

**Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images
Google Earth dans les pays en développement.**

**Natural disasters and urban planning: on the interest of the use of
Google Earth images in developing countries**

Pierre OZER ¹

Abstract: More and more often, natural disasters linked to extreme weather events defined as extreme are charged to climate change. Here we demonstrate that -very often- these past, current or future disasters mainly result from the unexpected addition of human activities coupled with the lack of governance, through the non-application of laws and regulations relating to urban planning. To do this, in regions characterized by a patent lack of data, the use of satellite data available in open source via *Google Earth* can be a very effective tool to track certain processes (coastal erosion, gully erosion, urban sprawl in flood-prone areas) involved in the increasing risk. In addition, it is a very powerful educational tool to illustrate the speed of these phenomena that threaten property and people. To illustrate these assumptions, examples from Nouakchott (Mauritania) and Kinshasa (Democratic Republic of Congo) are successively presented.

Keywords: Natural hazards, urban areas, satellite image, Google Earth, Nouakchott, Kinshasa, developing countries

Résumé : De plus en plus souvent, les catastrophes naturelles liées à des événements météorologiques qualifiés d'extrêmes sont imputées au changement climatique. Nous démontrons ici que –très souvent– ces catastrophes passées, actuelles ou à venir résultent essentiellement de l'addition non anticipée d'activités humaines couplée à l'absence de gouvernance, au travers de l'inapplication des textes législatifs et réglementaires relatifs à l'aménagement du territoire. Pour ce faire, dans des régions caractérisées par l'absence criante de données, l'utilisation de données satellitaires disponibles en open source via *Google Earth* peut s'avérer être un outil très efficace pour le suivi de certains processus (érosion littorale, érosion ravinante, étalement urbain en zone inondable) participant à l'accroissement du risque et formidablement pédagogique pour illustrer la célérité de ces phénomènes qui mettent en péril les biens et les personnes. Pour illustrer ces postulats, des exemples de Nouakchott (Mauritanie) et Kinshasa (République Démocratique du Congo) sont successivement présentés.

Mots-clés : Risques naturels, zone urbaine, images satellitaires, Google Earth, Nouakchott, Kinshasa, pays en développement

INTRODUCTION

La gestion des risques et catastrophes naturels est, depuis la Décennie des Nations unies de la prévention des catastrophes naturelles (1989-1999) et – plus encore – depuis la Conférence mondiale des Nations unies sur la prévention des catastrophes naturelles de Yokohama (Japon) qui aboutira à l'adoption de la « Stratégie de Yokohama : directives pour la prévention des catastrophes naturelles, la préparation aux catastrophes et l'atténuation de leurs effets », une thématique de recherche et d'attention de plus en plus importante. En effet, la rapide et souvent incontrôlée concentration de nouvelles populations en zones urbaine et périurbaine couplée aux effets pressentis des changements climatiques, tels que l'élévation « certaine » du niveau des océans, l'amplification « hautement probable » des vagues de chaleur, et l'augmentation « probable » des déficits pluviométriques, des événements pluviométriques extrêmes, et des cyclones tropicaux (IPCC, 2013), laissent craindre la multiplication des aléas dans un contexte de vulnérabilité croissante.

En première ligne des victimes potentielles, se trouvent les populations des pays en développement dont une caractéristique commune réside dans l'absence d'infrastructures suffisantes, de gouvernance adéquate, de planification territoriale – à plus forte raison dans les villes où la

¹ Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Arlon, Belgique, pozer@ulg.ac.be

population augmente chaque jour un peu plus –, de capacité de réponse en cas de désastres, et d'anticipation. Le tout dans un contexte de pauvreté des populations, d'absence de données (ou d'accès difficile à des données) permettant de caractériser certains événements ou d'assurer le suivi de certains processus, et – dès lors – de méconnaissance du risque et de mise en place de stratégies d'adaptation. Raisons pour lesquelles plus de 98% des trois milliards d'individus affectés directement ou indirectement par les catastrophes naturelles entre 1991 et 2005 sont dénombrés dans les pays en développement (OZER, 2012b).

Cet article est un recueil d'études de cas 'in progress' en différents endroits d'Afrique qui illustrent la célérité de certains processus naturels qui mettent en péril les biens et les personnes.

OUTIL ET MÉTHODES

Ces études se basent sur l'accès aux images d'archives disponibles à haute résolution à partir du logiciel libre *Google Earth* qui permet une visualisation de la terre avec un assemblage d'images satellitaires et de photographies aériennes, le plus souvent récentes (dix dernières années) et à haute résolution. Selon les zones géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises et nombreuses. Ainsi, les villes sont parfaitement couvertes et permettent le plus souvent un suivi de certains processus tels que l'étalement urbain ou les modifications environnementales majeures et rapides. Ainsi, ces images diachroniques extraites de *Google Earth* ont été utilisées pour le suivi de l'érosion côtière (OZER, 2012a) et de l'érosion ravinante (FRANKL *et al.*, 2013), la détection et la cartographie des glissements de terrain post séisme (SATO & HARP, 2009), la cartographie de l'étendue des inondations post-tsunami (RAO & LIN, 2011) ou la prévision des zones à risque d'inondation dans le cadre de la mise en place d'un système d'alerte précoce aux tsunamis (CHEN *et al.*, 2015). En outre, elles peuvent servir à évaluer certains risques sanitaires tels que la dengue (CHANG *et al.*, 2009), les maladies à vecteurs (LOZANO-FUENTES *et al.*, 2008) ou au suivi de certaines crises humanitaires (PARKS, 2009). Etant donné l'accès libre à ce logiciel et à ces données, *Google Earth* est largement utilisé comme outil éducatif dans les écoles et les universités (CHILCOTT & HASLETT, 2010 ; DEMIRCI *et al.*, 2013 ; XUESONG *et al.*, 2012) de même que pour sensibiliser les décideurs aux problématiques de la nécessaire adaptation durable aux changements climatiques et environnementaux (STOCKER *et al.*, 2012).

Deux villes d'Afrique sont étudiées pour exposer la rapidité de certains phénomènes qui tendent à augmenter drastiquement la vulnérabilité des sociétés face aux aléas naturels : l'étalement urbain augmentant (voire créant de toutes pièces) la vulnérabilité de certaines populations face aux risques d'inondation et de submersion marine à Nouakchott, capitale de la République islamique de Mauritanie, et l'érosion ravinante à Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo. Systématiquement, ces processus visibles grâce aux images satellitaires disponibles au travers de *Google Earth* sont remis dans leurs contextes climatique, environnemental et socio-économique.

