

PEUT-ON ATTENUER LES RISQUES HYDRIQUES DANS LES PIÉMONTS ATLASIQUES ?

Abdellah LAOUINA

Professeur émérite. Université Mohammed V, Rabat

Résumé: Les piémonts de la chaîne atlasique connaissent à la fois des risques d'inondations catastrophiques et des risques de pénurie d'eau. La question posée consiste dans la recherche de potentiels pour réduire ces effets hydriques par un aménagement plus conservatoire de la montagne.

En montagne, la dynamique environnementale reste caractérisée par une dégradation en action dont l'illustration est la régularisation hydrique en baisse, malgré les gros efforts d'équipement. Avec le changement climatique, cette situation risque de se compliquer, avec notamment l'accroissement de la magnitude des aléas. Les modèles projettent en effet, une baisse des pluies d'hiver, celles qui normalement produisent en abondance l'eau superficielle et souterraine et une multiplication des événements intenses estivaux, causant une érosion très importante. Pour s'adapter, il faudrait couvrir au maximum les versants servant de parcours et les gérer de façon à permettre la restauration des plus dégradés. Il faut aussi prêter plus d'attention aux terrains cultivés, en y réalisant le maximum de dispositifs de piégeage de l'eau ou de réduction de l'intensité d'écoulement. Mais l'augmentation de la part des eaux vertes, tout en relevant le taux de régularisation, ne va-t-elle pas réduire les débits arrivant aux barrages, situés sur le piémont ?

Pour les pouvoirs publics, sur le long terme, le plus important est sans doute d'éviter l'envasement excessif, généré par les écoulements très chargés car il agit sur la durabilité des infrastructures coûteuses et vitales pour l'irrigation en plaine et l'alimentation en eau potable. L'autre enjeu est de garantir des débits fournis pour répondre aux besoins les plus importants en aval ; l'aménagement intégré des forêts, des parcours et des terres agricoles est sensé permettre cela, à la condition que les exploitants des finages qui, seuls, peuvent l'assurer, soient intéressés à cette opération.

Cet espace montagneux est en majorité utilisé par de petits exploitants (les 2/3 du nombre total d'exploitations). Les cultures sur terrains melk ne fournissent qu'une partie de leurs revenus, le reste venant de l'utilisation – pratiquement privative - des parcours collectifs et de la forêt domaniale. Ces petits exploitants, principaux responsables de la dégradation de la biomasse, par la surexploitation de bois d'énergie et le surpâturage en forêt comme dans les parcours, seront eux les seuls restaurateurs possibles de ces écosystèmes, si on les implique dans le processus de gestion et si on arrive à les mobiliser dans ce but. Sinon, toute autre opération lancée en dehors de leur participation, ne pourra être que vaine.

Pour réussir cet objectif hydrique, il est important d'avoir recours aux résultats de la recherche-expérimentation, car la réaction des divers aménagements sur le bilan de l'eau est très diverse en fonction de l'échelle du bassin versant et des étages climatiques. Les reforestations massives présentent le défaut d'avoir un impact de réduction des écoulements. En montagne aride (versant sud de l'Atlas avec <200mm), la culture n'est pas rentable sur les versants consacrés au parcours extensif, où l'essentiel est d'éviter le surpâturage, pour permettre l'extension et la densification de la biomasse, afin de relever la part de l'infiltration et concentrer l'eau vers les fonds de vallées où sont implantées les cultures intensives d'oasis. En montagne semi-aride (versant nord de l'Atlas), les aménagements physiques réduisent les transports solides mais pas beaucoup le ruissellement lors des averses. L'effet de crue sur les piémonts pourrait même se renforcer. Par ailleurs, ces aménagements n'intéressent pas les gens de la montagne. Par contre, la Gestion Durable des Eaux et des Terres ou « SLM » augmente le couvert végétal, introduit les arbres et relève la densité des parcours; ainsi, elle diminue le ruissellement, augmente l'ETR et les ponctions sur les écoulements du bassin, notamment les pointes de crue, mais, comme l'étiage se relève, on peut obtenir une meilleure répartition des eaux dans l'année.

Introduction

Les piémonts sont des espaces à risque, sous l'effet à la fois des crues générées en montagne et du stress hydrique local, dans les sous-espaces non dominés par les apports en eau issus de la montagne, indiquant ainsi une illustration de différenciation spatio-temporelle.

Depuis 1980, des sécheresses de plusieurs années consécutives ont été enregistrées au Maroc, entrecoupées d'épisodes pluvieux, à l'origine de crues d'une rare violence. Des lits de rivières, restés secs plusieurs années et ayant de ce fait accueilli de l'habitat plus ou moins insalubre ou des infrastructures, se sont transformés en torrents dévastateurs causant pertes humaines et dégâts matériels. C'est le cas des événements catastrophiques de l'oued Ourika, au S de Marrakech en 1995 (Saidi & al., 2003), d'El Hajeb, sur le versant NW du Moyen Atlas en 1997 et de Guelmim, au SW de l'Anti Atlas, en 2014.

Les principales causes à l'origine de ces inondations sont (Département de l'environnement, 2008):

- la dégradation des sols et de leur perméabilité, favorisant la genèse d'un ruissellement direct, de crues et l'amplification des débits de pointe ;
- le rétrécissement de sections des cours d'eau par l'accumulation de dépôts qui font obstacle à l'écoulement des eaux ;
- l'occupation du domaine public hydraulique par des constructions anarchiques aux abords des lits d'oueds, parfois même sur les chenaux, restés longtemps sans écoulement ;
- la conception inappropriée de certains ponts et ouvrages de traversée des oueds, favorisant la constitution d'obstacles provisoires;

Pour réduire ces risques, on a procédé à plusieurs interventions (Département de l'environnement, 2008) :

- La réalisation de barrages de plus ou moins grande taille pour le stockage d'eau et le laminage des crues à l'amont des zones menacées,
- L'aménagement biologique des bassins versants, avec notamment la plantation forestière et sylvo-pastorale,
- La construction de seuils permettant la réduction des vitesses d'écoulement et le dépôt de sédiments en amont.

Mais ces actions ne suffisent pas, car périodiquement, de nouvelles crues sont enregistrées, certaines sur de nouveaux sites, d'autres sur des sites affectés auparavant, parfois même déjà traités, indiquant ainsi une certaine inefficacité des aménagements réalisés.

Dans ce papier, le propos sera plus particulièrement centré sur les phénomènes enregistrés sur les basses vallées et piémonts de la chaîne de l'Atlas, montagne semi-aride dominant des plaines très densément occupées sur leur flanc nord et des oasis présahariennes sur le flanc sud.

Problématique

Les piémonts et avant-monts de la chaîne atlasique connaissent à la fois des risques d'inondations catastrophiques et des risques de pénurie d'eau. Deux questions majeures se posent alors: Pourquoi les traitements déjà appliqués dans de nombreux sites, n'ont pas sensiblement atténué le danger de ces risques ? Un aménagement plus rationnel de l'amont et mieux conduit que jusqu'à présent, a-t-il un réel potentiel pour réussir à réduire ces effets hydriques ?

I- Analyse de la situation

1-1- la montagne: la terre et l'eau

Au Maroc, la montagne joue le rôle de conservatoire de ressources, de produits de qualité, de savoir-faire, d'ingéniosité technique et de solidarité sociale (Chaker & al., 1996 ;

Laouina, 1998); c'est le château d'eau qui régularise les écoulements majeurs, dans les nappes karstiques et les retenues de barrages et protège les grandes plaines fluviales vis-à-vis des inondations des grands oueds. Mais c'est un espace resté en marge du développement du littoral et des plaines, car malgré plusieurs programmes sectoriels destinés au développement du monde rural, les zones de montagne n'ont pas connu une amélioration suffisante des conditions de vie des populations (MAPM, 2010).

En même temps, la dynamique environnementale reste caractérisée par une dégradation en action dont l'illustration est la baisse de la régularisation hydrique, malgré les gros efforts d'équipement. Avec le changement climatique, cette situation risque de se compliquer, avec notamment aggravation de la vulnérabilité du fait de l'accroissement de la magnitude des aléas (Aït Kadi & Guillaume, 2010; Gommès & al.; Margat, 1995; Mokssit & El Khatri, 1995).

Définie dès 1985 par la stratégie préparée par les Eaux et Forêts et l'Aménagement du Territoire (MATEE, 2003), comme région d'altitude supérieure à 500 m et constituée de reliefs aux pentes raides, la montagne couvre 21 % du territoire national et compte 7.8 M d'habitants (22% de la population du Maroc en 2014) ; elle se subdivise en masses étendues (Rif, Moyen, Haut, et Anti Atlas) et en petits massifs isolés. Elle concerne 9 régions sur les 12 que compte le pays, 31 provinces sur 71, 650 communes rurales (50% du total) et 70 municipalités (28%).

Le croisement du relief (altitude, formes et pentes) et de la pluviométrie (moyenne annuelle de 331 mm de pluie en montagne, versus 210 mm pour l'ensemble du pays) permet de faire ressortir clairement les zones de montagne, milieux plus humides, où l'altitude rehausse la pluviométrie par rapport aux zones environnantes (MAMVA, 1995).

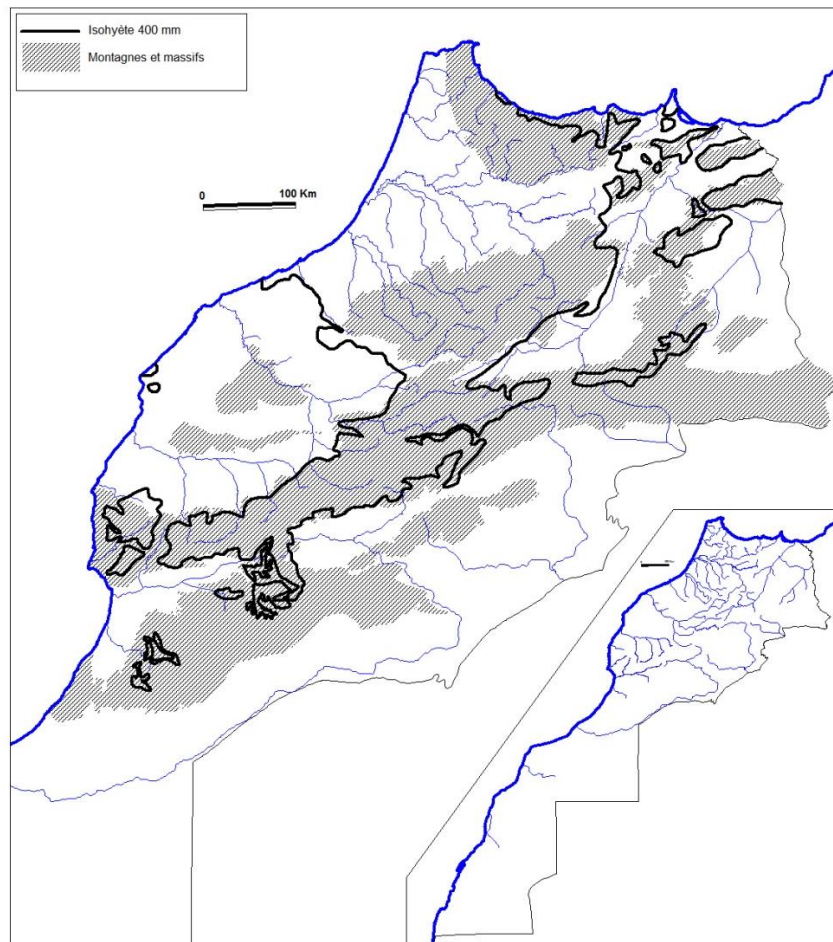


Fig. 1: La montagne au Maroc

Les conditions de cet espace donnent une série de handicaps (SAU cloisonnée et étriquée, difficulté des transports, forte menace des catastrophes naturelles), mais aussi une série d'avantages, notamment la constitution d'un important réservoir d'eau et de réserves écologiques, si utiles pour les bas pays (Lazarev, 2009).

Le phénomène social majeur est l'accroissement de la population, malgré l'exode rural et l'émigration toujours très active (Laouina, 1998; Conacher & Sala, 1998). La réalité est donc vraisemblablement pour les deux décennies à venir une tendance au maintien de la population et une dégradation généralisée du couvert forestier et des sols. L'accroissement des populations montagnardes encore très dépendantes d'une économie de subsistance se traduit par une exploitation excessive des ressources naturelles (Laouina & al., 1993, 2000, 2004). La dégradation des ressources est d'autant plus forte que le cercle vicieux alliant la croissance de la population, à la déforestation et à l'érosion s'exerce dans des milieux sensibles, en raison de la violence des pluies torrentielles de printemps et d'automne, mais aussi de la fragilité de la couverture végétale (Laouina, 1998).

L'occupation des terres en montagne a une configuration d'interpénétration de la forêt et des terres de parcours avec la superficie cultivée qui se limite aux versants nord des Atlas, aux oasis du versant sud et plus largement à la chaîne du Rif. On y trouve la grande majorité des couverts végétaux du pays, des SIBEs continentaux, une grande diversité floristique des couverts végétaux et des espèces animales, mais des processus de dégradation en action. La montagne joue un rôle hydrologique majeur de réduction du ruissellement direct, responsable de crues ; mais elle vit sous la menace de détérioration hydrologique du fait de la dégradation des terres et du couvert végétal et de l'impact du changement climatique.

La montagne produit l'essentiel des eaux du Maroc, du fait de la recrudescence des précipitations ; elle se caractérise par l'étagement et l'opposition des façades. Les espaces montagneux les plus humides du Rif produisent des volumes ruisselés pouvant dépasser 50% de la lame précipitée. Par contre, plus on va vers la façade sud des Atlas, plus ce volume d'eau est réduit.

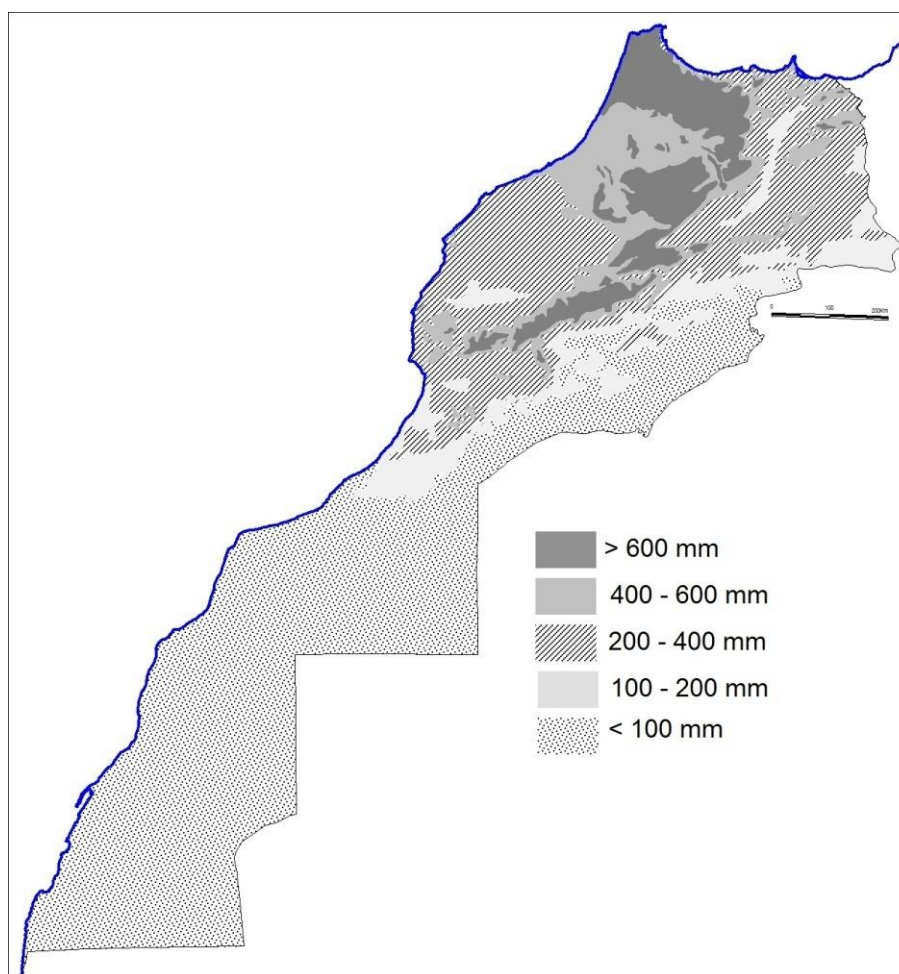


Fig. 2: Distribution des précipitations

Les retenues de barrages sont en majorité à la limite de l'espace montagneux, pour collecter les eaux des rivières, dans un bassin suffisamment étendu pour constituer un réservoir important, derrière une gorge incisée dans des matériaux résistants, si possible imperméables, pour offrir une résistance suffisante à la pression de l'eau (MAMVA, 1995). Deux exceptions principales sont enregistrées, de barrages loin de la montagne, Mohammed V et Al Massira.

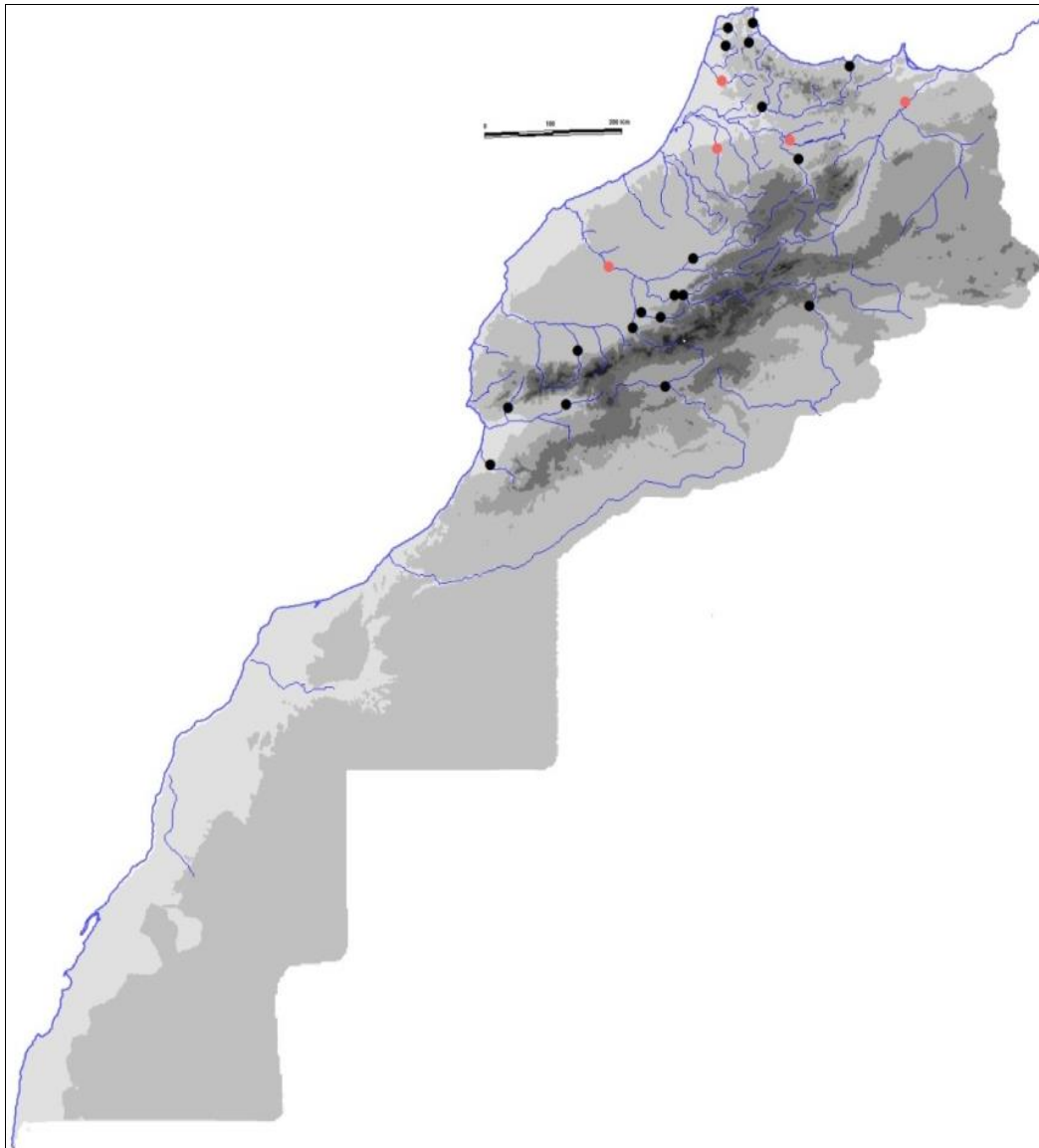


Fig. 3 : Position des grandes retenues de barrages
(en couleur plus claire, les retenues situées au-delà du rebord montagneux)

La montagne reçoit 40% de l'apport pluviométrique total et fournit 12 milliards de m³ d'eau superficielle, soit 63 % des eaux de surface du pays. Cela s'explique par le coefficient de ruissellement élevé, de 27% alors que la moyenne nationale n'est que de 12%. Ce coefficient résulte de la fraîcheur relative du climat en montagne et de la vitesse des écoulements du fait des pentes, ce qui abaisse le taux de l'évaporation.

L'exemple du bassin versant du Sebou est une illustration du bilan d'eau en zone méditerranéenne. Avec une lame d'eau précipitée de 650 mm, le grand bassin reçoit un volume de 24 milliards de m³, dont 77% en moyenne représentent la partie évaporée (environ 500 mm), 18% le ruissellement et 5% la part qui rejoint la nappe souterraine.

Les 18,5 milliards de m³ évaporés couvrent à la fois l'évaporation physique à partir des terres nues, des toits d'habitations, du feuillage des plantes et de la surface des plans d'eau et la transpiration des plantes et des autres êtres vivants. Dans un couvert forestier, plus de 95% des 500 mm évaporés sont en fait transpirés par les végétaux ; par contre dans un champ d'orge, la part transpirée n'est que de 55% ; sur sol dénudé, la totalité rejoint l'atmosphère, sans avoir servi sur le plan écologique.

Tableau : Bilan d'eau de bassins versants atlasiques marocains (partie montagneuse seule)

Bassins-versants en montagne	Superficie en Montagne (km ²)	Pluie moyenne mm	Pluie Mm ³	Débit Mm ³	CR %
Sebou	17827	750	13370	3894	33%
Oum Rbia	17497	515	9011	2148	44%
Bouregreg	3584	500	1792	434	48%
Tensift	9770	330	3224	185	31%
Souss Massa	17393	240	4174	345	14%
Bassins sud-Atlas	66565	170	11316	572	7%

L'eau disponible est donc la partie non évaporée ; son volume et sa nature diffèrent selon l'état de surface du sol et le couvert végétal. Sous forêt, le taux de pluie qui fournit de l'eau disponible représente environ 1/5 de la lame précipitée. Cette eau se décompose en partie directement ruisselée (8%), écoulement après drainage à travers le sol et les formations superficielles (28%) et recharge de la nappe souterraine (63%). Dans les parties du bassin versant couvertes de céréales, l'eau disponible est plus importante que sous forêt (moyenne de 28% de la lame précipitée). Mais les catégories sont totalement différentes du paysage forestier. Les valeurs sont respectivement de 48, 19 et 33%, ce qui signifie que cette augmentation de volume d'eau est en fait négative, car elle a surtout fourni du ruissellement direct, agent d'érosion et de destruction, alors que la part de la recharge de la nappe a nettement baissé. Là où le sol nu domine, l'infiltration est très faible et donc, la recharge de la nappe et l'écoulement après drainage interne sont très limités ; l'évaporation physique et le ruissellement direct représentent la totalité du bilan d'eau. Cela donne des crues immédiates après les événements orageux, sans intérêt durable pour les ressources hydriques.

Les projections de débits, suite à l'impact du changement climatique sont inquiétantes (Margat, 1995, Mokssit & El Khatri, 1995). Tous les modèles prédisent une baisse des débits en saison humide et au contraire une hausse des apports en saison sèche. Les écoulements d'hiver sont liés à des pluies frontales durables et d'intensité modérée, sur des sols couverts de biomasse d'herbacées; l'érosion est donc limitée et la charge en sédiments faible. Les écoulements d'été et de début de l'automne sont liés à des orages de forte magnitude, sur sol dénudé et sont responsables d'érosion intense et d'apports solides en masse; les impacts négatifs sont donc très élevés.

La dynamique actuelle de dégradation de la biomasse (recul de la forêt et éclaircissement des parcours) agit pour réduire l'infiltration et relever la part des ruissellements sauvages, notamment lors des événements extrêmes. Les eaux de ruissellement direct causent ainsi des dégâts aux infrastructures, à l'habitat, au cheptel et des pertes en vies humaines ; en plus, sur leur parcours, ces eaux subissent de gros prélèvements par évaporation physique. Lorsqu'elles atteignent un réservoir de barrage, ces eaux très chargées amplifient le phénomène d'envasement (MAMVA, 1995).

1-2- Configuration des piémonts, le cas du piémont du Haut Atlas de Marrakech

Le piémont du Haut Atlas est composé de plans que l'on peut diviser en deux grands panneaux:

-la partie W au N d'Amizmiz se constitue de plans anciens entaillés par des vallées encaissées issues de l'Atlas, enregistrant des crues circonscrites dans l'espace, alors que les espaces irrigués sont repoussés vers l'aval;

-dans le Haouz oriental, le relief est plus bas, avec des piémonts en glacis de moins en moins entaillés à mesure que l'on se dirige vers l'E; les crues peuvent être enregistrées dès le pied de la montagne et peuvent s'étendre sur le large espace des cônes de déjection; mais en écoulement normal, l'espace irrigable est plus étendu qu'à l'W.



Fig. 3 : Croquis géomorphologique du Haouz, par Beaudet et André (ORMVAH, 1968)

1-2-1- Espaces irrigables du Haouz

L'espace irrigable est sous le contrôle du réseau hydrographique et de la nappe phréatique.

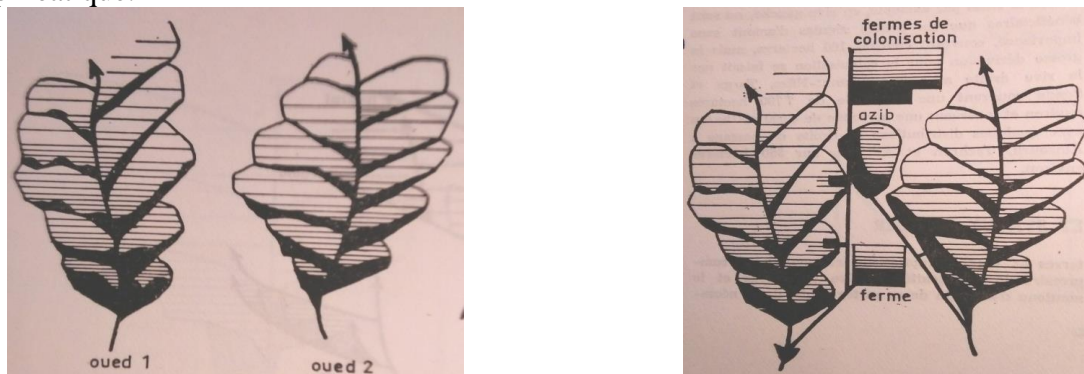


Fig.4 : Distribution gravitaire originelle, avec réduction progressive des débits des séguias vers l'aval et exemples de capture de l'eau d'amont par des fermes marocaines ou coloniales (ORMVAH, 1968)

L'organisation socio-spatiale de l'exploitation des ressources hydriques a été menée avec la volonté de maintenir une certaine distribution égalitaire de la ressource rare et variable et le partage du risque (ORMVAH, 1970; Bouderbala & al., 1984 ; Ruf, 2004; CESE, 2014). Ce n'est qu'à la suite de l'intervention externe d'autorités locales ou étrangères que l'exagération du stress hydrique a été ressentie dans les terres relevant de l'ancien système de distribution de l'eau, au profit d'espaces originellement non dominés, mais qui le sont devenus du fait d'une capture de la ressource hydrique de surface ou souterraine¹.

¹ Ce que l'on observe sur le piémont de Marrakech ; on le retrouve avec la capture de l'eau des khetaras par les motopompes sur le piémont sud de l'Atlas.

1-2-2- Les crues de piémont

On peut différencier trois types de crues :

- Crues torrentielles des bassins de montagne à pente longitudinale forte (ex Ourika)
- Crues des bassins de piémont (ex. de l'oued Issil)
- Ruissellements en nappe des piémonts arides et sahariens (ex des piémonts de Guelmim)

-Bassins versants du flanc montagneux, la Crue de l'Ourika 17 Aout 1995 (Saidi & al., 2003, GIZ, 2016) : L'orage s'est abattu sur la zone axiale de haute montagne entre 17 et 20:00 le 17 août. La crue a atteint son niveau maximal entre 18 et 19:00, suite à des chutes d'une intensité des précipitations estimée à 100 mm/h sur une superficie de 228 km² en amont de Setti Fatma. Cette crue n'a duré que 3 heures, mais le temps de montée a été particulièrement bref (à peine un quart d'heure). Le débit de pointe a atteint à Aghbalou la valeur de 1030 m³/s et les eaux mobilisées un volume de 3,3 Mm³. 242 décès ont été enregistrés et plusieurs maisons, terrains agricoles et routes ont été endommagés. C'est à la suite de cette catastrophe qu'un système de prévision d'alerte aux crues a été conçu.

-Crues de piémont, l'Oued Issil (Saidi & al., 2013: Ce bassin contigu de l'Ourika, ne comporte qu'une très petite part montagneuse. La crue du 25 mars 2011 a été enregistrée suite à une forte averse de 5 heures enregistrée en amont du bassin. Les chutes de pluie ont enregistré une intensité maximale de 18 mm en 5 minutes. Le débit de pointe a atteint, à l'exutoire, une valeur de 63,8 m³/s avec un temps de réponse de l'ordre de 2 h 30. Les dégâts ont concerné les infrastructures routières, immobilières et hydrauliques de la ville de Marrakech.

-Ruissellements en nappe, les crues du piémont de Bouizakarne, 2008 et 2014 (Aouragh & al. en cours d'édition): Dans un contexte subdésertique, caractérisé par la rareté du couvert végétal, après de fortes pluies sur les crêtes, les crues se caractérisent par des montées rapides, des vitesses d'écoulement très élevées, une turbulence forte et des transports solides abondants. La crue du 10/10/2008 a écoulé 108 Mm³ d'eau, soit une lame d'eau de 45 mm, un coefficient de ruissellement supérieur à 40%, ce qui découle de ruissellements généralisés sur les versants; le débit de pointe enregistré a été de 3000 m³/s. La crue du 28/11/2014 résulte de la chute de 200 mm de pluie en 10j dont 90 en 3 jours en plaine et 200 mm en 12 h sur le plateau Akhsass. Le débit a atteint près de 1000 m³/s sur 10 affluents d'Oum Laachar ; or, plusieurs douars et nouveaux quartiers sont installés dans des espaces inondables et ont donc été dévastés.

II- Options et contraintes de développement et de protection de la montagne et de ses piémonts

La chaîne de l'Atlas se caractérise par la dissymétrie de ses façades, avec une façade NW agricole et une façade SE pastorale. Dans le détail, l'évolution de l'extension de la SAU est très différenciée d'une commune à l'autre. Une majorité de communes a enregistré une réduction d'extension des superficies agricoles, alors que les communes qui ont enregistré une forte extension de SAU sont curieusement en majorité sur le versant saharien; cette évolution s'est faite en parallèle avec les progrès dans l'installation de moto-pompes et l'irrigation de nouvelles terres.

Les espaces où dominent les petites exploitations de < 5 ha correspondent aux régions restées marginalisées, les montagnes et les oasis présahariennes; requièrent une attention particulière pour surmonter leur vulnérabilité à la dégradation et aux impacts du CC.

Les montagnes sont à la fois des espaces difficiles à handicaps et des espaces disposant d'importants potentiels de développement. Leur économie se base surtout sur

l'exploitation de ressources naturelles, l'eau abondante, le sol au contraire limité aux bas de pentes et fonds de vallées et la biomasse, composée d'espaces forestiers et de parcours variés. Mais les revenus tirés de l'exploitation de ces ressources sont limités et très souvent, des revenus externes, liés à l'émigration ou au tourisme sont entrain de surpasser ceux tirés de l'agriculture et de l'élevage (CGDA, 1999).

Changement climatique: Enregistrements et projections

Les enregistrements des stations de montagne, notamment ceux d'Ifrane ne confirment pas encore une tendance claire de changement, sauf au niveau de la variabilité qui est devenue plus accusée qu'elle ne l'est dans le passé récent. Dans les montagnes semi-arides et subhumides, la contrainte pour l'extension de la SAU reste actuellement le relief.

Mais, selon les projections des modèles, le changement climatique, aura moins d'effet en montagne qu'en plaine ; il impactera le secteur de l'eau, celui des écosystèmes fragiles et favorisera ainsi la dégradation des terres. Les modèles projettent une réduction des débits dans les bassins atlantiques et rifains, au contraire des régions du sud du pays où les débits pourraient être relevés. Selon les projections, le changement risque de repousser la zonation agricole vers le Nord et l'Ouest, vers des espaces favorables où la SAU couvre déjà plus de 30% de la superficie.

La production d'eau et de sédiments

La question se pose, le réchauffement et l'assèchement projetés conduiront-ils à une augmentation ou à une réduction du débit des rivières? Les études indiquent qu'il peut y avoir des effets ambigus, avec des cas de diminution effective des débits du fait du moindre ruissellement ; mais aussi des cas d'augmentation de l'écoulement, car la surface permet qu'opère alors un ruissellement direct sur des terres stérilisées par dégradation

Suite au réchauffement (évaporation) et à l'assèchement, le débit aura normalement tendance à baisser et avec, le taux de remplissage des barrages. Avec la recrudescence et l'exagération des événements exceptionnels, et l'accroissement du ruissellement direct, des crues vont se produire alors que la recharge des nappes karstiques, alluviales et de piémont aura tendance à baisser. La dégradation du couvert végétal peut conduire au même impact, avec en plus, une érosion accrue des terres. Les transports solides seront accrus et avec eux les risques d'envasement rapide.

L'irrigation n'est pas forcément menacée en montagne, car elle est avant tout présente dans les montagnes enneigées ou calcaires ; son extension importante dans le Moyen Atlas et le Dir s'explique par les ressources en eau karstiques. C'est surtout l'irrigation hors-site (dans les piémonts et les plaines) qui est menacée et avec elle toute la production d'eau, pour les autres activités économiques et urbaines. La prospective de recul du manteau neigeux avec le réchauffement accroît la menace pour la permanence de l'irrigation (Margat, 1995; Ruf 2004).

Différenciation en termes de vulnérabilité, de potentiel et de réponses

Dans les montagnes sèches, la vulnérabilité à la sécheresse, au chergui, à la grêle, aux gelées et au froid hivernal rend ces milieux très sensibles. Dans ces espaces, les parcours forestiers et collectifs sont fortement dégradés du fait de l'élevage transhumant conduit par les propriétaires de gros troupeaux; D'autres agro-éleveurs sédentarisés pratiquent l'irrigation par motopompes alors que les règles de mise en défens des ressources ont pratiquement disparu, dans un contexte de généralisation de l'émigration.

Dans les montagnes subhumides et semi-arides, la vulnérabilité au changement climatique est plus faible. Les parcours forestiers et collectifs sont mieux conservés et les ressources en eau plus abondantes, notamment les eaux souterraines karstiques. Le potentiel de développement et de diversification agricole est plus fort, mais les crises ne sont pas

absentes, notamment lorsque l'accompagnement des efforts des agriculteurs n'est pas assuré (exemple d'Azrou, avec la crise des pruniers).

Quelques acquis de la recherche et des expérimentations

La réaction sur le bilan de l'eau des divers aménagements est très diverse en fonction de plusieurs critères (Roose, 1994, Guillaume, 2016, HCEFLCD, 2013)

- Les reforestations massives ont un impact de réduction des écoulements
- En montagne aride, les parcours extensifs sont à gérer de manière à éviter le surpâturage pour limiter le ruissellement direct et remplacer une part de l'évaporation physique par de l'infiltration + transpiration + drainage, afin de concentrer l'eau vers les fonds de vallées, là où sont implantées les cultures intensives d'oasis.
- En montagne semi-aride, la LAE (aménagements physiques) réduit les transports solides (ce qui permet de limiter l'envasement de retenues) mais ne réduit pas beaucoup le ruissellement lors des averses, forme de précipitation projetée pour devenir prépondérante avec le CC. La GCES ou « SLM » augmente le couvert végétal, introduit les arbres et relève la densité des parcours ; ainsi, elle diminue le ruissellement, augmente l'ETR et les ponctions sur les écoulements du bassin, notamment les pointes de crue, mais, comme l'étiage se relève, on a une meilleure répartition des eaux dans l'année ce qui répond aux besoins des populations d'aval.

