et al, 2015b ; Remini et Mazouz, 2018), Sid M'hamed Ben Aouda (Remini et al,

2018), Djorf Torba (Remini, 1997), Boughezoul (Remini et al, 2015a) et Erraguene (Remini et Ouidir, 2017).

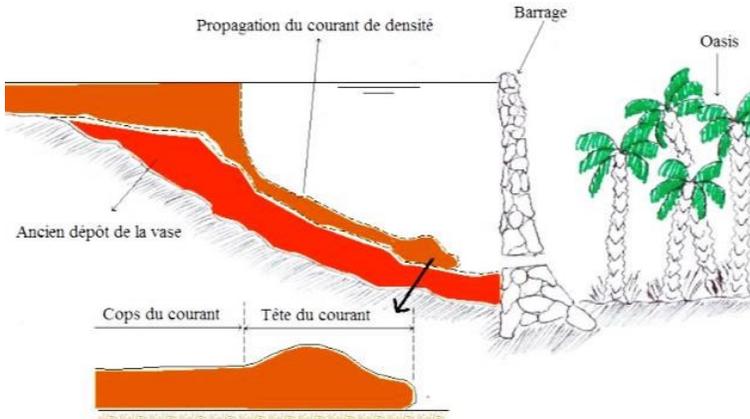


Figure 9 : Propagation du courant de densité dans un barrage (Schéma Remini, 2019)



Figure 10 : Courant de turbidité au fond d'un canal avec une forte concentration en particules fines (Photo. Remini, 2015)

L'amorçage d'un courant de turbidité est très complexe. Certes, sa naissance dépend de la concentration en particules fines de la crue au moment de son arrivée au lac du barrage. Il y a aussi un autre paramètre moins important, il s'agit de la profondeur de la retenue. Personne n'a donné un seuil de la concentration d'apparition d'un courant de turbidité. Seulement, nous avons enregistré une valeur limite de naissance des courants de turbidité dans la retenue d'Ighil Emda égale à 1,030 (Remini et al, 1995a).

Ce que nous pouvons confirmer que les crues d'automne drainent des quantités considérables en sédiments. Ceci engendre plus la formation des courants de turbidité et par conséquent un envasement accéléré des barrages. Il est à rappeler que les barrages dans les régions arides et plus particulièrement en Algérie s'ensavent en période de crues (Remini, 2017). Plus de 70% de la quantité totale de la vase déposée dans les barrages durant l'année ont été apportées par les crues d'automne. Ceci confirme la présence des courants de densité durant la période d'automne.

Après un parcours de 7 km au fond du lac du barrage d'Ighil Emda (Algérie), le courant de densité atteint les pertuis de vidange (Remini et al, 1995a ; Remini, 1997). Les manœuvres au moment opportun des vannettes de dévasement ont permis de soutirer la totalité du courant de densité. Des opérations de soutirage ont duré plus de 5 jours sans interruption. Il faut tout simplement bien ajuster l'ouverture des vannettes pour obtenir un écoulement permanent. Ceci explique bien que le courant de densité est bien arrivé aux pertuis de vidange avec une forte concentration en particules fines (fig. 11 et 12). Les manœuvres des vannes au moment de l'arrivée d'une crue permet de soutirer le courant de densité sans aucune difficulté (fig. 13 et 14).



Figure 11 : Courant de densité au fond d'un canal avec une forte concentration en particules fines (Photo. Remini, 2017)



Figure 12 : Courant de densité formé avec la vase du barrage de Beni Haroun (Photo. Remini, 2016)



Figure 13 : Soutirage des courants de densité au barrage de Beni Haroun (Photo. ANBT)



Figure 14 : Soutirage des courants de densité au barrage d'Ighil Emda (Photo. Sonelgaz Derguina)

Mais des fois on assiste à un courant de densité qui se forme et se propage mais il s'évanouit avant d'atteindre le pied du barrage. Ceci s'explique par la faible concentration mais elle supérieur au seuil. Dans ce cas, ce courant de densité finira son chemin dès qu'il rencontrera un élargissement de la cuvette du barrage (fig. 15).

Les courants de densité : un phénomène naturel qui se manifeste dans les milieux arides

Pour des crues de faible concentration en particules fines (inférieur au seuil), le courant de densité n'aura pas lieu, mais il y'aura la diffusion des particules fines dans toute la retenue (fig.16, 17 (a et b)). Le dépôt s'effectue par décantation sous l'effet de la vitesse de chute des particules.