RESULTATS

Nouakchott : l'étalement urbain, risque d'inondation et risque de submersion marine

La ville de Nouakchott est le prototype de la « ville nouvelle ». Négociée politiquement par décret, elle est créée de toutes pièces en 1957, en plein désert, à cinq kilomètres de l'Océan Atlantique, sur le sommet d'une dune culminant à sept mètres d'altitude non loin d'un poste militaire où vivaient quelques centaines de personnes (CHENAL & DIAGANA, 2009). Programmée pour pouvoir accueillir 8000 habitants en 1970, ce chiffre est déjà dépassé en 1963. En 1970, notamment suite aux premiers effets de la « grande sécheresse » sur les migrations des populations rurales (OZER *et al.*, 2010), la ville compte alors 40000 habitants. Dix années plus tard, cette population est proche des 200000 unités pour dépasser les 400000 en 1990. En deux décennies, la population de Nouakchott est donc multipliée par dix. Cet accroissement démographique urbain ne s'inversera pas. De ce fait, la population flirte actuellement (2013) avec le million d'habitants (BRINKHOFF, 2014).

Si, dans un premier temps, la ville s'est implantée sur les zones surélevées des dunes, ce qui lui permettait d'éviter les inondations, cette gestion du risque d'inondation par la planification urbaine fut de courte durée. Ainsi, la superficie bâtie de la capitale de Mauritanie est-elle passée de 350

hectares en 1970 à près de 10000 hectares en 1999 pour doubler encore en 2008 (CHENAL & DIAGANA, 2009). Cet étalement urbain a été remarquablement cartographié par THÉNOT (2007) pour entre 1950 et 2006 en utilisant sept jeux de photographies aériennes et images satellitaires. Ainsi, les nouveaux arrivants ont-ils squatté de manière totalement spontanée les terrains non lotis dans les interstices de la ville. Or, ces espaces libres sont, pour la plupart, situés dans les dépressions interdunaires à nappe phréatique subaffleurente dont l'altitude est souvent inférieure au niveau de la mer actuel. Dans un premier temps, ces nouvelles populations n'ont pas mesuré le risque potentiel d'inondation. En effet, l'effet combiné du long déficit pluviométrique (OZER *et al.*, 2014) et du pompage excessif dans la nappe phréatique pour les besoins en eau de la population (THÉNOT, 2007) ont fait que ces dépressions se sont asséchées. Le retour à des précipitations plus abondantes et la remontée de la nappe phréatique (maintenant saumâtre et polluée) suite à un nouvel approvisionnement en eau de la ville font que plusieurs quartiers se retrouvent maintenant fréquemment inondés durant la saison des pluies (NIANG, 2014), ce qui aggrave divers risques sanitaires tels que le paludisme (OULDABDALLAHI *et al.*, 2015) ou les maladies diarrhéiques (TRAORÉ *et al.*, 2013), plus spécifiquement dans les quartiers défavorisés caractérisés par l'inexistence de services d'assainissement (SY *et al.*, 2011, 2014).

Dans le but de pouvoir distinguer les zones constructibles des zones non-aedificandi par rapport au risque d'inondation, OULD SIDI CHEIKH *et al.*, (2007) ont réalisé, sur base des cartes topographiques digitalisées et d'images satellitaires, une cartographie des zones inondables dont l'altitude est inférieure au niveau de la mer actuel. Couplée à l'habitat existant, ces cartes indiquaient les zones à stress et orientaient les décideurs de la municipalité de Nouakchott vers une réduction du risque d'inondation dans les années à venir au travers de la planification urbaine (Fig. 1). L'usage de *Google Earth* permet ici de faire un suivi de l'étalement urbain dans les zones dépressionnaires à risque élevé d'inondation. Tarhile (qui signifie « les déplacés ») est un nouveau quartier, créé de toutes pièces au sud-est de la ville (Fig. 2). Il est né dans le but de recaser les habitants du plus grand bidonville de la ville. Le plan de lotissement qui s'étale sur 20 km², et où 200 000 parcelles ont été attribuées, a été élaboré par le Ministère de l'habitat, de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire de Mauritanie (LES ATELIERS, 2014). Et force est de constater que les autorités n'ont pas tenu compte du risque d'inondation lorsqu'elles ont délibérément décidé d'aménager ce nouvel espace (Fig. 2). En effet, l'image satellitaire du 15 juin 2010 présente une longue cuvette allongée totalement dépourvue d'habitations dont l'orientation est nord-est – sud-ouest. Celle-ci apparaît en blanc, preuve que lors des battements de la nappe, suite aux précipitations abondantes, les eaux saumâtres remontent à la surface, stagnent, puis s'évaporent, laissant des dépôts de sel comme témoin du risque d'inondation. L'image du 25 décembre 2012 démontre la célérité de l'urbanisation. Ce nouveau quartier (Tarhile) est en grande partie menacé d'inondation en cas de précipitations abondantes. Nous insistons ici sur le caractère 'abondant' des pluies et non 'exceptionnel' car il a été montré par le passé que des pluies de 15 à 30 mm sur 24 heures suffisent à inonder certains quartiers de Nouakchott (OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007 ; THÉNOT, 2007). Or, sur base des données quotidiennes de précipitations enregistrées à la station synoptique de Nouakchott de 1940 à 2005, il appert que les pluies 'anormales' (période de retour de 6 ans) sont de 47 mm alors que les pluies 'exceptionnelles' (période de retour de 30 ans) sont de 75 mm (OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007).

Quant à la figure 3, elle présente une zone dépressionnaire dans la commune de Tevragh Zeina (du nom révélateur de la mare qui y était présente avant la grande sécheresse) très proche du centre-ville (moins d'un kilomètre de l'Ambassade de France) qui, dépourvue de constructions en 2002, est progressivement lotie (2010). Ce quartier est ensuite inondé lors des hivernages 2011, 2012 et 2013 et les eaux saumâtres y stagnent pendant plusieurs mois (voir *Google Earth* pour l'analyse diachronique). A ce titre, il est intéressant de noter que l'image de 2013 a été prise cinq semaines après le début de l'inondation, ce qui atteste de la persistance des eaux pluviales en surface et de la proximité de la nappe phréatique. Il est par ailleurs totalement déconcertant de constater que des périmètres inondés trois années consécutives (2011 à 2013) sont construits dès 2014 (voir le début de la construction au nord-ouest de la Fig. 3).