Réalisations

Il ne faut pas sous-estimer les réalisations paysannes en termes de gestion des eaux et des terres, notamment dans les montagnes de vieille paysannerie sédentaire, comme le Haut Atlas occidental.

Les programmes et stratégies étatiques sont multiples :

- Programme National d'Economie d'eau en irrigation
- Programme d'extension de l'irrigation
- PANLCD: Zonation pour le diagnostic et l'adaptation de mesures spécifiques au contexte zonal (HCEFLCD, 2013)
- PNABV (MAMVA, 1995),
- Stratégie nationale de conservation de la biodiversité
- Plan Directeur de Reboisement et PFN

Le taux de réussite inégal. Dans le cadre du PNABV, 1/2 Mm³ de ravins traités, 1/2 Mha de sols aménagés (25% en reboisement, 15% en amélioration pastorale, 49% en arboriculture avec banquettes...); mais l'érosion n'a pas baissé et l'envasement reste de 75Mm³/an)

Enjeux

Si on applique des actions bien réparties et bien ciblées de Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols (GCES) en montagne, couplées avec une certaine extension de l'arrosage des cultures et l'adduction d'eau pour la population et de nouvelles activités, quelles peuvent être les marges de fourniture d'eau aux barrages ?

Et à quel coût ces aménagements ? Pour répondre, il faudrait avoir quantifié l'effet du CC pour estimer l'effort nécessaire pour s'y adapter en réalisant les actions à même d'apporter des réponses à ces situations.

Ensuite, il faudrait pouvoir garantir la durabilité du suivi et une évaluation permanente de l'efficience

Enfin, il y aura toujours une différence d'échelle, entre les réussites enregistrées à l'échelle expérimentale (travaux de recherche) ou à l'échelle d'une communauté sociale et dont de multiples cas ont été effectives et ce qui est visé par la problématique de l'eau qui

cherche une réponse globale à l'échelle du pays. Le changement ne peut être considéré comme réussi que si une masse critique de réussites locales est effectivement mise en route.

Options

- éviter l'envasement excessif, agissant sur la durée de vie des infrastructures de retenue; cet envasement massif est généré par les écoulements très fortement chargés, issus des ravins et des versants instables; la mise en place d'aménagements coûteux et exigeant l'expertise technique est du ressort de la RTM. Mais on n'a obtenu que très peu de résultats jusqu'à présent, vu l'immensité des terrains concernés et le nombre de hot spots.
- Réduire le départ du ruissellement direct en relevant la part de l'infiltration, ce que permet la réhabilitation de la biomasse; cela va générer, certes, plus d'ETP et peut être moins d'écoulement ; mais aussi moins de charge en matériaux solides et plus d'eau de drainage. Les étiages seront relevés. Globalement le débit sera plus régulier et pas forcément amoindri.

Le choix pour cette option exige une action combinée sur la totalité du paysage et non pas spécifique de la SAU. La forêt, les parcours, les badlands sont au moins aussi fortement concernés.

Quelles Options et quelle efficacité ?

A- La Restauration des terres de montagne, RTM: techniques de génie civil ou végétal, coût, expertise, temps de réalisation.

En France, la réussite de la RTM, malgré l'opposition des usagers des terres, s'explique avant tout par la déprise humaine en région de montagne et la baisse de pression.

Au Maroc, la déprise est-elle bénéfique?

- Dans les portions ayant conservé un sol équilibré, on peut arriver à une certaine restauration écologique, renforçant la résilience du terrain face aux événements intenses.
- Dans les terroirs aménagés, l'abandon des dispositifs sans entretien, peut mener à des formes de dégradation inattendues, avec notamment des mouvements de masse.
- Dans les terrains dénudés et au sol dégradé, l'arrêt de la mise en culture ne permet pas automatiquement la reprise du couvert végétal; des griffes et ravines accélèrent la dégradation et créent des paysages de badlands.

B- La Gestion durable des Terres (Roose, 1994)

Une intensification raisonnée, fondée sur l'exploitation des potentiels et la gestion des états de surface du sol semble être le choix optimal ; mais quelles peuvent être les marges de fourniture d'eau aux barrages ?

Cela suppose un développement socio-économique et humain, une diversification des revenus des ménages et l'implication créatrice et innovante des acteurs locaux.

Un levier fondamental : la responsabilisation des acteurs locaux vis-à-vis de l'ensemble des ressources naturelles de leur terroir.

Pour une gestion durable de l'eau, adaptée au changement climatique, de nouveaux concepts sont opportuns :

- Services environnementaux et conservatoire de richesses
- Eaux vertes et crédits Eau verte (Guillaume, 2016)

Ces outils permettraient :

- De garantir la disponibilité des eaux, à travers les infrastructures de barrages dans une perspective de durabilité,
- Améliorer la gestion des terres en renforçant la productivité agraire et la biomasse, ce qui retient les sols, mais aussi les «hommes» et peut créer des emplois supplémentaires.

- Réduire les impacts négatifs (érosion, envasement, inondations...), le choix pour des pratiques et techniques privilégiant l'infiltration, la transpiration biologique, aux dépens du ruissellement direct.
- Réserver une part plus importante et surtout mieux distribuée spatialement de l'eau réservée pour la demande en AEP des campagnes et le développement des équipements ruraux et d'autres activités rurales génératrices de revenus.
- Ce sont les utilisateurs de l'eau en aval (irrigants, urbains, touristes, industriels... qui déboursent les crédits Eaux vertes, mécanisme d'aide à la gestion de l'eau et du sol, en amont, visant des bénéfices pour les utilisateurs de l'eau en aval (eaux plus régulières, moins de crues destructives, eaux de meilleure qualité).

Conclusion:

Le développement global de la montagne marocaine (CGDA, 1999) et de ses piémonts requiert une vision nationale intégrée:

- Des voies de développement global de la montagne, qui créent des richesses et en même temps permettent de sortir cet espace de son enclavement, tout en s'adaptant aux effets du changement climatique; la seule action sur la gestion des ressources naturelles devrait permettre de récupérer en montagne au moins 1/3 des ruissellements non contrôlés (environ 4 km³ perdus et responsables de dommages en aval); les productions seraient ainsi relevées en volume et en qualité; des paysages seraient construits ; d'autres activités pourraient s'y rattacher...
- Un système de péréquation qui permette une réelle symbiose spatiale entre montagnes et bas pays, par l'invention de systèmes de bénéfice conjoint avec retour vers la montagne d'une partie des gains qu'elle offre à l'aval (crédits Eau verte et paiement des services environnementaux) et en même temps permettre aux plaines, de profiter au mieux des ressources offertes sans trop subir les impacts de dégradation issus de la montagne.

Bibliographie

- AÏT-KADI M. et GUILLAUME B., «Le Pilier II du Plan Maroc Vert: pour des dynamiques d'adaptation de la petite agriculture au changement climatique», in Lettre de veille du CIHEAM n°12, Hiver 2010.
- AOURAGH MB, EL MAHDAD EH, OUHAJOU L, MOUNTASSER EM, JADAOUI M. & CHAMIKH A, 2019, Hydrosystèmes présahariens et aménagement urbain : la ville de Guélmim face aux crues de l'automne 2014, Rev. Géogr. Maroc, en cours d'impression.
- BOUDERBALA, N., CHICHE J., HARZENI A. et PASCON P., 1984. La question hydraulique I. Petite et moyenne hydraulique au Maroc. Rabat: Graphitec, 1984, 397 p.
- CESE, 2014 : La gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc, levier fondamental de développement durable).
- CHAKER M., EL ABBASSI H. et LAOUINA A., 1996 : Montagne, piémont, plaine: Investir dans les techniques de CES au Maroc oriental; in Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. Sous la direction de REIJ C., SCXOONES I., et TOULMIN P., CTA- CDCE- KARTAHALA, pp. 75-86.
- CONACHER A. et SALA M., Eds., Land degradation in Mediterranean environments of the world, Wiley, 1998, 491p.
- Conseil Général de Développement Agricole (1999): Stratégie 2020 de développement rural, 293p.

- Département de l'Environnement 2008 : ETUDE POUR LA REALISATION D'UNE CARTOGRAPHIE ET D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE SUR LES RISQUES MAJEURS AU MAROC, le risque d'inondation.
- GIZ, 2016 : Diagnostic du sous-bassin d'Ourika - AHT GROUP AG - RESING
- GOMMES R., EL HAIRECH T., ROSILLON D., BALAGHI R., KANAMARU H., Morocco study on the impact of climate change on the agricultural sector, World Bank
- GUILLAUME B. 2016 : Eaux bleues, Eaux vertes, Échanges Med actualités n° 40 – Mars / Avril.
- HCEFLCD 2013: Le PANLCD, Actualisation et adaptation aux spécificités zonales, 126p.
- LAOUINA A (1998): North Africa, in Land Degradation in Mediterranean Environments of the World, Ed. Conacher&Sala, Wiley, p. 91-108.
- LAOUINA A., CHAKER M., NACIRI R. et NAFAA R. (1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen: le cas du maroc septentrional; Bull. Ass. Géogr. Franç., Paris, 5, p. 384-398.
- LAOUINA A., COELHO C., RITSEMA C., CHAKER M., NAFAA R., FENJIRO I., ANTARI M., FERREIRA A. & VAN DIJCK S. (2004) : Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc), Sécheresse, vol. 15, n° 1, p. 66-77.
- LAOUINA, A. NAFAA, R., CHAKER, M., NACIRI, R., COELHO, C., FERREIRA, A., CARVALHO, T. & BOULET, A. 2000. La problématique de la gestion de l'eau et du développement des communautés locales rurales au Maroc. Mosella 2000, tome XXV, No 3-4, p. 431-446.
- LAZAREV G. La gouvernance territoriale et ses enjeux pour la gestion des ressources naturelles. Des approches novatrices pour lutter contre la désertification et la dégradation des terres et des eaux. In UNCCD Studies on Désertification, Dégradation des terres et Sécheresses. Bonn: Issue Paper n° 3, 54 p, 2009.
- MAMVA – Agroconcept (1995) : Plan National d'Aménagement des Bassins-versants.
- MARGAT, J. 1995. Perspective des pénuries d'eau au Maghreb. In: Eau, Gestion de la rareté, colloque international de l'Am. des Ing. Mar., Ponts et chaussées, 1. p. 147-170.
- MATEE (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (2003) : Le schéma national d'aménagement du territoire, synthèse, 137 p.
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime (2010) : Développement de l'Espace Rural et des Zones de Montagne, Stratégie et Approche d'Intervention, Consultation Mc Kenzie, Base de données.
- MOKSSIT, A. & EL KHATRI, S., 1995. La sécheresse dans le climat marocain. In: Eau, Gestion de la rareté, colloque international de l'Am. des Ing. Mar., Ponts et chaussées, 1. p. 147-170.
- ORMVAH, 1970 : Les ressources naturelles et la mise en valeur actuelle de la plaine du Haouz, Rev. Géogr. Maroc, n° 17, p.3-42.
- ROOSE E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bull. Pédol. FAO. N°70, 420 p.
- RUF, T. Le système irrigué comme territoire. Territoires en Mutations, 12 (2004): 51-62.
- SAIDI M.E, DAOUDI L., ARESMOUK M.E.H. et BLALI A., Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard, exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). *Sécheresse*, Volume 14-2, Paris, 2003, p. 107-114.
- SAIDI ME., BOULOUMOU Y., ED-DAOUDI S. & ARESMOUK MEH, Les crues de l'oued Issil en amont de Marrakech (MAROC) European Scientific Journal 2013 vol.9, No.23, 189-208

PEUT-ON RENDRE UNE VILLE PLUS RÉSILIENTE AUX INONDATIONS PAR UNE GESTION ADAPTÉE DE SES RÉSEAUX TECHNIQUES?

Pr. Richard LAGANIER. Professeur de géographie
UMR PRODIG, Université Paris Diderot – UFR GHSS, Sorbonne, Paris Cité
richard.laganier@univ-paris-diderot.fr

Résumé : Les catastrophes naturelles et technologiques qui touchent avec des occurrences plus ou moins importantes les systèmes urbains montrent l'intérêt de mettre en œuvre une politique de résilience qui tienne compte de la complexité des territoires touchés (Balsells et al., 2014 ; Zevenbergen et Cashman, 2011). Le concept de résilience interroge la façon de penser le système urbain et ses perturbations. Il peut être défini comme « la capacité d'un système urbain à absorber une perturbation et à retrouver ses fonctions à la suite de cette perturbation ». A cet égard, la ville constitue un ensemble de systèmes en interactions dans lequel les réseaux techniques jouent un rôle majeur dans la propagation des risques en milieu urbain et dans l'aggravation des effets (Robert et Morabito, 2009). Analyser les dysfonctionnements de ces réseaux durant une catastrophe et leurs effets dans la diffusion du risque est fondamental pour mettre en place une stratégie de résilience du territoire. Dès lors, l'opérationnalité du concept passerait par la nécessité d'adapter le fonctionnement des réseaux techniques urbains aux perturbations potentielles, à reconstruire le système urbain et ses réseaux à la suite d'une perturbation majeure en prenant en considération les leçons tirées des crises passées ou à définir des modalités de gestion de crise en intégrant la complexité même de la ville (Serre et al., 2013a et 2013b). Les réseaux techniques apparaissent alors comme un levier d'action important pour appuyer de telles stratégies, à condition de préciser le cadre conceptuel de l'analyse, de développer des méthodes et des outils opérationnels pour les acteurs de la gestion des risques. En partant d'une analyse théorique sur la nature des interdépendances des services urbains, il s'agira de comprendre dans quelle mesure ces interdépendances sont prises en compte dans les développements opérationnels (aménagement, gestion de crises). En effet les services urbains (transports, énergie, eau, déchets, télécommunications) ont montré leur importance dans la propagation des perturbations et dans le maintien et le rétablissement des fonctions urbaines pendant et après une crise hydrologique. De plus, le fonctionnement local des équipements des services urbains détermine le niveau de fonctionnement d'un service irriguant un territoire bien plus large et dépassant les périmètres de compétence des collectivités concernées et des espaces soumis aux aléas naturels. Une expérience de démarche collaborative conduite avec les gestionnaires des services urbains de l'agglomération parisienne sera présentée (Toubin et al, 2014). Elle illustrera en particulier une des réponses possibles au besoin de communication et de coordination exprimé par ces acteurs pour accompagner l'émergence de stratégies intégrées mises en place par chaque service dans le cadre de leur préparation au risque de crue centennale.

Bibliographie

BALSELLS M., BARROCA B., AMDAL J., BECUE V., SERRE D. « Application of the DS3 model to the stormwater sewerage system at the neighborhood level », *Water Science and Technology*, 10 p. 2014.

GOURBESVILLE P., « Challenges for integrated water resources management », *Physics and Chemistry of the Earth, Integrated Water Resources Management in a Changing World*, vol. 33, p. 284-289, 2008.

ROBERT B., MORABITO L., Réduire la vulnérabilité des infrastructures essentielles, Paris, Tec et Doc-Lavoisier, 2009.

SERRE D., BARROCA B., LAGANIER R., Resilience and Urban Risk Management, CRC Press Balkema, Taylor & Francis Group, ISBN 978-0-415-62147-2., 2013a.

SERRE D., BARROCA B., LAGANIER R., Natural hazard resilient cities, Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS), an Open Access Journal of the European Geosciences Union, Co-Editors of this Special Issue., 2013b.

TOUBIN, M., LAGANIER, R., DIAB, Y., and SERRE, D. "Improving the Conditions for Urban Resilience through Collaborative Learning of Parisian Urban Services." J. Urban Plann. Dev. 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000229, 05014021, 2014.

ZEVENBERGEN C., CASHMAN A., Urban Flood Management, Londres, CRC Press/Balkema Taylor and Francis Group, 2011.

AMÉNAGER LES TERRITOIRES À RISQUE: EXEMPLE FRANÇAIS

Yvette VEYRET

Professeur émérite. Université Paris Nanterre

RÉSUMÉ: Le constat des catastrophes naturelles répétées et à un moindre degré des catastrophes d'origine technologique a conduit la France à instaurer une réglementation en matière de gestion des risques naturels et technologiques qui renvoie à la prévention, autrement dit à l'aménagement du territoire. Cette réglementation abondante est assez récente puisque le texte « fondateur » date de 1982. Il s'agit de la loi relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles laquelle établit que L'État a en charge l'élaboration des Plans d'Exposition aux Risques (PER). Ces plans cartographient les zones exposées dans le but d'en fixer les futurs usages. La loi de 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement reconnaît à l'État le droit d'expropriation dans le cas où les moyens de protection de la population sont plus coûteux que les indemnités d'expropriation. Cette loi qui crée les Plans de Prévention des Risques (PPR) en remplacement des PER a pour objectif la prise en compte des risques naturels dans l'aménagement et le développement. Les PPR comme constituent un des instruments majeurs de l'action de l'État pour réduire la vulnérabilité des personnes et des biens et empêcher l'urbanisation des zones à risques. Le dossier des PPR contient une note de présentation du contexte et de la procédure qui a été menée, une ou plusieurs cartes de zonage réglementaire délimitant les zones réglementées, et un règlement définissant les modalités d'aménagement des espaces à risques. D'autres réglementations existent à côté des PPR qui imposent d'intégrer le risque à l'aménagement.

Des exemples permettront à la fois de montrer la mise en œuvre des PPR et les difficultés de cette mise en œuvre. Si PPR et autres réglementations constituent une étape importante dans la gestion des risques et des politiques d'aménagement des espaces à risque, dans la réalité, les obstacles sont nombreux et l'aménagement i des territoires à risque demeure souvent insuffisant ou peu satisfaisant notamment dans un contexte de changement climatique.

I. Risque sans aménagement, la catastrophe de l'île de Saint Martin aux Antilles

L'île de Saint Martin qui appartient au domaine tropical, aux Antilles du Nord a enregistré en septembre 2017 le passage du cyclone Irma, les conséquences pour les aménagements qui ont été dramatiques ont été estimées à environ 2 milliards d'euros. Le cyclone Irma était classé 5 sur l'échelle Simpson-Saffir ce qui signifie des rafales de vents dépassant 249 km/h sur une minute. Les cyclones sont des phénomènes naturels fréquents aux Antilles, mais Irma, de très forte intensité, a eu des conséquences dramatiques qui ont entraîné la destruction des aménagements de l'île et provoqué onze victimes. Face à un aléa connu en raison notamment de son caractère récurrent, et qui pourrait être plus fréquent encore avec le changement climatique, comment expliquer de telles conséquences? L'aléa est-il seul en cause ? Ou faut-il envisager un effet accru d'usages discutables et pour beaucoup inadaptés du territoire, ainsi que la non mise en application des réglementations françaises en matière de prévention des risques et donc d'aménagement du territoire ?

A. Des aléas violents et fréquents :

I-Les cyclones récurrents aux Antilles s'accompagnent d'une hauteur des vagues accrue, d'une surcote barométrique, de la baisse de pression atmosphérique produisant une élévation du niveau de la mer ($-1 \text{ hPa} = +1 \text{ cm}$) ; et de l'effet du vent qui entraîne l'accumulation

d'eau marine au contact des côtes (Paskoff, 1996, cité par V. Duvat 2008). La succession des cyclones aux Antilles est longue (doc n°3).

Doc 1. Les cyclones passés à moins de 100 km de l'île (<http://sxm.meteo.free.fr/Meteo-cyclon-Histor.htm>)

Tempête	tropicale	Ouragan	Catégorie 1-2	Ouragan	majeur
Avant 1950	19 météores	Avant 1950	11 météores	Avant 1950	6 météores
EDNA	1853	ALICE	1954	DOG	1950
HILDA	1955	FAITH	1966	DONNA	1960
CLAUDETTE	1979	BERTHA	1996	LUIS	1995
FREDERIC	1979	JOSE	1999	GEORGES	1998
KLAUS	1990	DEBBY	2000	LENNY	1999
CHRIS	2006				

Ainsi, parmi les plus récents, LUIS (1995) de catégorie 4 et en 1999, à un mois d'intervalle, JOSE et LENNY (respectivement de catégorie 1 et 4) se sont caractérisés par de fortes précipitations. LUIS a provoqué de gros dégâts sur les littoraux, en raison des vagues qui ont dépassé les 10 m et d'une surcote de l'ordre de 2m. Le total pluviométrique lors du passage de JOSE s'établit à 498 mm (station de Marigot) en 48 heures. LENNY, outre la force des vents, est responsable de précipitations qui ont dépassé celles de JOSE un mois plus tôt, atteignant en deux jours, 866 mm à Marigot. Le ruissellement torrentiel et les mouvements de terrain ont fortement affecté l'île. Les cyclones peuvent donc provoquer de gros dégâts en raison de la force des vents, ou/et par suite d'inondations catastrophiques, de mouvements de terrain si de fortes pluies se produisent. Néanmoins, c'est sur les littoraux que leur effet est le plus important par suite de l'importance des vagues, de la surcote.

2- Des pentes raides et de nombreuses ravines

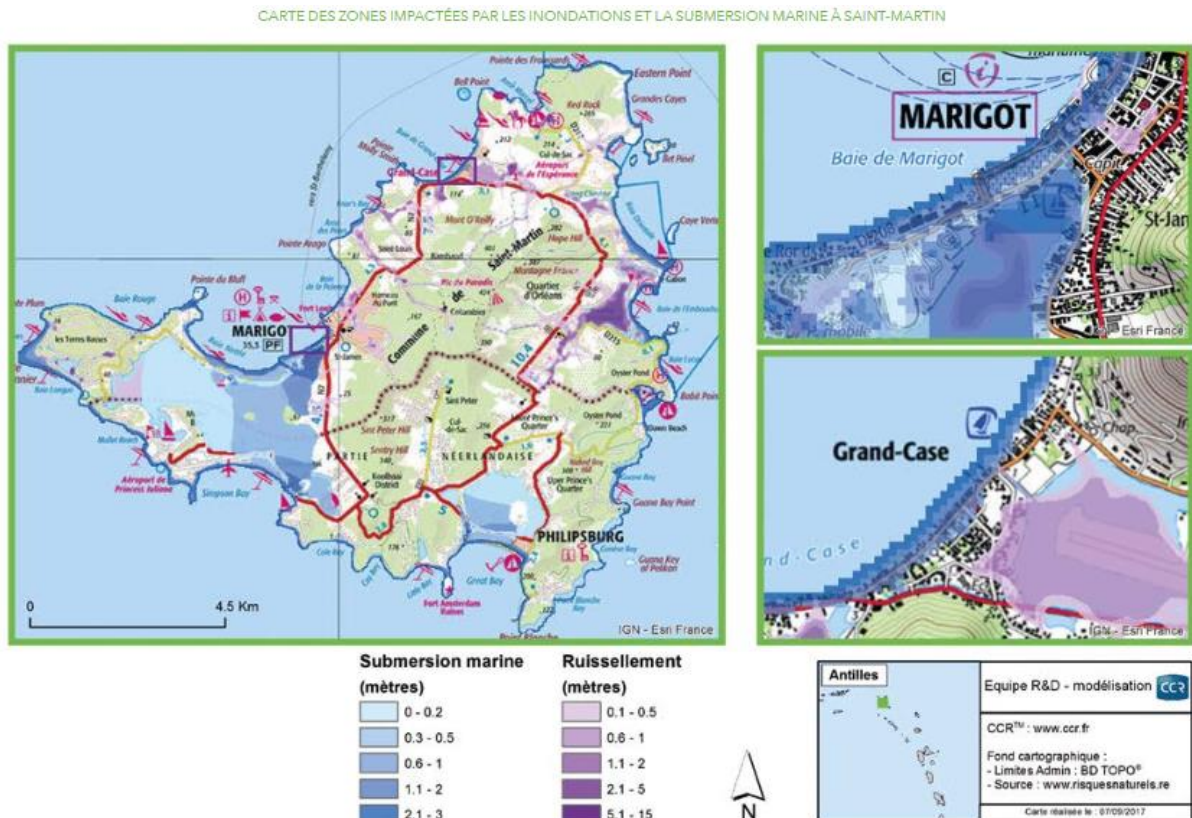
Le relief de l'île caractéristique des petites Antilles présente de nombreuses collines (mornes) aux pentes fortes qui réduisent les espaces plats aux zones littorales où se concentrent historiquement les principales zones habitées. L'île de Saint-Martin ne comporte pas de cours d'eau permanents mais de nombreuses ravines qui, lors des fortes précipitations sont empruntées par des écoulements torrentiels.

3-Des côtes basses à cordons et lagunes

Les côtes basses de Saint-Martin composées pour la plupart de cordon sableux fermant des lagunes sont très exposées aux cyclones. En raison de leur étroitesse (25 à 400 m de largeur) et de leur faible altitude (1 à 3 m), les cordons littoraux sont facilement submergés par les vagues de tempête, et que dire du possible déroulement d'un tsunami sur de tels reliefs ? Les inondations dans les zones basses font monter fortement l'eau dans les lagunes dont le débordement affecte alors les cordons sableux (V. Duvat 2008).

Ces caractères physiques auxquels il faut ajouter une forte sismicité sont des facteurs aggravant la vulnérabilité des populations et de leurs aménagements. L'exiguïté de l'île, toute entière soumise à l'aléa qu'il soit climatique ou sismique justifie la difficulté de définir des espaces moins exposés voire protégés où la population pourrait se réfugier en cas de crise. La vulnérabilité résulte aussi du caractère insulaire de Saint Martin, de l'éloignement de l'île par rapport aux grands centres bien équipés (armée, police, corps de pompiers, médecins d'urgence...) pour encadrer la population lors du déroulement des crises.

Doc 2. Les secteurs concernés par les inondations et la submersion marine à Saint-Martin



<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-31446-rapport-cat-nat-ccr.pdf>

B. Une forte vulnérabilité des populations et des aménagements

Si les données physiques contribuent à expliquer la vulnérabilité de l'île, le facteur premier n'en reste pas moins la densité de population et les modes d'occupation de l'île.

Doc 3. Evolution de la population de 1974 à 2010 (INSEE, in Rapport de l'Assemblée Nationale, 2014)

année	population	Variation annuelle moyenne de la population sur la période (en %)
1974	6191	-
1982	8072	3,7
1990	28-518	17,1
1999	29-112	0,2
2010	36-779	2,1

1-La forte croissance de la population que souligne le tableau (doc 3) est liée notamment au développement touristique de l'île à la fin du XXe siècle. Ce développement s'effectue sur les littoraux forcément très attractifs. Or, la vulnérabilité de la population est d'autant plus forte qu'une grande partie de cette population est paupérisée, vit dans des quartiers informels, mal construits où le bâti fragile est soumis aux risques de submersion, d'inondation (Quartier d'Orléans par exemple) et aux vents violents. On admet en effet qu'en 2010, 12 394 étrangers vivaient à Saint-Martin, ce qui représente alors environ le tiers de la population totale. La

plupart de ces étrangers originaires de la zone caraïbe (77 %), en particulier d'Haïti (47 %), de la Dominique (16 %) et de République dominicaine (6 %) ont quitté leur pays après des catastrophes naturelles et pour des raisons de pauvreté. 16 % de la population étrangère est européenne. Une part non négligeable de la population immigrée n'a pas de formation professionnelle, ne dispose pas des connaissances suffisantes en matière de risques et n'a pas les moyens de se protéger efficacement..

2- Les caractéristiques topographiques de l'île, dont la partie centrale très accidentée est peu propice à la construction, et d'un accès difficile, ont poussé historiquement la population à s'établir à proximité immédiate du littoral, voire les « pieds dans l'eau » ce que recherchent les acteurs du tourisme et la population. Des ensembles d'habitations ou d'activités économiques sont installés directement sur les cordons dunaires. Ces zones arrivant à saturation, l'urbanisation progresse désormais sur les hauteurs. Saint-Martin voit désormais se multiplier la construction sur les collines (mornes), notamment dans l'agglomération de Marigot, parfois à proximité immédiate de ravines qui sont fréquemment comblées lors des travaux. Les abords des zones humides (étangs) ont eux aussi été assez largement occupés par des aménagements sauvages, ce qui a amoindri leur capacité à absorber l'eau des précipitations, déjà réduite par des phénomènes d'envasement. (<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-26278-rapport-gestion-risque-inondation-drom.pdf>).

3- L'anarchie de la construction à Saint-Martin, est un facteur majeur de vulnérabilité. Le seul document d'urbanisme en vigueur est un très ancien POS, peu ou pas respecté, y compris par les autorités publiques. Un projet de PLU existe désormais mais que faire des constructions « de fait » ? Les occupations illicites cesseront-elles avec ce nouveau document ? La mission de l'Assemblée Nationale souligne que le cadastre est « dans un état dramatique » et que le nombre est ridiculement faible de permis de construire déposés à Saint-Martin (moins de 200 par an) alors même que la construction a été très considérable au cours des décennies écoulées. Selon les conclusions du rapport de l'Assemblée Nationale, il ne « serait pas excessif de considérer que plus de la moitié du patrimoine bâti sur Saint-Martin l'a été de manière irrégulière et dans des espaces particulièrement dangereux » comme en témoigne le quartier de la Baie Orientale, sur la côte est de l'île où sont implantés de nombreux hôtels et locations estivales. Dans le quartier de Grand-Case, sur la côte ouest, hôtels et restaurants ont été construits directement sur la plage, le quartier dit « Sandy Grounds » situé au sud-ouest de Marigot, constitué pour l'essentiel d'habitations en dur construites de manière anarchique, se situe à moins d'un mètre au-dessus du niveau de la mer, sur un mince cordon entre le littoral et la grande lagune de Saint-Martin. Pour la population, et de nombreux élus, il est possible de construire partout y compris dans la zone « des cinquante pas géométriques ». Constitués d'une bande de terrain de 81,20 mètres de large déterminée à partir de la limite du rivage, les « cinquante pas géométriques », création de Colbert, définissent une bande littorale alors utilisée à des fins militaires pour la protection des habitants, elle appartenait au domaine public de l'Etat. Au fil du temps, des parcelles de terrain de la zone des cinquante pas ont été appropriées notamment après la promulgation de la loi n° 55-349 du 2 avril 1955, qui a placé cette zone dans le domaine privé de l'Etat, la rendant aliénable et prescriptible. La loi littorale n° 86-2 du 3 janvier 1986 a de nouveau classé la zone des « cinquante pas » dans le domaine public maritime de l'Etat, interdisant toute cession et toute appropriation privée. Mais les terrains appartenant à des personnes privées ou publiques pouvant justifier de leur titre de propriété, ne font pas partie du domaine public maritime de l'Etat. La loi n° 96-1241 du 30 décembre 1996 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur de la zone des « cinquante pas géométriques » dans les départements d'outre-mer conduit à la régularisation de la situation des occupants sans titre en

leur permettant d'acquérir le terrain qu'ils occupent à usage d'habitation principale, afin d'améliorer la salubrité d'immeubles souvent construits dans des conditions précaires.

L'exemple extrême de Saint Martin permet d'introduire la question majeure de la prévention des risques. Existe-t-il des réglementations permettant d'associer risque et aménagement ? Sont-elles bien appliquées ? Comment envisager la montée du niveau marin et des aléas cyclonique plus puissants ou plus nombreux ? Rappelons que selon l'ONERC (Observatoire national sur les effets du changement climatique), les conséquences du changement climatique sur les espaces littoraux devraient se traduire notamment par « L'accélération de la submersion marine et de l'érosion des côtes, Le renforcement de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, Les modifications du régime des vagues et la circulation océanique. » or les projections présentées par le GIEC pour le XXI^e siècle font état d'une forte montée du niveau marin (tableau, doc 4)

Doc 4 L'élévation du niveau de la mer d'ici 2100 (hypothèse du GIEC, source ONERC)

Hypothèse	2030	2050	2100
Optimiste	10 cm	17 cm	40 cm
Pessimiste	14 cm	25 cm	60 cm
Extrême	22 cm	41 cm	100 cm

4-Des facteurs politico-sociaux de vulnérabilité. La partie française de Saint Martin, a été érigée en Collectivité d'Outre-Mer (COM) relevant de l'article 74 de la Constitution, par la loi organique n°2007-223 (21 février 2007), modifiée en 2010 (loi organique n° 2010-92). Saint-Martin précédemment rattachée administrativement à la Guadeloupe comme simple commune, est désormais dotée d'une organisation administrative, d'un dispositif de compétences et d'un régime législatif propres. La collectivité de Saint-Martin a un Conseil territorial élu au suffrage universel, d'un Président assisté d'un conseil exécutif. La collectivité dispose d'un conseil économique, social et culturel. Un préfet délégué, représentant de l'Etat français, est en charge des intérêts nationaux, du respect des lois et des traités, de l'ordre public et du contrôle administratif. Saint-Martin dispose d'un tribunal d'instance et d'un vice-procureur de la République. La collectivité exerce et cumule les compétences précédemment dévolues à la commune, au département et à la région de Guadeloupe. Elle est de plus, attributaire de compétences d'Etat, concernant notamment les impôts, droits et taxes, - la circulation routière et les transports routiers, - le droit domanial, - l'accès au travail des étrangers, - le tourisme, - l'urbanisme, la construction, l'habitation et le logement, l'énergie. Elle n'a pas de compétences en matière d'environnement. Le rôle de l'Etat en matière d'environnement consiste à veiller à l'application des lois et à mettre en oeuvre les politiques publiques dans les domaines concernés. Cependant la collectivité de Saint-Martin détient la possibilité d'adapter les lois et règlements en vigueur en matière d'environnement, aux spécificités de l'île de Saint-Martin. Cette Collectivité Territoriale de Saint-Martin apparaît « à l'avant garde de la République décentralisée" par ses responsabilités accrues et son statut fiscal. En 2017, la COM très endettée, n'était pas épargnée par la corruption et avait bien peu mis en oeuvre les réglementations françaises en matière de construction et de risque.

II. En France, des réglementations nombreuses en matière de prévention.

Pour n'envisager que les aléas et risques d'inondation, rappelons qu'ils (inondations fluviales, urbaines, littorales) concernent en France 17,1 millions de personnes dont 16,1

millions en métropole. 1,4 million de personnes est concerné par les risques de submersion marine. Plus de 9 millions d'emplois sont exposés aux débordements des cours d'eau et plus de 850 000 emplois sont exposés aux submersions marines. 20% des habitations exposées aux submersions marines n'ont qu'un rez-de-chaussée. (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations>)

A. L'abondance des réglementations

Outre la « loi littoral » (n° 86-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral) qui rend inconstructibles la bande littorale des 100 m et les espaces remarquables, s'appliquent aux communes à risques, la loi 95-101 de février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement, dite loi Barnier qui crée les Plans de prévention des risques (PPR) et d'autres réglementations que nous allons évoquer. Les conséquences de la tempête Xynthia ont aussi conduit les pouvoirs publics à envisager de nouvelles manières de gérer les risques d'inondation et de submersion.

Doc 5 Les textes réglementaires de traitement du risque

Plan de surface submersible (décret-loi 1935) Assurer le libre écoulement des eaux et préserver les champs d'inondation.

Article R.111-3 : (1955) du Code de l'Urbanisme permet au préfet de délimiter par arrêté un périmètre de risques à l'intérieur duquel le permis de construire et les autres autorisations d'occuper le sol peuvent être refusés ou autorisés en les subordonnant à des conditions spéciales.

Plan d'exposition aux risques (PER) : (loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles). Le PER détermine les zones exposées à un risque majeur et les techniques de prévention qui doivent être mises en oeuvre. Il constitue une servitude d'utilité publique qui s'impose aux documents d'urbanisme et aux autorisations d'occupation du sol.

La loi du 22 juillet 1987 et son décret d'application du 11 octobre 1990 concerne l'information des citoyens sur les risques naturels auxquels ils sont exposés.

Plans de Prévention des Risques : Le PPR a été institué par la loi n° 95-101 du 2 février 1995, en remplacement des PER, PSS et des périmètres de l'article R.111-3. Le PPR est élaboré et mis en application par l'État en prévention des risques naturels prévisibles. Une fois approuvé par arrêté préfectoral, le PPR vaut servitude d'utilité publique et est annexé au Plan local d'urbanisme (PLU).

Loi de 2003, loi Bachelot : affirmation de l'importance de la prévention et de l'information en matière de risques naturels

Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (2006) qui tente de prendre en compte l'adaptation au changement climatique dans la gestion des ressources en eau

Directive européenne 2007 dite directive inondation relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation transposée en droit français en 2010 et dans le décret N°2011-227 du 2 mars 2011, relatifs à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation.

Loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement transpose la directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation

Plan de submersion rapide, PSR, adopté le 17 février 2011 le PSR anticipe le cadre de la stratégie nationale de gestion des risques d'inondation pour la réduction des conséquences dommageables des inondations de toute origine en application de l'art 221 de la loi portant engagement national pour l'environnement (LENE)

(http://www.sepanso.org/gironde/IMG/pdf/170420_livret_bilan_psr.pdf)

Décret du 2 mars 2011 détermine les actions à mener et leurs responsables pour réaliser : ----

- une évaluation préliminaire des risques d'inondation dans chaque district hydrographique,
- une sélection des territoires à risque,
- une cartographie des surfaces inondables et des risques,
- et un plan de gestion des risques d'inondation qui doit être décliné localement.