Figure 15 : Courant de turbidité au fond d'un canal avec une faible concentration en particules fines (Photo. Remini, 2017)

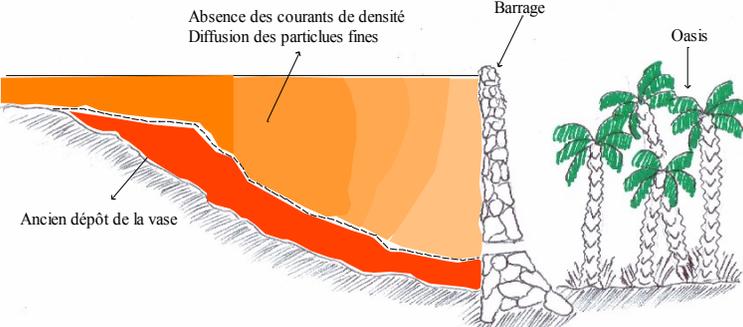


Figure 16 : Schéma approximatif de la diffusion des particules fines dans une retenue de barrage (Schéma, Remini, 2019)



a) avant l'arrivée de la crue



b) au moment de l'arrivée de la crue

Figure 17 : Diffusion des particules fines dans la retenue du barrage de Meurad (Photo. ANBT) (Remini et Mokadem, 2017)

Les conséquences des courants de densité sont néfastes pour un barrage dont le cas, ou ils ne sont pris en charge par un bon soutirage ; c'est l'envasement accéléré d'un barrage (fig. 18, 19 et 20). D'ailleurs, les 20 barrages les plus envasés en Algérie, les courants de densité se manifestent en périodes de crues (Remini, 2017b).



Figure 18 : Le barrage d'Ighil Emda, s'envase par courants de densité (Photo. Ouaret et Remini, 2005)



Figure 19 : Le barrage de Foug El Gherza s’envase par courants de densité (Photo. Remini, 2016)



Figure 20 : Le barrage de Fergoug s’envase par courants de densité (Photo. Remini, 2015)

Peut-on parler d’un courant de densité latéral ?

La séparation de deux fluides de densités différentes peut être observée au point de rencontre de deux oueds. En effet, le lieu de départ de l’oued El Harrach d’une longueur totale de 40 km, se localise au point de rencontre de deux affluents situés dans la région de Megtaa Lazrag. Deux affluents à bassins versants différents : un dégradé et l’autre bien traité. En période de crues, le transport solide dans les deux oueds est différent. Au niveau du point de

rencontre, on peut observer une nette séparation des deux eaux définies par leurs concentrations en particules fines (fig. 21 et 22).



Figure 21 : Une vue générale sur le point de rencontre des affluents pour former l'oued El Harrach (Photo. Remini, 2014)



Figure 22 : Ecoulement de deux fluides de densités différentes avec une interface nette (Photo. Remini, 2014)

Les rouleaux de recirculation ; un cas particulier dans les las de barrages

L'idée est venue d'un écoulement d'un jet à forte vitesse dans un petit réservoir. Il apparaît dans le réservoir qui est un élargissement, deux rouleaux de recirculations qui sont le produit de la dissipation d'énergie du jet. Par similitude, le même phénomène peut avoir lieu dans un lac d'un barrage. La crue en provenance du cours d'eau principal peut être assimilée à un jet d'eau. La lecture de la courbe de Brune pour une cinquantaine de barrage Algériens représentant le piégeage des sédiments en fonction du taux de renouvellement montre que les coordonnées du barrage de Beni Amrane sont les plus bas que les autres coordonnées des barrages Algériens (fig. 23).

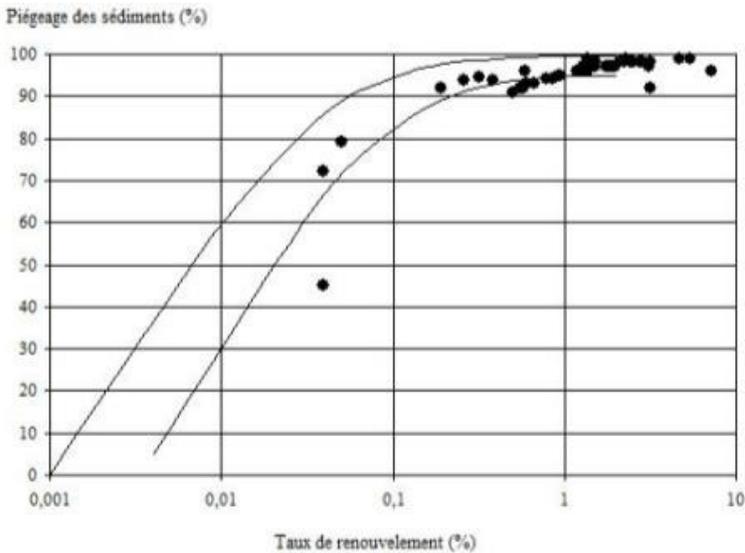


Figure 23 : Piégeage des sédiments en fonction du taux de renouvellement (Brune, 1953)