Dès lors, suite aux constructions de plus en plus fréquentes en zone inondable, il n'est guère surprenant que – suite à une pluie de 23,1 mm en septembre 2013 (OZER *et al.*, 2013) – le Département de la protection civile de Mauritanie ait eu à déplorer des « dommages sans précédent » à Nouakchott, essentiellement dans les nouvelles zones loties et dans les quartiers spontanés. La réponse

des autorités – passablement débordées – se limite à pomper, sans grands résultats, les eaux stagnantes par des camions citernes et à faire appel à l'aide à la communauté internationale. Ce manque de réactivité du gouvernement et cette mauvaise gestion de la crise créeront un lourd malaise au sein des populations sinistrées. La destruction de centres de santé, la fermeture de plusieurs établissements scolaires, les voiries impraticables enclavant des quartiers entiers ont provoqué de vives tensions telles que de violentes manifestations lourdement réprimées par la Garde Présidentielle ou l'incendie de commissariats de police (IRIN, 2013).

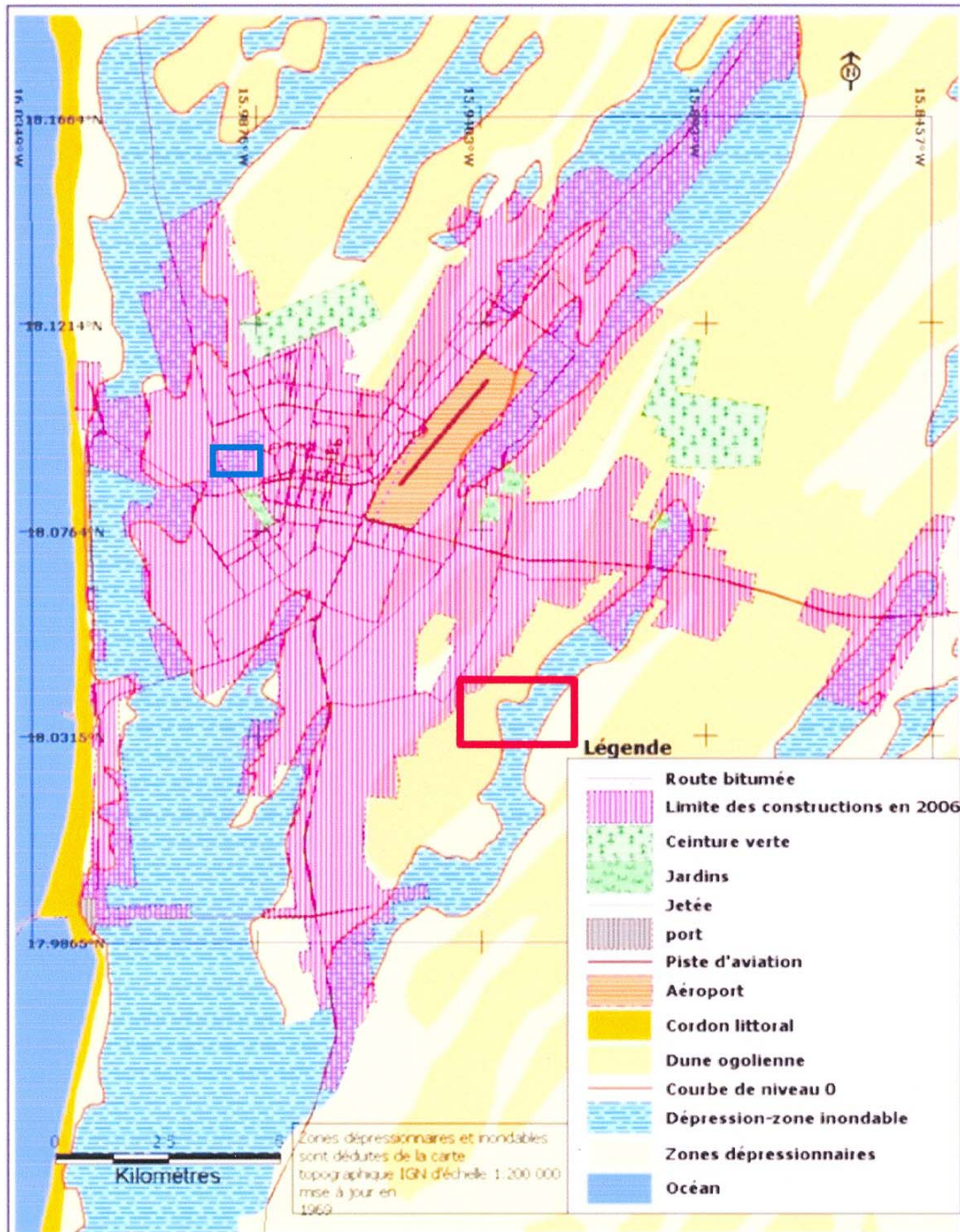


Figure 1 : Carte d'aléas d'inondation à la ville de Nouakchott (OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007) ; les rectangles rouge et bleu montrent la localisation des zones géographiques représentées aux fig. 2 et 3.