La **loi MAPTAM 2014** Modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles attribue aux communes et EPCI à fiscalité propre, la compétence **GEMAPI** (gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations), entrée en vigueur au 1er janvier 2018. Elle porte sur la maîtrise d'ouvrage des systèmes de protection, renforce les liens entre prévention des inondations et aménagement du territoire. Pour la mise en œuvre de cette compétence, les collectivités territoriales pourront disposer d'une taxe dédiée.

1-Le Plan de prévention des risques d'inondations PPRI résulte de la loi de 1995 ; établi par communes, il détermine les zones de dangers (carte des aléas). En fonction de l'importance de ceux-ci le PPR pourra soit interdire tous nouveaux aménagements, toutes constructions, soit se voir imposer des restrictions spécifiques pour les nouvelles constructions et les constructions et aménagements préexistants. L'arrêté émis par le préfet qui prescrit le PPRI indique la nature du risque, le périmètre concerné, les services chargés d'instruire le projet. Cet arrêté est notifié aux maires et aux présidents des Etablissements publics de coopération intercommunale (EPCI), il est affiché en mairie. Le projet de plan est soumis à enquête publique. Quand le PPRI est approuvé, il vaut alors servitude d'utilité publique et doit être annexé au Plans locaux d'urbanisme (PLU), les servitudes résultant de ce plan ne sont pas indemnisables. Le plan est composé d'une carte d'aléa, d'une carte de zonage et d'un règlement précisant les mesures d'interdiction applicables dans les différentes zones.

2-Le Plan submersions rapides (PSR) adopté en février 2011 à la suite de la catastrophe due à Xynthia, le PSR concerne outre les processus de submersion marine, le ruissellement localisé, les crues soudaines, la rupture de digues, il doit s'articuler avec le Plan National d'adaptation au changement climatique (PNACC) afin de prendre en compte l'élévation du niveau de la mer. Ce plan, conformément à l'article 42 de la loi du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, présente des mesures concrètes, opérationnelles pour préparer la France à faire face à de nouvelles conditions climatiques. . Le plan s'appuie quatre aspects

*la maîtrise de l'urbanisation et l'adaptation du bâti.

*l'amélioration des systèmes de surveillance, de prévision, de vigilance et d'alerte.

*la fiabilité des ouvrages et des systèmes de protection.

*l'amélioration de la résilience des populations

Il a pour objectif de « garantir la sécurité des personnes, par des projets ponctuels mais sur des zones cohérentes (bassin de risque) ». Ce qui rejoint la stratégie nationale de gestion du trait de côte issue du Grenelle de la Mer (engagement du Grenelle de la mer n°74 du Livre bleu) qui insiste sur la nécessité de « suivre l'évolution naturelle du trait de côte là où les enjeux sont faibles, à intervenir de manière limitée en accompagnant les processus naturels, à organiser le repli des constructions existantes derrière la ligne de défense naturelle ou aménagée, à maintenir le trait de côte dans les secteurs de forts enjeux. Le plan national de submersions rapides propose donc un cadre organisationnel, des objectifs généraux et des enveloppes financières.

Déclinés aux échelles locale les plans de submersion rapide, imposent d'intégrer les bassins de risque inondation par submersion marine dans le champ d'application des programmes d'action de prévention des inondations (PAPI), jusqu'alors réservés aux bassins de risque inondation par débordement fluvial.

3-Les circulaires de 2011

La circulaire du 5 juillet 2011 envisage la gestion des risques d'inondation, dans le cadre de la mise en application au niveau national de la directive européenne de 2007 dite directive inondation relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation. Chaque bassin de risque qui doit être un lieu d'échanges entre acteurs locaux, doit aussi être piloté par une instance notamment un EPTB. Il doit être le cadre pour la labellisation des programmes d'action de prévention des inondations (Papi) et des projets issus du plan submersions rapides (PSR). La circulaire rappelle les grandes échéances de mise en œuvre de la directive de 2007, notamment l'approbation de la sélection des territoires à risques importants d'inondation (TRI), dans chaque bassin et au niveau national. L'évaluation préliminaire des risques d'inondation, la sélection des territoires à risques importants d'inondation et la cartographie des inondations étant indispensables pour la mise en œuvre du plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) entrée en vigueur en 2015. Le PGRI prévoit des orientations à l'échelle du bassin issues d'une stratégie nationale et de stratégies locales. Le PGRI doit être décliné dans les documents d'urbanisme.

Changement climatique et PPRL, La circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux PPRL, stipule qu' « au regard de l'impact prévisible fort du changement climatique sur la configuration des côtes basses, il convient dès à présent, conformément aux préconisations du plan national d'adaptation au changement climatique, d'intégrer l'impact du changement climatique sur l'aléa « submersion marine » dans les plans de prévention des risques littoraux. Pour ce faire, les PPRL doit intégrer un aléa calculé sur la base de l'hypothèse pessimiste d'augmentation du niveau de la mer à l'horizon 2100. Cet « aléa 2100 » impose des prescriptions sur les nouvelles habitations et la prise de mesures destinées à limiter la vulnérabilité future des territoires au risque de submersion marine ».

S'agissant de la mise en œuvre des PPRL la **circulaire du 2 août 2011**, indique que leur élaboration est prioritaire dans le cadre du plan national submersions rapides de février 2011. La circulaire précise les moyens spécifiques d'action et les dispositifs d'accompagnement des collectivités concernées. Le PPRL régleme l'utilisation des sols exposés aux risques littoraux, par :

- *l'interdiction de nouvelles constructions dans les secteurs à risques
- *l'amélioration de la pérennité des constructions soumises au risque
- *la réduction de la vulnérabilité des constructions existantes (ex : batardeaux, clapets anti retours)
- *l'autorisation de nouveaux aménagements en zone inondable ne peut être donnée que s'il n'y a pas aggravation de l'aléa et à la condition que soient protégées les zones naturelles et agricoles.

Les différents objectifs sont précisés dans le guide méthodologique d'élaboration des PPRL établi en 2014 et qui complète et précise le cadre méthodologique mis à jour par la circulaire du 27 juillet 2011. Il traite de l'aléa submersion marine et des divers aléas susceptibles de se produire dans les communes littorales : érosion, débordement des cours d'eau. Ce guide prône un zonage prenant en compte les effets de la montée du niveau marin: il se réfère à l'aléa de référence actuel et à l'aléa à une échéance de 100 ans S'agissant de l'aléa actuel, une surcote de 20 cm dans la délimitation des espaces à risque doit déjà être appliquée pour prendre en compte les effets actuels du changement climatique. Suivant les préconisations du rapport Cousin (mission interministérielle post Xynthia) et de l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique ONERC, le guide souligne la nécessité d'envisager l'aléa de 2100, soit 60 cm de plus que l'aléa actuel. Ainsi, une zone qui aujourd'hui n'enregistre pas d'aléa mais qui pourrait être en aléa fort en 2100, doit être déclarée inconstructible. Des prescriptions sont édictées pour les nouvelles constructions.

4. La stratégie nationale de gestion des risques d'inondation : la France s'est dotée d'une approche globale et intégrée de la gestion des inondations SNGRI Approuvée en 2014 et issue d'une consultation nationale auprès du grand public, la stratégie nationale de gestion des risques d'inondation a pour objectif la mise en cohérence des actions menées sur le territoire en matière de risque d'inondation afin d'atteindre une sécurité maximale des populations, une réduction du coût des dommages, et une diminution notable du délai de retour à la normale des territoires affectés par les inondations il s'agit de "renforcer la sécurité des personnes exposées", "stabiliser sur le court terme, réduire à moyen terme, le coût des dommages liés aux inondations" et "raccourcir fortement le délai de retour à la normale des territoires sinistrés". Cette stratégie se décline dans les grands bassins par le de plans de gestion des risques inondation (PGRI) et, à l'échelon des 122 territoires à risque important d'inondation (TRI) identifiés.

En janvier 2015 a été installé le Comité National chargé de suivre la mise en œuvre de la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte Il est chargé de la cartographie nationale de l'érosion littorale, lancée en janvier 2014, doit réaliser un atlas national de référence pour la connaissance de la dynamique des côtes françaises.

5. PPRL, PLU et SCOT. Les PLU et Scot sont des documents d'urbanisme, les PPR des documents de prévention qui n'interviennent que dans le domaine des risques. Les PLU « comportent un règlement qui fixe, en cohérence avec le projet d'aménagement et de développement durable, les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols (servitudes d'urbanisme), qui peuvent notamment comporter l'interdiction de construire ». Dans le cadre des PLU, les orientations d'aménagement et de programmation (OAP) issues de la loi Solidarité et Renouvellement Urbain (SRU) et complétées par la loi Grenelle 2 sont des dispositifs de planification stratégique efficaces notamment pour la prise en compte du risque.

Les cartes de zonage du PLU sont particulièrement stratégiques car elles doivent s'articuler, sans aucune contradiction avec les zonages du PPR. Le règlement du PLU revêt une grande importance dans la gestion des risques, ([article L.562-4 du Code de l'environnement](#)).

Issu de la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbain) du 13/12/2000, le SCOT est l'outil privilégié d'une planification stratégique élaborée par les collectivités pour assurer un aménagement du territoire cohérent sur un bassin de vie. Il s'impose dans un rapport de compatibilité aux autres outils de l'urbanisme de planification (POS/PLU, carte communale). Il permet aux élus et à leurs partenaires d'être acteurs de la prévention des risques d'inondation à travers les objectifs d'aménagement du territoire à long terme qu'ils définissent ensemble. Le SCOT constitue une échelle intéressante pour identifier l'évolution du tissu urbanisé qu'il faudrait envisager pour réduire de manière significative les impacts d'une inondation. Prendre en compte le risque d'inondation dans le SCOT, permet de poser la question de l'avenir des territoires inondables en lien avec des territoires « non-inondables », de leur solidarité, dans le but de garantir la sécurité des populations, l'intégrité et la pérennité de la vie économique, touristique, sociale et environnementale des territoires malgré la présence de ce risque.

Ces différents documents sont opérationnels, ainsi sur 303 communes littorales de la métropole, fin 2016, 136 communes étaient couvertes par un PPRL approuvé et 134 autres avaient un PPRL en cours d'élaboration. Depuis ces vingt dernières années, on observe de nouveaux rapports sur la gestion du trait de côte: on parle maintenant de stratégie locale de la gestion du trait de côte, de « gestion intégrée des zones côtières» (GIZC ou ICZM en anglais) devenue « gestion intégrée de la mer et du littoral » (GIML) pour l'échelle européenne ou encore des « stratégies nationales de gestion du trait de côte ». L'ICZM (Concept né aux US et adapté à l'Europe (Heurtefeux H. and al, 2011)) n'est pas une simple politique

environnementale puisqu'elle cherche à améliorer le bien-être économique et social et la sécurité des zones côtières. Nonobstant, en dépit du grand nombre de textes, de réglementations, peut être même à cause de cet empilement, de ce mille feuille si caractéristique du système politico-administratif français, la gestion des risques et l'intégration risque et aménagement des territoires demeurent difficile et souvent conflictuelle.

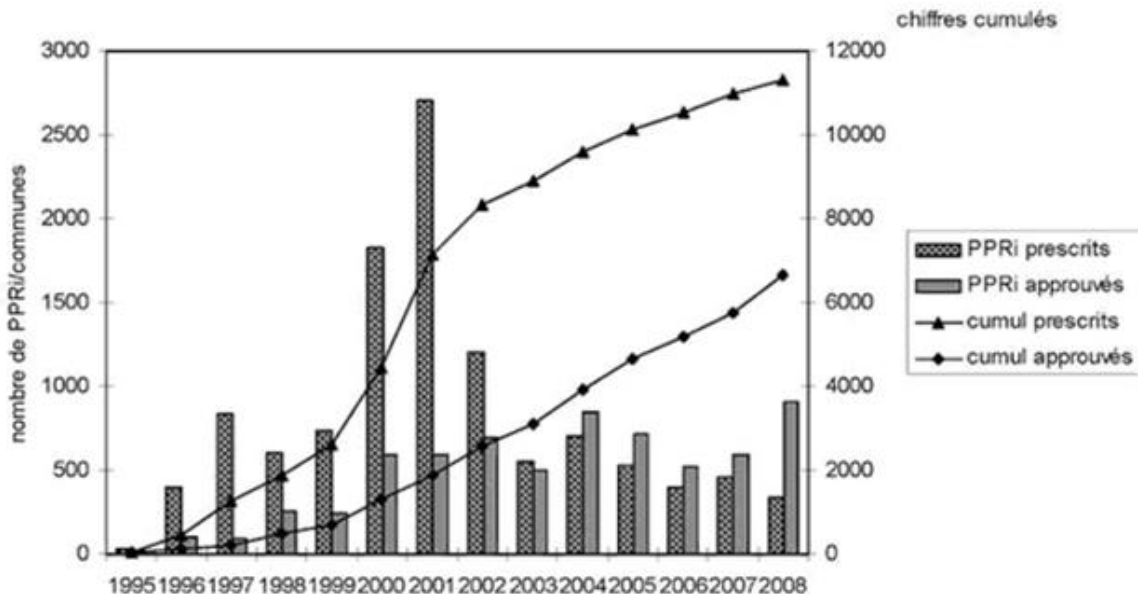
III Risques et aménagement, un couple conflictuel

A. les raisons de la contestation des PPR

1. Constat : la lenteur de la mise en œuvre des PPR

Dès la publication des lois créant les PER puis les PPR et des décrets d'application, la mise œuvre de ces documents a suscité bien des difficultés. Les PPR ont été prescrits lentement et principalement après que se soit déroulée une crise ou une catastrophe, F. Viney (2010) rappelle qu'une semaine après les crues des 8 et 9 septembre 2002, le préfet du Gard a prescrit des PPR sur 126 communes et « que ces prescriptions massives « en catastrophe » devaient permettre aux sinistrés de ne pas être soumis aux majorations de franchise prévues par l'arrêté du 5 septembre 2000 » F. Vinet rappelle qu'en « mars 2009, 9194 PPR communes étaient approuvés (ils concernaient des aléas divers), 6673 d'entre eux étaient des PPR inondation, si l'on ajoute les documents valant PPR (PER, PSS, R.111-3) ce sont 7262 communes qui étaient couvertes par un document dont 5598 par un PPR stricto sensu. Ces chiffres sont à comparer avec les 21 530 communes qui ont subi un arrêté Cat Nat « inondation » entre 1984 et 2008 dont près de 7000 ont subi au moins trois arrêtés ».

Doc 6. Evolution du nombre de PPR « inondation » prescrits et approuvés entre 1995 et 2008 (source base Gaspar et MEEDDAT), in « Le risque d'inondation diagnostic et gestion ». Ed Tec et doc Lavoisier, F. Viney 2011



De même avant la catastrophe liée à l'inondation de l'Argens et de la Nartuby dans le Var en 2010, inondation qui a affecté 13 communes (Figanières Châteaudouble, Trans-en-Provence, Les Arcs-sur-Argens, Fréjus, Roquebrune-sur-Argens et Puget-sur-Argens...) provoqué 25 victimes et d'énormes dégâts, des 13 communes touchées mais où les

inondations n'étaient pas inconnues loin s'en faut, une seule avait un PPR. Dans certaines communes le PPR avait été prescrit mais ils n'avaient pas dépassé le stade de l'enquête publique, 4 ans après leur prescription, en raison de l'opposition des communes et de la chambre d'agriculture. Dans d'autres cas la prescription n'a même pas entraîné une enquête publique. Dans une de ces communes la réunion destinée à engager l'étude a eu lieu en 2008, plus de 8 ans après la prescription. Le projet de plan a été présenté à la commune en 2009 et une réunion publique a eu lieu en 2010. La couverture reste partielle et ce constat a été rappelé par des sénateurs suite à la tempête Xynthia (Anziani, 2010). Un nouvel objectif (15 000 Ppri pour 2015) a récemment été fixé par le ministère suite aux inondations qui ont eu lieu dans la Dracénie (15 juin 2010) (Douvinet et alii 2011)

Sur les 864 communes littorales de France métropolitaine exposées au risque de submersion marine, à peine plus de 5 % avaient un PPR inondation (PPRI) approuvé au moment de l'épisode Xynthia en 2010, soit 15 après la promulgation de la loi Barnier instaurant les PPR.

2. les raisons d'une telle lenteur

Les contraintes imposées par le PPR: Les raisons sont nombreuses, on peut noter par exemple, le refus de considérer que l'on se situe en zone à risque, ce qui renvoie à l'oubli du danger, à sa méconnaissance, situation fréquente là où il n'y a pas eu de graves inondations depuis assez longtemps. Ainsi des secteurs inondables de la vallée de la Loire ont pu être construits parce que les très graves inondations qui ont eu lieu en 1846, 1856 et 1866 (crues centennales) ne se sont pas reproduites depuis. De manière générale il faut souligner la rupture du lien des populations surtout urbaines avec la nature et son fonctionnement.

Les zonages des PPR, les modes d'action publique associés sont généralement mal perçus Ces plans de prévention sont contraignants, ils limitent fortement la constructibilité dans les zones à risque fort et définissent des prescriptions à prendre en compte pour les constructions réalisées dans les zones moins exposées. La dévalorisation des espaces classés à risque est évidemment un facteur majeur pour les propriétaires. Il en va de même pour les maires qui ont intérêt d'une part à satisfaire les électeurs et d'autres part à développer leur commune en attirant activités et nouvelle population Les raisons de telles situations tiennent au conflit bien connu entre la délimitation d'espaces potentiellement dangereux pour fait de submersion, de recul accéléré du littoral, ou d'inondation plus classique impliquant de geler une partie de la surface communale et le développement de la commune nécessitant de nouvelles implantations d'habitations, de commerces, d'équipements variées, donc des surfaces disponibles. La raison tient aussi au prix du foncier et au mécontentement des citoyens dont les biens perdent leur valeur parce que situés en secteur dangereux ; elle tient également aux difficultés d'une possible réélection de l'équipe municipale après la mise en œuvre d'un PPR. Les PPRI sont une « *contrainte pour les élus (blocage de leur pouvoir urbanistique), pour les particuliers (baisse de la valeur vénale des maisons) et pour les industriels.*

S'agissant des élus, à La Faute le maire a été mis en examen et condamné (Steinlé-Feuerbach2014). Or, il s'est beaucoup occupé du développement de l'urbanisation de sa commune, mais l'urbanisation a été effectuée sur des zones basses parfois au-dessous du niveau de la mer, dans d'autres communes elle a souvent empiété sur des espaces « naturels » amortisseurs d'aléas et a porté atteinte à leur rôle de zone tampon entre la mer ou les cours d'eau et les aménagements (Magan et Duvat 2015). A la Faute-sur-Mer 70 % des parcelles aménagées à partir des années 1980 ont été submergées par Xynthia (contre 23 % de celles bâties avant 1950), et près de la moitié de celles bâties entre 2000 et 2010 ont été recouvertes par un mètre d'eau le 28 février 2010 (Vinet *et al.*, 2012). Ces chiffres traduisent bien le fait qu'au fil du temps, ont été urbanisées des zones toujours plus dangereuses. Cette situation se

retrouve dans bien des espaces littoraux marqués par une forte attractivité résidentielle et par l'essor du tourisme. A La Faute les constructions sans étage, et relativement peu coûteuses ont attiré une population de retraités peu fortunés, qui selon de nombreux témoignages ignoraient totalement le risque de submersion auquel ils étaient exposés. Comme le soulignait Jean Renard en 1983, les premiers plans d'occupation des sols (1967) ont davantage été des « instruments de distribution des droits à construire que des documents d'aménagement » mais en raison de la pression foncière notamment une telle situation ne perdure-t-elle pas ?

B. Des PPR « à minima »

Les PPR de la région varoise déjà évoquée, quand ils existent se révèlent « ambigu et peu clair « dans leur formulation s'agissant de l'aléa de référence et « souvent non conformes aux instructions nationales ». Les règlements sont rédigés « à minima »

A Saint Martin un Plan de prévention des risques naturels PPRN approuvé en 2011 a été réalisé, il prend en compte l'ensemble des aléas naturels (inondations, mouvements de terrains, séismes et cyclones). La carte de l'aléa inondation du PPRN montre la place des torrents et paraît envisagée à minima. Les autres types d'inondations (submersion marine) ne sont pas intégrés au document La carte du PPRN figurant l'extension potentielle des effets de l'aléa cyclonique minimise fortement ce dernier. Prend-elle en compte les vents violents dont l'effet peut concerner l'ensemble du territoire ? Quel type de cyclone (1 à 5 ?) justifie la délimitation faite ici des espaces potentiellement dangereux ?

Ces cartes d'aléas sont faites « à minima » pour répondre à la loi française et éviter toute poursuite juridique des responsables en cas de déroulement de la crise, elles ne correspondent pas aux réalités du danger en cas de cyclone majeur notamment et de forte inondation. La situation de septembre 2017 avec Irma en témoigne largement.

Les deux cartes du PPR n'indiquent rien sur un possible tsunami toujours possible aux Antilles et dont les effets seraient totalement désastreux sur les littoraux de Saint Martin. L'examen de la carte réglementaire, fait une part réduite aux zones rouges, les plus dangereuses construites ou non. Ce qui limite d'autant l'intérêt du PPRN comme moyen de connaissance du risque pour les populations concernées. L'essentiel du territoire est bleu y compris quand l'aléa est défini comme fort (cyclone, submersion marine..) ce qui signifie que l'espace est constructible, certes avec en principe des aménagements préalables.

Consciente de l'ampleur des risques la COM de Saint Martin lors d'une conférence sur l'environnement tenue en Guadeloupe en 2016 a proposé les avancées suivantes, certes utiles mais quelque peu dérisoires par rapport à la situation de crise survenue en septembre 2017.

* « La mise en place d'un nouveau radar, qui viendra appuyer les prévisions de Météo France et du département météorologique de St-Maarten et qui permettra de coordonner nos actions de prévention, d'information et d'alerte

* La mise en place d'un système automatisé d'observations météorologiques (AWOS) qui permettra de disposer d'une méthode supplémentaire d'acquisition et de diffusion de renseignements météorologiques fiables et de développer la connaissance des phénomènes climatiques et de leurs occurrences pour une meilleure appréhension du risque

*L'installation d'une station marégraphique, qui viendra compléter le réseau de stations de surveillance du niveau de la mer de l'Arc Antillais et permettra d'améliorer le dispositif d'alerte du risque tsunami

*La sensibilisation de la population et la diffusion d'informations fiables ».

Rien n'est envisagé en termes d'aménagement acceptable des territoires pour réduire le risque.

De cette liste de préconisation il ressort que Saint Martin est une île totalement sous équipée en moyen de détection, de suivi des aléas et d'alerte à la population. Comment dans

ces conditions prévenir en temps utile la population, la mobiliser afin qu'elle puisse contribuer à une gestion acceptable de la crise ?

C. Les PPR discutés, négociés et « assouplis »

Globalement, les maires ont des difficultés pour faire accepter les PPR. Ils doivent faire face à de nombreuses pressions, et font souvent en sorte de présenter des situations moins catastrophiques que dans la réalité (Beucher, Rode, 2009). Pour défendre le développement de leurs communes, les maires négocient avec les préfetures des aménagements aux plans de prévention du risque, demandant notamment un assouplissement des règlements. Force est de constater que les particuliers font aussi de fortes pressions contre la mise en œuvre du PPRI. Quoi qu'il en soit, le non respect des PPRI entraîne une augmentation de la vulnérabilité dans les zones à risque, ce qui, bien évidemment, est associé à une accentuation des dommages lors de la survenance d'événements naturels.

Dans le département du Val de Marne où 20% du territoire sont inondables, le PPRI Val-de-Marne (résultant de l'harmonisation des différents PPR à établir le long de la Marne) a suscité de vigoureuses oppositions. Les premiers conflits ont surgi à propos de la commune d'Alfortville, la carte d'aléa indiquant en effet une commune totalement inondable et des hauteurs d'eau souvent supérieures à 2 m en cas de crue type 1910. Dans un tel cas, le PPR doit limiter voire interdire, tout développement de la commune. Le maire a proposé le système du « duplex », pour ne pas empêcher toute nouvelle implantation dans sa commune (doc 7). L'autorisation de construire a été acceptée en appliquant la règle dite du « duplex » (S. Beucher, 2008) impliquant une construction sur pilotis dont le plancher est au-dessus des PHEC, des installations électriques notamment hors d'eau et une ouverture par le toit du bâtiment.



Doc 7. Les modes de construction en zone inondable. La règle du « duplex » permet de construire en zone inondable mais d'habiter au-dessus de la ligne des plus hautes eaux connues. (in site Internet Val-de-Marne.developpement-durable.gov.fr)

Le conflit s'est poursuivi lors de l'enquête publique de 2000, il portait sur certains quais et sur les îles habitées et cependant classées en zone rouge parce que ces secteurs correspondent à des zones de grand écoulement. L'objectif du PPR étant de reconquérir ces territoires comme zones d'expansion des crues. Les communes concernées se sont insurgées, les riverains se sont regroupés en association. Soutenus par des élus, ils ont obtenu la modification des zonages qui désormais semblent difficiles à lire.

L'assouplissement des zonages, fruit de négociations

En effet au lieu des trois couleurs : rouge synonyme d'interdiction de construire, bleu indiquant des aménagements possibles en suivant des prescriptions précises, blanc signifiant l'absence de risque, le zonage réglementaire comprend de nombreuses zones (rouge, orange hachuré de rouge et rouge hachuré d'orange, bleu, violet foncé et clair, orange foncé, vert) (tableau n°3). Il est vrai que les prescriptions sont plus complexes en terrain déjà bâti qu'elles

ne le sont en terrain non bâti (S. Beucher 2008). Au-delà des couleurs réglementaires définissant deux zones à risque, certaines adaptations comme [...] la multiplication des couleurs traduisent une négociation de l'aléa et des règlements à l'échelle locale » (Douvinet et al., 2011).

Doc n°8. Le zonage du PPRI 2007

Plusieurs zones ont été distinguées dans le Val –de- Marne.

Le zonage réglementaire issu de cette confrontation comprend au total sept zones
zones rouges, zones de grand écoulement.

zones vertes, qui correspondent:

- D'une part, aux zones naturelles d'espaces verts, de terrains de sports, de loisirs ou de camping ayant vocation à servir de zone d'expansion des crues ;
- D'autre part, aux zones définies dans les documents d'urbanisme comme zones à préserver pour la qualité du site et du paysage existant.

zones **orange foncé**, qui correspondent aux autres espaces urbanisés (hors zone de grand écoulement), en aléas forts ou très forts.

zones **orange clair**, qui correspondent aux autres espaces urbanisés, en autres aléas.

zones **violet foncé**, qui correspondent aux zones urbaines denses (hors zones de grand écoulement), en aléas forts ou très forts.

zones **violet clair**, qui correspondent aux zones urbaines denses, en zone d'autres aléas.

zones **bleues**, qui correspondent aux centres urbains (hors zone de grand écoulement) où les contraintes sont réduites.

Dans certains PPR on distingue aussi

- une zone **rouge hachurée orange** qui correspond aux îles situées sensiblement dans l'axe de la rivière et aux berges particulièrement exposées à des inondations très fréquentes. La reconstruction après sinistre d'une surface équivalente y est autorisée sous conditions.
- une zone **orange hachurée rouge** qui correspond aux autres îles et aux autres berges. Seules les constructions permises en zone orange foncé décrite ci-dessous y sont autorisées.

Parfois une zone jaune secteur identifié pour accueillir des équipements d'intérêt général

Les règles de construction

Dans les zones rouges, de grand écoulement, toute construction nouvelle est interdite à l'exception de l'extensions limitées à 20 m² de SHON (surface plancher hors œuvre nette, surface à déduire de la SHOB, combles et sous sols non aménageables, les toitures terrasses, les balcons, garages étant déduits de la SHOB...),
- constructions d'annexes limitées à 15 m de SHOB (surface plancher hors œuvre brute, c'est le surface de tous les planchers mesurés à l'extérieur des mur),
- constructions liées à l'activité fluviale.

Dans la zone verte, toute construction nouvelle est interdite à l'exception de l'extension limitée à 20 m² de SHON,

- constructions d'annexes limitées à 15 m² de SHOB,
- constructions de bâtiments liés au fonctionnement des installations sportives et de loisirs ; les planchers habitables doivent être situés au-dessus de la cote des PHEC.

Dans les zones de grand écoulement, les principales prescriptions sont les suivantes : la zone rouge hachurée orange, le règlement est identique à celui de la zone rouge mais la reconstruction après sinistre y est autorisée sous conditions.

- Dans la zone orange hachurée rouge, le règlement est identique à celui de la zone orange.
- Dans la zone verte, seuls les bâtiments liés au fonctionnement des installations sportives et de loisirs sont autorisés ; les planchers habitables doivent être situés au-dessus de la cote des P.H.E.C.

***Le règlement du PPRI**

Le règlement évoque successivement les règles d'urbanisme, les règles de constructions, les prescriptions d'aménagement et les prescriptions sur les biens et activités existants.

□□ Règles d'urbanisme :

Les principes précisant les prescriptions particulières qui portent notamment sur :

*la nature des constructions qui peuvent être autorisées (avec ou sans prescriptions) ou interdites, en distinguant les constructions à usage de logement et les constructions à usage autre que logement ainsi que les établissements sensibles (recevant du public).

*les opérations de constructions nouvelles et d'extension de bâtiments existants.

*l'emprise au sol des bâtiments à construire afin de préserver l'écoulement et l'expansion des eaux.

*la cote de niveau du premier plancher habitable par rapport à la crue cinquantennale et à la crue centennale (P.H.E.C.).

Le règlement introduit la règle du " duplex " qui permet, notamment en centre urbain et en zone urbaine dense, un plancher habitable sous la cote des P.H.E.C. à condition qu'il existe dans chaque logement un plancher complet habitable au-dessus de la cote des P.H.E.C..

□□ Règles de construction communes à toutes les zones :

Elles ont pour but d'assurer la pérennité des ouvrages et de permettre le fonctionnement durable des installations :

- sous-sols inondables, stabilité des ouvrages, utilisation de matériaux insensibles à l'eau ;
- appareillages et réseaux de distribution de fluides hors d'eau ou confinés ;
- prévoir une issue au-dessus des P.H.E.C., pour les constructions à usage d'habitation.

□□ Prescriptions pour l'aménagement des terrains :

Elles visent à conserver le champ d'expansion de la crue et les conditions d'écoulement ainsi qu'à protéger les infrastructures de transport de fluides :

- interdiction des endiguements ; interdiction des remblais, obligation de mesures compensatoires et études hydrauliques pour les infrastructures de transport ; protection ou mise hors d'eau des réseaux ; clôtures et plantations n'entravant pas l'écoulement des eaux ;
- arrimage ou mise hors d'eau des citernes.

□□ Prescriptions pour les biens et activités existants :

Il s'agit d'empêcher les produits dangereux ou polluants de se disperser, de confiner ou de pouvoir évacuer les objets susceptibles d'être emportés par le courant et d'assurer l'évacuation des véhicules

Sources: PPRI de la Marne et de la Seine dans le département du Val-de-Marne. Notice de présentation <https://www.data.gouv.fr/storage/f/2014-07-05T19-07-45/5e-ppri1.pdf>

Les PPRI établis dans les secteurs déjà construits devraient éviter une augmentation significative du nombre d'habitants dans les zones soumises aux aléas forts ou très forts. Ils

doivent notamment permettre de réglementer strictement les établissements sensibles qui accueillent de façon permanente des personnes non valides, des malades, des personnes âgées ou des enfants. Ils doivent aussi contribuer à ne pas dégrader les conditions d'écoulement et d'expansion des crues. Les multiplications des zones du PPR conduit à une difficile lisibilité de ceux-ci et contribue à réduire son intérêt

D. Gérer le risque ou densifier l'habitat en zone urbaine, exemple de l'agglomération parisienne et de la vallée du Var. Les OIN (opération d'intérêt national)

Dans les espaces déjà construits, les PPRI montrent rapidement leurs limites. Que faire des aménagements soumis aux risques ? Dans le cas d'opérations de restructuration de quartiers, il est nécessaire de mettre les nouvelles surfaces habitables hors d'eau par rapport à la crue de référence ou d'utiliser le système du duplex. L'évolution qui semble se dessiner, paraît aller en Ile-de-France vers l'aménagement des espaces à risques en appliquant cependant des normes de construction spécifiques. Il est vrai que l'un des principes de l'urbanisation en Ile de France est de réduire les « dents creuses », de densifier. Comment alors concilier gestion du risque qui nécessite une faible densité de population et d'activités et aménagement urbain qui bien souvent implique une forte densité des activités et des hommes ? Ainsi dans le cadre de l'opération d'intérêt national OIN Orly Rungis Seine Amont, l'État exige une très forte densification des bords de Seine pour rééquilibrer économiquement l'Est et l'Ouest du Grand Paris, la maîtrise de l'étalement urbain étant devenue en matière de développement durable l'un des principaux objectifs poursuivis par les pouvoirs publics (Ghorra-Gobin, 2008).

C'est à travers le renouvellement urbain et sous le vocable de projet urbain que se met en œuvre cette politique que l'on retrouve aussi bien à Vitry, que dans l'Île Seguin « Rives de Seine » sur les terrains des anciennes usines Renault à Boulogne-Billancourt, pour les « Les Docks » à Saint-Ouen, « Ivry-Confluence » à Ivry-sur-Seine, le réaménagement des quais à Issy-Les-Moulineaux, Ces secteurs d'OIN sont des zones où la règle est assouplie. La présence de l'Etat dans la gouvernance conduit à une dérogation ; « *le passe-droit apparent est en fait la règle en action* » (Lascoumes, Le Bourhis, 1996, p. 63). Ainsi dans le cadre de l'OIN de Nice conduisant à lotir la vallée du Var pourtant particulièrement dangereuse, le passage des zones rouges inconstructible à des espaces constructibles résulte des conclusions d'un Papi préconisant l'implantation de digues –dont on connaît les limites-

Ainsi, la commune de Vitry-sur-Seine qui a pourtant mené une politique active d'information des populations en matière d'inondation dans le cadre de son plan d'aménagement et de développement durable, souhaite mettre en valeur plusieurs secteurs de son territoire. Pour ce faire, la commune travaille plus à la réhabilitation des berges de la Seine qu'à l'intégration du risque à la politique d'aménagement. Pour Vitry comme pour la plupart des communes riveraines de la Seine, le fleuve constitue désormais un élément de valorisation territoriale qui entre en conflit avec l'idée de risque, aspect qui n'est pas prioritaire dans les choix envisagés, en dépit de son importance. Seine Amont ne renonce pas à son ambition de développement en raison du risque d'inondation et l'IAU indique qu'il faut simplement « tenir compte de ce risque et éprouver la résilience des projets. A Ivry-sur-Seine et Vitry-sur-Seine deux quartiers, recouvrant 445 ha, y émergent actuellement en zones inondables. « Nous ne sommes pas des hors-la-loi, les pouvoirs publics ont voulu que ces zones soient constructibles, explique l'adjoint à l'urbanisme de la mairie d'Ivry. Qui souligne que : « Cela nécessite un peu d'ingéniosité et un surcoût important sur chaque projet. » Mais la densification reste suffisamment rentable Au Port de Choisy-le-Roi, la médiathèque a été spécialement conçue pour surplomber une éventuelle grande crue. A Vitry sur les 230 ha des ZAC Seine-Gare et Gare Ardoines, seront construits 8 100 logements, qui accueilleront 19

000 habitants et 21 000 emplois. Le site est pourtant inondable à plus de 80 %. Reste qu'à travers l'opération d'intérêt national Orly Rungis Seine Amont, l'État exige une très forte densification des bords de Seine pour rééquilibrer économiquement l'Est et l'Ouest du Grand Paris... Ce faisant, les pouvoirs publics poussent les maîtres d'ouvrages publics et privés à développer l'habitat et à « tertiariser » des quartiers inondables jusqu'ici peu denses : il revient donc aux architectes urbanistes, généralement mandataires des équipes de maîtrise d'œuvre, de proposer une ville « résiliente », « c'est-à-dire capable de s'adapter à un environnement parfois difficile » (EPA ORSA, 2009, p. 20).

L'OIN Plaine du Var près de Nice conduit à la construction et à l'aménagement d'espaces à fort risque (inondations rapides du Var) qui étaient classés en zone rouge. La très forte pression foncière dans ce secteur justifie que de rouge les bords du Var deviennent zone bleue dans le cadre d'un OIN et avec l'usage d'un Papi qui a préconisé le rehaussement des digues le long du cours d'eau. Les pressions économiques et politiques ont avec l'accord de l'Etat contribuées au nom du développement durable à densifier, aménager un espace particulièrement dangereux.

IV Le déplacement des populations et des biens, le « recul stratégique » Cesser la « lutte contre la mer » et promouvoir la « protection raisonnée du littoral ». Être « avec » la mer et non « contre » la mer.