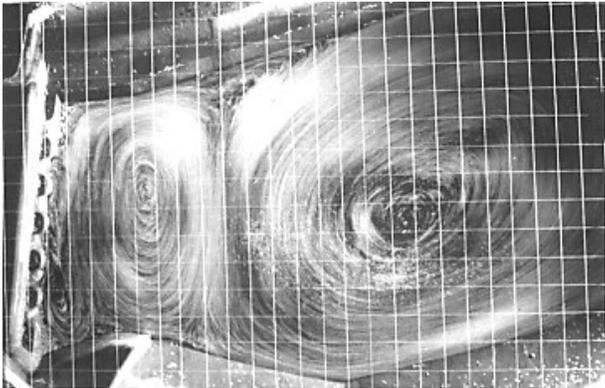
Il est à noter que le barrage de Beni Amrane est un barrage déversoir de 16 millions de m³. Alors que les apports liquides annuels de l'oued Isser sont estimés à 414 millions de m³. Les crues de l'oued Isser sont rapides, extrêmement violentes et ne durent pas longtemps. La crue maximale enregistrée à Lakhdaria à 26 km en amont de Beni Amrane est de 2520 m³/s (ANRH). La concentration en particules fines en période de crues peut atteindre les 265 g/l dans l'oued Isser (ANRH). Devant ces crues, le remplissage du lac du barrage de Beni Amrane d'un volume de 16 millions de m³, peut être

assimilé à un jet d'eau dans un réservoir rectangulaire. La dissipation de l'énergie s'effectue par rouleaux de recirculation (fig. 24).

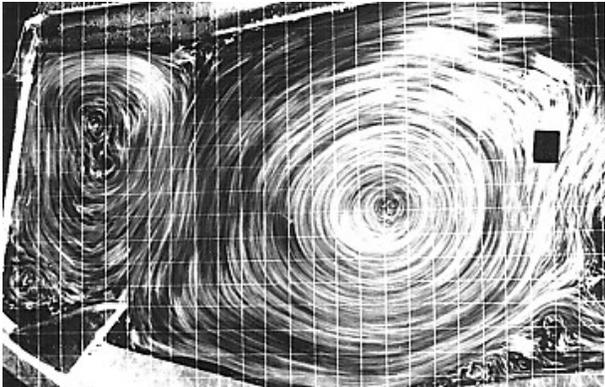


Figure 24 : Rouleaux de recirculation dans un réservoir rectangulaire provoqué par un jet d'eau (Photo. Remini, 2015)

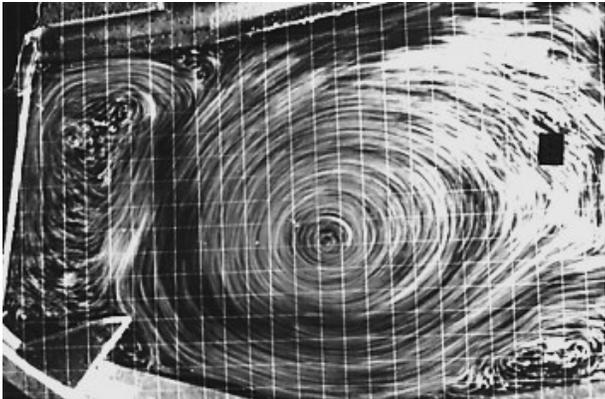
Pour valider cette hypothèse, une expérimentation a été réalisée sur un modèle réduit du barrage de Beni Amrane construit à l'échelle 1/100 tel que la similitude de type Reece Froude soit vérifiée. Un dispositif photographique équipé d'un objectif de 50 mm, situé dans l'axe de l'ouvrage a une hauteur de 5 m permet de prendre des clichés successifs. Les résultats obtenus sont très encourageants et ont donné le même résultat que celui d'un jet d'eau dans bassin (fig. 24). Le phénomène observé est constitué de deux rouleaux de recirculation qui se déplacent vers la digue, il ne concerne que l'écoulement de la crue proprement dite (fig. 25 (a, b et c)). Ces structures proviennent de l'inertie qu'opposent les particules initialement immobiles à leur mise en mouvement par les particules provenant de la zone d'entrée du lac (Remini et al, 1996 ; Remini, 2001).