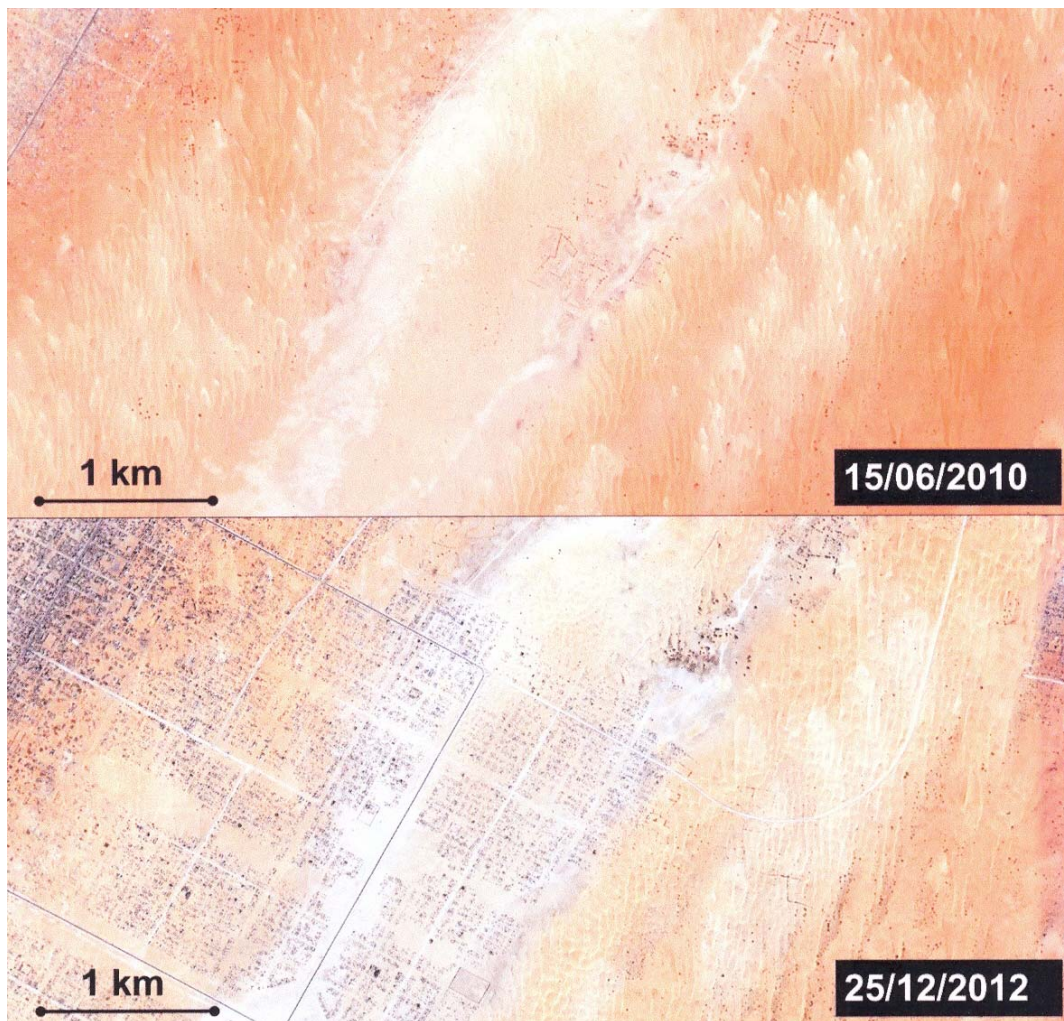


Figure 2 : Illustration grâce aux images Google Earth, du rapide étalement urbain de Nouakchott Planifié en zone inondable entre le 15.06.2010 et le 25.12.2012, nouveau quartier d'Etterhill (centre de l'image : 18°02'08''N, 15°55'07''O)

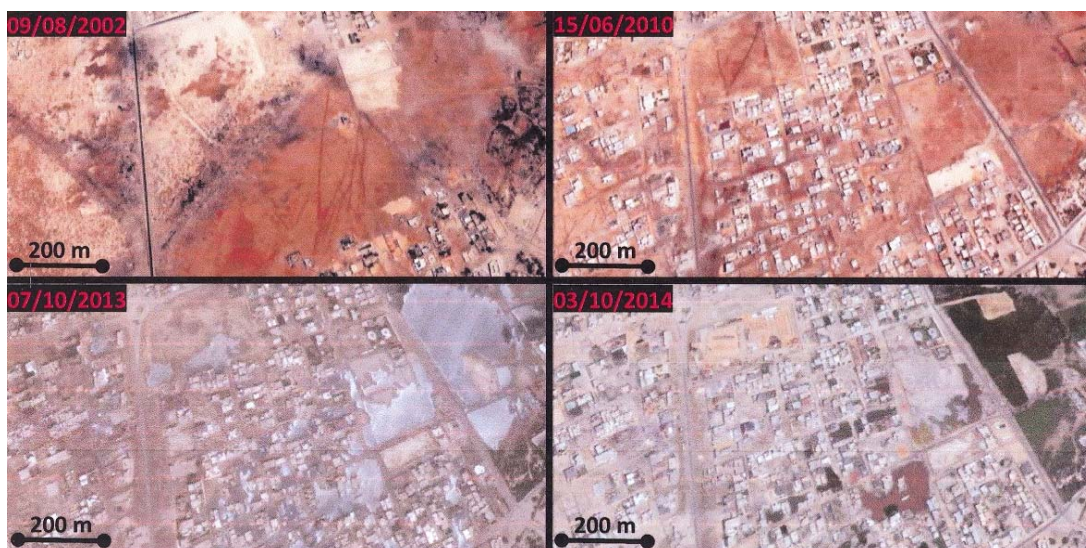


Figure 3 : Illustration, grâce aux images *Google Earth*, des constructions dans le centre-ville de Nouakchott En zone inondable (et inondée en 2013) entre le 9.08.2002 et le 3.10.2014, commune de Tavrigh Zeina (centre de l'image : 18°05'45''N, 15°59'37''O)

Dans ces conditions déplorables d'aménagement urbain, on est en droit de s'interroger sur les conséquences qu'engendreraient dans le futur des précipitations réellement exceptionnelles telles que celles observées par le passé car, d'une part, la fréquence des précipitations quotidiennes supérieures à 20 mm présente une nette augmentation depuis deux décennies et, d'autre part, la fréquence des pluies intenses et extrêmes ne présente pas de tendance significative entre 1933 et 2010. Ces précipitations pourraient donc bien survenir à tout moment (OZER *et al.*, 2014).

En outre, dans le contexte des changements climatiques et d'élévation du niveau des océans, la ville de Nouakchott est également menacée par le risque d'incursions marines. En effet, le cordon dunaire littoral est la seule protection des zones basses de la ville contre les assauts de l'Océan Atlantique. Or, ce rôle protecteur est mis à mal suite à de multiples pressions dont, en premier lieu, la construction – en 1985 – du Port Autonome de Nouakchott qui bouleverse l'évolution géomorphologique du littoral, bloquant le transit sédimentaire nord-sud et provoquant de la sorte un engraissement de la côte au nord de l'infrastructure portuaire et une érosion au sud. Ces accrétion et érosion ont été de l'ordre de 850 m et 600 m, respectivement, entre 1978 et 2006 (OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007 ; Fig. 5) et, plus récemment, de 100 m et 140 m entre 2004 et 2010 (HACHEMI *et al.*, 2014), soit une vitesse d'engraissement qui tend à diminuer avec le temps et qui est, ces dernières années, de 14 m/an et une vitesse d'érosion relativement stable de l'ordre de 20 m/an.