1. Définition:

Le recul stratégique introduit par la loi Barnier, réaffirmé par la loi 2003-699 du 30 juillet 2003, dite loi Bachelot, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, mis en œuvre au travers des zones noires après Xynthia, implique le déplacement des populations et des activités pour réduire le risque comme le souligne le rapport Cousin en 2011 qui définit le recul stratégique « comme un mode de gestion du littoral qui consiste à déplacer les enjeux (habitations, infrastructures, ...) afin de les mettre à l'abri des aléas naturels et de fournir au système littoral un espace de liberté suffisant à son équilibre ». Il s'agit d'une forme durable d'adaptation au changement climatique et à ses conséquences sur les littoraux, et le long des cours d'eau qui peut être mise en place si le coût des ouvrages de protections et leur maintenance est supérieur à la valeur des biens mis en péril.

Le recul stratégique a été mis en œuvre notamment en Languedoc pour éloigner du rivage la route de 12 km qui relie Sète à Marseillan (Hérault), rendant possible l'élargissement de la plage et la reconstitution du cordon dunaire. Là où l'espace manquait pour éloigner suffisamment la route, le recul stratégique a été complété par l'installation en mer de géotubes emplis de sable destinés à casser l'énergie de la houle. « Les tempêtes hivernales viennent désormais mourir sur la plage et engraisent le cordon dunaire ».

Il concerne aussi la dépoldérisation généralement effectuée à des fins défensives, c'est-à-dire en rapport avec l'élévation du niveau de la mer. Dépoldériser c'est renoncer à l'occupation et à l'exploitation humaines d'un polder – espace clos, conquis par l'homme sur la mer par un endiguement, puis asséché par le drainage à des fins agricoles.. Les polders de Mortagne-sur-Gironde en Charente-Maritime, qui servait autrefois à la céréaliculture ou encore l'Île Nouvelle ont été achetés par le Conservatoire du Littoral après la tempête de 1999, alors qu'ils étaient en partie envahis par la mer. Le Conservatoire a décidé de ne pas obstruer les brèches et de laisser faire les marées. Le domaine de Graveyron dans le bassin d'Arcachon et de la renclôture du Mollenel en baie de Somme, dont les digues ont été brisées lors de tempêtes sont également inondés. Les polders de Sébastopol sur l'île de Noirmoutier et du Carmel en baie des Veys, dont l'inondation a été régulée par des vannes sont aussi des

exemples de dépoldérisatio. Enfin du polder de l'Aber de Crozon dans le Finistère, dont la digue a été volontairement supprimée (EID Méditerranée, 2010) (L. Goeldner).

Plusieurs exemples de situation de crise peuvent être envisagés en France métropolitaine correspondant à de fort recul du littoral (soit environ 20% des côtes françaises). Là se pose la question du maintien des activités et des populations. Lacanau appartient à une groupe de communes (Ault, Hyères, la Teste de Bush, Labenne, Petit bourg et Vias) particulièrement menacée par la mer. Le projet SOLTER (solidarités territoriales et stratégies pour la résilience du littoral à la submersion marine) a pour but d'étudier des solutions d'adaptation à la montée du niveau marin. A Lacanau où le front de mer concentre 20 % des résidences secondaires et la majorité des activités commerciales de la station balnéaire de 4 600 habitants à l'année (et 80 000 estivants à la haute saison) durant l'hiver 2013-2014 une succession de tempêtes a entraîné un recul du trait de côte de 10 à 25 mètres, révélant l'ampleur du risque et la situation critique de nombreux aménagements sur la commune. Les calculs financiers réalisés révèlent un déficit d'opération de 482 millions d'euros (sur la période 2015-2060) pour acquérir et déconstruire les 1 194 logements et locaux commerciaux à relocaliser. Le cas de Lacanau est révélateur d'un contraste de traitement entre les côtes sableuses et les littoraux rocheux. D'un côté les conséquences du recul du trait de côte n'ouvrent droit à aucune indemnisation pour le propriétaire du bien menacé lorsque le littoral est sableux. Le cas le plus emblématique et le plus médiatique est celui du bâtiment le Signal à Soulac sur la côte girondine. A contrario lorsque l'érosion touche des côtes rocheuses, Dieppe, Wimereux, Equihen, Criel-sur-Mer, etc., l'indemnisation peut être de 100 % de la valeur du bien. Deux mécanismes antagonistes sont ici à l'œuvre. Pour les côtes rocheuses, le paiement d'une juste et préalable indemnité lors d'une appropriation publique forcée est retenu, tandis que pour les côtes sableuses la puissance publique table sur l'incorporation directe des biens au domaine public maritime de l'État sans indemnisation. Devant l'ampleur des biens et activités identifiés dans cette étude par un éventuel projet de relocalisation (1 194 logements et locaux commerciaux représentant 302 millions d'euros de valeur foncière), l'enjeu pour la ville de Lacanau est de trouver une solution pérenne face au recul du trait de côte, qui n'entrave pas le développement économique de la station. Pour cela, il s'agit de se donner les moyens de choisir entre une stratégie de relocalisation et une stratégie de lutte active contre l'érosion. Les obstacles majeurs que l'on peut retrouver sont principalement financiers causés par les travaux mais aussi l'indemnisation des propriétaires pour les biens à déplacer. (Rapport SOLTER) Les problèmes sont aussi sociaux puisque la majorité de la population n'est pas réellement prête à concéder des terres à la mer (Rapport SOLTER).

Le recul stratégique peut être la seule solution pour faire face aux risques d'érosion et /ou de submersion répétée. Les coûts économiques élevés pour maintenir des enjeux faibles, dans des espaces fortement vulnérables conduisent aujourd'hui certains acteurs de la gestion des littoraux à envisager cette solution « radicale ». Celle-ci est indispensable dans le cas du recul d'une falaise portant aménagements et habitation, comme (sur la côte de la Manche à Ault par exemple). Il s'agit donc d'envisager le futur de certains secteurs littoraux « autrement que par la lutte contre la mer », selon l'expression de la députée Pascale Got qui préside le comité national de suivi du changement climatique. L'accent est mis sur la relocalisation des personnes, des biens et des activités, autrement dit sur des projets de recomposition territoriale. Ils se heurtent cependant à des oppositions fortes. L'expropriation est possible mais son coût peut être très élevé pour l'Etat. Aucune autorité locale ne dispose de moyens financiers pour déplacer des populations, leur logement, leurs activités. La Cour des comptes a estimé que le déplacement après Xynthia de 800 habitations représenterait 300 millions d'euros.

2. Autres propositions

Dans d'autres secteurs, la création d'un ouvrage pour protéger des biens privés d'un recul du trait de côte est possible. Dans ce cas, la protection prolonge de manière artificielle la durée de vie de biens qui auraient été détruits par l'action de la mer et incorporés au domaine public maritime (DPM). Lorsque l'action est réalisée par la puissance publique, celle-ci crée ou maintient une valeur économique (produit locatif) et/ou vénale (marché immobilier) et/ou d'usage pour le propriétaire du bien concerné. Il est donc proposé pour les secteurs où une protection temporaire publique serait réalisée, qu'une contrepartie soit accordée par les propriétaires en échange d'une augmentation de la durée d'usage de leur bien. Afin de faciliter l'appropriation publique, il est proposé que la contrepartie soit un démembrement de la propriété. La nue-propriété pourrait alors être cédée à la puissance publique tandis que le propriétaire disposerait d'un usufruit temporaire correspondant à la durée de vie de l'ouvrage de protection. Au démantèlement de l'ouvrage, la pleine propriété reviendrait à la puissance publique sans surcoût. Un tel dispositif permettrait d'éviter pour la puissance publique un double coût : celui de la réalisation de la protection dans un premier temps, puis celui de l'acquisition des biens protégés quand les ouvrages de lutte contre le recul du trait de côte ne seront plus efficaces (M.-L. Lambert 2015)

3. Faut-il reconstruire un espace sinistré tel Saint Martin ?

La reconstruction réalisée, notamment grâce à l'intervention de la métropole, tout peu recommencer et cela peut-être à très court terme. La question qui se pose ainsi est de savoir si l'on peut, si l'on doit continuer à vivre dans un territoire aussi exiguë où de toute évidence il est bien difficile de mettre la population à l'abri...et dans un espace aussi éloigné de grands pôles capables de venir en aide rapidement aux populations malmenées par la crise. Comment mettre la population à l'abri alors que soit les constructions ne répondent pas aux normes en vigueur (s'agissant de leur localisation comme de la construction proprement dite) soit elles sont inadaptées, dangereuses dans les quartiers pauvres ? Quelle peut être l'efficacité d'un PSR ou d'un PPR dans un contexte où la population et pas seulement la population pauvre, mais les hôtels, les villas de prestige...sont principalement installés dans les espaces les plus dangereux, sinon éventuellement de faire prendre conscience à cette population des risques encourus et d'être conforme aux réglementations françaises ? Car la protection en cas de crise demeure forcément problématique : où se réfugier ? Comment survivre dans un contexte de crise où l'eau manque ? On rejoint la question bien connue quand il s'agit de gérer le risque, faut-il se protéger par des travaux très coûteux et souvent peu efficace (digues notamment..) ? Faut-il s'adapter (constructions sur pilotis par exemple pour réduire l'effet des inondations) ou faut-il reculer, abandonner les espaces les plus dangereux, ce qui dans de nombreux espaces littoraux de l'île serait la sagesse. Si dans bien des cas, le profit économique passe avant le risque et sa gestion, dans un territoire comme Saint Martin les choix effectués engagent une population importante et des financements de l'Etat lesquels témoignent de la solidarité qui prévaut en France lors des catastrophes naturelles. Cette solidarité impose une gestion tendant autant que faire se peut à réduire le risque sur les territoires concernés, or jusqu'ici ce n'est en rien le cas de Saint Martin où des cyclones violents peuvent pourtant survenir chaque année, où un tsunami peut se produire...pourra-t-on continuer à prendre en charge les dysfonctionnements coûteux dont on voit mal comment ils cesseraient si l'on n'oblige pas la population à quitter les espaces les plus dangereux (M-A. Lambert)

Conclusion

La prise en compte des risques dans le cadre de l'aménagement des territoires est une nécessité. Mais cette nécessité demeure difficilement acceptable par la population en raison de

la perte de valeur du terrain ou de la construction, par la nécessité de se déplacer Elle est aussi difficilement acceptable par les aménageurs qui ont à densifier les territoires pour réduire l'étalement urbain et répondre ainsi aux objectifs de développement durable. On perçoit dès lors la complexité des choix et les conflits qui peuvent émerger lors de ceux-ci. Les politiques n'ont guère intérêt à mécontenter aussi bien les acteurs économiques que la population qui les a élus. En outre les effets d'une bonne gestion des risques peuvent ne se lire qu'à long terme et les politiques ont un calendrier électoral à court terme.

Les réglementations multiples et pour cette raison peu lisibles et parfois peu efficaces (en témoignent le Plan de surfaces submersibles et les PAPI) font l'objet parfois de discussions, de pressions qui conduisent à en réduire fortement la portée (cf. le zonage des PPR).

Néanmoins la population, les élus, les acteurs économiques demandent toujours plus de sécurité et acceptent très mal la crise quand elle se déroule.

Il est vrai que le volet des assurances que nous n'avons pas évoqué dans cet exposé contribue peut être à maintenir une situation peu satisfaisante en remboursant à l'identique les dégâts des événements dommageables. Elles contribuent grâce aux remboursements effectués, par l'Etat (fonds Barnier) après les crises, à maintenir une forte attractivité des espaces littoraux et un foncier à prix élevé. Si les crises de forte ampleur devaient se multiplier en nombre et en intensité, le système assurantiel pourrait alors être mis en question. La question du changement climatique est donc centrale. Le coût de la reconstruction à Saint Martin témoigne là encore de la difficulté à renoncer à certains usages et à des aménagements et des profits dans des secteurs particulièrement dangereux et pour cela très bien identifiés. Un Etat fort en la matière pourrait définir de nouvelles orientations, là le statut de COM de saint Martin permet de souligner les limites d'une petite collectivité qui permet tout en termes d'aménagement pour le plus grand profit de quelques uns et la survie de pas d'autres, qui attend de la métropole les aides indispensables pour reconstruire à l'identique...

Bibliographie

- André C., Sauboua P., Rey-Valette P. Schauner G. Quelles stratégies d'adaptation des territoires littoraux à la montée du niveau de la mer ? Modalités de mise en œuvre et de financement de la relocalisation des activités et des biens
[Rhttp://eucfrance.fr/images/Pdf/rapport_SOITER_final.pdf](http://eucfrance.fr/images/Pdf/rapport_SOITER_final.pdf).
- Brun A., Adisson F., 2011, « Renouvellement urbain et risque inondation : le plan-guide « Seine-Ardoines » », *Cybergeo : European Journal of Geography* [Online], Regional and Urban Planning, document 561, Online <https://journals.openedition.org/cybergeo/24751?lang=en#>
- Douvinet J. et al. 2011 Les maires face aux plans de prévention du risque inondation (Ppri). *L'Espace géographique* (1) (Tome 40)
- Lambert M.L 2015 droit des risques littoraux et changement climatique : connaissance, anticipation et innovation *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors- série 21.
- Moulin E. 2015 Analyse des formes d'adaptation au risque dans la construction en zones inondables en région parisienne: ce pour quoi l'on décide de donner des gages et ce que l'on choisit d'ignorer. Thèse de doctorat. Université de Marne la Vallée
- Moulin E., Deroubaix J.-D., Hubert G. 2013, « La constructibilité des zones inondables ou la négociation territoriale de la règle PPRI », *Géocarrefour*, vol. 88/3
- Gueguen A. et Renard M. 2015, Groupement d'intérêt public Littoral Aquitain arnaud.gueguen.at.littoral-aquitain.fr Mairie de Lacanau, Service Urbanisme
- Goeldner-Gianella, L. 2011 « Changement climatique et dépoldérisation: le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique », *Quaderni*, 71
- GIP littoral Aquitain, 2015, La relocalisation des activités et des biens en Aquitaine, Site atelier de Lacanau, rapport #2.15 Synthèse et conclusion de l'étude de faisabilité de la relocalisation, disponible sur : http://www.mairie-lacanau.fr/fileadmin/redacteur/Urbanisme/Synthese_et_conclusion_de_1_etude_sur_la_relocal

- isation_a_Lacanau.pdf La faisabilité d'une relocalisation des biens et activités face aux risques littoraux à Lacanau
- Guignard M. 2016 Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. l'expérimentation de la relocalisation des activités et des biens fortement exposés aux risques littoraux :vers une recomposition spatiale du littoral <http://www.ird2.org/wp-content/uploads/2016/01/Prsentation-M-GUIGNARD-MEDDE.pdf>
- Magan A et Duvat V. 2015 La fabrique des catastrophes « naturelles » natures, sciences, sociétés /2 (Vol. 23)
- MINEO-KLEINER L. 2017 L'option de la relocalisation des activités et des biens face aux risques côtiers : stratégies et enjeux territoriaux en France et au Québec Edition : [Brest : Université de Bretagne Occidentale](#) –
- Steinlé-Feuerbach, M.F.2014, Xynthia : les responsabilités pénales. Commentaire du jugement du tribunal correctionnel des Sables d'Olonne en date du 12 décembre 2014, n° 877/2014 in le journal des accidents et des catastrophes <http://www.jac-cerdacc.fr/xynthia-les-responsabilites-penales>
- Verspieren, S. 2018 Le recul stratégique comme méthode de lutte face à l'érosion du littoral ANNEE ACADEMIQUE 20
- VeyretY et Laganier R. 2015 Atlas des risques en France. Editions Autrement
- Veyret Y.2017 Une catastrophe inévitable : Saint-Martin (Antilles), une île à risques majeurs. Revue de géopolitique en ligne. Diploweb. <https://www.diploweb.com/Une-catastrophe-inevitable-Saint-Martin-Antilles-une-ile-a-risques-majeurs.html>
- Vinet F. 2010 – *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*, Éditions Tec & Doc Lavoisier, coll. « Science du Risque et du Danger (SRD) », 318 p
https://aida.ineris.fr/consultation_document/6925https://aida.ineris.fr/consultation_document/692

Axe 1
Régions et territoires à risque

**LA SÉCHERESSE, SES IMPACTS SUR LES RENDEMENTS DES CÉRÉALES
D'AUTOMNE (BLÉ DUR, BLÉ TENDRE ET ORGE) ET L'AMÉNAGEMENT
HYDRO-AGRICOLE DANS LA PLAINE DE « TAFRATA »
(MAROC ORIENTAL)**

JAHID Mimoun Jahid.mimoun@gmail.com

Faculté des Lettres et des Sciences Humaines –Meknès (Maroc)

RÉSUMÉ: L'analyse statistique des pluies annuelles dans la plaine de Tafrata située à cheval entre les provinces de Taourirt et Guercif, a permis de révéler une succession d'années humides et d'années sèches en appliquant la méthode des écarts à la moyenne, indicateur majeur pour la caractérisation de sécheresse atmosphérique. De plus, ces années sèches sont marquées par un ou deux degrés d'intensité variés : forte sécheresse où le total pluviométrique, sur 12 mois consécutifs, se situe dans l'intervalle $[-2\sigma - \sigma]$; sécheresse intense où le cumul des pluies se trouve inférieur à -2σ . En outre, l'analyse des composantes du bilan agroclimatique mensuel vrai, a permis de dégager des déficits hydriques

ETR

considérables (**ETP**) < 1 synonyme de sécheresse agroclimatique. En fait, ces différentes sécheresses ont des retombées immédiates non seulement sur la production catastrophique des céréales d'automne en zone bour, mais aussi sur le social, l'environnement et sur certains secteurs économiques (industrie, tourisme, cultures irriguées, production d'hydroélectricité). Pour remédier à cet aléa climatique, un plan d'aménagement a été recommandé et lancé finalement (réalisation du barrage de retenue d'eau sur l'Oued "ZA": Laghrass en 1998, aménagement hydro- agricole des zones pastorales de Tafrata (1330 ha équipés d'un système d'irrigation au goutte à goutte en 2013(Plan Maroc Vert). Tout cela, dans la perspective d'un développement durable de la plaine en question.

Mots clés: Sécheresse-bilan agroclimatique-environnement des céréales d'automne-aménagement hydro-agricole - Tafrata (Maroc oriental).

**DROUGHT: IMPACT ON THE YIELD OF CEREALS OF AUTUMNS SEASON (DURUM,
WHEAT AND BARLEY) AND HYDRO-AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN THE
TAFRATA PLAIN IN THE EASTERN PART OF MOROCCO**

Abstract: The statistical analysis of the annual rainfalls in the plain of TAFRATA situated between the province of Taourirt and Guercif, has revealed a succession of years characterized by humidity and others characterized by dry weather while applying the method of the average difference which is a major indicator specifying atmospheric drought. In addition, these dry years are noticeable by the presence of one to two varied intensity degrees; serious drought where total rainfall over 12 successive months is situated in the interval $[-2\sigma - \sigma]$; intense drought where the total amount of rain is inferior to 2σ . Furthermore, the analysis of the components of the agro climatic monthly real results have shown serious decrease in water

ETR

flow (**ETP**) < 1 synonymous to agro climatic drought. In fact, these different droughts have immediate consequences not only on the catastrophic production of cereals in autumn season in BOUR zones, but also on the social, and the environmental situations and some economic sectors such as (industry, tourism, irrigated cultivation and the production of hydroelectricity). To find solutions to this climatic problem, a development program has been recommended and finally launched (dam building for the sake of retaining the waters of Oued Za: Laghrass in 1998, the improvement of hydro agricultural pastoral zones of Tafrata (1330 ha has been equipped with a local irrigation system (goutte à goutte) in 2013 (Plan Maroc Vert). All these efforts have been done in the perspective of a sustainable development of the plain under study.

Keywords: Drought-agro-climatic results-environment of autumn's cereals- Hydro agricultural development-Tafrata (Eastern Morocco).

INTRODUCTION

Notre problématique porte sur la sécheresse, ses impacts sur les rendements des céréales d'automne (blé dur, blé tendre et orge) et l'aménagement hydro-agricole dans la plaine de « Tafrata » (Maroc oriental). Ainsi, notre recherche consiste à résoudre cette équation qui regroupe deux variables fondamentales : sécheresse et aménagement territorial, dans une relation systémique et dynamique, tout en essayant d'apporter des solutions efficaces et efficientes aux contraintes naturelles imposées par les sécheresses atmosphérique et agroclimatique à l'environnement des céréales dans la perspective d'un aménagement hydro-agricole de la plaine de « Tafrata ».

OBJECTIFS DE TRAVAIL

Notre recherche consiste à présenter :

- ❖ l'aspect physique de la région d'étude et de sa station météorologique ;
 - ❖ la caractérisation de la sécheresse atmosphérique (Aléa) et de son degré d'intensité ;
 - ❖ l'analyse du bilan agroclimatique de l'année sèche et ses répercussions sur les céréales d'automne (vulnérabilité) ;
- Ainsi, le risque de sécheresse = Aléa x Vulnérabilité ;
- ❖ l'aménagement territorial.

Présentation de la région d'étude et de sa station météorologique

-Cadre géographique

Le cadre géographique de la basse-Moulouya (y compris la plaine de « Tafrata ») (Région orientale), est représenté par la carte du relief (figure 1) dans laquelle sont répartis les plaines et les massifs montagneux.

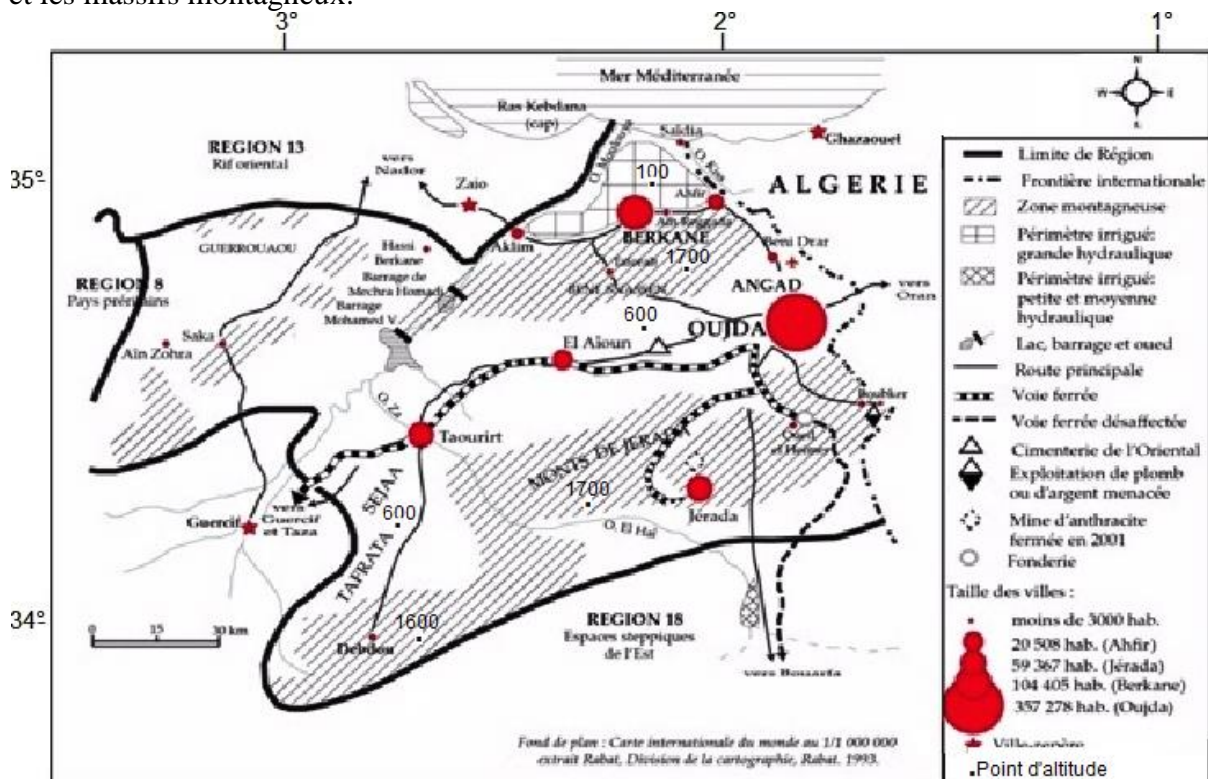


Figure 1. Le seuil oriental : carte d'ensemble
-Situation de la station météorologique

La localisation de la station météorologique de « Taourirt » est donnée dans la figure 2, ainsi que ses coordonnées géographiques (X, Y) ; son réseau et son altitude (Z) (en m), sont représentés dans le tableau 1.

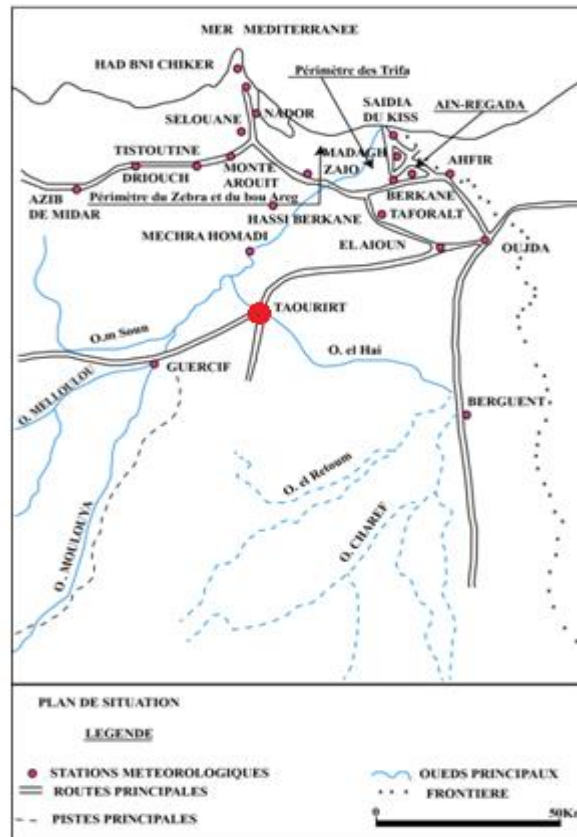


Figure 2. Localisation des stations météorologiques au Nord–Est du Maroc.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la station de Taourirt, son réseau et son altitude (m)

Station	Réseau	X	Y	Z(en m)
Taourirt	DRE	2° 54'	34°25'	390

MÉTHODOLOGIE

Pour caractériser la sécheresse atmosphérique, nous avons adopté la formule des écarts à la moyenne en % :

$$\bar{e}_x(\text{relatif}) = \frac{\bar{e}_x}{\bar{x}}$$

Pour l'évaluation du degré d'intensité de sécheresse, nous avons élaboré une échelle dans laquelle sont délimités les deux intervalles dont le premier $[-2\sigma - \sigma]$ indique la forte sécheresse et le second $< -2\sigma$ traduit une sécheresse intense.

Pour ce qui est de l'analyse du bilan agroclimatique, nous avons appliqué la formule de Blaney et Criddle (1950) pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Celle-ci se calcule de manière ci- après :

$$Et_{(mm)} = \frac{K}{100} (45,7t + 813)P$$

Dans laquelle

$$K = K_c \times K_t$$

S'ajoute à cela la réserve utile (RU) qui est calculée par l'équation suivante :

$$RU = Da \bullet \% \text{ terre fine} \bullet \% Cr \bullet P$$

RESULTATS ET DISCUSSION

La sécheresse

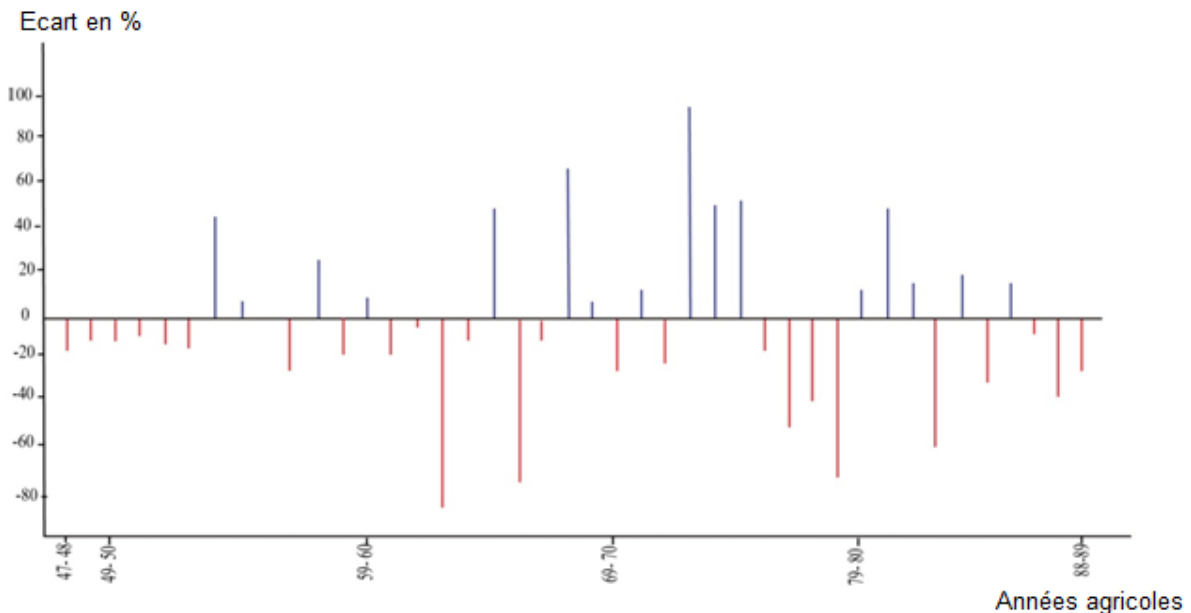
Le risque de sécheresse se traduit par le produit de l'aléa (probabilité d'occurrence d'un événement dommageable dans une période donnée) et de la vulnérabilité (conséquence de cet événement dommageable sur les cultures, l'environnement....)

Risque de sécheresse = Aléa x vulnérabilité.

Ainsi, l'identification de cette sécheresse est basée sur la formule des écarts à la moyenne en %

$$\bar{e}_x(\text{relatif}) = \frac{\bar{e}_x}{\bar{x}}$$

Le résultat final de la variabilité temporelle et spatiale des pluies annuelles est donc explicité dans le graphique propre à la station de « Taourirt » (figure 3).



**Figure 3. Les hauteurs de pluie à la station de Taourirt. Ecart à la moyenne en %
Période (1947- 1948/ 1988-1989)**

À propos du degré d'intensité de sécheresse, nous avons élaboré une échelle qui est délimitée par deux intervalles :

- ❖ $[-2\sigma - \sigma]$ qui exprime une forte sécheresse.
- ❖ $< -2\sigma$ qui désigne une sécheresse intense.

Selon ces deux intervalles de l'échelle proposée, le résultat est réparti de la manière suivante :

- ❖ à « Taourirt », la forte sécheresse se situe dans l'intervalle [66,2 mm – 167,6 mm] et la sécheresse intense dans l'intervalle où les valeurs demeurent inférieures à 66,2mm.

À noter que la station météorologique de « Taourirt » a connu seulement une forte sécheresse, mais épargnée de la sécheresse intense ($< 66,2$ mm).

Impacts de la sécheresse sur l'environnement des céréales

En matière des répercussions de la sécheresse agroclimatique sur l'environnement des céréales, elles sont déduites du bilan agroclimatique de l'année sèche et notamment de la déficience hydrique (ETP-ETR) ou $\frac{ETR}{ETP}$

En effet, ce déficit d'évapotranspiration soulève concrètement les situations dans lesquelles se trouvent les céréales :

- ❖ lorsque le rapport $\frac{ETR}{ETP} \geq 1$, cela explicite que les céréales se trouvent en conditions optimales.
- ❖ en revanche, quand $\frac{ETR}{ETP} < 1$ et que $P < ETP$, l'ETR occupe une fraction de l'ETP.

Dans ce cas, les céréales commencent à souffrir de la sécheresse, et l'apport en eau par irrigation devient inéluctable, sans quoi la production de la matière sèche tend à se réduire considérablement.

Le résultat du bilan agroclimatique relatif à la station de « Taourirt » laisse apparaître que la déficience hydrique se manifeste tout au long des stades phénologiques de croissance des céréales (figure 4).

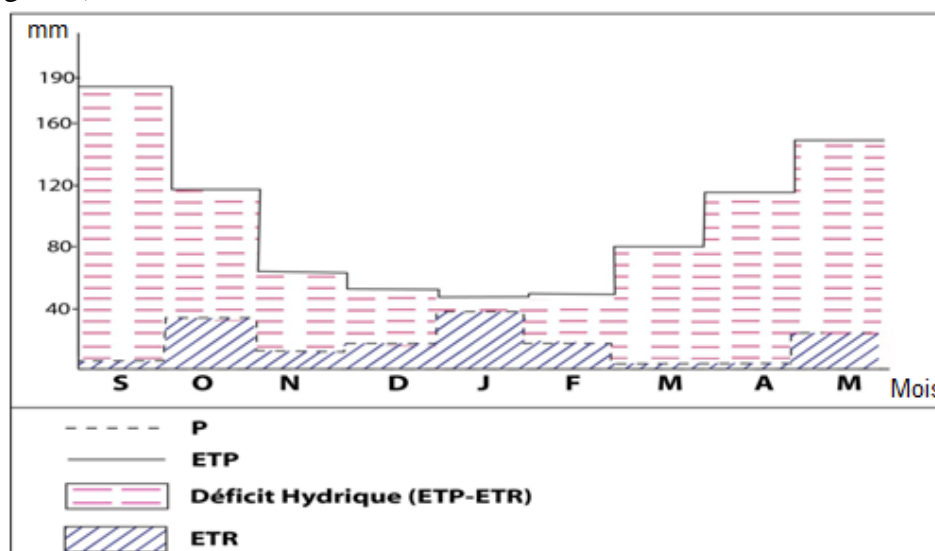


Figure 4. Bilan agroclimatique de l'année sèche 1987-1988 à Taourirt

Conséquemment, les rendements annuels des céréales ont vocation à diminuer notablement durant l'année sèche dans la plaine de « Tafрата ».

Soulignons que nous avons choisi deux années-types représentatives des rendements : l'une humide (1974-75), l'autre sèche (1987-88) (Tableau 2).

Tableau 2: Rendements moyens de l'orge, de blé tendre et de blé dur (en qx/ha) à Taourirt (CT : 34-03)

Années	Céréales	Superficie semée en ha	Superficie récoltée en ha	Rendement en qx/ha
		BOUR	BOUR	BOUR
1974 - 1975	Orge	-	10000	10
1987 - 1988		-	690	3
1974 - 1975	Blé tendre	-	800	9
1987 - 1988		-	1340	3
1974 - 1975	Blé dur	1150	1150	8,5
1987 - 1988		-	150	2

Aménagement de la plaine de « Tafrata »

Concernant l'aménagement territorial, il est impérativement indispensable d'envisager de grandes actions d'aménagement territorial et projets socio-économiques et éducatifs structurants.

Parmi les actions que nous proposons, il y a le recours à l'aménagement hydro-agricole des zones en bour le quel se concrétise par la mise en œuvre d'une agriculture maraîchère moderne, irriguée par le système localisé au goutte à goutte (Economie d'eau d'irrigation) et d'une arboriculture (oliviers, amandiers et cactus) (agriculture solidaire du pilier 2 du plan Maroc vert) (PMV)

Il s'ajoute à cela un élevage de bovins à l'engraissement rationnel en vue de réduire nationalement, régionalement et localement les inégalités socio-économiques et spatiales qui s'imposent avec force et acuité. Tout cela, dans la perspective d'un développement durable de la plaine en question.

CONCLUSION

L'analyse des pluies annuelles nous a permis de caractériser la sécheresse atmosphérique qui se manifeste selon son degré d'intensité (faible sécheresse, forte sécheresse, sécheresse intense) dans la plaine de « Tafrata ».

Certes, cette analyse nous a démontré que Tafrata a connu une forte sécheresse, mais est épargnée de la sécheresse intense.

D'autre part, le bilan agroclimatique mensuel de l'année sèche nous a permis de dévoiler les impacts de ce phénomène aléatoire sur les rendements catastrophiques des céréales

ETR

d'automne tout en se basant sur la déficience hydrique (**ETP**) ou ETP-ETR.

A cet effet, il devient indispensable de recourir à l'aménagement hydro-agricole dans la plaine de Tafrata (irrigation artificielle au goutte à goutte et élevage de bovins à l'engraissement rationnel). Tout cela, dans la perspective d'un développement durable de la plaine en question.