a) $Q=632 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_m=6,32 \text{ l/s}$ (modele)



b) $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_m=10 \text{ l/s}$ $t=5\text{s}$



c) $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_m=10 \text{ l/s}$ $t=8\text{s}$

Figure 25 : Evolution des rouleaux de recirculation dans la retenue du barrage Beni Amrane provoqué par la crue (Photo. Remini, 1990)

Pour différents débits de crues, les rouleaux de recirculations évoluent dans le temps. Les centres de ces tourbillons sont les sièges de dépôts des fines particules. Le suivi de ces centres décrivent et délimitent leurs secteurs de déplacement. Ce sont les zones de dépôts des sédiments drainées par les crues (fig. 26) (Remini, 2001).

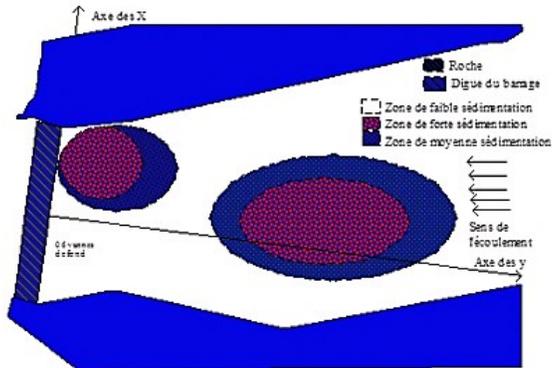


Figure 26 : Zones de dépôts des sédiments dans le lac du barrage de Beni Amrane (modèle réduit à l'échelle 1/100)

Des courants de densité dans le sous-sol

Ce phénomène de courant de densité existe sous plusieurs formes dans la nature. Le rejet de la saumure des usines de dessalement au fond des mers et des océans produit un courant de densité grâce à la différence de concentration en sels. Le biseau salé produit par l'intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers est un phénomène de courant de densité. Une longue sécheresse dans une région aride, peut inverser le sens de l'écoulement de la mer vers la nappe (au lieu de la nappe vers la mer qui était initialement). L'abaissement du niveau piézométrique de la nappe engendre un courant de densité (biseau salé) qui s'écoule dans le sous-sol pour contaminer et polluer la nappe (fig. 27 et 28).

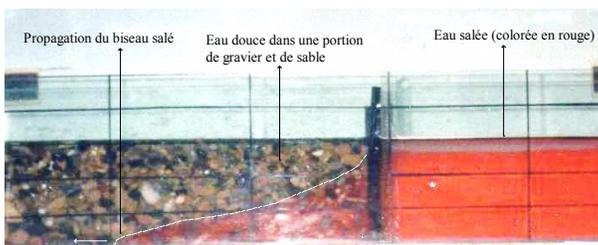


Figure 27 : Simulation de la propagation du courant de densité dans un milieu poreux (Photo. Remini, 1995)