Les images *Google Earth* permettent d'actualiser la dynamique de l'érosion côtière au sud du port. Ainsi, il ressort que l'avancée de la mer entre février 2005 et février 2013 y est de 160 m, et donc que la vitesse se maintient à 20 m/an (Fig. 4).

A l'influence de l'infrastructure portuaire, le littoral a été et/ou est toujours contraint à différentes pressions. Ainsi, les prélèvements importants de sable sur les dunes pour approvisionner le développement de la ville en matériau de construction, l'édification de bâtiments sur les crêtes des dunes, le surpâturage et le piétinement occasionnés par le cheptel sont autant de facteurs aggravants fragilisant cette interface terre-mer précaire. Les incursions marines ne sont pas rares. THÉNOT (2007) a recensé onze événements entre 1985 et 2006 dont les impacts sur certains quartiers de Nouakchott ont été plus ou moins importants, essentiellement dans les nouveaux quartiers de la ville situés sous le niveau de la mer. Quant à l'Atlas de Nouakchott (CUN, 2011), il recense dix brèches existantes dans le cordon ainsi que sept points de fragilité qui menacent de céder lors d'une prochaine tempête associée à une surcote et/ou à une forte houle. Plus grave, l'Atlas estime que le cordon dunaire de protection a « quasiment disparu sur 10 km » au sud du port ce qui mettrait directement en danger certaines nouvelles extensions de Nouakchott dans sa portion sud.



Figure 4 : Illustration, grâce aux images *Google Earth*, de la rapide érosion littorale au sud du port de Nouakchott avec un recul du trait de côte de 160 m entre le 15.02.2005 et le 19.02.2013

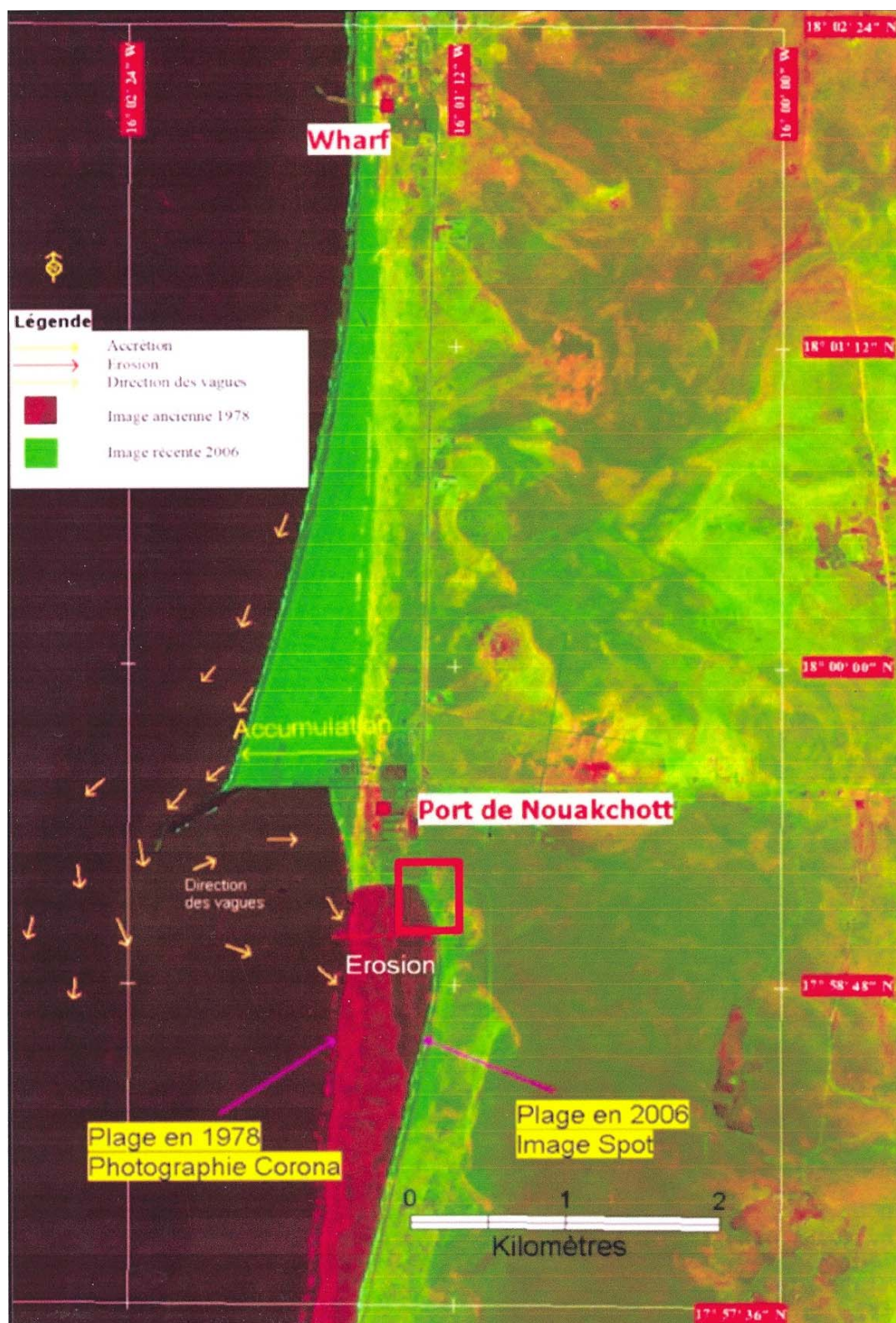


Figure 5 : Evolution du trait de côte à Nouakchott entre 1978 et 2006 (d'après OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007) ; le rectangle rouge montre la localisation de la zone géographique représentée à la fig. 4)

Kinshasa en proie au ravinement

Kinshasa, la plus grande ville d'Afrique centrale, a vu sa population passer d'environ 400 000 habitants en 1957 à plus de 11,5 millions d'habitants fin 2014. Sur la même période, la ville s'est agrandie, s'étalant de 94 à 583 km² (COX, 2015 ; MAKANZU IMWANGANA *et al.*, 2015). Si, à l'instar des autres grandes villes africaines, Kinshasa est impactée par les inondations (TIEPOLO, 2014), sa spécificité – en termes de risques naturels – réside dans l'érosion rapide par ravinement.