Références bibliographiques

- BOUCHET (R.J.), 1961, Signification et portée agronomique de l'évapotranspiration potentielle, *Ann., Agron.*, 12(1), pp. 51-63.
- BOUCHET (R.J.), 1964, Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. L'eau et la production végétale, INRA, Paris, pp.152-232.
- BROCHET (P.) et Gerbier (N.), 1972, Une méthode pratique de calcul de l'évapotranspiration potentielle, *Annales agronomiques*, Vol.23 n°1, pp.31-49.
- COSANDY (C.M.), 1970, Recherche sur les bilans hydriques mensuels, Thèse de 3ème cycle, Paris, Sorbonne.
- JAHID (M.), 1992, Climats et bilans de l'eau. Etude des bilans agroclimatiques et de leurs conséquences sur les céréales d'automne dans le Nord-Est du Maroc. Thèse de Doctorat (nouveau régime), Université de Paris 10, Nanterre.
- PEDELABORDE (P.), 1968, les bilans hydriques, cahier de géographie de Québec, n°25, pp.5-23.
- STUDER (R.), 1961, Méthode de détermination des Réserves Hydriques des sols, *Ann., Agron.*, t.12, INRA, Rabat, pp.599-608.
- TROIN (J.F.) et al. 2002, Maroc, Régions, pays, territoires, Maisonneuve et Larose. Paris.

EFFETS DE LA SÉCHERESSE ET SON IMPACT SUR LES MUTATIONS SOCIO-SPATIALES ET L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE DANS LE BASSIN DE LA MOYENNE MOULOUYA.

EL HARCHAOUI Nouredyine: Professeur de Géographie, Université Moulay Ismaïl, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Département de Géographie, Meknès. tissafi12@yahoo.fr

LAMAAMRI Mohamed: Doctorant en Géographie, Université Ibn Tofail, Faculté des Lettres et Science Humaine, Département de Géographie. Kénitra. lamaamri.mohamed@gmail.com

GHAZI AbdelKhalek: Professeur de Géographie. Université Ibn Tofail. Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Département de Géographie. Kenitra. Aghhazi@hotmail.com

Résumé:

Situé au centre Est du Maroc, le bassin versant de la Moyenne Moulouya, est un écosystème fragilisé par les épisodes de sécheresse consécutives depuis les années 70. Les conséquences de ce phénomène écologique sont néfastes sur le plan socio-spatial, environnemental et économique.

La dégradation du milieu naturel à cause de la sécheresse aggravée par une surexploitation humaine, pousse la population à changer son mode de vie en passant d'une vie nomade à une vie semi-nomade et sédentaire. Ce phénomène a engendré d'une part l'extension des zones urbaines en particulier les centres de Missouri, Outal El Haj, et leurs périphéries à cause de l'immigration de ces réfugiés écologiques vers ces zones urbaines, et d'autre part la sédentarisation et l'exercice des activités agricoles autour des points d'eau (Ain Tissaf) et le long de l'oued Moulouya.

Dans ce contexte, nous souhaitons traiter la question des effets de la sécheresse et son impact sur les mutations socio-spatiales et l'aménagement du territoire dans le bassin de la Moyenne Moulouya.

Mots clés: Sécheresse, indice standardisé des précipitations (SPI), Nomades, Sédentarisation, Centres urbains, Activités agricoles, Moyenne Moulouya, maroc.

Abstract :

EFFECTS OF DROUGHT AND ITS IMPACT ON SOCIO-SPATIAL CHANGES AND LAND USE PLANNING IN THE BASIN OF THE MIDDLE MOULOUYA.

Located in the central eastern part of Morocco, the basin of the Middle Moulouya is an ecosystem that has been weakened by consecutive drought episodes since the 1970s. The consequences of this ecological phenomenon are harmful at the socio-spatial, environmental and economic levels.

The degradation of the natural environment due to drought aggravated by human overexploitation is forcing the population to change their way of life from a nomadic to a semi-nomadic and sedentary life. This phenomenon has led on the one hand to the extension of urban areas, particularly the centers of Missouri, Outal El Haj, and their suburbs, due to the immigration of these ecological refugees to these urban areas, and on the other hand to the settlement and the practice of agricultural activities around water resources (Ain Tissaf) and along the Oued Moulouya.

In this regard, we wish to address the issue of the effects of drought, and its impact on socio-spatial changes and land use planning in the Middle Moulouya basin.

Keywords: Drought, Nomads, Sedentarization, Urban centers, Agricultural activities, Middle Moulouya, Morocco.

1. Introduction

La sécheresse est l'un des phénomènes importants résultant de la variabilité et du changement climatique des dernières décennies. Ce phénomène peut toucher aussi bien les zones arides que les zones humides qui sont normalement bien arrosées [1].

Dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique du Nord, les réserves d'eau sont tributaires des aléas climatiques, ce qui cause leur précarité. En effet, la sécheresse qui a affecté les pays du bassin méditerranéen lors des dernières décennies s'est manifestée d'une manière particulièrement sévère, persistante et avec une extension remarquable (Meddi et al, 2009).

Cependant, les pays du Maghreb, ont connu durant les quatre dernières décennies, une succession de périodes de sécheresses intenses et persistantes. Au Maroc, cette sécheresse a été caractérisée par un déficit pluviométrique important et a touché l'ensemble du territoire. Elle a sévit particulièrement dans les régions qui bénéficient d'un climat semi-aride.

A l'échelle du bassin versant de la Moyenne Moulouya, la situation pluviométrique a été caractérisée par un déficit généralisé dans l'ensemble du bassin. Ce déficit a atteint 60% dans certaines stations climatiques ; cette situation est due aux effets de la sécheresse.

Dans ce contexte, nous avons choisi la Moyenne Moulouya comme zone d'étude. Ce bassin est un écosystème fragilisé par les épisodes de sécheresse consécutive depuis les années 70. Les conséquences de ce phénomène écologique sont néfastes sur le plan socio-spatial, environnemental et économique.

La présente étude consiste à étudier les effets de la sécheresse et son impact sur les mutations socio-spatiales et l'aménagement du territoire au niveau du bassin de la Moyenne Moulouya. En effet, les principaux objectifs de ce travail sont:

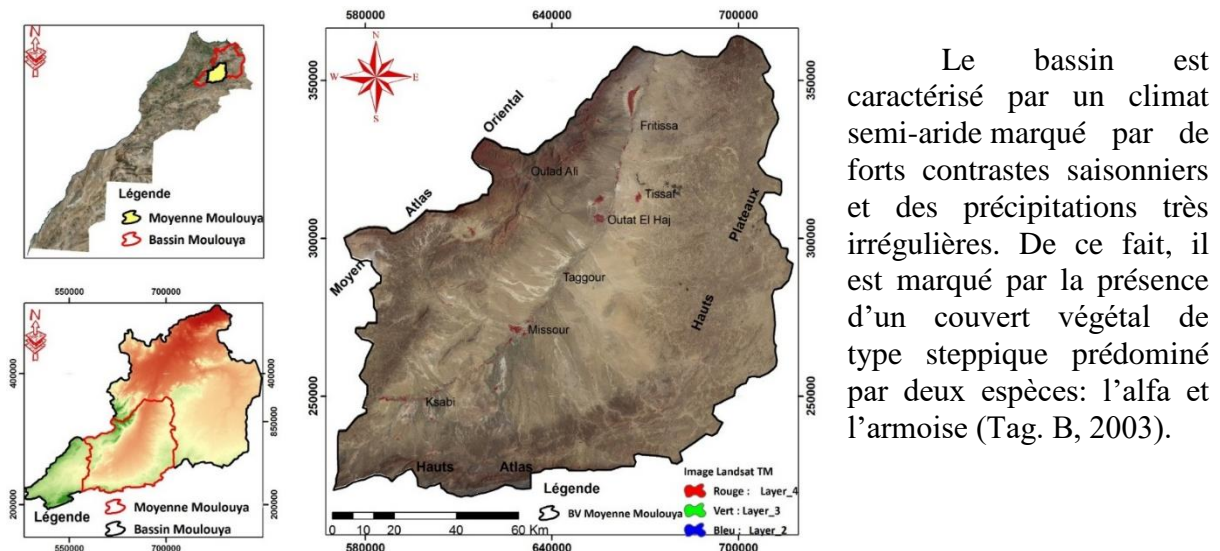
- caractériser la sécheresse climatique au niveau du bassin versant de la Moyenne Moulouya pour la période 1990-2015 à travers le calcul de l'indice standardisé des précipitations (SPI).
- L'analyse des tendances du climat et la caractérisation de la sécheresse dans cette zone.
- Suivi et évaluation des épisodes de sécheresse sur la base des données des stations sélectionnées situées au sein du bassin versant de la Moyenne Moulouya.
- montrer l'impact néfaste de la sécheresse sur les mutations socio-spatiales et l'aménagement du territoire au niveau du bassin de la Moyenne Moulouya.

Pour caractériser l'ampleur et l'intensité des sécheresses météorologiques dans le bassin versant de la Moyenne Moulouya, des indices de sécheresses météorologiques très simples et efficaces tels que l'indice standardisé de précipitation ont été utilisés.

2. Zone d'étude

Situé au centre Est du Maroc, le bassin de la Moyenne Moulouya occupe une position médiane à l'intérieur de la Moulouya et s'étend entre les latitudes 32°50'-33°50' Nord et sur la longitude 4°Ouest (Fig.1). Ce bassin se situe entre les Hauts Plateaux, le Moyen Atlas et le Haut Atlas. Il est limité par le massif primaire d'Aouli en amont et le seuil de Bouyacoubat en aval. Il s'étale sur une superficie de 14164,5 km².

Administrativement, la zone d'étude fait partie de la province de Boulemane (région de Fès-Meknès), et couvre deux cercles, cinq Caïdats et 10 communes (2 municipalités et 8 communes rurales), totalisant 62777 habitants selon le recensement de 2014.



Le bassin est caractérisé par un climat semi-aride marqué par de forts contrastes saisonniers et des précipitations très irrégulières. De ce fait, il est marqué par la présence d'un couvert végétal de type steppique prédominé par deux espèces: l'alfa et l'armoïse (Tag. B, 2003).

Figure 2: Situation géographique du Bassin versant de la Moyenne Moulouya.

3. Données et méthodes

Les données utilisées pour présenter les résultats dans ce travail sont constituées de relevés pluviométriques sur 25 années (1990-2015) provenant de 4 stations de mesure (Tab.1). Il s'agit des stations d'Outat El Haj, Missour, Ksibat et Tendite.

L'analyse de ces données nous a permis d'évaluer les tendances du climat et de caractériser la sécheresse dans notre région d'étude.

Pour caractériser et identifier la sécheresse, plusieurs méthodes et indices ont été utilisés à différentes échelles de temps. Dans cet article nous avons procédé à déterminer l'Indice de Précipitations Standardise (IPS) pour identifier les périodes de la sécheresse.

➤ Indice de précipitations normalisé (SPI):

L'indice de précipitations normalisé (SPI) a été développé par McKee et al. 1993, comme un moyen de définir et de surveiller les événements de sécheresse. C'est un indice simple, basé essentiellement sur des données pluviométriques. Il permet de vérifier les périodes cycles humides/cycles secs. Le SPI compare les précipitations sur une certaine période (en principe de 1 à 24 mois) à la moyenne des précipitations à long terme observée sur le même site

(Edwards et McKee, 1997). Le SPI peut être exprimé par la formule suivante :

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\sigma}$$

Où SPI: Indice Standardisé de Précipitation, P_i : Moyenne inter-annuelle (mm), P_m : Moyenne de la série (mm), σ : Ecart type de la série (mm).

4. Résultats et Discussion

4.1. Evaluation des tendances et de la variabilité de la précipitation dans la zone d'étude

L'analyse du graphique de la variation des précipitations interannuelles, montre une grande variabilité d'une année à l'autre. On remarque que les pluies maximales relatives à la période de mesure (période d'observation 1990-2015) ont été enregistrées à Missour (384 mm en 2014-2015) suivi de celle de Ksibat 246 mm), Outat El Haj (220 mm), et Tendite (210mm). On observe aussi l'alternance de périodes sèches et humides.

Quant aux minimales, elles ont été observées à la station de Tendite avec 24 mm en 1992-1993, suivi de la station d'Outat El Haj avec 46 mm en 1992-1993. La diminution des précipitations en cette direction reste nuancée par la configuration du relief.

4.2. Caractérisation de la sécheresse météorologique à l'aide de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

Au niveau du bassin versant de la Moyenne Moulouya, l'évolution des degrés de sévérité de la sécheresse a été analysée en utilisant l'indice standardisé des précipitations (SPI) calculé à partir d'une série pluviométrique de 25 années, au cours de la période 1990-2015.

L'analyse des résultats du calcul de cet indice permet de bien caractériser le déficit des précipitations pour cette période. Ces résultats sont représentés au niveau des 4 figures ci-dessous :

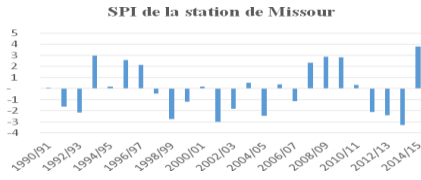


Fig.2 : Indice pluviométrique standardisé à la station de Missour au cours de la période 1990/2015

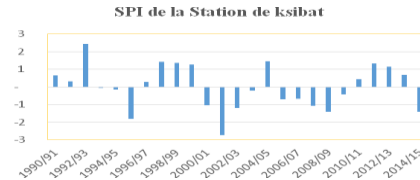


Fig.3 : Indice pluviométrique standardisé à la station de Ksibat au cours de la période 1990/2015.

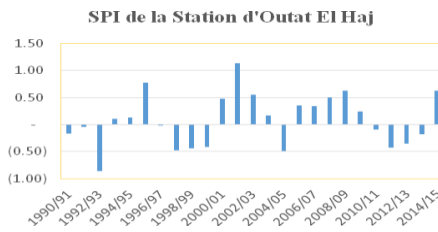


Fig.4 : Indice pluviométrique standardisé à la station d'Outat El Haj au cours de la période 1990/2015.

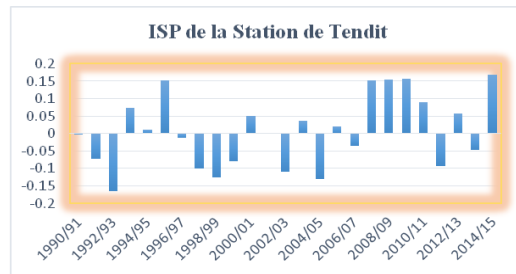


Fig.5 : Indice pluviométrique standardisé à la station de Tendite au cours de la période 1990/2015.

L'analyse des résultats du calcul de l'indice SPI à la station de Missour (Fig.2), nous a permis de confirmer que la période entre 1991-1996 est caractérisée par une alternance des années sèches et des années humides. Pour la période de 1997 à 2007, les résultats montrent des années très sèches, puis après cette date, on a une alternance entre des années humides (2008-2010) et des années sèches à extrêmement sèches (2014).

L'analyse du SPI au niveau de la station de Ksibat (Fig.3) indique la succession des années sèches et des années humides. Durant la période allant de 1991 à 2015, on note des années modérément sèches, alors que la période 2006-2013 est marquée par la succession des années modérément humides à très humides.

L'analyse des résultats de l'indice pluviométrique standardisé à la station d'Outat El Haj (Fig.4) montre qu'on a une dominance des années humides bien remarquables entre la période (2000-2010). Autour des années 1997, 1998 et 1999, on note des années légèrement sèches.

A partir de 1996 jusqu'à 2006, les valeurs de l'indice pluviométrique standardisé (Fig.5) au niveau de la station de Tendite sont négatives, ce qui explique l'existence des années sèches. Après cette date, on a remarqué la dominance des années humides.

4.3. Impact de la sécheresse sur les mutations socio-spatiales et l'aménagement de territoire au niveau du bassin de la Moyenne Moulouya

La succession des années de sécheresse et la croissance démographique qu'a connue la moyenne Moulouya ont générées des mutations socio-spatiales influençant l'aménagement de territoire. Cette évolution se traduit par une sédentarisation des nomades dans les centres urbaines et autour des points d'eau mais aussi sur les bordures de l'oued Moulouya.

4.3.1- Emigration et accroissement des centres urbains et leurs périphéries.

La moyenne Moulouya a vu sa population augmentée de façon très rapide depuis les années 70.

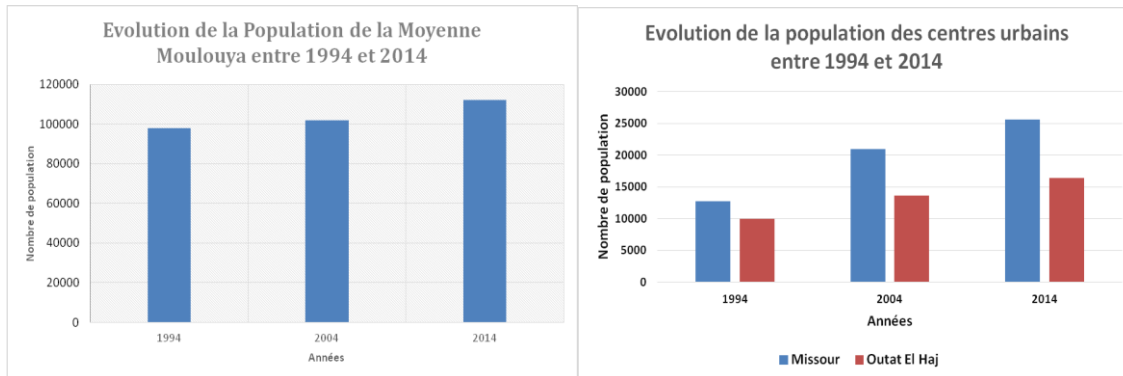


Fig. 7 : Evolution de la population de la Moyenne Moulouya et des centres urbains entre 1994 et 2014

En effet, l'accroissement de la population associés à la sécheresse à crée un déséquilibre entre les ressources et la société pastorale, les pâturages se font de plus en plus rares et les troupeaux diminuent avec les années. Cette situation contraint les nomades à émigrer vers les centres urbaines et les grandes villes du Maroc. De ce fait, des nouveaux quartiers ont vu le jour dans la périphérie des centres urbains d'Outat El Haj et Missour composés essentiellement de ces refuges climatiques. Le quartier Mrayer à Missour et EL Mellaha à Outat El Haj sont des bons exemples.

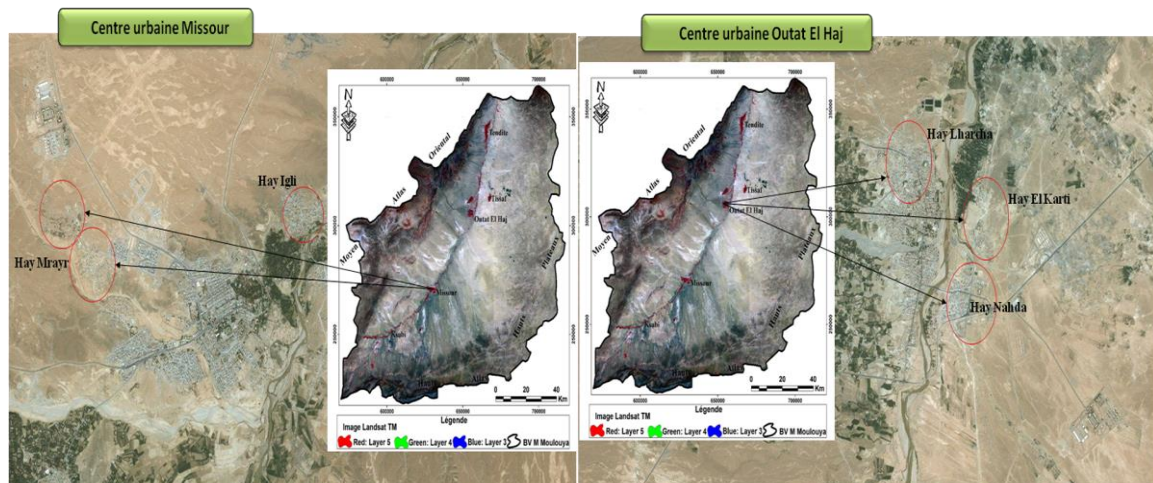


Fig.9: Extension urbaine des centres d' Outat El Haj et Missour

Une bonne partie de ces émigrés travaillent comme des journaliers dans le bâtiment et dans le secteur informel comme le commerce ambulante.

4.3.2- Extension récente et rapide des terres agricoles irriguées.

Une autre forme d'adaptation des nomades face à la sécheresse est la sédentarisation dans les terres collectives appartenant à ces tribus en vue d'exercer l'agriculture dans des petites exploitations. Ces exploitations connaissent une extension très rapide ces dernières années notamment depuis le lancement de programme Maroc vert. Le développement des moyens de creusement des forages et le pompage d'eau via l'énergie solaire favorisent l'accroissement d'une arboriculture particulièrement d'olivier.

La comparaison des images Landsat de 1984 et 2018 montre une nette progression des superficies agricoles le long de l'oued moulouya et entre Outat El Haj et Missour.

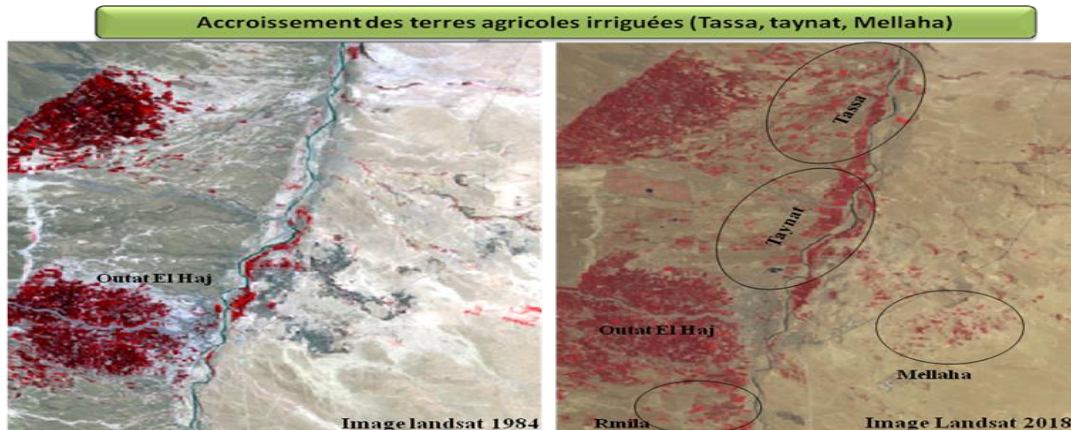


Fig.11 : développement des terrains agricoles irrigués

Cet accroissement s'explique aussi par l'arrivée des investisseurs étrangers qui profitent des prix attractifs des terrains pour créer des grandes fermes agricoles. En effet des grandes exploitations agricoles ont vu le jour aux bords de la route reliant Missour à Guercif en passant par Outat El Haj.

5. Conclusion

En achevant ce travail, nous pouvons conclure que l'indice de sécheresse utilisé a permis de caractériser la sécheresse au sein du bassin de la Moyenne Moulouya. L'analyse et l'interprétation des résultats relatifs aux différentes stations du bassin versant, ont approuvé que ce dernier est vulnérable à la sécheresse. La fréquence d'épisodes secs relativement longs est une caractéristique élevée du régime climatique. En effet, les années sèches sont formées de 03 à 05 années sèches consécutives.

L'indice des précipitations standardisées montre que la fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée.

L'analyse statistique des apports pluviométriques confirme la dissymétrie et la tendance générale à la baisse et donc à la faible hydraulicité. Ainsi, la sécheresse peut se produire à l'échelle de l'année comme elle peut durer deux ou plusieurs années consécutives.

Cette sécheresse a contribué au changement de système pastoral et a donné naissance à de nouvelles formes d'adaptation et une nouvelle configuration de territoire transformant le nomade à un paysan, un commerçant, un maçon etc.

6. Référence

- BARKAT T., 1998. Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. Rev. Sécheresse n°3. pp. 201-208.
- Edwards D.C., Mckee T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Meddi H., Meddi M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Sécheresse 20: 57-65. doi : 10.1684 /sec.2009.0169.
- McKee., et al 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23,1993, Anaheim CA, p 179-186.
- TAG B., 2003. Espace et société agro-pastorale en mutation dans le Maroc oriental steppique. Pub, FLS. Saïs-Fès.

LE RISQUE DE LA SÉCHERESSE: ENJEUX ET MODE DE GESTION AU NIVEAU DE LA PROVINCE DE BERKANE

Mimoun BOUKHIDOUS & Abdelkader SBAI

Université Mohamed Ier, Oujda. Maroc. Sbaiabdelkader59@gmail.com

RÉSUMÉ: L'impact de la sécheresse sur le développement des territoires touche en premier lieu les ressources naturelles. Il est à l'origine de perturbations des installations humaines donnant lieu à un flux de population, une décroissance des activités économiques en rapport avec l'agriculture et une situation de précarité extrême. Sous les coups des épisodes de sécheresses aigues, le Maroc lance des plans d'urgences pour la lutte contre les effets de la sécheresse. Ces 'programmes' à caractère conjoncturel et éphémère tentent de remédier aux impacts potentiels que peut subir le territoire frappé par la sécheresse. Ainsi, dans un contexte de complexité des enjeux attribués aux effets de la sécheresse, l'intégration de la gestion du risque dans la planification et la programmation s'avère délicate. De telle démarche devrait faire appel à une gestion transversale du risque et engager des approches multidimensionnelles. Au niveau de la Province de Berkane, le processus de gestion du risque de sécheresse fait, désormais partie des préoccupations de la sphère de décision locale.

Mots-clés : Risque, sécheresse, gestion de risque, Berkane.

Abstract: The impact of drought on the development of territories primarily affects natural resources. It is at the origin of disturbances of human settlements giving rise to a population flow, a decrease of economic activities related to agriculture, and a situation of extreme precariousness. Under successive episodes of acute droughts, Morocco has launched emergency plans to fight the effects of drought. These cyclical and short-lived 'programs' attempt to address the potential impacts on the drought-stricken territories. Thus, in a context of the complexity of issues attributed to the effects of drought, the integration of risk management into planning and programming proves difficult. Such an approach should involve cross-cutting risk management and multi-dimensional approaches. At Berkane Province level, the drought risk management process is now one of the concerns of the local decision makers.

Keywords: Risk, drought, risk management, Berkane, Morocco.

INTRODUCTION

La gestion du risque de la sécheresse au Maroc fait partie de la compétence de plusieurs ministères d'où la difficulté d'asseoir une coordination parfaite, objective et efficace. Il s'agit en premier lieu du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime qui paraît de loin le plus concerné, étant donnée la vulnérabilité du secteur agricole vis-à-vis de cet aléa climatique. Néanmoins, des interférences de compétences puisque d'autres ministères, notamment le Ministère de l'Intérieur, le Ministère chargé de l'Eau et de l'Environnement, le Ministère chargé de l'Aménagement du Territoire sont aussi concernés par les effets de la sécheresse, soit sur les ressources naturelles soit sur la population.

D'autre département sont aussi impliqués dans le processus de gestion du risque de sécheresse, il s'agit notamment du Ministère des finances pour toutes les décisions engageant des fonds en réponse à des événements exceptionnels, le Département du tourisme et celui de l'industrie en tant que consommateurs potentiel de l'eau, le Ministère de l'équipement pour les données de la météorologie.

En général, 'plusieurs actions sectorielles sont réalisées par différents départements et institutions concernées par les risques, ces actions sont nombreuses, non coordonnées et ne sont pas consolidées dans une stratégie globale' (El Founti, L., 2003). résultat d'une défaillance sur le plan juridique et institutionnel.

Les textes juridiques, pour la plus part, viennent en réponse à des préoccupations sectorielles et n'évoluent guère vers une stratégie globale, cohérente, multisectorielle et globalisante adoptant une démarche transversale allant de la prévention du risque en passant par l'adaptation et la lutte contre ses effets pour en finir avec le rétablissement et la remise de l'état initial.

Dans cet amalgame de textes confus et dans l'absence d'un cadre de référence, des risques très imposants comme la sécheresse se trouvent hors de portée des dispositions réglementaires régissant les modes d'intervention, la définition des compétences et la budgétisation des actions.

S'agissant de l'organisation des ministères, une lecture des attributions des différents départements ministériels reflète l'absence de la gestion des risques en tant que concept et l'absence de structure identifiée pour s'approprier des attributions et des préoccupations liées aux risques.

Cette étude contribue à l'analyse des différents modes de gestion des risques liés à l'austérité climatique en usage par les acteurs publics, en vue de la formulation de recommandations pour une meilleure maîtrise des procédés et des mécanismes mis en œuvre dans les programmes de lutte contre les effets de la sécheresse.

1-MÉTHODE

La méthode de travail se base sur une approche comparative s'articulant sur une post-évaluation et une analyse critique des pratiques engagées dans le processus de gestion de risques dans un système lié aux comportements stratégiques des différents acteurs.

De telle évaluation, faisant appel à une analyse documentaire et statistique, permet de porter une réflexion raisonnable sur les programmes publics, leur pertinence et leur efficacité quant aux résultats recueillis face aux efforts engagés.

Ainsi, l'évaluation des forces et des faiblesses des programmes présentés nous amène à apprécier les affinités et les divergences qui touchent particulièrement les consistances, les processus de mise en œuvre et les résultats en terme de réalisation de ces programmes. Ceci permet de porter un jugement quant à l'opportunité de les inscrire dans un processus de durabilité ou de le mettre dans le registre des actions éphémères et sans horizon crédible.

2-RÉSULTATS ET DISCUSSION

2-1- GESTION DES RISQUES LIES A LA SECHERESSES CLIMATIQUES: GESTION DES CRISES PAR LES PROGRAMMES CONJONCTURELS DE LUTTE CONTRE LES EFFETS DE LA SECHERESSE

Frappé par des épisodes de sècheresses récurrentes, le Maroc a mis en œuvres des plans d'urgences pour la lutte contre les effets de cet aléa. Par ces 'programmes' à caractère conjoncturel et transitoire les pouvoirs publics ont tenté de remédier aux impacts potentiels que peut subir le pays, notamment sa composante rurale, suite à ces effets.

2-1-1. Programme de lutte contre les effets de la sécheresse de 1994/1995: le programme comportait les composantes suivantes :

- L'approvisionnement en eau potable (AEP) pour les zones urbaines et rurales les plus affectées par les répercussions de la sécheresse ;
- L'approvisionnement en eau pour le bétail ;
- La sauvegarde du cheptel par l'approvisionnement en fourrage ;
- Subventions des activités agricoles touchées et l'approvisionnement en semences pour la campagne suivante ;
- La création de l'emploi, en compensation aux pertes d'emploi saisonnier agricole et en vue de contrecarrer l'exode rural.

Il s'agit en somme d'assurer la AEP, de sauvegarder le cheptel et l'injection de subventions notamment par la création d'un emploi saisonnier.

2-1-2. Programme de lutte contre les effets de la sécheresse de 1999/2000: c'est un programme qualifié comme son précédent 'd'urgence'. Il a été lancé par le gouvernement dans une optique d'atténuer les effets de la sécheresse ? Il porte sur :

- La création de l'emploi pour procurer aux populations rurales des revenus ;
- L'alimentation en eau potable dans le monde rural pour 2.520 agglomérations ;
- L'entretien des systèmes d'irrigation et le développement des infrastructures rurales pour le désenclavement des douars ;
- La protection du cheptel, la préservation du patrimoine forestier ;
- La stabilisation de l'approvisionnement en semences ;
- L'allègement de l'endettement en rééchelonnant les échéances des dettes.

Au niveau de la Province de Berkane, la programmation des actions se faisait de manière ascendante: une banque de projets a été constituée au niveau local, en concertation avec les services des communes, les services extérieurs les plus impliqués dans la gestion du territoire rural.

Les actions ont été identifiées parmi ces projets puis sélectionnées suite à une évaluation (ciblage des populations, objectifs recherchés...).

Des priorités ont été prises en compte, sur la base d'une concertation avec les différents services et les élus en tenant compte des fonds alloués à chaque composante du programme.

Les priorisations ne manquaient pas de subjectivités dictées, d'une part par les pouvoirs de négociation, positionnement politique et propensions relationnelle des présidents des conseils communaux et d'autres part, par le déterminisme des représentants des services extérieurs, notamment ceux des secteurs de l'agriculture, de l'eau potable et de l'équipement particulièrement concernés par les projets sujets aux débats lors des réunions préparatoires de mise en oeuvre du programme.

Le programme qui était réalisé par tranches successives, comportait quatre rubriques composées d'un total de 315 projets (Tableau 01).

Composante	Nbr de projets	% Nbr de projets	Montant des projets	% du coût total des projets	Nbr de Jours de Travail	% NJT	% coût main oeuvre / coût projet
Eau potable	112	35.56	12.11	31.30	66 725	23.95	24.81
Irrigation et économie de l'eau	69	21.90	8.16	21.08	48 237	17.31	26.64
Aménagement des pistes rurales	50	15.87	5.08	13.12	30 366	10.90	26.94
aménagement en zones périurbaines	84	26.67	13.36	34.51	133 287	47.84	44.96
Total	315	100.00	38.71	100.00	278 615	100.00	32.43

Tab.1: Synthèse du programme de lutte contre les effets de la sécheresse, province de Berkane (1999/2000)

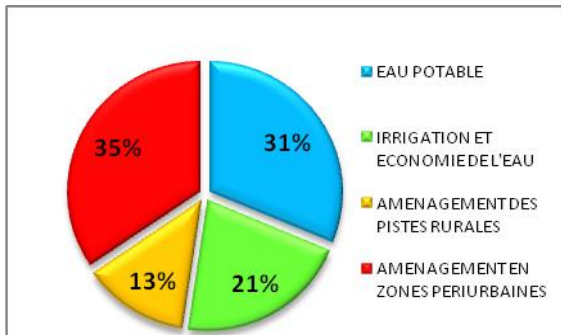
Source : Province de Berkane

La composante 'Eau potable' monopolise 35.6% de projets avec 31.3% de l'enveloppe budgétaire allouée au programme. Ce dernier accorde plus d'importance au monde rural, le

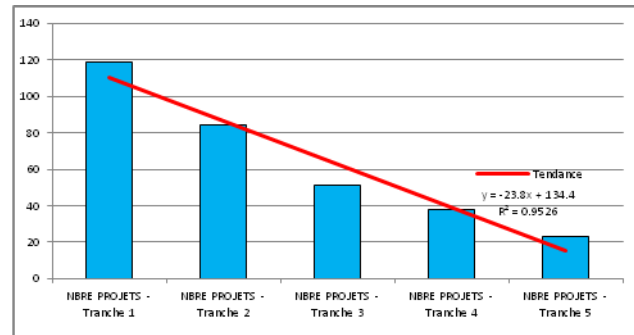
plus touché par les répercussions de la sécheresse. En effet, 3 composantes (Eau potable, Irrigation et économie de l'eau et Aménagement des pistes rurales) parmi quatre sont destinées à atténuer les effets de l'austérité climatique.

En analysant la chronologie de réalisation des différentes tranches (Fig.1) on s'aperçoit que le programme montre une diminution nette (pente de -24%) du nombre de projets retenus.

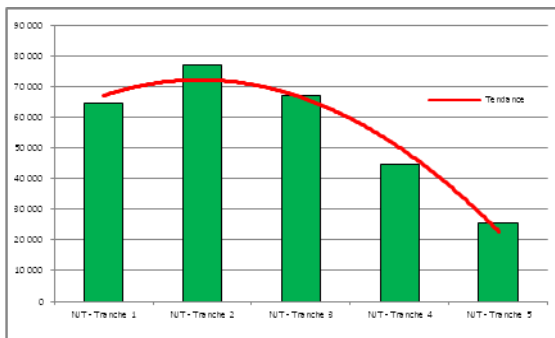
Le nombre de jours de travail (NJT), principal indicateur de suivi adopté pour l'évaluation des projets, ainsi que les fonds des différentes tranches du programme affichent une légère augmentation durant la 2^{ème} tranche suivi d'une baisse pour les tranches qui suivent.



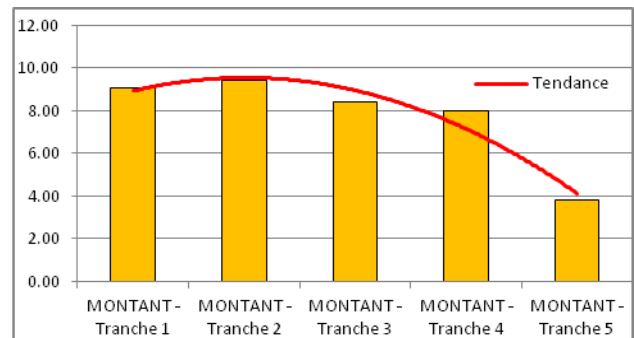
a- Répartition de l'enveloppe budgétaire



b- Evolution du nombre de projets



c- Evolution du Nombre de Jours de Travail



d- Evolution du budget du programme

Fig.1: Evolution des indicateurs du programme de lutte contre les effets de la sécheresse –Province de Berkane (1999/2000)

La répartition des fonds par rubrique pour chaque tranche (Fig.2), montre que la part importante du budget du programme était dirigée vers les projets de l'eau potable et ceux afférents à l'aménagement en zones périurbaines, avec une prépondérance en faveur de ces derniers. Il s'agit là d'un enjeu social auquel le programme avait pour objectif de tenir en compte. En effet, l'aménagement en zones périurbaines remembrait des actions disposant d'un fort potentiel de recrutement, et par conséquent absorbant un grand nombre de main d'œuvre en quête de travail.