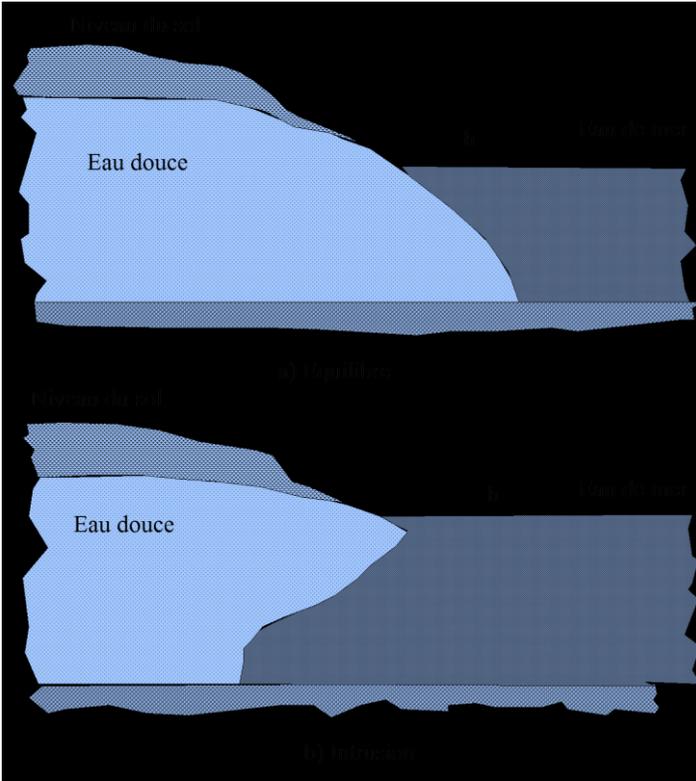
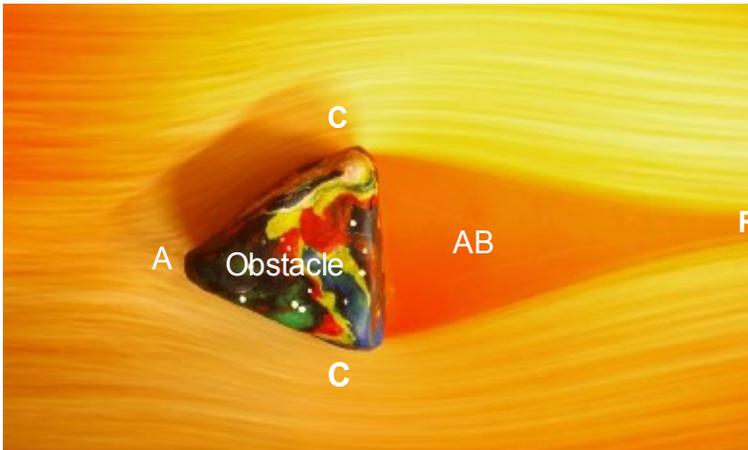


Figure 28 : Schéma probable de la propagation du biseau salée dans une aquifère cotier. Variation des hauteurs (h) est inférieure à la variation de densités) (Schéma, Remini)

Le Hit (Haboub) ; un courant densité spectaculaire dans le désert

L'écoulement d'un fluide en présence d'un obstacle engendre deux aires de col, une aire de recollement, une aire d'abri (de sillage) et une aire amont de l'obstacle (fig. 29). Au niveau de l'aire de col, la pression décroît, la vitesse augmente et les filets du fluide se resserrent. C'est une aire d'érosion et de transport, où la corrasion éolienne peut être active. L'aire de sillage se distingue par la formation d'un sillage tortionnaire. Juste à l'aval de cette zone, se situe une zone de recollement des filets fluides. Par contre, la zone à l'amont de l'obstacle, c'est le point d'arrêt, se caractérise par une pression maximum et une faible vitesse ou nulle.



A : aire en amont de l'obstacle. AB : aire de sillage. C : aire de col.
R : aire de recollement

Figure 29 : Ecoulement d'un fluide autour d'un obstacle (Photo. Remini, 2016)

Dans le Sahara, la disposition des méga-obstacles Sahara est favorable à la dynamique éolienne, au façonnement des ergs, au soulèvement des poussières et de sable. La circulation éolienne autour de reliefs topographiques génère des aires de dépôt de sable, des aires de transport, des aires d'abri, des aires de forte érosion et de déflation (fig. 30). Les zones de forte érosion sont caractérisées par des vents très violents. C'est au niveau des aires de cols et des Venturi qu'on enregistre des vitesses de vents les plus élevées. Dans le Sahara Algerien, le départ des particules sableuses et le soulèvement de poussières se manifestent dans les aires des cols des massifs le Hoggar –Tassili N'Ajjer (fig. 31, 32 et 33).