Figure 6 : Evolution d'un ravin en périphérie de Kinshasa tête 2014 : 4°25'41''S, 15°14'15''E) qui s'est développé sur plus de 600 m entre 2006 (inexistant) et 2014 en suivant l'axe de la route.

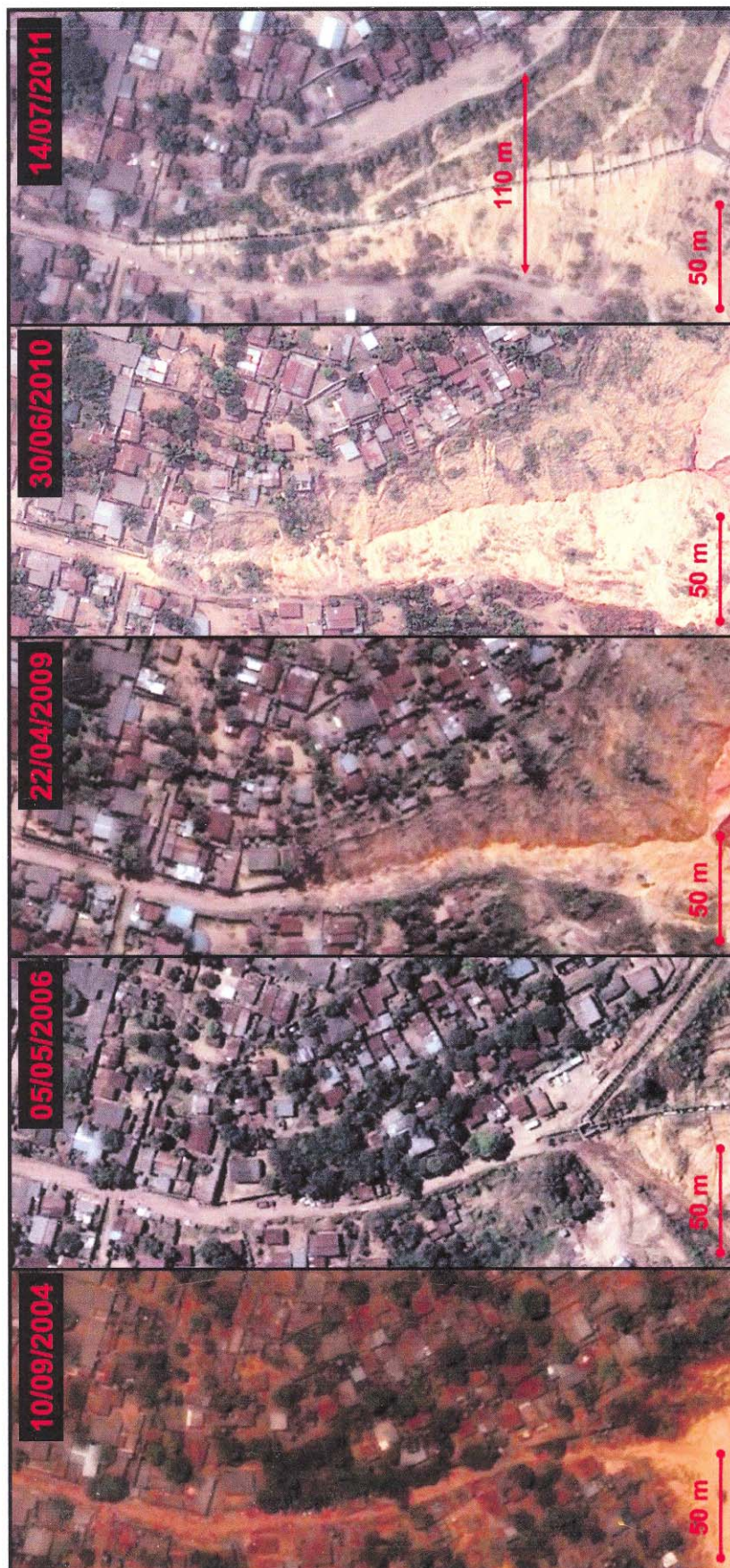


Figure 7 : Evolution du ravin de Binza (tête de ravine 2011: 4°22'41''S, 15°15'16''E) qui, suivant l'axe de la route, a progressivement englouti plusieurs dizaines de maisons. Notez la destruction, à titre préventif, de plusieurs habitations de part et d'autre de la ravine par les autorités en 2011.

En effet, en 2007, MAKANZU IMWANGANA *et al.* (2015) ont recensé 308 ravins dans la ville totalisant une longueur cumulée de 95 km qui occupent une superficie de 2 km² et dont les profondeurs et largeurs moyennes sont respectivement de 7 et 21 mètres. Ce phénomène de ravinement a débuté dans les années 1970 lorsque la ville s'est progressivement établie sur les versants des collines sableuses situées au sud.

Si les sols sableux présentent naturellement une vulnérabilité extrême au ravinement, il apparaît que sur les 308 ravins identifiés, 139 ont été directement provoqués par les infrastructures routières et les pistes piétonnes qui tendent à canaliser les eaux pluviales et 154 autres par le débordement de la voirie et le drainage. Seuls 15 ravins (soit 5% du total) n'ont pas de relation étroite avec des aménagements anthropiques. Ceci tend à démontrer que l'actuelle activité érosive est provoquée par un apport en eau de ruissellement beaucoup plus important qu'il y a 50 ans (MAKANZU IMWANGANA *et al.*, 2014). Ainsi, en imperméabilisant les bassins-versants au détriment de la végétation ligneuse et en concentrant de grandes quantités d'eau de ruissellement, l'urbanisation non planifiée a modifié le drainage naturel du sol et a augmenté l'aléa dans cette région. A l'instar d'autres villes d'Afrique centrale (VANDECASTEELE *et al.*, 2011), elle est donc la cause principale de l'érosion ravissante qui balafre les versants sableux de Kinshasa alors même que l'intensité des précipitations n'a pas connu de variations statistiquement significatives au cours des cinquante dernières années (SAHANI *et al.*, 2012 ; MAKANZU *et al.*, 2014).