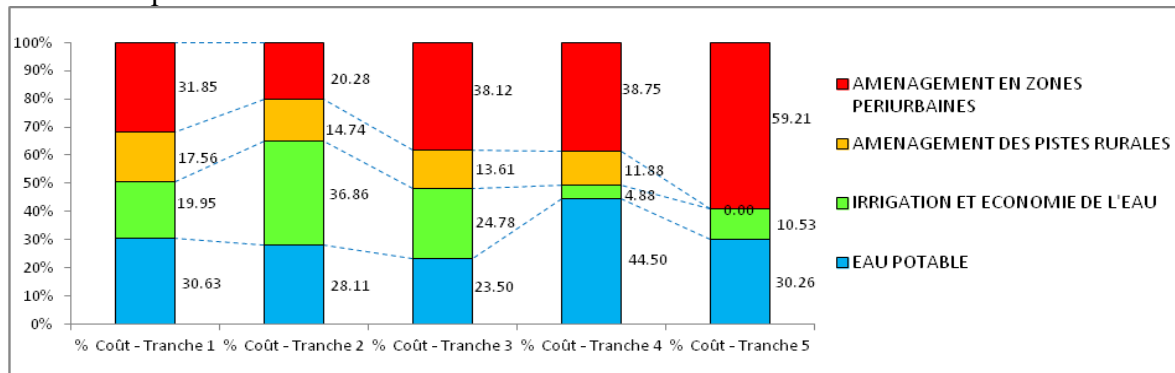


Fig.2. Evolution de la répartition des fonds par rubrique pour chaque tranche du programme de lutte contre les effets de la sécheresse –Province de Berkane (1999/2000)

En résumé, le programme de lutte contre les effets de la sécheresse ne constitue pas une stratégie de gestion du risque, mais plutôt une façon de faire face à une situation conjoncturelle en vue d'apaiser des tensions sociales, par l'injection de fonds à travers des actions le plus souvent non durables, et satisfaire par ailleurs, les besoins les plus vitaux tel que l'eau potable pour la population rurale.

En effet, les implications de la sécheresse s'inscrivent dans la durée alors que les efforts déployés par les pouvoirs publics demeurent le plus souvent ponctuels et tentent, pour l'essentiel à circonscrire ses effets immédiats par des programmes conjoncturels (Chiguer, M & al. 2013) mobilisant des fonds publics dédiés spécialement pour cette cause.

2-1-3. Programme de lutte contre les effets de la sécheresse de 2015/2016

Durant cette année, le Maroc a connu un retard des précipitations qui annonçait une campagne agricole en difficultés. Un programme de 5 milliards de dirhams a été lancé pour la lutte contre les effets de retards des pluies. Au niveau de la province de Berkane, ce programme visait en particulier des actions et des projets qualifiés d'urgents, il s'agit de :

- Assurer les besoins fourragers pour la sauvegarde du cheptel ;
- Mener des actions génératrices de revenus et actions de création de postes d'emploi en compensation du 'manque à gagner' ;
- Equiper les forages et complément pour les besoins prioritaires en eau potable ;
- Acquérir et louer des citernes et camions citernes pour satisfaire la demande potentielle durant la période critique de sécheresse ;
- Créer des points d'eau, ouvrir des tranchées de feu et guetteurs des incendies ;
- Entretien des pistes et réhabiliter les réseaux d'irrigation.

2-2. Le Plan Maroc Vert (PMV), le début de passage d'une gestion de crise à une prévention de risque

Le Plan Maroc Vert (PMV) comporte plusieurs composantes, appelés leviers, qui intègrent dans ses actions des mesures d'adaptation aux aléas climatiques. En effet, des mesures d'adaptation sont adoptées en vue de la promotion d'une agriculture durable et résiliente vis-à-vis des répercussions potentielles des aléas climatiques, en particulier la sécheresse. Ces mesures qui s'inscrivent dans un registre d'adaptation à un aléa perpétuel plutôt que de gestion de crise conjoncturelle, sont caractérisées par la variété des pratiques mises en œuvre et la diversité des actions engagées :

- L'adoption d'un programme d'économie d'eau d'irrigation fondé sur l'amélioration de la gestion et de la productivité de l'eau dans (Programme National d'Economie d'Eau d'irrigation : PNEEI) concernant la reconversion de 555.000 ha sur une période de 10 ans; étant donné que ces systèmes sont quatre fois plus efficient que les systèmes gravitaires (Balaghi, R & al. 2007);
- La réutilisation des eaux non conventionnelles tel que le dessalement de l'eau de mer;
- L'adoption de bonnes pratiques agricoles résilientes par la valorisation des acquis de la recherche agronomique et le transfert de savoir-faire aux producteurs
- Le programme de reconversion des céréales en arboriculture fruitière sur 1 million d'hectares. Cela permettra l'amélioration des revenus des agriculteurs et la protection des sols et la réduction de la vulnérabilité sociale et biophysique; 'puisque les risques de sécheresse pluriannuelles concernent surtout les productions céréalières (plutôt que les cultures arbustives ou irriguées)' (Rognon P., 1996).
- La création du Fonds de Développement Agricole pour l'encouragement à l'adoption de bonnes pratiques agricoles résilientes au changement climatique par des subventions allouées aux producteurs.

- L'instauration d'un système d'assurance agricole (multirisques et multifilières) pour inciter à l'investissement, garantir une stabilité financière et alléger le soutien de l'Etat en cas de sinistre.

Le Plan Maroc Vert, avec ces composantes s'inscrit dans une démarche globale visant à adopter des techniques et actions de prévention en amont des programmes de développement, fondées sur le renforcement des capacités d'adaptation et de la réduction de la vulnérabilité. Cette approche 'repose d'une part sur le déploiement des techniques et des pratiques innovantes et d'autre part sur des stratégies d'intervention proactive' (Sadiki,M., 2016).

Conclusion

Le processus de gestion de la pénurie d'eau au niveau de la zone d'étude fait appel en premier lieu à des traitements d'urgence par la mise en œuvre de programme de lutte contre les effets de la sécheresse.

Ces programme, supposés répondre à une conjoncture présentent des limites pour les prendre comme modèle de gestion de risque.

En effet, bien qu'elles aient, le plus souvent, fait l'objet d'une approche participative associant, en plus des gestionnaires de l'eau, l'autorité locale, les collectivités territoriales et les professionnels susceptibles de subir les répercussions de la sécheresse, ces actions demeurent obsolètes et sans horizon.

Néanmoins, une ébauche d'une gestion durable des risques commence à se développer chez les différents acteurs par la mise en actions d'approches transversales, multidimensionnelles et multisectorielles tenant en compte la dimension socioéconomique et environnementale de l'aléa climatique et des spécificités locales.

Ceci étant, les stratégies d'adaptation mises en œuvre sont contrariées par des obstacles et des limites nécessitant des coûts supplémentaires et sollicitant des technologies et un savoir-faire appropriés. Cela induit des inerties aux changements et aux différents ajustements qui devraient atténuer les effets des aléas climatiques en question.

Bibliographie

- BALAGHI R., JLIBENE M, TYCHON B & MRABET R. 2007. Gestion du risque de sécheresse agricole au Maroc. *Sécheresse*. N°3. Vol.18. P. 169-76. Juil. 2007.
- CHIGUER M., FIRDAWCI L & OUSMOUH A. 2013. Gestion du risque sécheresse: cas des céréales au Maroc. Collection Confluence, Imp. El Maârif Al Jadida, Rabat. 126p.
- EL FOUNTI L, La gestion des risques au Maroc. TS13 Risk Management. 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
- ROGNON P. Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb. *Sécheresse*. N°4. Vol.7. P. 287-97. Déc. 1996.
- SADIKI M, Comment gérer les épisodes de sécheresse au Maroc ? Quelques enseignements tirés à partir de l'expérience 2016. CIHEAM. Watch Letter n°37. Septembre 2016.

CARACTÉRISATION À L'AIDE DU SPI DE LA SÉCHERESSE CLIMATIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DE RHÉRIS (SUD-EST, MAROC).

MEHDAOUI Radouan¹, MILI El-Mostafa¹, SEGHIR Aziz²

¹Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences. Département de Géologie, B.P. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

²Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Lettres et Sciences Humaines-Saïs, Fès, Maroc.

Résumé: Cet article analyse la variabilité spatiale et temporelle des sécheresses hivernales dans un gradient géographique aride à la bordure Est du Haut Atlas oriental au niveau du bassin versant de Rhéris (Sud-Est du Maroc). Les sécheresses survenues entre 1980 et 2012 ont été analysées au moyen de l'Indice Normalisé de Précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) sur 12 mois pour une échelle de 32 ans. Les résultats indiquent que les sécheresses les plus remarquables par leur intensité et leur durée se sont produites durant les périodes 1982-84, 2000-01, et 2004-/05. Ces sécheresses sont généralisées sur toutes les stations du bassin avec un SPI minimum de -3 au niveau du poste de Tadighoust.

L'influence de la fréquence de type météorologique et des schémas généraux de la circulation atmosphérique dans l'Atlantique nord a été également analysée: les résultats indiquent que les sécheresses hivernales ont été attachées à la dominance des circulations sèches à l'exception de la fréquence des perturbations thermodynamiques et Nord-Est qui sont considérées comme des états aérologiques instables, qui surviennent fréquemment entre février et avril de chaque année pour les stations d'Ait Bouijjane, Tadighoust, Merroucha et Oum taghia.

Mots clés: Sécheresse, Indice de précipitation normalisé (SPI), Bassin versant de Rhéris, Fréquence météorologique.

DROUGHT CLIMATIC CHARACTERIZATION WATERSHED OF RHERIS (SOUTH EAST, MOROCCO) USING STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI)

Abstract: This paper analyses the spatial and temporal variability of drought in winter season in an arid geographical gradient in the Eastern edge of part of the Moroccan High Atlas especially at the Rheris watershed. Drought period between 1980 and 2012 were analyzed using the Standardized Precipitation Index (SPI) over 12-months for a 32-year scale. The results indicate that the most important droughts by intensity and duration occurred during the periods 1982-84, 2000-01, and 2004-/05. These droughts are generalized at all stations in the basin with a minimum SPI of -3 at Tadighoust substation.

The results indicate that drought in winter have been tied to the dominance of dry circulation with the exception of the frequency of thermodynamic and north-eastern disturbances which are considered unstable aerological conditions. This happens frequently between February and April each year for the resort of Ait Bouijjane, Tadighoust, Merroucha and Oum taghia.

Keywords: Drought, Standard Precipitation Index (SPI), Rheris Watershed, Meteorological Frequency.

Introduction

La sécheresse est définie comme un déficit de précipitations sur une période de temps prolongée, habituellement une saison où plus, qui provoque une pénurie d'eau pour une activité, un groupe ou un secteur de l'environnement. Ses impacts résultent de l'interaction entre l'événement naturel (moins de précipitations que prévu) et la demande en eau des activités humaines. Par conséquence, lorsqu'un déficit en eau affecte les masses d'eau de surface (cours d'eau) et les masses d'eau souterraines (nappes aquifères), survient une sécheresse hydrologique, car le débit d'eau de surface et/ou souterraine diminue par rapport aux valeurs normales (Agence BH-Z-G-R). Tandis que la sécheresse socio-économique

apparaît quand les précipitations insuffisantes ont un impact significatif sur les communautés et leur économie (Organisation Météorologique Mondiale 1990).

Cet impact croissant impose que la sécheresse soit examinée non seulement comme un événement naturel qu'il faut subir, mais aussi comme un phénomène qu'il convient d'expliquer, de connaître, et qu'il faut, lorsqu'il survient, gérer avec l'efficacité nécessaire et prendre les mesures à l'avance pour atténuer son impact.

Les résultats indiquent une succession des années sèches dans la zone d'étude; des dispositions climatiques négatives généralement ont été observées en hiver.

Dans ce contexte climatique variable et instable, la présente étude s'est fixée pour objectif d'analyser les séquences de sécheresse météorologique à l'échelle annuelle dans le bassin versant de Rhéris afin de mieux comprendre l'évolution du climat et ses conséquences à l'échelle du bassin et de définir des stratégies d'adaptation.

Présentation du bassin versant de Rhéris

Situation géographique

Le bassin hydrographique de Rhéris est localisé dans la partie Sud-Est du Maroc et s'étend sur une superficie de 12702 km². Il est limité au Nord et à l'Est par le bassin versant de Ziz, au Nord-Ouest par le bassin d'Oum Er Rbia, à l'Ouest par le bassin de Draa et au Sud par le bassin de Maider (Figure 1).

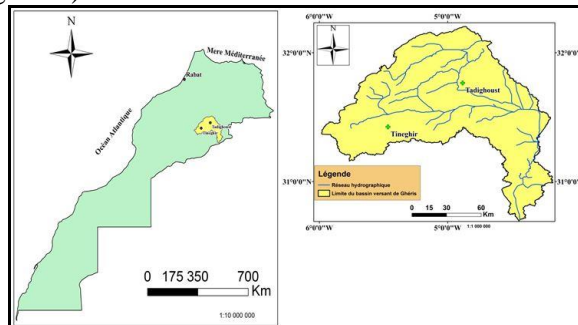


Figure 1: Situation géographique du bassin versant de Rhéris

Contexte climatique

De point de vue géo-climatique, la grande variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique de la zone est due à l'orographie et à sa localisation. La particularité arquée de la chaîne atlasique provoque l'apparition d'une zone d'abri dont le système convectif est associé au chauffage intense. Cet abri empêche l'entrée des perturbations océaniques et marines à la région.

La complexité de la sécheresse climatique dans le bassin est accentuée par l'instabilité de la circulation cyclonique associée à la présence des barrières topographiques; celles-ci freinent les influences perturbées atlantiques et marines; qui restent très faibles si on prend en compte l'éloignement de la région par rapport aux flux perturbés ouest et nord-est (figure 2).

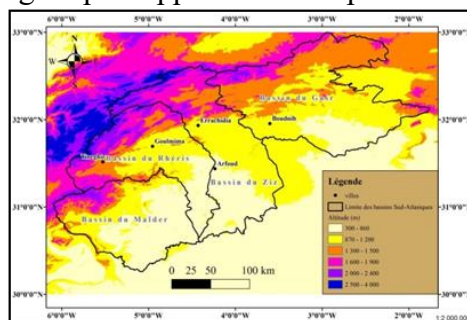


Figure 2: Situation de la zone par rapport au contexte géo-climatique local

Si on prend en compte l'ensemble des caractéristiques géoclimatiques de la région d'étude, on trouve que les précipitations mensuelles dépendent de 75 % des flux perturbés parvenus du

secteur nord-est. En effet, lorsqu'une vallée froide atteint la Méditerranée occidentale, un flux perturbé de direction nord-est arrive jusqu'aux régions orientales du Maroc (Figure 3).

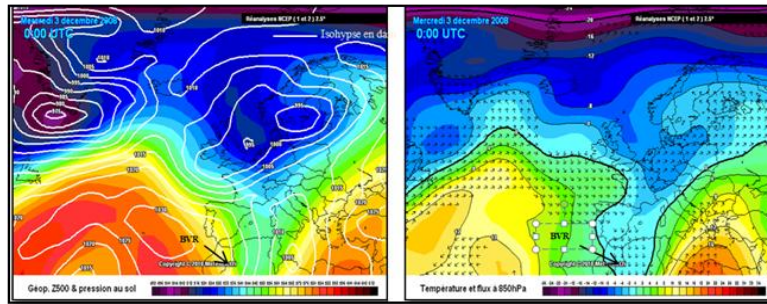


Figure 3: Circulation atmosphérique à 500 hPa (hectopascal), de la journée 3 Décembre 2008 à 00 UTC (Universal Time Coordinated) (<http://www.meteociel.fr>)

La principale caractéristique imprégnant le climat de la zone d'étude est qu'il est semi désertique (saharien) à forte influence continentale (Riad, 2003). Les indicateurs climatiques sont les suivants :

- Les températures moyennes annuelles sont relativement élevées. Elles sont respectivement de l'ordre de 16.0°C à Tirga, 17.5°C à Ait Bouijjane et de 19.4°C à Tadighoust.
- Le potentiel pluviométrique (établi sur la base des moyennes interannuelles des séries observées de l'ensemble des stations pluviométriques) enregistré dans le bassin de Rhéris est de 1472 Mm³. Ce potentiel ne prend pas en compte le manteau neigeux en haute montagne.

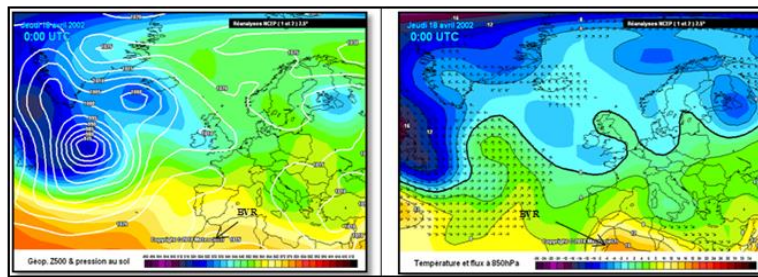


Figure 4: Circulation atmosphérique à 500 hPa (hectopascal), de la journée 18 /4/ 2002 à 00 UTC (Universal Time Coordinated) (<http://www.meteociel.fr>)

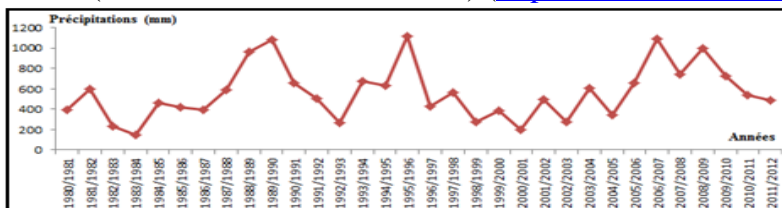


Figure 5: Evolution des précipitations annuelles dans la totalité des stations étudiées (Période 1980/2012)

Le régime annuel des précipitations est caractérisé par deux saisons humides, l'automne et le printemps séparés par une brève saison d'hiver avec un minimum relatif faible, et par une longue saison d'été très marquée par la sécheresse.

Dans le bassin versant du Rhéris, la pluviométrie décroît généralement de 178 mm dans les hauts reliefs pour atteindre 50 mm vers le Sud. Les pluies mensuelles sont caractérisées par un régime pluviométrique très variable d'une année à l'autre, traduisant l'irrégularité des précipitations. Le module interannuel des précipitations est de 140 mm à Ait Bouijjane et de 143 mm à Tadighoust (Hilali, 2015).

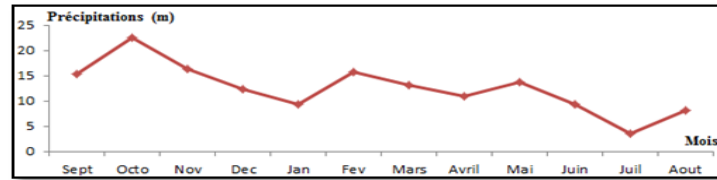


Figure 6: Evolution des précipitations mensuelles moyennes dans le bassin du Rhéris
Contexte hydrologique

Le bassin versant de Rhéris est très vaste et présente une forme assez régulière. Le réseau hydrographique est riche en vallées importantes mais à faible développement de cours d'eau pérennes. La grande superficie du bassin se situe dans le Haut-Atlas d'où débouchent quatre oueds principaux: oued Todgha, oued Tanguerfa-Ferkla; oued Rhéris et oued Tarba. En effet, oued Rhéris présente un régime hydrologique à tendance saharienne avec une longueur total de 390 km (oued Rhéris, Todgha et Ferkla), il prend sa source au Nord dans le Haut Atlas oriental. Le cours d'eau aval traverse une plaine aride avant d'entrer dans la plaine de Tafilalet où il coule parallèlement à l'oued Ziz, qu'il rejoint plus en aval (Hilali, 2015).

Méthodologie

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) a été développé en 1993 par Mc Kee, N.J. Doesken & J. Kleist de l'Université de l'Etat du Colorado, pour la détermination des déficits pluviométriques pour une période donnée. C'est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis.

Méthode de calcul de l'indice SPI

L'indice standardisé de précipitation (SPI) est basé sur des calculs statistiques des précipitations pendant une longue période (30 ans au moins). C'est un indice très important, puissant et simple à calculer. Il se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Cet indice est calculé par la formule suivante:

$$SPI = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \frac{P_j^i - \bar{P}_j}{\sigma_j} \text{ Où } P_j^i \text{ est la pluie de l'année } i \text{ à la station } j, \bar{P}_j \text{ est la pluie}$$

moyenne interannuelle de la station j , σ_j l'écart-type de la série des cumuls saisonniers à la station j et N_i le nombre de stations de l'année i .

La classification adoptée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie où sept classes de sécheresse sont distinguées, variant de l'extrêmement sèche à l'extrêmement humide, peuvent être distinguées (Tableau 1).

Tableau 1: Classification de la sécheresse selon SPI (OMM)

Valeurs de l'indice SPI	2.0 et plus	1.50 à 1.99	1.0 à 1.49	-0.99 à 0.99	-1.0 à -1.49	-1.50 à -1.99	-2.0 et moins
Catégorie de sécheresse	Extrêmement humide	Très humide	Humide	Normal	Modérément sec	Sévèrement sec	Extrêmement sec

Un programme sous Matlab pour le calcul du SPI où les données des précipitations sont directement chargées à partir des fichiers Excel a été construit.

La source des données pluviométriques qui ont été collectées et exploitées dans cette étude est l'agence du bassin hydraulique de Guir-Rhéris-Gheris (ABH-G-Z-R). Les caractéristiques des différentes stations utilisées dans cette étude sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Caractéristiques des différentes stations hydrométriques principales du bassin versant de Rhéris

Nom de la Station	Latitude (°, N)	Longitude (°, W)	Altitude (m)	Moyenne annuelle des précipitations en mm (1980-2012)
Tadighoust	31.80	-4.96	1150	136,7
Merroutcha	31,5	-4,9	950	103,7
Ait Boujjane	31,5	-5,54	1350	140,8
Oum taghia	31.4	-5.01	1600	180.3

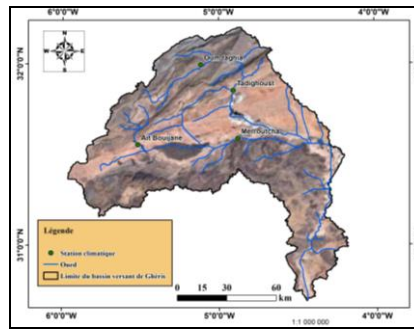


Figure 8: Carte de situation des stations climatiques implantées sur un fond satellitaire

Résultats et discussions

Afin de faire une analyse ponctuelle au niveau des stations concernées, et pour mieux évaluer les variations de la pluviométrie annuelle, nous avons calculé les valeurs de l'indice SPI d'une série de 32 années. Les résultats du calcul sont représentés dans la Figure 9.

a. Station de Ait Bouijjane

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ait Bouijjane montre une dominance des années sèches bien remarquables pendant la période (1982-1984) et (1997-2005); on observe aussi que l'indice SPI peut atteindre moins de (-1,5), ce qui explique l'existence des années de grande sécheresse.

Pendant la période (1987-1992) et (2006-2009), on constate des années humides à extrêmement humides. Alors que durant la période 2010/2012, on remarque un assèchement des conditions climatiques.

b. Station de Tadighoust

A partir de 1980 jusqu'à 2012, les valeurs de l'indice pluviométrique standardisé au niveau de la station sont négatives et montrent des années modérément sèches à très sèches à l'exception de la période (1987-1990) et (2005-2009), où on a la dominance des années humides à très humides.

c. Station de Merrouthcha

L'analyse de SPI dans la station de Merrouthcha indique la succession des années sèches et des années humides. A partir de 1980 jusqu'à 1988, on a des années modérément sèches à extrêmement sèches, et pendant la période 2006-2010, on remarque la succession des années modérément humides à très humides.

d. Station d'Oum taghia

L'analyse des résultats de l'indice pluviométrique standardisé à la station de Oum Taghia renseigne sur la succession des périodes sèches à très sèches et des périodes humides à très humides.

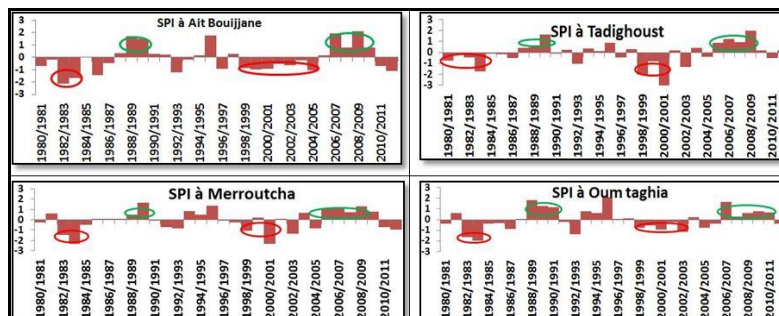


Figure 9: Indice de précipitations standardisé au cours de la période 1980-2012 dans les quatre stations climatiques du bassin versant de Rhéris

Le graphique de la Figure 10 reflète la corrélation qui existe entre le débit moyen annuel d'oued Ait Bouijjane et de Merrouthcha enregistrés durant la période 1980-2012 et le SPI de 12 mois au niveau des mêmes postes pluviométriques, et confirme bien la réponse hydrologique des oueds aux précipitations.

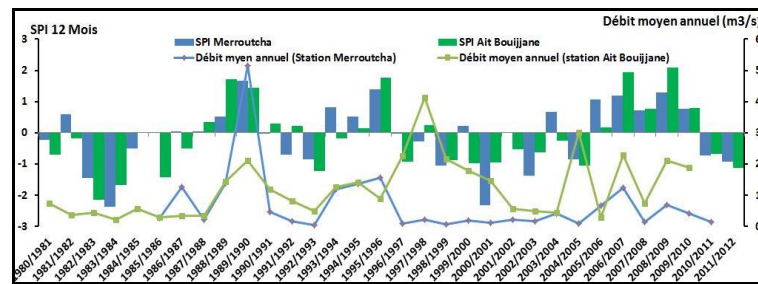


Figure 10: Corrélation entre le SPI d'Ait Boujjane et Merroutcha ; et le débit moyen annuel des Oueds (1980/2012)

Conclusion

Ce travail a montré que le bassin versant de Rhéris a connu des périodes de sécheresses sévères avec un déficit pluviométrique important durant la période de 1980 à 2012.

Les résultats obtenus après le calcul de l'indice de précipitation standardisé, ont permis de localiser des séquences de sécheresse dans les stations étudiées:

- la station de Oum Taghia: à partir du 1995 jusqu'à 2006, on remarque des années modérément sèches ;
- la station de Tadighoust: pour la période de 1998 à 2006, les résultats montrent des années très sèches ;
- la station d'Ait Boujjane et de Merroutcha: pour la période de 1981 à 1984, l'indice SPI montre des années extrêmement sèches d'autres sont moyennement humide.
- l'étude de la probabilité d'occurrence montre que les catégories climatiques les plus fréquentes sont celles du climat humide léger et de sécheresse légère.

L'orographie et les altitudes du Haut-Atlas influencent positivement les quantités précipitées au Nord du bassin.

La sécheresse selon l'indice SPI a mis en évidence une tendance vers l'augmentation de la récurrence des années sèches à partir de l'année 1982, durant toute la période pour la totalité des stations étudiées.

Référence:

- Bousfoul M., 2008. Gestion intégrée des ressources en eau: une nécessité pour la préservation des oasis du sud est marocain (cas du Tafilalet) Revue HTE N°140. p 237-239.
- Cacciamani, C. Morgillo, A, Marchesi, S and Pavan, V, 2007 "Monitoring and forecasting drought on a regional scale: emilia-romagna region," Water Science and Technology Library, vol. 62, part1, pp 29-48.
- Driouech F., 2010. Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique. Thèse de Doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse, p 163.
- El Janati Idrissi A., 2004. L'impact de déficit pluviométrique sur les systèmes des ressources en eau de surface dans le bassin de Sebou en amont de Machrâa Belkssiri. Thèse Doct. Géographie naturelle. Thèse de doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès Sais, p 26
- El Ouali A., 1992. Contribution du Haut Atlas central au Sud de Midelt à l'alimentation des aquifères profonds du bassin crétacé d'Errachidia. Thèse de doctorat sciences de la terre. Université de Franche-Comte. France, P 74-93.
- Hilali M., 2015. Hydrogéologie et ressources en eau du Tafilalet et ses régions limitrophes (sud-est du Maroc): connaissance, prospection, caractérisation, exploitation et gestion des ressources en eau. Habilitation universitaire, faculté des sciences, Université Mohammed V, Rabat, p 13-15.
- Jouilil I, Bitar K, Salama H, Amraoui, Mokssit A., Tahiri M., 2013. Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. Larhyss journal, n° 12. Janvier 2013, pp 109-127.
- RIAD S., 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielle à partir de quelques bassins versants représentatifs du Mmaroc. Thèse en cotutelle, université des sciences et technologie de Lille; Université Ibnou Zouhr, Agadir.

IMPACT DU CHOIX D'AMENAGEMENT SUR LA VULNERABILITE DE CERTAINS SITES D'INFRASTRUCTURES ROUTIERES FACE AUX RISQUES HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUES : ANALYSE DE CAS DU NE MAROCAIN²

Abderrahmane EL HARRADJI

Université Mohammed Premier, Oujda

elharradji@yahoo.fr ; a.elharradji@ump.ac.ma

Résumé

Les risques liés aux cours d'eau sont habituellement identifiés comme « risques hydroclimatiques », alors qu'ils ont également une composante géomorphologique. L'orographie joue un rôle important dans l'occurrence des inondations et est souvent à l'origine de nombreux dégâts qui résultent des crues. Le cumul des eaux des inondations est souvent dû à l'insuffisance de la pente d'évacuation et/ou à l'obstruction de l'exutoire des écoulements par des obstacles.

En dehors des obstacles naturels, la concentration des eaux est souvent favorisée par des infrastructures inadéquates, tels que le sous calibrage des ouvrages d'art ou l'inefficacité des aménagements rudimentaires. En outre, certains sites sont mal choisis pour les infrastructures et les équipements, tels que les méandres pour les ponts, les plaines alluviales et les versants vulnérables pour les chaussées et d'autres installations. Certains aménagements hydrauliques ne prennent pas en compte le trajet de la plus grande pente, et d'autres ignorent la nature même de la dynamique fluviale pour anticiper son travail en terme d'érosion.

Ainsi, des infrastructures sont détruites ou menacées d'endommagement, et se trouvent sujettes à des réparations qui ne sont parfois que des fuites en avant. Des inondations et des destructions deviennent récurrentes sous le moindre aléa, devant la vulnérabilisation des sites. Ces contraintes peuvent être évitées ou anéanties en optant pour les meilleures variantes d'aménagement. Des exemples présentés sont choisis dans le nord-est marocain, pour illustrer cette réalité des risques hydro-géomorphologiques, sous une vision d'analyse critique, visant des propositions de solutions.

Cette présentation rassemble une série d'observations préalables de cas de vulnérabilité spatiale, sélectionnés pour illustrer les problèmes liés aux risques hydro-géomorphologiques au nord-est marocain. Cette entité spatiale est simplement définie géographiquement par sa localisation, sans qu'elle fasse référence à une quelconque homogénéité. Toutefois, les conditions climatiques impliquées dans les risques hydro-géomorphologiques sont sensiblement homogènes, malgré la grande diversité des milieux bioclimatiques. L'approche adoptée pour appréhender les phénomènes étudiés est volontairement simplifiée et sectorielle, basée sur un bref aperçu sur les facteurs physiques des risques, et la vulnérabilité des sites.

1. Les facteurs physiques des aléas hydroclimatiques

Le climat du nord-est marocain varie selon les contrées de l'étage subhumide à l'étage aride, voire présaharien, en passant par l'ambiance semi-aride. Ces définitions sont beaucoup plus théoriques que réelles, en termes d'étagement et de hiérarchie spatiale. La position géographique, ou à vrai dire orographique, impose un rôle déterminant dans la répartition des ambiances climatiques. Sans les nuances orographiques, l'ensemble de l'est marocain serait un territoire aride homogène. Les sursauts des principaux reliefs et leur exposition sont à l'origine de l'augmentation remarquable des précipitations locales.

A l'exception de l'extrême sud de la région Orientale, qui se trouve d'ailleurs déjà en marge du nord-est marocain, La moyenne annuelle des précipitations varie d'une centaine de millimètres à peine sur les marges sahariennes, à plus de 500 mm sur les plus hauts sommets, plus particulièrement ceux qui sont localisés dans la partie nord, en l'occurrence, le nord-ouest des Hauts-Plateaux, certains massifs de la chaîne de Jérada et de la chaîne des Béni Snassen. L'ampleur de la variabilité climatique et l'irrégularité des précipitations constituent

² Cette présentation est réalisée dans le cadre du projet PPR « Les risques hydroclimatiques et géomorphologiques au Maroc nord-est: typologie, cartographie et gestion » (Appel d'offres 2013, CNRST). (Une deuxième partie de cette présentation est prévue).

un caractère commun à l'ensemble des territoires du nord-est marocain. Cet aspect commun à tous les milieux se traduit par l'omniprésence d'un aléa climatique imprévisible, aussi bien sur le plan de son occurrence et de son ampleur. Ainsi, les crues peuvent être partout dévastatrices, en présence d'enjeux liés soit une fragilité naturelle, soit à une vulnérabilisation d'ordre anthropogène.

2. Les facteurs de la vulnérabilité

Comme annoncé dans le titre, seuls les aspects liés aux infrastructures des aménagements routiers extra-urbains sont concernés par cette contribution. Il en découle que le choix des options d'aménagement est crucial dans la détermination du risque, par le biais du degré de vulnérabilité qu'il prédéfinit. L'analyse critique des aménagements réalisés dans chaque site aboutit à un bilan dont l'objet est d'identifier les forces, et surtout les faiblesses des options engagées. L'objectif est de dégager les pistes de rectifications et, le cas échéant, de formuler les mesures éventuelles de prévisions et de préventions, relatives aux projections futures.

Les mesures préventives et prévisionnelles ne sont pas liées aux projections établies dans les scénarios des « changements climatiques », qui demeurent pleines d'incertitudes et de constructions théoriques et hypothétiques, mais plutôt liées à l'estimation des aléas dans le cadre de leurs récurrences naturelles probables. Là, l'important n'est pas le temps de retour lui-même, mais l'ampleur potentielle de l'aléa futur lui-même, indépendamment de son occurrence proche ou lointaine. En fait aucun indice exploitable ne peut être fiable pour de telles prévisions, ce qui met le risque potentiel au premier plan, dans une dimension purement hypothétique.

Chaque site a ses propres caractéristiques qui interagissent avec l'aléa hydroclimatique (les crues) et avec l'option engagée pour l'aménagement (type d'équipement et point d'implantation). A travers l'analyse de cas, des observations permettent de dégager les principales remarques critiques, en vue d'évaluer la situation pour chaque site. La procédure consiste donc à passer en revue l'étude séparée de chaque site étudié.

Site N° 1 : Oued Hammou / RN 19



Photos 1 et 2. Site du pont de l'oued Hammou. Il est situé sur le tronçon de route nationale 19 qui relie Taourirt au nord à Debdou au sud. Les points vulnérables sont en position concave des méandres, sur les deux rives.

Ce site est situé à 8 km au sud de la ville de Taourirt, sur la route nationale n° 19. Un ancien pont construit de longue date, remontant à l'époque du Protectorat, comme son architecture le montre, affronte des problèmes liés aux caractéristiques du site. Le facteur principal d'instabilité de ce pont est la présence d'un méandre nettement encaissé dans les formations marno-calcaires du jurassique, moyennement résistantes. C'est un ravin sec, mais véhiculant parfois des crues susceptibles d'activer l'érosion sur les rives concaves, causant occasionnellement des dégâts plus ou moins importants. Les murs de soutènement et les

gabions s'avèrent vulnérables face à ces attaques fluviales, d'un oued peu signifiant par son hydrologie mais bien influent par sa morphologie et l'impact de sa morphodynamique.



Photo 3. Le pont de l'oued Hammou vu de l'amont vers l'aval. Les réparations des dommages sur les méandres s'avèrent des fuites en avant, avec des interventions interminables.

Site N° 2. Le pont de oued Charef / R606

Ce site situé à 5 km au sud-est de la ville d'Aïn Béni Mathar, présente des caractéristiques très analogues à celles du cas précédent (Oued Hammou). L'oued est connu par ses crues remarquables, difficiles à prévoir même, en raison de la grande extension du bassin versant, et surtout en l'absence de stations météorologiques. Des crues surviennent parfois sans qu'aucune pluie ne soit signalée dans le réseau lâche des stations météorologiques.