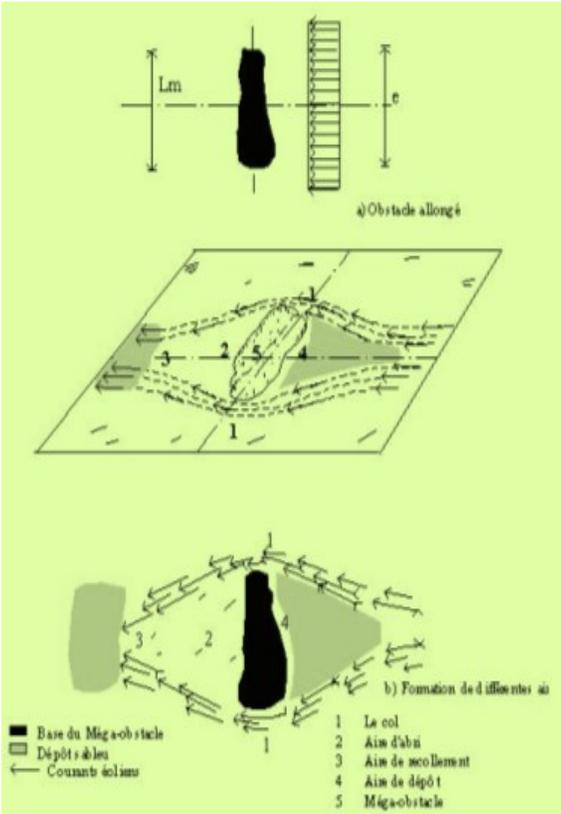


Figure 30 : Schéma approximatif des aires engendrées par l'effet de la circulation autour d'un relief topographique (Schéma Remini, 2014)



Figure 31 : Une vue sur le relief rocheux de Hoggar (Photo. Remini, 2006)

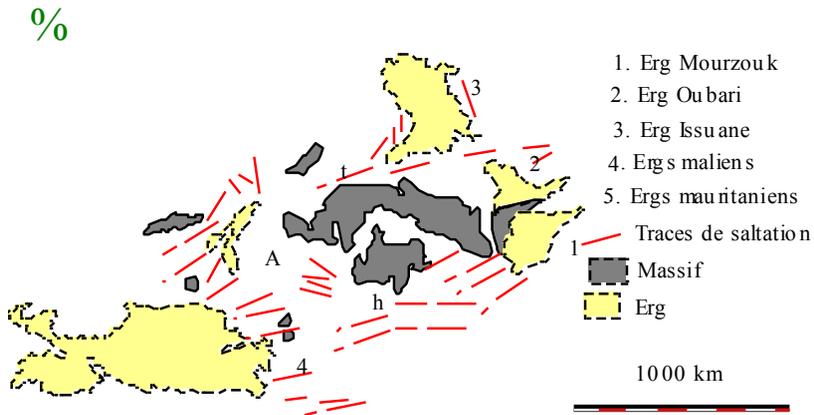


Figure 32 : Courants éoliens autour de l'ensemble Tassili-Hoggar (Mainguet M. et al., 1980 ; Mainguet Remini, 2004 ; Mainguet et al, 1984)

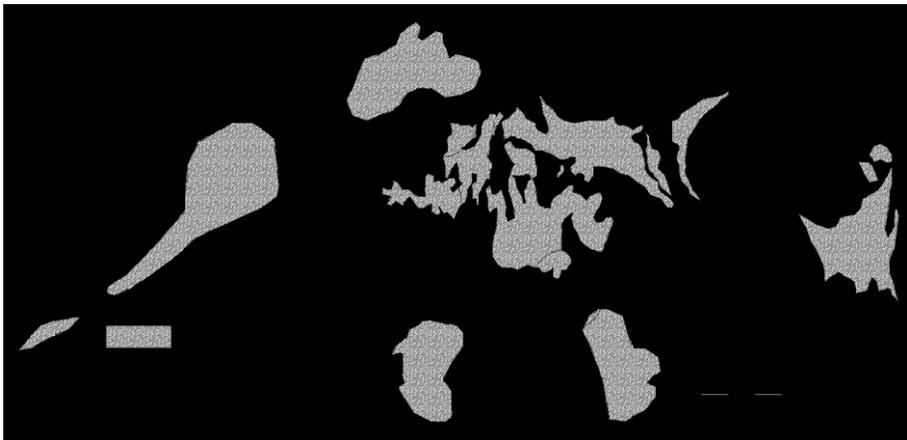
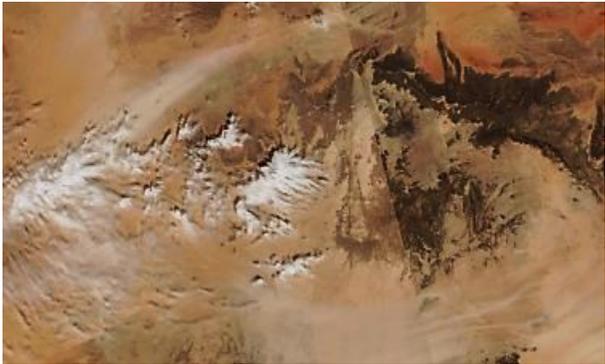


Figure 33 : Courants éoliens autour de l'ensemble des méga-obstacles Tassili Najjer (Remini, 2018)