Dans le cas précis de Kinshasa, les images de *Google Earth* permettent de confirmer le rôle primordial des routes quant au ravinement, d'estimer la vitesse du processus et de démontrer les impacts socio-économiques de cette érosion dans certains quartiers. Le premier exemple (Fig. 6) présente la création d'un ravin totalement inexistant en 2006 (et même 2009, voir *Google Earth* pour l'analyse diachronique) qui se développe dès 2010 et va grignoter une centaine de mètres par an pour, en juillet 2014, se déployer sur près de 600 mètres linéaires, engouffrant la route permettant d'accéder aux différentes habitations. Le deuxième exemple (Fig. 7) montre l'évolution du ravin de Binza, plus proche du centre de la ville, qui s'est développé entre 2006 et 2009 pour s'étendre ensuite jusqu'en 2011 tout en provoquant la destruction d'une soixantaine d'habitations et occasionnant une érosion latérale de 110 mètres qui, clairement, perturbe – voire réduit à néant – la vie quartier ; ces ravines tendant à enclaver certaines zones jadis voisines.

CONCLUSION

Dans les cas de Nouakchott et de Kinshasa, les images de *Google Earth* ont permis de mettre en lumière la vulnérabilité de certaines zones urbaines face à divers types de risques naturels. La célérité de l'extension urbaine accroissant fréquemment la vulnérabilité des enjeux et la rapidité d'intensification des aléas font souvent que le risque croît de manière exponentielle. Il semble adéquat, sinon nécessaire, d'utiliser ce type d'informations pour accroître la représentation des décideurs par rapport aux risques naturels et à leurs impacts sur la (sur)vie socio-économique des populations affectées par ces divers stress dans les années passées et à venir pour que des mesures réfléchies soient prises d'urgence. Le projet de recherche-action développé par STOCKER *et al.* (2012) en Australie visant à tester une méthodologie de cartographie participative à l'aide de *Google Earth* pour développer – avec succès – une compréhension commune des décideurs sur la durabilité et les changements climatiques et, ensuite, développer des stratégies d'adaptation devrait être testée dans les pays en développement où les problématiques sont autrement difficiles et lourdes de sens.

BIBLIOGRAPHIE

- BRINKHOFF, T., 2014. City Population, <http://citypopulation.de/Mauritania.html> (dernier accès, 9/9/2014)
CHANG, A.Y., PARRALES, M.E., JIMENEZ, J., SOBIESZCZYK M.E., HAMMER, S.M., COPENHAVER, D.J. & KULKARNI, R.P., 2009. Combining Google Earth and GIS mapping technologies in a dengue surveillance system for developing countries. *International Journal of Health Geographics*, 8: 49.
CHEN, G.Y., LIU, C.C. & YAO, C.C., 2015. Forecast system for offshore water surface elevation with inundation map integrated for tsunami early warning. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 40: 37-47.

- CHENAL, J. & DIAGANA, I., 2009. Nouakchott la ville nouvelle. In J., CHENAL, Y., PEDRAZZINI, G., CISSE & V., KAUFMANN (Eds.), *Quelques rues d'Afrique. Observation et gestion de l'espace public à Abidjan, Dakar et Nouakchott*. Les Editions du Lásur, Lausanne, Suisse, pp. 33-48.
- CHILCOTT, M. & HASLETT, S.K., 2010. Climate change and sustainable development education through the lens of Google Earth. *Teaching Earth Sciences*, 35: 20-23.
- COX, W., 2015. *Demographia World Urban Areas, 11th Annual Edition*. Belleville, IL, USA. 133 p.
- CUN (Communauté Urbaine de Nouakchott), 2011. *Atlas de Nouakchott : Infrastructures et services urbains*. GRET, Paris, France. 71 p.
- DEMIRCI, A., KARABURUN, A. & KILAR, H., 2013. Using Google Earth as an educational tool in secondary school geography lessons. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 22: 277-290.
- FRANKL, A., ZWERTVAEGHER, A., POESEN, J. & NYSSSEN, J., 2013. Transferring Google Earth observations to GIS-software: Example from gully erosion study. *International Journal of Digital Earth*, 6: 196-201.
- HACHEMI, K., THOMAS, Y.F., SENHOURY, A.O.E.M., ACHEK-YOUCHEF, M., OZER, A. & NOUACER H.A., 2014. Etude de l'évolution du trait de côte au niveau du port de Nouakchott (Mauritanie) à partir d'une chronique d'images SAR d'ENVISAT. *Geo-Eco-Trop*, 38: 169-178.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [T.F., STOCKER, D., QIN, G.K., PLATTNER, M., TIGNOR, S.K., ALLEN, J., BOSCHUNG, A., NAUELS, Y., XIA, V., BEX & P.M., MIDGLEY (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IRIN, 2013. La Mauritanie se relève d'inondations sans précédent. <http://www.irinnews.org/fr/report/98855/la-mauritanie-se-rel%C3%A8ve-d-inondations-sans-pr%C3%A9c%C3%A9dent> (dernier accès, 9/9/2014)
- LES ATELIERS, 2014. *Document de Contexte, Nouakchott, l'avenir par défi. Adaptation et mutation d'une ville vulnérable*. Atelier international de maîtrise d'œuvre urbaine 26 avril - 9 mai, Nouakchott, Mauritanie. 129 p.
- LOZANO-FUENTES, S., ELIZONDO-QUIROGA, D., FARFAN-ALE, J.A., LOROÑO-PINO, M.A., GARCIA-REJON, J., GOMEZ-CARRO, S., LIRA-ZUMBARDO, V., NAJERA-VAZQUEZ, R., FERNANDEZ-SALAS, I., CALDERON-MARTINEZ, J., DOMINGUEZ-GALERA, M., MIS-AVILA, P., MORRIS, N., COLEMAN, M., MOORE, C.G., BEATY, B.J. & EISEN, L., 2008. Use of Google Earth™ to strengthen public health capacity and facilitate management of vector-borne diseases in resource-poor environments. *Bulletin of the World Health Organization*, 86: 718-725.
- MAKANZU IMWANGANA, F., DEWITTE, O., NTOMBI, M. & MOEYERSONS, J., 2014. Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR Congo). *Geomorphology*, 217: 131-139.
- MAKANZU IMWANGANA, F., VANDECASTEELE, I., TREFOIS, P., OZER, P. & MOEYERSONS, J., 2015. The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (D.R. Congo). *Catena*, 125: 38-49.
- MAKANZU, F., OZER, P. & MOEYERSONS, J., 2014. Caractéristiques des pluies et ravinement dans la ville de Kinshasa de 1961 à 2010. In A., OZER & P., OZER (Eds.), *Colloque International "La Géographie Physique et les Risques Naturels"* - Livre de résumés. Université de Liège, Liège, Belgique, p. 23. <http://hdl.handle.net/2268/170040>
- NIANG, A.J., 2014. La résilience aux changements climatiques : cas de la ville de Nouakchott. *Geo-Eco-Trop*, 38: 155-168.
- OULD SIDI CHEIKH, M.A., OZER, P. & OZER, A., 2007. Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Geo-Eco-Trop*, 31: 19-42.
- OULDABDALLAHI, M., OULDBEZEID, M., LEMRABOT, M.A., OULDELVALLY, A., OULDKHAIRI, M.L., DIALW, B. & BASCO, L., 2015. Étude de la morbidité et espèces de Plasmodium dans les différentes zones géo-climatiques de la Mauritanie. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, DOI 10.1007/s13149-014-0413-2.
- OZER, P., 2012a. Is the fishing village of Phan Thiet victim of climate change? *Geo-Eco-Trop*, 36: 29-38.
- OZER, P., 2012b. Les risques naturels. In S., BRUNET, C., FALLON, P., OZER, N., SCHIFFINO, & A., THIRY (Eds.), *Articuler risques, planification d'urgence et gestion de crise*. De Boeck, Louvain-La-Neuve, Belgique, pp. 77-99.
- OZER, P., HOUNTONDJI, Y.C., GASSANI, J., DJABY, B. & DE LONGUEVILLE, F., 2014. Evolution récente des extrêmes pluviométriques en Mauritanie (1933-2010). In P., CAMBERLIN & Y., RICHARD (Eds.), *Actes du 27e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie*. Université de Bourgogne, Dijon, France, pp. 394-400.
- OZER, P., HOUNTONDJI, Y.C., NIANG, A.J., KARIMOUNE, S., LAMINO MANZO, O. & SALMON, M., 2010. Désertification au Sahel: Historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54: 69-84.
- OZER, P., OULD SIDI CHEIKH, M.A. & OZER, A., 2013. Etalement urbain des villes en Afrique subsaharienne et vulnérabilité croissante face au risque d'inondation : l'exemple de Nouakchott (Mauritanie). In