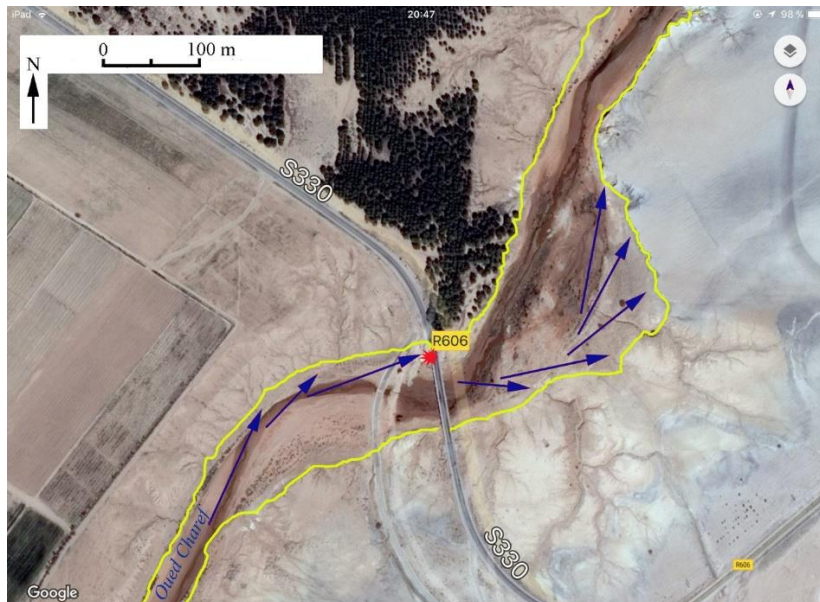


Photo 4. Le site de l'oued Charef au niveau du pont de la route régionale n° 606.

L'élargissement remarquable du lit est dû à l'existence d'un méandre, dont la dynamique déstabilise le pont actuel, qui remplace un radier largement rogné par l'érosion fluviale. Cet ouvrage de substitution qui est relativement récent n'est pas épargné par les attaques de la force centrifuge des flux d'eau de rive concave. Cette vulnérabilité est liée à la dynamique fluviale de ce méandre divagant librement dans des formations limoneuses friables de l'Holocène. Les travaux de restauration ne sont point efficaces avec la dynamique des méandres.



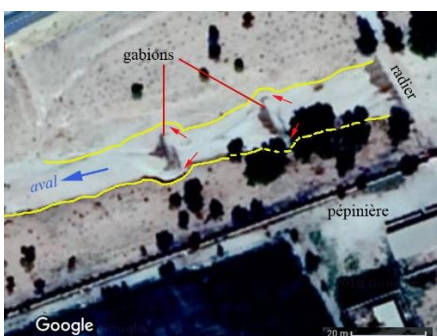
Photos 5-6-7. Pont de l'oued Charef, au niveau de la route régionale n° 606. Des dégâts peuvent survenir potentiellement au passage des crues ordinaires, qui sont normalement occurrentes plusieurs fois par an. La comparaison diachronique des effets des crues montre une évolution lente des dégâts, mais bien progressive entre deux temporalités (5-6). L'ancien radier endommagé par les crues.



Photo 8. Une crue de l'oued Charef (27/05/2006 ; vue vers l'amont).

Site N° 3. Oued Bouarfa

Ce site est situé à 5 km au nord-est de la ville de Bouarfa, au voisinage de la route nationale n° 17 et de la pépinière, non loin de l'ancienne gare ferroviaire. La voie d'accès à la pépinière dispose d'un radier protégé par un mur en pierre bétonné, qui donne une cascade. Des gabions sont disposés en aval pour freiner l'encaissement et la progression de l'érosion régressive, en vue de protéger le gué aménagé. Il s'avère que ces gabions ne sont même pas en mesure de se protéger eux-mêmes contre l'affouillement. L'écoulement les contourne facilement en sapant les berges modelées dans les limons caillouteux holocènes meubles, tout en en affouillant la base. On remarque l'élargissement localisé du lit, résultant de la déstabilisation causée par le rôle d'obstacle joué par les gabions. Le constat qui s'en dégage est que les gabions sont d'autant des facteurs de la turbulence qu'ils sont disposés face à l'écoulement qui les attaque de plein fouet, et en réduit l'efficacité, s'il ne l'annule pas.



Photos 9 et 10. Localisation du site de l'oued Bouarfa.



Photo 11-12-13-14. Les gabions censés protéger le radier, au nord de Bouarfa s'avèrent inutiles, voire nuisibles, car ils déstabilisent le lit et les berges, alors qu'ils sont édifiés pour « calmer » l'érosion.

Site N° 4. L'oued Sefrou, à Aïn Sfa.

Au niveau de la route d'Aïn Sfa, l'oued Sefrou passe dans des buses perchées, qui sont une source d'instabilité. L'affouillement à la base en aval menace l'ouvrage de destruction, ce qui fait appel à des entretiens fréquents, qui sont coûteux. Les buses sous-dimensionnées obligent les crues démesurées à submerger la route, ce qui amplifie l'effet destructeur de cascade. La solution pour ce genre de problème devrait s'appuyer sur l'anticipation du travail de l'érosion, en abaissant la base de l'ouvrage.



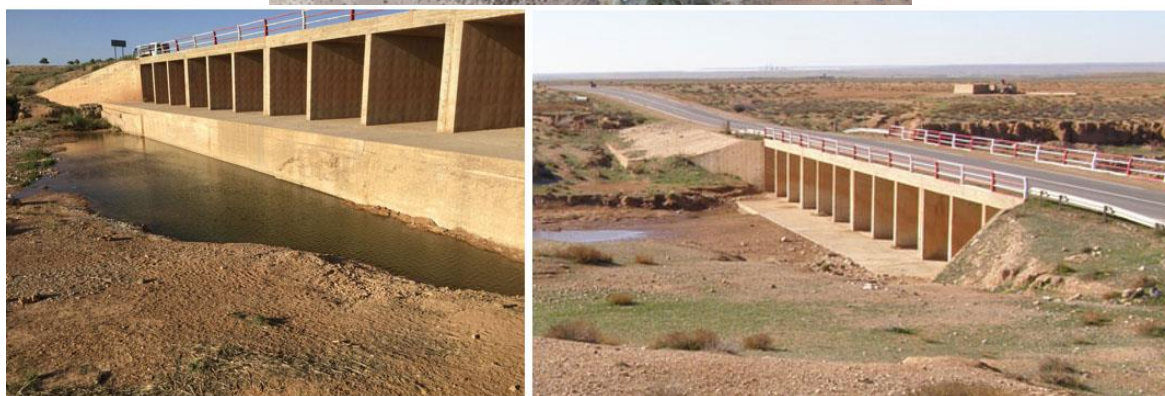
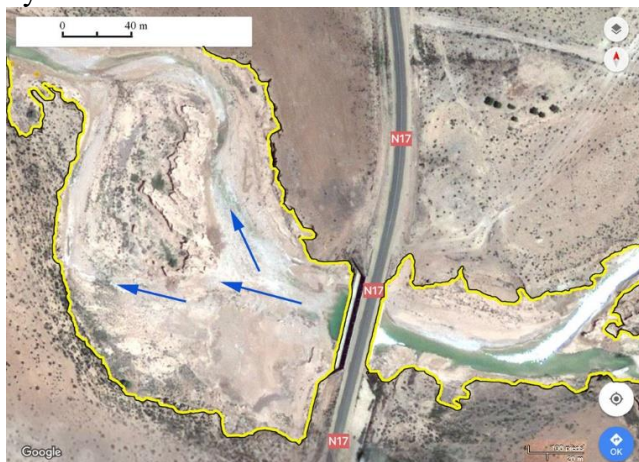
Photos 15-16. La route de la grotte d'Aïn Sfa au

niveau de l'oued Sefrou (vues de l'aval).

Site N° 5. L'oued Al Basbas / RN 17

Cet oued est traversé par la route nationale n° 17 à 10 km au nord d'Aïn Béni Mathar. Il s'appelle également oued Al Gazmir et Sehb Koudiat Layla. Il expose un cas exceptionnel d'érosion accélérée. Après avoir reculé de 1350 m en 45 ans, l'érosion régressive fit un exploit de 1200 m en 24 ans. Construit en 1996, le pont actuel se substitua à un radier, suite à une destruction par érosion régressive, encaissée à 4 m de profondeur. On remarque

l'élargissement du lit en aval du pont, puis un abaissement du niveau d'écoulement ensuite. Le pont qui bloque l'érosion régressive fut construit au niveau du lit, sans anticiper le travail de l'érosion. Ainsi, le pont marque une discontinuité qui amplifie l'écart d'altitude entre l'amont stabilisé et l'aval en abaissement. La base du pont donne lieu à une cascade qui menace l'ouvrage à moyen terme.



Photos 17-18-19. Pont de l'oued Al Basbas. Vues diachroniques de 2013 (à droite) et de 2018 (à gauche), prises en aval du pont de la RN 17.

3. Conclusion :

Après cette analyse critique rapide de ces sites sélectionnés, un constat se dégage, résumant les causes de la vulnérabilité des ouvrages réalisés :

- Le mauvais choix du site d'implantation des ouvrages (ponts, radiers, chaussées...)
- Le sous dimensionnement (ouvrages), la sous-estimation des crues potentielles (aléas)
- L'absence de prise en considération suffisante du contexte géomorphologique et de l'activité morphodynamique (mobilité des méandres, lithologie non résistante, évolution de l'érosion régressive, le changement du niveau de base...)
- Inadéquation des réalisations (mauvais choix des procédés, de matériaux et d'implantations)
- Inachèvement des traitements et des travaux (traitement partiel focalisé sur le côté technique de l'ouvrage, ignorant les menaces persistantes)
- Absence d'anticipation du travail de l'érosion, blocage ou accélération de la dynamique naturelle (réduction de la durée de vie des réalisations)
- Traitements parfois inutiles (gabionnage déstabilisant, seuils mal conçus...).

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE: DE L'ADAPTATION À LA RÉSILIENCE DES TERRITOIRES. QUELLE APPROCHE DU RISQUE ?

Aïcha ABBAD – Université Mohammed V – Rabat.

aichaabbadarpsa@gmail.com

Le Maroc est un pays de transition climatique et écologique. Mais pas pour longtemps, eu égard au glissement des zones. L'impact de ce changement ne se limite pas aux composantes, il concerne aussi le territoire lui-même.

Le territoire rural est confronté à un triple défi: non seulement il faut produire plus, mais encore les ressources sont en diminution, et de surcroît il faut préserver leur qualité. Historiquement, la société marocaine est une société paysanne, et la majorité de la population garde des empreintes de cette appartenance. L'Etat (Maghzen et ensuite moderne) et la société marocaine se sont toujours adaptés, à travers l'histoire, aux aléas et aux divers risques dont ceux du climat –du ciel-.

La reprise de conscience du (es) risque (s) par l'Etat comme par la société est révélateur de l'ampleur des impacts. Ceci nous amène à nous interroger sur l'acceptabilité sociale du risque, et aussi de la territorialité de ce risque. Il s'avère que le développement rural, composante majeure du développement durable, permet de s'interroger sur le risque, à l'échelle sociale et territoriale. En effet, comment faire pour qu'un territoire rural soit ou devienne durable, dans un présent et un futur incertain ?

L'appréhension du risque par les institutions et par les organisations rurales joue un rôle déterminant dans le développement rural, actuellement en cours de déterritorialisation. Cela implique mobilisation et implication de tous les acteurs locaux. Le processus de développement rural doit s'adapter sans cesse aux contextes locaux, qu'on sait très divers et diversifiés, ce qui nécessite de concevoir une grande flexibilité dans le temps.

Il est important d'intégrer ou plutôt de réintégrer autrement le facteur Temps. Car il s'agit d'un processus lent et long. Cela permettra de mettre fin à la culture « de la pression et des urgences » du court terme, spécifiquement dans le cadre de l'espace rural.

Les défis du développement durable sont donc sociaux, économiques, environnementaux, éthiques... mais aussi (et peut-être surtout) territoriaux. Les objectifs sont divers. Réduire les déséquilibres entre les sociétés humaines et leur environnement naturel n'est pas le moindre. Paradoxalement, les impacts du CC ne cessent d'accentuer ces déséquilibres. Il s'avère que ces objectifs ne sont réalisables qu'à l'échelle mondiale, mais un appui local est indispensable. C'est le « retour du territoire » (*cf.* le cinquième rapport du GIEC 2014 et la troisième communication nationale 2016). En d'autres termes, le territoire est le cadre le plus approprié et le plus pertinent pour une gouvernance efficace du risque « climatique ». C'est l'objet de notre communication.

Il est certain que la définition du « rural » n'est pas facile. En général, deux critères sont usités pour délimiter le « rural »: Le critère statistique renvoie à la densité de la population, et le critère administratif renvoie à l'infrastructure.

Au Maroc, au centre de toutes les politiques nationales du développement rural, on trouve deux préoccupations majeures. L'une est liée à l'amélioration des conditions de vie et passe par l'amélioration des infrastructures. L'autre est liée à l'augmentation des revenus des agriculteurs par la création des Activités Génératrices de Revenus (AGR). Ces deux préoccupations intègrent-elles des stratégies qui prennent en compte l'adaptation ou/et la résilience du territoire aux risques climatiques?

Les enjeux du changement climatique sont au cœur de la politique territoriale et des stratégies sectorielles et transversales. L'ensemble est décliné dans la Stratégie Nationale du

Développement Durable (SNDD). Mais cette dernière intègre-t-elle l'adaptation ou la résilience des « territoires ruraux » au(x) risque(s) ? A ce propos, trois enjeux sont pris en compte. D'abord, on trouve que cette stratégie opte pour une démarche d'atténuation et d'adaptation des émissions de Gaz à effet de Serre. Ensuite, le territoire est pris sous l'angle de territoires sensibles. Enfin, un autre enjeu vise la réduction des inégalités territoriales.

Notre communication analyse les préoccupations majeures du développement rural, et l'approche du risque, à deux niveaux.

Le premier est **l'échelle nationale**: quelle est l'approche du risque adoptée dans la politique territoriale? Cette approche est déclinée dans la SNDD.

Le **second est à l'échelle locale**: Dans la politique nationale du développement rural, on trouve trois préoccupations majeure, et cela dans la plupart des Plans Communaux du Développement (PCD). Ces préoccupations sont d'une part l'amélioration des conditions de vie par l'amélioration des infrastructures, et d'autre part l'amélioration des revenus par les AGR. Ce dernier exige que soient renforcées les capacités, ainsi que les ressources humaines et financières, dans le cadre Partenariat Public- Privé (PPP).

Notre étude de cas essaie de répondre à deux questions: comment sont déclinées les préoccupations majeures du développement rural durable? Quelle est la place accordée au risque dans les PCD de deux communes territoriales?

Bibliographie

C.Bonneuil –J.B Frezzos: l'avènement anthropocène, la terre, l'histoire et nous. Edition du seuil – 2016.

D.Lamarre, Sous la Dir. Climat et risques, changement d'approche. Collection SRD (sciences du risque et du danger, série Innovation. Edition TEC & DOC –Lavoisier – Paris 2008.

A.Sedjari, sous la Dir. La revanche des territoires – Edition l'Harmattan – GRET – Rabat – 1997.

C.Villeneuve – F.Richard: Vivre le changement climatique. Quoi de neuf. Edition Multi Monde – Gouvernement du Québec (SODEQ)

Marc Côte, sous la Dir. Dynamiques rurales dans le Maghreb profond .Revue de l'UPRESA-territoires en mutation Janvier 1999 – Presse de l'Imprimerie Paul Valérie – Montpellier.

Autres documents :

Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) 2030. Octobre 2017 – Royaume du Maroc.

La 3^{ème} Communication Nationale du Maroc à la CCNUCC. Ministère délégué auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement – Chargé de l'Environnement. – GEF – PNUD. Janvier 2016.

Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques –Résumé à l'intention des décideurs, résumé technique et foire aux questions. Contribution du groupe de travail (I) au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du Climat. OMM – PNUE.

ANALYSE DIACHRONIQUE DU TRAIT DE COTE DU LITTORAL DE SOUIRA QDIMA : APPLICATION DU LOGICIEL DSAS

Driss DOGHMI et Mostafa OUADRIM

Université Hassan II, FLSH- Mohammedia, Laboratoire : Dynamique des espaces et des sociétés, Maroc.
drissdoghmi@yahoo.fr

RESUME : Le littoral de Souira Qdima présente une morphologie caractéristique de plage de baie. Ce secteur est alimenté en sables principalement par l'oued Tensift. Dans cet article, nous précisons les dynamiques sédimentaires au moyen d'une analyse diachronique des variations de la position du rivage en 1954, 1983 et 2012 via le logiciel DSAS (Digital Shoreline Analysis System). L'aménagement de la corniche sur la dune bordière, la construction du port, la présence d'un épi artificiel, l'orientation de la plage par rapport à la houle dominante NW, l'aménagement des barrages à l'amont sont des facteurs déterminants de la morphologie actuelle de cette plage. En effet, c'est un littoral qui cherche un nouvel état d'équilibre en réadaptant la position de son rivage. Ce littoral est un bon exemple des équilibres fragiles d'une zone littorale où l'on cherche à développer des activités touristiques.

Mots-clés : Dynamique sédimentaire, analyse diachronique, logiciel DSAS, littoral de Souira Qdima

DIARRONIC ANALYSIS OF THE COASTLINE OF SOUITRA COAST QDIMA: APPLICATION OF DSAS SOFTWARE

ABSTRACT: The coastline of Souira Qdima has a characteristic morphology of bay beach. This sector is fed with sand mainly by the Tensift wadi. In this paper, we describe sedimentary dynamics using a diachronic analysis of shoreline shifts in 1954, 1983 and 2012 using the DSAS software (Digital Shoreline Analysis System). The development of the cornice on the dune edge, the construction of the port, the presence of an artificial spike, the orientation of the beach compared to the dominant swell NW, the development of dams upstream are factors determinants of the current morphology of this range. Indeed, it is a coastline that seeks a new state of equilibrium by rehabilitating the position of its shoreline. This coastline is a good example of the fragile equilibrium of a littoral zone where one seeks to develop tourist activities.

Keywords: Sedimentary dynamics, diachronic analysis, DSAS software, Souira Qdima coastline

INTRODUCTION

L'érosion est un processus naturel qui se produit sous l'effet des houles, des vents, et des mouvements des marées. Elle a toujours existé et a façonné les rivages tout au long de l'histoire, mais il est maintenant évident que son ampleur actuelle est loin d'être naturelle (Eurosion, 2004). L'urbanisation anarchique aux environnements côtiers, à son tour, accentue les phénomènes érosifs sur les littoraux (Durand, 2004).

Toutefois, l'évolution de la morphologie des plages est régie par un nombre de facteurs, naturels et / ou anthropiques. Ils interviennent à des échelles temporelles et spatiales diverses. D'après

Fenster et al (1993), dans beaucoup de régions côtières, la détermination du mouvement du trait de côte du passé et du futur dépend de la qualité et de la quantité des données disponibles. La nature synergique des processus océanographiques séculaires, cycliques, et périodiques produisent des réponses au niveau du trait de côte. C'est ainsi que les échelles spatio-temporelles impliquées dans la morphodynamique des plages sont comme un emboîtement de sous-systèmes (Desmazes F., 2005).

1. Description de la zone d'étude

La zone littorale de Souira Qdima est située à une trentaine de kilomètres au Sud de la ville de Safi entre les latitudes $32^{\circ}03'15''$ N – $32^{\circ}02'25''$ N et les longitudes $9^{\circ}20'W$ - $9^{\circ}25' W$. Située au Nord et au Sud de l'embouchure de l'oued Tensift, le littoral de Souira Qdima présente un alignement de direction NNE-SSW avec une forme concave vers l'océan. A marée basse, la plage est presque isolée du large par des affleurements rocheux qui sont très développés. Ces derniers avec une digue rocheuse située vers l'extrémité Sud, ne laissent qu'un seul exutoire de quelques dizaines de mètres qui fait le contact entre la plage et le large.

Les plages sableuses de Souira Qdima peuvent être réparties en trois domaines selon la configuration morphologique de leurs unités et les interventions humaines dans la zone (Fig 1).

- Un compartiment nord, entre le port et Jorf Ghraba, correspond à un ensemble morpho-sédimentaire d'une longueur de 1,6km avec un cordon dunaire rendu plus stable par la présence d'une grande forêt (Acacia et Eucalyptus). A la côte, il est adossé par un estran rocheux et une haute plage étroite de 10 à 15 m.



- Un compartiment central, qui correspond à la zone comprise entre le port et l'embouchure de l'oued Tensift. C'est la zone la plus aménagée par des interventions humaines multiples (port, pêche, tourisme, installations de protection, etc.) et c'est pour cette

raison que nous avons choisis de faire un suivi topographique au niveau de ce compartiment central.

La baie de Souira Qdima est une petite plage de quelques 1300 m de long avec une largeur moyenne mesurée au cours de la basse marée des vives eaux de 110m. Cette dernière se répartit en trois domaines morphologiques différents (Photos 1et 2) :

❖ Un cordon dunaire entièrement mis à niveau au détriment des aménagements touristiques qui sont de plus en plus développés dans la région. Le point culminant peut atteindre une hauteur de 6m.

❖ Un haut de plage étroit très rétrécit entre le port et l'épi (5 à 10 m de largeur), et se développe entre l'épi et l'embouchure pour atteindre une largeur moyenne de 25 m, caractérisé par une pente moyenne de l'ordre de 4°. La limite avec le cordon dunaire ne présente pas de rupture de pente.

❖ Un estran de largeur moyenne de 58 m par rapport à la basse marée des vives eaux, caractérisé par une pente généralement moyenne de l'ordre de 7°.

Photos 1 & 2 : Illustration des différentes



composantes de la baie de Souira Qdima (Clichés D.Doghmi le 15/3/2016)

- Un compartiment sud, au sud de l'embouchure de l'oued Tensift, s'étend sur une distance de 1,5 km, caractérisé par un cordon dunaire limité à l'Est par la forêt de Harbala (Fig 1). Vers la côte, il présente un haut de plage de 20 à 25m à marée basse et un estran sableux parfois rocheux avec une pente de 5 à 6°.

2. MATERIEL ET METHODES

La dynamique de rivage à long terme se produit à une très grande échelle de temps tels que des décennies ou des siècles. Des études des variations à long terme sont mieux appropriées à la planification et à la gestion côtière à grande échelle, puisque leur but est d'identifier les tendances importantes pour de vastes zones (Arias, 2003). La carte topographique et des photos aériennes issues de différentes missions à différentes dates sont employées pour identifier l'évolution de la ligne de rivage. Cette technique

nous permet d'avoir des informations qualitatives sur la tendance générale de l'avancement ou le retrait du trait de côte en

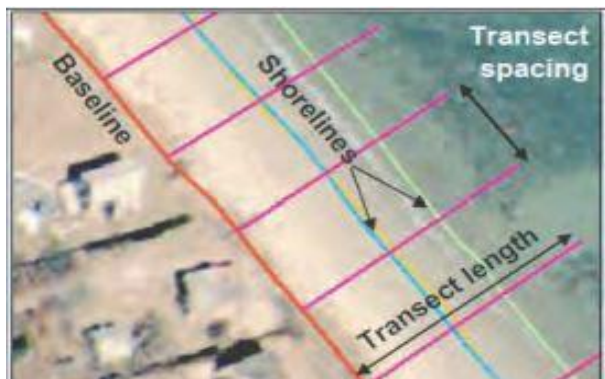


Figure 2: Le Concept DSAS, d'après User Guide & Tutorial for the Extension for ArcGIS v9.0 (Source : Thieler et al, 2005)

fonction du temps, et les taux quantitatifs d'érosion ou d'accrétion. Pour quantifier les changements de position du trait de côte, nous préconisons l'utilisation de l'extension *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) conçue par Thieler et Danforth (1994), plugin gratuit pour le programme hôte Arc View de la société ESRI. L'emploi de ce plugin nécessite une ligne de référence fictive (Baseline), une longueur pour les transects ainsi qu'un pas de mesure et de disposer de traits de côte projetés dans le même système géographique. Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transect. L'espacement entre les transects dans cette étude est de 50 m, et leur analyse automatique permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes. Les tables attributaires statistiques obtenues renferment un certain nombre de paramètres à retenir :

L'End Point Rate (EPR) est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre deux dates à comparer (exprimé en mètres/an).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La tendance marquant l'évolution du trait de côte pour l'ensemble de la période étudiée (1954-2012), représentée dans la figure 3 montre une alternance de phase d'érosion et d'accrétion selon sept sous-secteurs du Nord au Sud.

Le secteur Nord, compris entre Jorf Ghraba et le petit port de pêche, est caractérisé par quatre sous-secteurs dont l'évolution du trait de cote vers l'érosion avec un taux de 67,5%, et 32,5% vers la progradation. Le sous-secteur 1 (T₁ à T₂₇), sur une distance de 1,3 Km, a été marqué par une érosion de (-26,76m), soit un recul d'un taux moyen annuel de (-0,46m). Tandis que le sous-secteur 2 (T₂₇ à T₃₄), sur une distance très limitée 0,35 Km, a été marqué par une accrétion de 16,6 m, soit une avancée d'un taux moyen annuel de (+0,3m). Le sous-secteur 3 (T₃₄ à T₅₄), sur une distance de 1,35 Km, a été marqué par une érosion d'une valeur moyenne de (-23,48m), soit un recul d'un taux moyen annuel de (-0,4m). Entre le fort portugais et la limite sud du port, le sous-secteur 4 (T₅₄ à T₅₉), sur une distance très limitée (0,3 Km), a été marqué par une accrétion d'une valeur moyenne de 42,5 m, soit un taux moyen annuel d'avancée de 0,73 m.

Le secteur central, entre le port de pêche et l'embouchure de l'Oued Tensift, sur une distance de 1,7 Km, a enregistré un maximum des valeurs de recul du trait de cote de Souira Qdima (-66,41m, soit un taux d'érosion moyen annuel de (-1,15m). Ce segment est caractérisé par une évolution de l'érosion, qui augmente du Nord au sud, dont les valeurs les plus importantes se trouvent entre l'épi et l'embouchure.

Le secteur Sud, au sud de l'embouchure de l'Oued Tensift, est caractérisé par une phase de progradation (28,3%) et une phase de recul (71,7%) respectivement selon les deux sous-secteurs 6 et 7. Le sous-secteur 6 (T₉₃ à T₁₁₉) a été marqué d'abord par une accrétion de la flèche sableuse d'une valeur moyenne de 139,6 m, soit un taux moyen annuel de (+2,4m). Le sous-secteur 7 (T₁₁₉ à T₁₈₅), sur une distance de 3,3 Km, a été marqué par une érosion d'une valeur moyenne de (-57,65m), soit un taux moyen de recul annuel de (-1m).

En termes de bilan de l'évolution du trait de cote durant la période 1954-2012, le trait de côte des plages de Souira Qdima a été marqué par des périodes de progradation très limitées dans l'espace et avec un taux de (20,5%), et des périodes d'érosion très étendues dans l'espace, avec un taux de (79,5%). Le secteur Nord a évolué vers un recul d'un taux moyen de (-0,17 m/an). Le secteur central a évolué aussi vers une érosion d'un taux moyen de (-1,15m/an). De même, le secteur Sud est caractérisé par un recul d'un taux moyen de (-0,03m/an).

La comparaison des traits de côte de 1954, 1983 et de 2012 témoigne d'une érosion du littoral de Souira Qdima intervenue de façon progressive par l'installation d'infrastructures et des aménagements effectués sur la dune bordière. L'évolution du trait de côte durant cette période s'expliquerait principalement par des causes naturelles en absence de toute infrastructure ou aménagement susceptible de perturber la dynamique du rivage à l'exception de l'épi transversal installé au niveau de la baie En effet, en 1954 la côte apparaît vierge de toute occupation humaine.

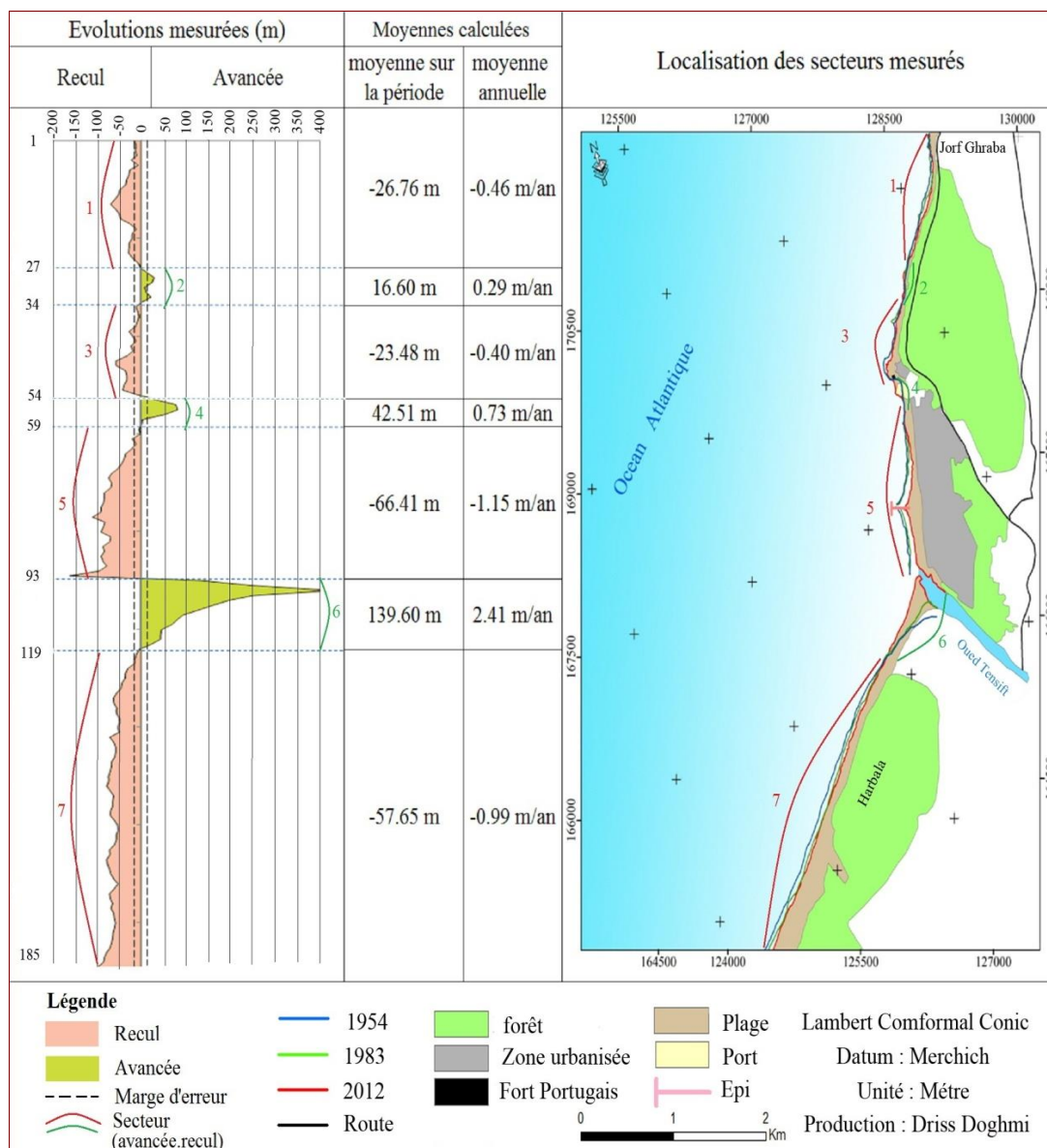


Figure 3 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate du trait de côte du littoral de Souira Qdima entre 1954 et 2012

Durant cette période, les secteurs au nord de l'épi (secteurs nord et centre) présentaient un recul moyen qui oscille entre (- 0,2 et -0,35 m/an) sous l'effet majeur des houles incidentes. Ces valeurs d'érosion modérée expliquent la fonction qu'a assurée la dune bordière qui existait auparavant au niveau de la baie de Souira Qdima. Tandis que le secteur sud, au sud de l'épi qui existait à cette époque, a privé des transits longitudinaux des sédiments. En effet, ce secteur a enregistré la plus grande valeur d'érosion (-0,7 m/an). Dans le cadre d'une convention maroco-japonaise, l'achèvement des travaux d'aménagement du port de pêche a eu lieu en 2000, réalisé avec l'appui de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (AJCI). Le port dispose d'une jetée principale d'une longueur de 360 m, qui a certainement influencé le transit sédimentaire de la dérive littorale N-S d'une part, et d'autre part la diffraction des houles NW vers le sud du port. Cette situation a provoqué un dysfonctionnement de l'équilibre sédimentaire. En effet, il y a toujours des accumulations sableuses au niveau du port et dans la portion comprise entre le port et le fort portugais. Ces accumulations font l'objet d'un dragage permanent par la commune tutelle. Ces prélèvements vont certainement influencer le bilan sédimentaire de la zone littorale de Souira Qdima, et par conséquent le conditionnement du phénomène d'érosion dans les secteurs centre et Sud. Cette situation sera amplifiée davantage par le phénomène d'ensablement de la corniche aménagée sur la dune bordière. Durant cette période, le secteur centre a enregistré la plus grande valeur de recul (-1,77 m/an) au niveau du littoral de Souira Qdima. Cette situation résulte bien sur des aménagements réalisés au niveau du site. Les quantités de sables sont perdues, soit par dragage du petit port de pêche et des accumulations au nord de la digue, soit au niveau de la corniche par déflation éolienne. De plus, l'épi transversal constitue un obstacle vis-à-vis du secteur centre de s'approvisionner des sédiments issus de l'Oued Tensift lors des crues. Ainsi, le budget sédimentaire reste déficitaire à ce secteur. Ce constat explique la fragilité du secteur centre à tout événement exceptionnel de tempête.

CONCLUSION

L'étude diachronique du trait de côte, au niveau de Souira Qdima, révèle une évolution généralement linéaire. Les variations de la position du trait de côte à l'échelle mi-séculaire (entre 1954-2012) témoignent d'une tendance érosive du littoral suite aux projets d'aménagements implantés dans la région : Installation des Ports, aménagement des corniches sur la dune bordière, projets touristiques, extension du bâti, aménagement des barrages dans les bassins-versants et des jetées portuaires et leur impact sur le transit sédimentaire, et extraction abusive des sédiments.

Références bibliographiques

- ARIAS, C.A., (2003) – Spatio-temporal analysis of Texas shoreline changes using GIS technique. Thesis Texas A & M University. 106p.
- DESMAZES F., (2005) – Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la cote aquitaine. Exemple de la plage de turc vert. Thèse de doctorat d'état, université Bordeaux I, 292 p.
- DURAND, P., (2004) – L'évolution des plages de l'Ouest du golf du Lyon au XX^{ème} siècle- Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle, Thèse de doctorat de l'université de Lyon, 321 p.
- EUROSION., (2004)- Espaces et sédiments pour un développement durable. Rapport conclusion de l'étude European Communities, ISBN 92-894-7496-3. P. 38.
- FENSTER, M.S., DOLAN, R. and ELDER, J.F. (1993) – A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9 (1), 147-171.
- THIELER, E.R & DANFORTH, W.W (1994)- Historical shoreline mapping : Application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMA/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, 10: 600-620.

VULNÉRABILITÉ DU LITTORAL DE SAIDIA – NADOR ET ENJEUX EXPOSÉS (MAROC NORD-EST)

SBAI Abdelkader, MOUADILI Omar, BAHKAN Mimoun, HLAL Mohamed, BOUABDALLAH Mostafa & BENATA Mohamed (Université Mohamed Ier, Oujda) - Université Mohamed I^{er},
Laboratoire de Géomatique, Patrimoine et Développement,
60000, Oujda, Maroc. *Sbaiabdelkader59@gmail.com*

RESUME: Le littoral nord-est du Maroc est l'une des régions de la côte méditerranéenne du Maroc les plus vulnérables à une montée probable du niveau de la mer. L'analyse des zones d'inondation potentielle et les estimations de la vulnérabilité sont basées sur une approche empirique à partir des évaluations faites par l'IPCC sur l'élévation du niveau de la mer et les scénarios extrêmes de la marée astronomique. Les résultats indiquent que pour une montée de 1 m du niveau de la mer (scénario optimiste), une partie du cordon dunaire de la lagune de Nador (30%) et de la plaine littorale de Saidia (11%) serait submergée. Dans un scénario de remontée du niveau de la mer critique (3 m), ce chiffre monte à 65% à Marchica et à 56% à Saidia et peut entraîner des conséquences catastrophiques. L'analyse de la côte entière indique que toutes les constructions urbaines situées en dessous d'une altitude de 3m seraient affectées sévèrement par les changements dans le niveau de la mer. Actuellement, la plaine littorale de Saidia – Cap de l'Eau et tout le cordon dunaire de la Marchica sont considérés comme région à haute vulnérabilité. Vu les pertes sévères prédites par les scénarios simulés, les stratégies de la réponse qui identifient les options de l'adaptation les plus appropriées doivent être développées.