C'est ainsi que les particules poussiéreuses sont entraînées dans l'atmosphère sous l'effet de l'érosion éolienne. Elle est produite par des vents violents qui agissent sur une aire à bilan sédimentaire négative (BS-). Des tonnes de poussières peuvent être entraînées et soulever sur plusieurs kilomètres sous forme de tempête de poussière (fig. 34(a, b et c)). Ce qui se passe dans le Sahara de point de vue érosion éolienne est un problème de mécanique des fluides qui ressemble bien à des écoulements autour des obstacles.



a) 26 avril 2008



b) 30 novembre 2015



c) 25 Decembre 2016

Figure 34 : Naissance quelques tempêtes de poussières dans les aires de cols engendrés par l'effet de la circulation éolienne sur le méga-obstacle : Hoggar-Tassili Najjer @NASA Erath worldview

Appelé Haboob, Hit (le mur) ou El Ghabar (la poussière), le courant de densité apparaît aussi à grande échelle dans le désert du Sahara. Des Haboobs se manifestent régulièrement à l'aval des aires de col du massif. Le contournement des courants éoliens autour des massifs rocheux comme ceux de Hoggar-Tassili Najjer, engendre souvent à de gigantesques courants de densités (Haboub) à l'aval des aires de cols (fig. 35, 36 et 37).

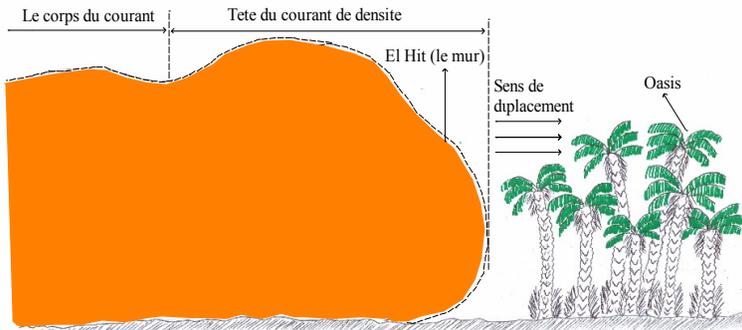


Figure 35 : Schéma approximatif de la tête d'un Haboub (Hit) (Schéma, Remini, 2019)



Figure 36 : Le mur de poussière survenue à Ghardaïa dans la commune de Zelfana (Ouled Belkhir, 2018)



Figure 37 : Le mur de poussière (El Ghabar) avance lentement dans la commune de Ghardaïa (Ouled Belkhir, 2018)

C'est comme le courant de densité dans un lac de barrage, des fois, les conditions de formation d'un Haboub ne se trouvent pas réunis, dans ce cas la poussière soulevée par les vents violents se diffusent dans l'atmosphère (fig. 38 et 39).



Figure 38 : Soulèvement de la poussière sur la ville d'El Bayadh (Majdoub, 2018)



Figure 39 : Diffusion de la poussière dans toute la ville d'El Bayadh (Photo. Majdoub, le 07/4/2018)