- Colloque International Territoires périurbains : développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud, 13 décembre 2013. Pacodel, Gembloux, Université de Liège, Belgique. <http://hdl.handle.net/2268/156896>
- PARKS, L., 2009. Digging into Google Earth: An analysis of “Crisis in Darfur”. *Geoforum*, 40: 535-545.
- RAO, G. & LIN, A., 2011. Distribution of inundation by the great tsunami of the 2011 M_w 9.0 earthquake off the Pacific coast of Tohoku (Japan), as revealed by ALOS imagery data. *International Journal of Remote Sensing*, 32: 7073-7086.
- SAHANI, M., MOEYERSONS, J., VANDECASTEELE, I., TREFOIS, P. & OZER, P., 2012. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 À 2010. *Geo-Eco-Trop*, 36: 121-136.
- SATO, H.P. & HARP, E.L., 2009. Interpretation of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008, M7.9 Wenchuan earthquake in the Beichuan area, Sichuan Province, China using satellite imagery and Google Earth. *Landslides*, 6: 153-159.
- STOCKER, L., BURKE, G., KENNEDY, D. & WOOD, D., 2012. Sustainability and climate adaptation: Using Google Earth to engage stakeholders. *Ecological Economics*, 80: 15-24.
- SY, I., KEITA, M., TRAORÉ, D., KONÉ, B., BÂ, K., WEDADI, O.B., FAYOMI, B., BONFOH, B., TANNER, M. & CISSÉ, G., 2014. Eau, hygiène, assainissement et santé dans les quartiers précaires à Nouakchott (Mauritanie): contribution à l’approche écosanté à Hay Saken. *VertigO-la revue électronique en sciences de l’environnement*, Hors-série 19. <http://vertigo.revues.org/14999>
- SY, I., KOITA, M., TRAORÉ, D., KEITA, M., LÔ, B., TANNER, M. & CISSÉ, G., 2011. Vulnérabilité sanitaire et environnementale dans les quartiers défavorisés de Nouakchott (Mauritanie): analyse des conditions d’émergence et de développement de maladies en milieu urbain sahélien. *VertigO-la revue électronique en sciences de l’environnement*, 11(2). <http://vertigo.revues.org/11174>
- THÉNOT, A., 2007. Modèles de données pour l’appréhension et la gestion des risques à Nouakchott (Mauritanie) - Une capitale contre vents et marées. Thèse de doctorat. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I. 424 p. + annexes.
- TIEPOLO, M., 2014. Flood risk reduction and climate change in large cities south of the Sahara. In S., MACCHI & M., TIEPOLO (Eds.), *Climate change vulnerability in southern African cities*, Springer Climate, pp. 19-36.
- TRAORÉ, D., SY, I., UTZINGER, J., EPPRECHT, M., KENGNE, I.M., LÔ, B., ODERMATT, P., FAYE, O., CISSÉ, G. & TANNER, M., 2013. Water quality and health in a Sahelian semi-arid urban context: an integrated geographical approach in Nouakchott, Mauritania. *Geospatial Health*, 8: 53-63.
- VANDECASTEELE, I., MAKANZU, F.I., TUMWAKA, C.N., NTOMBI, A.M., TREFOIS, P., OZER, P., MOEYERSONS, J., 2011. The increasing threat of natural hazards in Central Africa: the case of urban megagullies. 23rd colloquium of African Geology, January 8-14, 2011, p. 407. Abstracts volume. “Together in Africa for a leading role in geosciences”. University of Johannesburg, South Africa.
- XUESONG, Z., HAILIN, Z., SHENGSHENG, G. & XIAOHUI, Z., 2012. Study on applying Google Earth to geography class teaching in middle school. In W., ZHANG (Ed.), *Software engineering and knowledge engineering*, AISC 162, pp. 881-887.