CONCLUSION

Comme nous l'avons mentionné au début de cet article que le phénomène des courants de densité reste un sujet complexe non maîtrisé. Si aujourd'hui, les courants de densité dans les lacs des barrages sont plus au moins maîtrisés, cependant les courants de densité (Haboubs) qui se manifestent dans certaines régions de Sahara restent un sujet mystérieux dont plusieurs points restent à développer. Seulement une chose est sûre, le déclenchement de ce phénomène physique est lié au phénomène de l'érosion. Les pluies torrentielles qui tombent sur des sols dénudés d'un bassin versant provoquent l'érosion des sols. Les crues chargées en particules fines amorcent des courants de densité à l'entrée des retenues de barrages. Une aire désertique soumise à une activité d'érosion d'éolienne intense provoque des courants de densité de grandes dimensions. Cette dynamique éolienne est engendrée par des vents violents qui sont générés par l'effet de la circulation des courants éoliens autour d'un relief rocheux. Avec l'accélération ces dernières années du phénomène des changements climatiques, l'érosion enregistrera des valeurs de plus en plus élevées. En effet, les courants de densité vont se manifester de plus en plus et les barrages vont s'envaser encore plus. D'ailleurs, ces dernières années, le taux d'envasement a grimpé. De même, nous avons constaté ces trois dernières années que la période d'apparition des tempêtes de poussières sous formes de courants de densité a augmenté dans la région du sud-ouest d'Algérie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRUNE, G. M. (1953). Trap efficiency of reservoirs. Eos, Transactions American Geophysical Union, Vol. 34, N° 3, pp. 407-418.
- DEMMAK A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse du Docteur Ingénieur, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- DUQUENNOIS H. (1957). Lutte contre la sédimentation des barrages réservoirs-Barrage d'Ighil Emda. Electricité et Gaz d'Algérie. Compte rendu N° 4, 22 p.
- MAINGUET M., COSSUS L., ET CHAPELLE A.M. (1980). Utilisation des images météosat pour préciser les trajectoires éoliennes au sol au Sahara et sur les marges sahéliennes. Société de photogrammétrie et de télédétection. Bulletin n° 78, février, pp. 1-15.
- MAINGUET M., BORDE J.M., CHEMIN M.CH. (1984). Sédimentation éolienne au Sahara et sur ses marges. Travaux de l'institut de Géographie de Reims, n°59-60, pp. 15-27.
- MAINGUET M., REMINI B. (2004). Le rôle des méga-obstacles dans la formation et le façonnement des ergs : Quelques exemples du Sahara. Larhyss Journal, N° 03, Juin, pp.13-23.
- REMINI B., KETTAB A., HIHAT H. (1995a). Envasement du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Internationale de l'eau: La Houille Blanche n° 2/3, pp.23-28
- REMINI B., KETTAB A., AVENARD JM. (1995b). Point de plongée des courants de densité dans les retenues. Algérie Equipement. Juillet/Aout, pp. 13-17.
- REMINI B., AVENARD JM., KETTAB A. (1996). Distribution des sédiments dans les retenues. Revue Techniques, Sciences, Méthodes. Génie Urbain, Génie Rural, Paris, N° 3, pp.196-200.
- REMINI B. (1997). Envasement des barrages en Algérie – Mécanismes et moyen de lutte par la technique de soutirage. Mars, Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Mars, 342 p.
- REMINI B. (2001). Envasement du barrage de Beni Amrane (Algérie) : mécanismes et moyen de lutte par la technique de chasse. Revue Eau Industrie Nuisances (France) international N° 4, pp. 39- 46
- REMINI B., BENFETTA H. (2015). Le barrage réservoir de Gargar est- il menace par l'envasement, Larhyss Journal, N°24, Décembre, pp. 175-192.
- REMINI B., BENSALIA D., NASROUN T. (2015a). Impact of sediment transport of the Chellif River on silting of the Boughezoul reservoir (Algeria). Journal of

Water and Land Development. No. 24 p. 35–40. DOI: 10.1515 /jwld-2015-0005

- REMINI B., BENSALFIA D., MISSOUM M. (2015b). Silting of Foug El Gherza Reservoir. *GeoScience Engineering* Vol. LXI , N°1. pp. 1-9.
- REMINI B. BENSALFIA D. (2016). Envasement des barrages dans les régions arides. Exemples Algériens. *Larhyss journal*, N°27, pp. 63-90.
- REMINI B. (2017a). Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. *Larhyss Journal*, N°31, Sept 2017, pp. 51-81.
- REMINI B. (2017b). Quand deux écosystèmes opposés : humide et sec se lient par le phénomène d'érosion ? Cas du désert du Sahara et de la forêt amazonienne. *Larhyss Journal*, N°31, Sept, pp. 259-295.
- REMINI B., MOKADDEM FZ. (2017). The siltation of the Meurad dam (Algeria): a century and a half of management. *Journal of Water Sciences & Environment Technologies*. JOWSET, (02), N°02, pp. 226-232.
- REMINI B., OUIDIR K. (2017). Le barrage réservoir d'Erraguene (Algérie) : une expérience de plus d'un demi-siècle dans le soutirage des courants de densité. *Larhyss Journal*, N°3, Dec, pp. 213-244.
- REMINI B., TOUMI A. (2017). Le réservoir de Beni Haroun (Algérie) est-il menacé par l'envasement ? *Larhyss Journal*, N°29, Mars, pp. 249-263.
- REMINI B., MAAZOUZ M. (2018). Les courants de densité dans le barrage de Foug El Gherza. *Larhyss Journal*, Vol. 15, N°3, pp. 19-39.
- REMINI B., BEN SALFIA D., MEKHATRI A. (2018). Le barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Algérie): l'envasement s'accélère ! *Larhyss Journal*, N°33, Mars, pp. 221-252
- REMINI B., BOUABIBSA R., MOUDJED K. (2019). Beni Haroun et koudiat Acerdoune (Algérie) : deux grands barrages algériens menacés par le phénomène de l'envasement. *Larhyss Journal*, N°38, Juin 2019, pp. 131-151.