Mots-clés : Elévation du niveau de la mer, Risque d'inondation, montée du niveau de la mer, Maroc nord-est.

VULNERABILITY OF THE COAST OF SAIDIA - NADOR AND EXPOSED ISSUES (MOROCCO NORTHEAST).

Abstract: The northeastern coast of Morocco is one of the most vulnerable parts of the Mediterranean coast of Morocco to a probable rise in sea level. Analysis of potential flood zones and vulnerability estimates are based on an empirical approach based on IPCC assessments of sea-level rise and the extreme scenarios of the astronomical tide. The results indicate that for a rise of 1 m sea level (optimistic scenario), part of the sand dune of the Nador lagoon (30%) and the Saidia littoral plain (11%) would be submerged. In a critical sea level rise scenario (3m), this figure rises to 65% in Marchica and 56% in Saidia and can lead to catastrophic consequences. The entire coastline analysis indicates that all urban constructions below 3m would be severely affected by changes in sea level. Currently, the coastal plain of Saidia – Cap de l'Eau and all the Marchica sand dunes are considered to be high vulnerability areas. Given the severe losses predicted by the simulated scenarios, response strategies that identify the most appropriate adaptation options need to be developed.

Keywords: Sea level rise, risk of flooding, sea level rise, northeastern Morocco.

Introduction

Le dernier rapport du Groupe Intergouvernemental sur le Changement Climatique conclut que le climat de la planète connaît indubitablement un réchauffement rapide dû partiellement aux activités humaines (IPCC, 2007, 2018, Tiamaz, A. 2018). D'après ce rapport, les scénarios de l'élévation du niveau de la mer sont de grande inquiétude. L'accélération du taux de l'élévation du niveau de la mer rend non seulement la possibilité d'impacts plus

intenses, mais pourrait aussi provoquer une disparition complète des plages sableuses et des marécages. Au Maroc, les tendances de l'élévation du niveau de la mer varient d'un secteur à l'autre. Warrick et al. (1996) avancent des valeurs à caractère global de 4,9 à 8,6 mm/an. L'objectif de cette étude est d'évaluer la vulnérabilité de la Marchica face à la submersion simulée à partir des scénarios possibles. Après avoir identifié les enjeux liés à l'élévation du niveau de la mer, nous avons dressé une cartographie prévisionnelle des risques de submersion et analysé les moyens de gestion des risques côtiers encore insuffisants.

I. Présentation de la zone d'étude

Le littoral de Saïdia – Marchica fait partie du littoral méditerranéen oriental du Maroc (Fig.1) et s'étend sur 80 km. Il combine des topographies basses, une urbanisation intense et un intérêt écologique et économique important (Melhaoui et Sbai, 2008). En outre, il présente plusieurs conflits d'usage des ressources côtières qui sont une des raisons de devenir une des premières régions au Maroc pour faire l'objet de création d'une cellule du littoral à Nador et d'études intégrées sur les problèmes d'érosion côtière, et de gestion intégrée avec la collaboration de plusieurs sphères des pouvoirs publics (Sbai et Bouazza, 2002 ; MedWetCoast, 2005 ; Sbai et Melhaoui, 2009 ; Sbai et al., 2011).

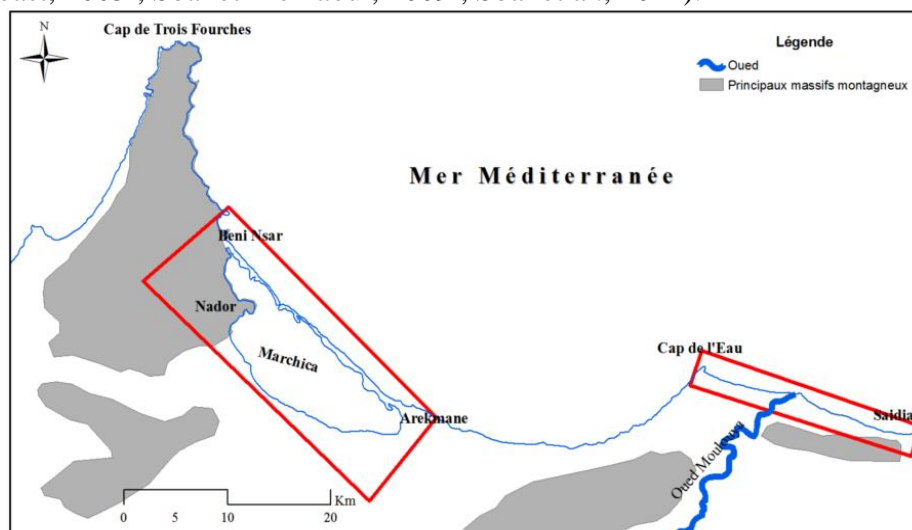


Figure 1. Localisation de la zone d'étude sur le littoral méditerranéen du Maroc

La région concentre de fortes densités de population. Les villes de Nador, Bni Nsar et Arekmane totalisent 223695 habitants. Saïdia et Cap de l'Eau enregistrent 16360 habitants. Cette littoralisation s'est accentuée depuis les années 90.

La ville de Saïdia était un lieu de tourisme national. Depuis 2001, son statut a été renforcé par l'adoption du plan Azur qui prévoyait, à l'échelle du Maroc, la création de six stations touristiques: Saïdia, Mogador, Lixus, Mazagan, Taghazout et Plage-Blanche.

La Nouvelle Station Touristique de Saïdia (NSTS) s'étend sur une superficie de 713 ha. Elle comporte une marina, des hôtels de hauts standings, des villas, des appartements, des résidences touristiques, des villages touristiques, trois parcours de golf avec 18 trous chacun, un aquapark, un centre de thalassothérapie, un palais des congrès, une clinique et des équipements sportifs.

Au niveau de la Marchica, depuis 2009, sept grands projets ont été lancés: la Cité d'Atalayoun, la Cité des Deux Mers, la ville nouvelle de Nador, la Baie des Flamants, Marchica sport, les Vergers de Marchica et le village des pêcheurs. A ce titre, il est prévu la réalisation de golfs, d'espaces dédiés aux sports nautiques et équestres, d'unités hôtelières, de zones résidentielles et de ports de pêche et de plaisance.

Tous ces projets généreront environ 80.000 emplois, dont 15.000 durant les phases de réalisation et 65.000 à leur entrée en activité. Sans oublier les investissements indirects projetés pour les années à venir, estimés à quelque 17,58 milliards de DH.

Ces zones côtières sont des espaces soumis aux éléments naturels: marées, houles et surcôtes de tempête, mouvements sédimentaires et verticaux... mais aussi des espaces très convoités soumis aux pressions anthropiques. Surviennent alors les catastrophes naturelles! Les processus déterminant les aléas « érosion et submersion » sont les mouvements relatifs du niveau marin par rapport au littoral et les vents et vagues de tempêtes.

II. Matériel et Méthodes

L'approche empirique utilisée pour déterminer les niveaux d'inondation dans les régions côtière et d'estuaire est basée sur la formule de Hoozemans et al. (1993).

$D_{ft} = MHW + S_t + W_f + P_f$

Avec:

MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;

S_t : Elévation relative du niveau marin ;

W_f : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;

P_f : Elévation du niveau marin sous l'effet d'une baisse de pression.

Au niveau mondial, l'augmentation moyenne en 2100, suivant les scénarios est de 0.18 à 0.59 m (GIEC, 2007), 0.8 à 2 m (estimations 2008, 2009), et 7.7 à 8.9m (GIEC, 2018). Le plus probable est de 1 m

La méthode utilisée ne tient pas compte de la subsidence et des mouvements tectoniques, alors que le littoral étudié appartient à une marge active.

Les données de l'élévation ont été extraites de la restitution aérienne de 2007. Un modèle numérique d'élévation (DEM) a été produit de l'interpolation des données de l'élévation par réseau triangulaire irrégulier (TIN), et une base de données de points de contrôle au sol a été mesurée par GPS Leica 1200). La résolution horizontale du DEM est de quelques centimètres; l'exactitude verticale est de 0.4 m. Ces données ont été intégrées dans un SIG (ArcGIS 9.1) pour classer et dresser une carte de la typologie des terres menacées par les inondations potentielles. Les photographies aériennes ont été rectifiées et traitées pour numériser les lignes du niveau d'inondation.

III. Résultats et discussions

Au niveau de la plaine littorale de Saidia – Cap de l'Eau, les types d'utilisation du sol et les régions susceptibles d'être affectées par la submersion marine sont représentés dans les figures 2, 3 et 4 (Sbai et Lasgaa, 2012).

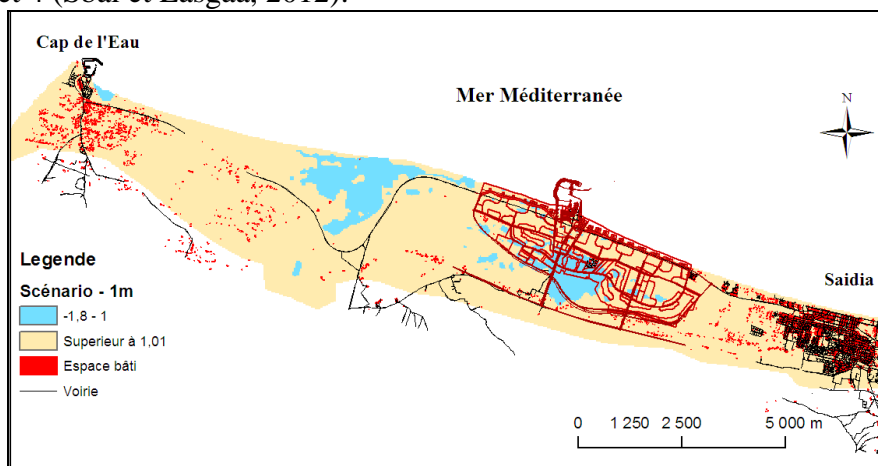


Figure 2. Zone à risque de submersion : scénario minimum de 1 m

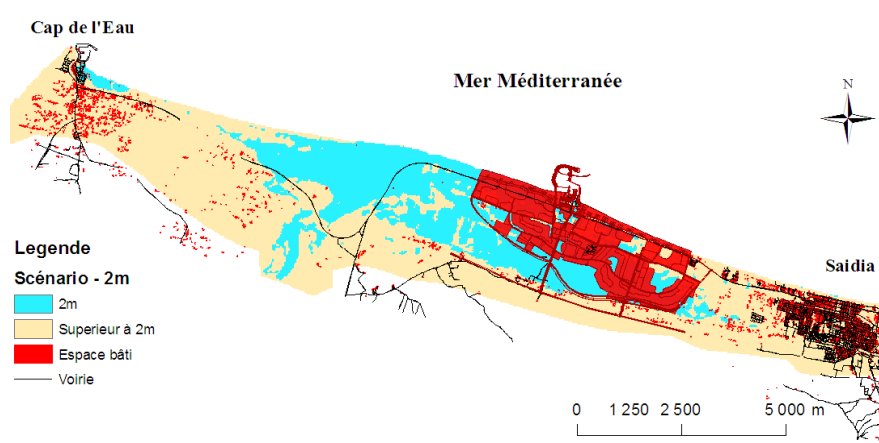


Figure 3. Zone à risque de submersion : scénario minimum de 2 m

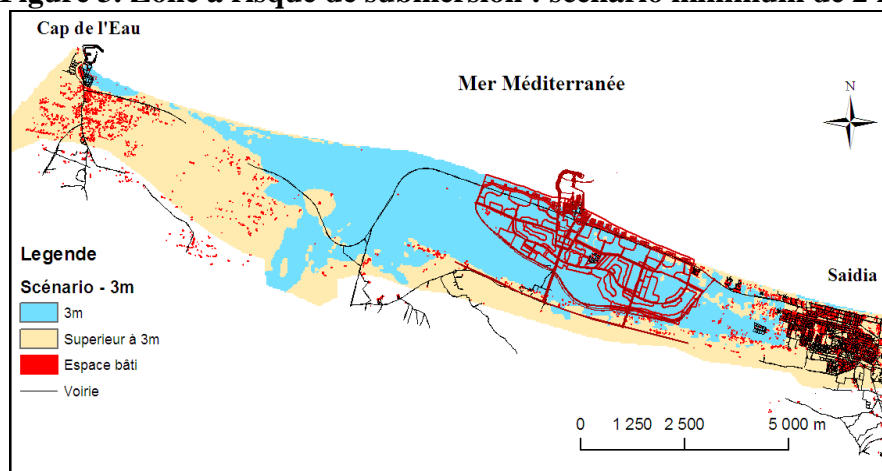


Figure 4. Zone à risque de submersion : scénario minimum de 3 m

Parmi les régions vulnérables du SIBE de la Moulouya, les marais attirent l'attention depuis qu'ils sont classés site de grande importance écologique.

Pour la station touristique Saidaia Méditerranée, dans un scénario optimiste, les régions relativement primitives souffriraient du plus grand impact. En revanche, les régions avec bâtiments monteraient à 90% des zones affectées dans un scénario critique.

À Saidaia, la grande région avec bâtiments de moins de trois niveaux est très vulnérable à une augmentation du niveau de la mer. D'une perspective historique, nous mettons en valeur l'inondation potentielle de l'ancienne ville et de tout l'espace interdunaire. Ce patrimoine est vulnérable dans les deux scénarios.

Quant aux zones côtières mises en danger par les inondations à Ras El Ma, ce sont principalement les constructions basses qui se trouvent dans les zones à risque (Port de pêche et ancien centre).

Avec les scénarios du GIEC: +2°C, +4.7 pour le niveau de la mer et +4°C, 8.9 pour le niveau de la mer (octobre, 2018), toute la section Saidaia - Ras El Ma sera engloutie par les eaux de la mer Méditerranée. Oued Moulouya aggravera la situation dans la région et envahira à son tour toute la plaine littorale et la basse Moulouya.

Au niveau de la lagune de Marchica, le cordon dunaire est le site avec l'altitude la plus basse dans la zone d'étude (0-4 m). Dans ce secteur, on peut observer que partout la côte entière est sujette à inondation, sauf une portion de la dune légèrement sauvegardée (Mouhandis). Les changements les plus importants des différents scénarios apparaissent dans la partie nord-ouest de la flèche littorale et au niveau d'Arekmane. Les régions susceptibles d'être affectées par la submersion marine sont représentées dans les figures 5, 6 et 7 (Sbai et al., 2014).

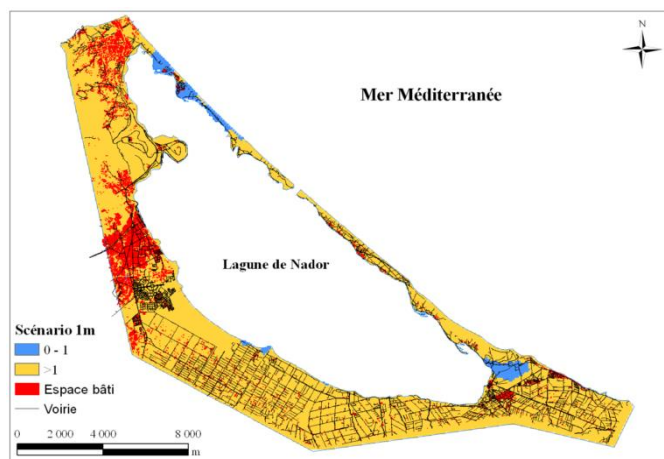


Figure 5. Zone à risque de submersion : scénario de 1 m

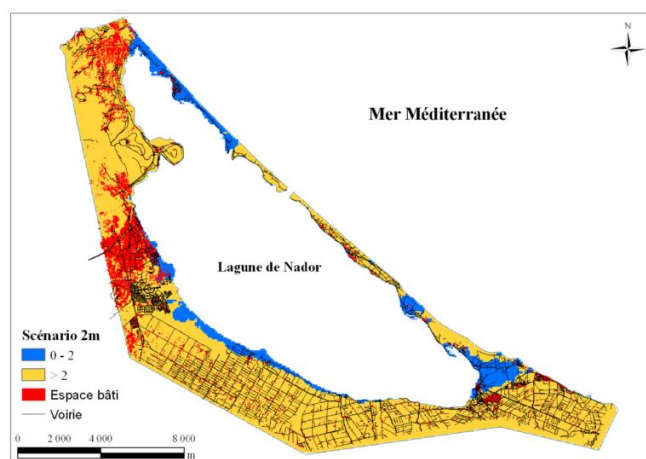


Figure 6. Zone à risque de submersion : scénario de 2 m

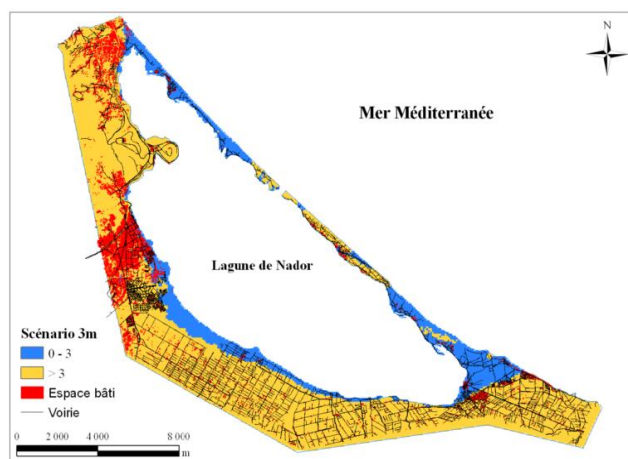


Figure 7. Zone à risque de submersion : scénario de 3 m

L'analyse a été limitée aux abords de la Marchica qui sont plus affectés par une élévation du niveau de la mer. Pour cette raison, il est clair que les chiffres et les discussions présentés sont sous-estimés et que les zones d'inondation potentielle dans la région étudiée sont plus grandes du fait du

développement socio-économique futur et de l'évolution morphodynamique actuelle. Quant à l'impact sur l'environnement, des pertes écologiques importantes peuvent se produire. Dans la perspective de l'élévation future du niveau marin, une grande partie des marécages subirait les conséquences d'une submersion par les eaux libres et/ou d'un engorgement par les eaux phréatiques à salinité accentuée.

Sur le cordon dunaire (trois projets programmés: la Baie des Flamants, la Cité des Deux Mers et le village des pêcheurs), la perte de plages et les dommages seront importants. Il n'y a actuellement aucune construction de défense côtière placée le long du rivage.

Pour la ville d'Arekmane, parmi les régions sujettes à inondation dans les deux scénarios, l'attention est attirée au nord-est qui représente une zone très basse.

L'intensification du processus érosif est notable, ce qui expose les constructions basses aux processus morphodynamiques. Ce rivage présente un haut degré de verticalisation, à une telle ampleur que la perte de plage, ou le danger par érosion, impliquerait de grandes pertes économiques et une désorganisation sociale.

La mise en œuvre de politiques publiques pour la protection des zones côtières et d'inondation est suggérée dans deux optiques: (1) expansion et consolidation de connaissance scientifique du phénomène de submersion marine, et (2) gestion et établissement de mesures adaptatives pour minimiser son impact.

IV. Moyens actuels de gestion des risques côtiers encore insuffisants

L'appréciation de la vulnérabilité des territoires prend en compte:

- les aléas: érosion, submersion marine, crue, élévation du niveau des lagunes, remontée des nappes phréatiques...
- les enjeux: enjeux économiques (Mediterranea-Saidia, baie des flamants, village des pêcheurs, cité des deux mers...), enjeux liés à l'environnement (SIBE de la Moulouya, Marchica)...

Elle permet d'identifier les secteurs sur le littoral particulièrement vulnérables, de structurer les orientations de gestion et de prioriser les interventions futures. Les moyens actuels de gestion des risques côtiers sont encore insuffisants:

- A l'échelle globale et nationale, une doctrine générale assez claire.
- Des textes juridiques et des outils bien développés (Loi n° 81-12 relative au littoral: 16 juillet 2015), mais de nombreuses difficultés d'application sur le terrain...

Pour progresser dans la connaissance et la gestion des risques littoraux, il faut prendre en compte la vulnérabilité globale: approche multidimensionnelle des risques côtiers (temporelle et spatiale) au travers de leurs quatre composantes :

- **Aléas:** phénomènes naturels et/ou anthropiques (processus d'érosion et submersion, prédisposition des sites, événements actuels et passés.
- **Enjeux:** personnes et biens exposés aux aléas.
- **Gestion:** politiques et outils de prévention, mesures de protection et de réparation.
- **Perception:** représentations, vision des habitants usagers, élus, gestionnaires (conscience du risque, attachement au territoire, capacité d'adaptation).

Conclusion

Le littoral de Saidia - Arekmane se présente comme une région très vulnérable à une élévation du niveau de la mer à cause de ses caractéristiques topographiques et socio-économiques. La submersion marine aura probablement des impacts sur les plaines littorales et les dunes basses tant sur les plans économiques qu'environnementaux et morphologiques. Le plus important est la base de la connaissance et le meilleur est la prédiction des impacts qui résultent du changement climatique. Il faudra donc réaliser des plans de prévention des

risques. Une fois les zones les plus vulnérables définies, les décideurs pourront ainsi établir les stratégies possibles et les priorités à mener pour minimiser les impacts potentiels de la montée du niveau de la mer et gérer au mieux le site à long terme.

Références bibliographiques

- HOOZEMANS F.M.J., STIVE M.J.F., BIJLSMA L. (1993) - A global vulnerability assessment: vulnerability of coastal areas to sea-level rise. 8th Symposium on Coastal and Ocean Management - Coastal Zone'93, 8, New Orleans, pp 390-404.
- IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change- (2007) - The Physical Science Basis. Accessible at: <http://www.ipcc.un.org>.
- Med Wet Coast (2003) - Med-Wet-Coest Maroc. Phase diagnostic : rapport de synthèse: site lagune de Nador, Rapp. Inédit, 102p.
- Med Wet Coast (2005) - (<http://www.medwet-coast.com>).
- MELHAOUI M. et SBAI A. (2008) - Expertise nationale en socio économie et développement local appliquée à la gestion intégrée des zones côtières: Cas de la zone Saïdia - Moulouya - Cap de l'eau. Rapport intermédiaire au Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement. Département de l'Environnement. Juin 2008. 204 p.
- SBAI A et LASGAA H (2012) - Vulnérabilité et impacts des risques associés à l'élévation du niveau de la mer dans la plaine littorale de Saïdia – Cap de l'Eau (Maroc nord-est). XI^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil Les Sables d'Olonne, 22-25 juin 2010. DOI:10.5150/jngcgc.2010.070-M©Editions Paralia CFL.<http://www.paralia.fr>–available online.
- SBAI A, BENATA M, LASGAA H, SAIDI A et BENRBIA K (2011) - Etude de l'érosion des côtes meubles du Maroc Nord-Est. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. EDITION 2, TANGER, MAROC (2011). Coastal and Maritime Mediterranean Conference. Disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – Available online.
- SBAI A, LASGAA H, BAHKAN M, OUKADA M et MOUADILI O (2014) - Vulnérabilité et impacts des risques associés à l'élévation du niveau de la mer sur la Marchica (Maroc nord-est). 2^{ème} Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 2nd International conference of GIS User. Meknès 20-21 novembre 2014. P 183-187.
- SBAI A., BOUAZZA A. (2002) - Evolution géomorphologique et dynamique récente de la plaine littorale de Saïdia (Maroc Nord-est). In : Le littoral méditerranéen oriental: Diagnostic et choix de développement et d'aménagement. Colloque national, 13-14 février 2002, Oujda, pp 3-30.
- SBAI A., MELHAOUI M. (2009) - Etude socioéconomique de la zone côtière Saïdia – Ras El Ma (MAROC) pour une gestion intégrée. Atelier international sur la gestion intégrée des zones côtières. Izmir-TURKEY, 20-22 October 2009.
- TIAMAZ A (2018) - Réchauffement climatique: les villes marocaines qui risquent de disparaître d'ici 2100. <https://www.medias24.com/MAROC/Environnement/186421-Rechauffement-climatique-voici-les-villes-marocaines-menacees-par-la-hausse-du-niveau-de-la-mer.html>
- WARRICK R.A, LE PROVOST C, MEIER M.F, OERLEMANS J, WOODWORTH P.L (1996) - *Changes in sea level*. In HOUGHTON J.T et al. (Eds). Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge (1996), pp 365–406.

IMPACTS DES FACTEURS NATURELS ET ANTHROPIQUES SUR L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE DU LITTORAL DE SAÏDIA ENTRE 2006 ET 2016

BENATA Mohamed, SBAI Abdelkader, BENRBIA Khadija & MOUADILI Omar
Université Mohamed premier, Faculté des lettres et Sciences humaines, Oujda

Résumé: Cette communication donne un aperçu sur les actions qui ont été entreprises ou les aménagements nouveaux qui ont été réalisés ces derniers temps sur le littoral de Saïdia tel que la digue de protection et d'extension du port qui a été construite pendant un laps de temps très court de treize mois entre 2008 et 2009 et l'aménagement de la corniche aussi bien au niveau de la station balnéaire de Saïdia que de la ville de Saïdia. Nous avons suivi l'évolution de ce littoral en deux phases, la première de 2006 à 2009 et la seconde de 2009 à 2016 en essayant de mettre en exergue les facteurs naturels ou anthropiques qui ont provoqué ces variations. Pour cela, nous avons utilisé les photos aériennes de 2006 et l'image satellitale de 2009. Nous avons utilisé également les images satellitales récentes de Google Map. Leur exploitation a été faite dans le cadre d'un SIG grâce au logiciel ArcGis 9.3.

Mots-clés: Littoral, évolution, aménagement, impact, Saïdia, Maroc.

IMPACTS OF NATURAL AND ANTHROPIC FACTORS ON THE EVOLUTION OF THE COASTLINE OF THE COAST OF SAIDIA BETWEEN 2006 AND 2016

Abstract: This paper gives an overview of the actions that have been undertaken or new developments that have been made recently on the Saïdia coastline such as the harbor protection and extension dyke that was built during a period of very short time of thirteen months between 2008 and 2009 and the development of the cornice both at the level of the seaside resort of Saidia and the city of Saidia. We followed the evolution of this coastline in two phases, the first from 2006 to 2009 and the second from 2009 to 2016 trying to highlight the natural or anthropogenic factors that caused these variations. For this, we used the 2006 aerial photos and the 2009 satellite image. We also used recent Google Map satellite imagery. Their exploitation was done within the framework of a GIS thanks to the software ArcGis 9.3.

Keywords: Coastline, evolution, development, impact, Saïdia, Morocco.

Introduction

Plusieurs facteurs naturels ou anthropiques peuvent intervenir et influencer la dynamique sédimentaire d'un littoral pour aboutir soit à un équilibre soit à un recul ou une progression du trait de côte de ce littoral.

L'évolution du trait de côte du littoral de Saïdia et de l'embouchure de la Moulouya a fait l'objet d'étude par plusieurs auteurs (Sbaï et Bouazza, 2002 ; Boumeaza, 2002 ; Irzi, 2002 ; Al Moubtahij et Sbaï, 2008 ; Bouabdallah, 2008 ; Salmon et al., 2010 ; Mouzouri, 2012 ; Lasgaa, 2015). Ces études ont été réalisées à l'aide des photos aériennes disponibles de plusieurs missions (1949, 1958, 1963, 1980, 1988, 1994, 2004 et 2006) et des images satellitales.

1. Evolution du trait de côte de 2006 à 2009

Bien que la période entre 2006 et 2009 n'est pas très longue et ne dépasse pas trois années, le littoral de Saïdia a connu des événements importants qui ont marqué son évolution dans certaines sections entre l'embouchure de la Moulouya et l'embouchure d'Oued Kiss. En effet, cette période a été marquée par la construction d'une nouvelle digue de la marina et des travaux de décapage des dunes bordières et de déplacement de grandes quantités de sable en dehors de la zone côtière au niveau de la plage municipale de Saïdia et au niveau de la NSTS.

En plus de ces actions anthropiques d'autres événements naturels ont eu lieu comme les crues importantes de la Moulouya qui ont eu lieu depuis le mois d'octobre 2008 au mois de mars 2009 qui se sont soldés par un apport très significatif de sédiments. En effet le débit annuel moyen de la Moulouya a atteint cette année 128,0 m³/s contre un débit moyen de 16.38 m³/s enregistré depuis 1970 à 2013 (Tabl. 1).

Tableau n° 1 : Comparaison du débit mensuel moyen de la Moulouya enregistré en 2008-2009 avec le débit moyen enregistré depuis 1970 à 2013 (Station Saf-Saf)

Mois	Débit mensuel moyen depuis 1970 à 2013 (m ³ /s)	Débit mensuel moyen de 2008/2009 (m ³ /s)
Octobre	25.5	984.7
Novembre	23.4	207.2
Décembre	13.8	117.36
Janvier	14.7	163.04
Février	21.5	211.22
Mars	23.5	217.3
Moy. période	20.4	316.8

(Source ABHM)

La masse d'eau importante qui a été déversée par la Moulouya sur le littoral a été accompagnée par une charge sédimentaire qui a engraisé la côte des deux rives de la Moulouya.

Pour vérifier cette thèse, nous avons comparé les traits de côte des années 2006 et 2009 en superposant la photo aérienne du 08 mars 2006 et l'image satellitale du 28 avril 2009. L'étude comparative de la ligne de côte et des 35 transects depuis l'embouchure de la Moulouya à celle d'Oued Kiss, montre une tendance générale du littoral à l'engraissement avec des zones à engraissement fort au niveau de l'embouchure de la Moulouya et de la marina. En revanche, malgré cet apport très important des sédiments nous pouvons constater un démaigrissement au niveau de la plage municipale et au voisinage de l'embouchure d'Oued Kiss. Ceci peut être lié au prélèvement des grandes quantités de sable lors de la mise à niveau de la plage municipale opérée par la Direction Régionale de l'Equipement, du Transport et de la Logistique de Berkane en cette période. Ce sable devait être stocké en un lieu sûr pour être utilisé éventuellement pour réalimenter la plage en cas de besoin selon la déclaration du responsable de cet établissement (Fig. 1; 2; 3; 4 et 5).

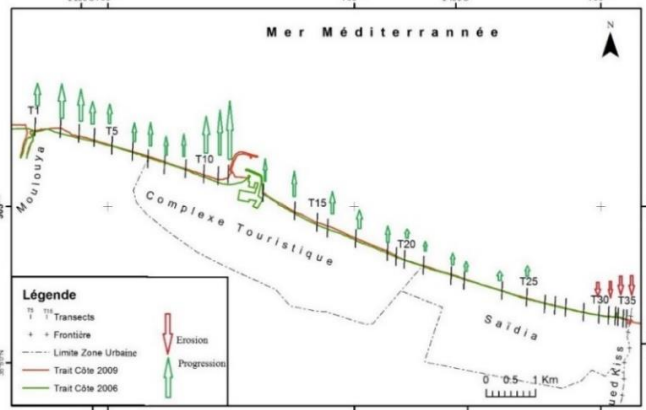


Fig.1: Dispositif des transects avec trait de côte de 2006 et 2009 (Benata, 2016)

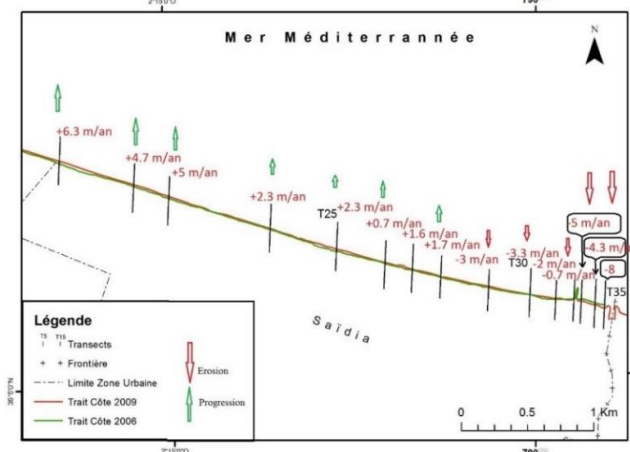


Fig.2: Taux de variation du trait de côte en m/an, entre Caracas et l'embouchure d'Oued Kiss entre les années 2006 et 2009 (Benata, 2016)

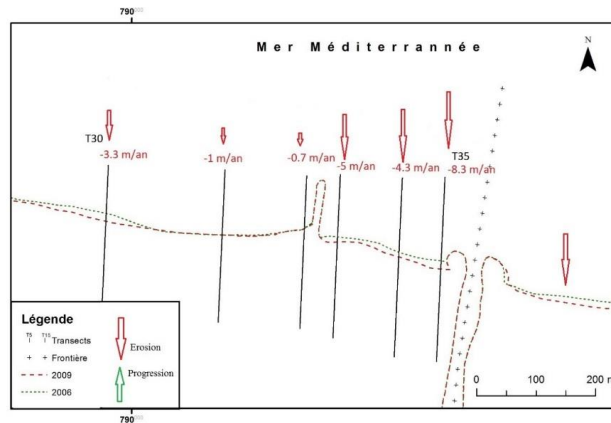


Fig.3 : Taux de variation du trait de côte en m/an, entre l'embouchure d'Oued Kiss et la plage municipale de Saïdia entre 2006 et 2009 (Benata, 2016)

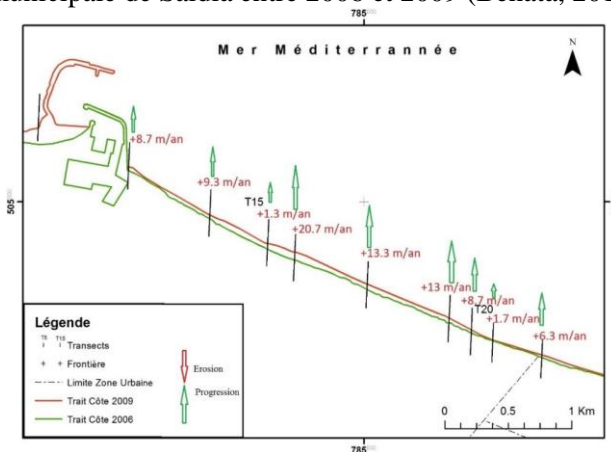


Fig.4 : Taux de variation du trait de côte en m/an entre la Marina et Caracas entre 2006 et 2009 (Benata, 2016)

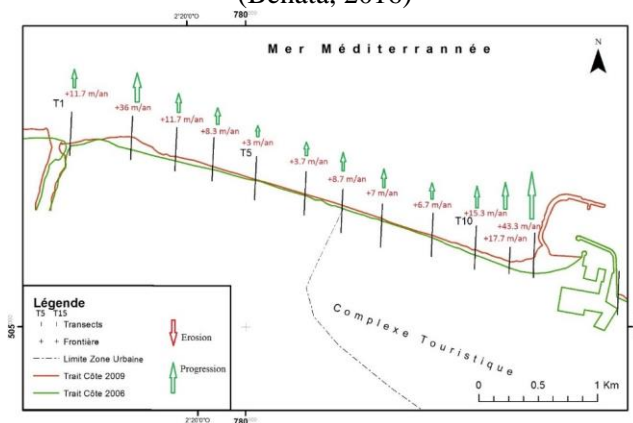


Fig.5 : Taux de variation du trait de côte en m/an, entre la Marina et l'embouchure de la Moulouya entre 2006 et 2009 (Benata, 2016)

2. Evolution du trait de côte entre 2009 et 2016

Pour déterminer le taux de variation récente (Recul ou accrétion) du trait de la côte, nous avons superposé deux images satellitales: celle de 2009 et 2016 et nous avons effectué 35 transects pour comparer les deux traits de côtes. L'étude comparative montre que le trait de côte connaît actuellement cinq sections différentes depuis l'embouchure de la Moulouya à l'embouchure d'Oued Kiss (Fig.6). Des sections en progression entre T1 à T4 ; T10 à T12 et T23 à T35 et des sections en régression de T5 à T9 et de T15 à T23 (Fig. 6; 7; 8; 9)

En comparaison avec l'évolution qui a eu lieu entre 2006 et 2009, nous pouvons constater que le rivage de la Moulouya est toujours en progression entre les transects T1 et T4. En revanche, la section du rivage entre T5 et T9 qui progressait dans la première période connaît actuellement une forte érosion avec des taux de recul allant parfois jusqu'à 10 m/an.

Le côté Ouest de la marina se trouvant entre les transects T10 et T12 continue sa progression et accumule de plus en plus de sable sur la digue nouvellement construite avec un taux de 23.4 m/an en cette période contre 43.4 m/an ce qui peut s'expliquer avec la profondeur de la mer qui augmente en avançant vers le large de la mer.

La zone Est de la marina qui progressait avant 2009 commence à régresser entre les transects T13 à T23 par un déficit dans les apports sédimentaires et par le transport du sable par la dérive littorale vers l'Est.

Ce sable va combler le déficit enregistré entre 2006 et 2009 au niveau de la plage municipale et de l'embouchure d'Oued Kiss. Ainsi les rochers se trouvant à l'Est de la plage municipale de Saïdia joueraient le même rôle que les digues d'un port en cumulant le sable dans les zones qui lui sont adjacentes à l'Est et à l'Ouest.

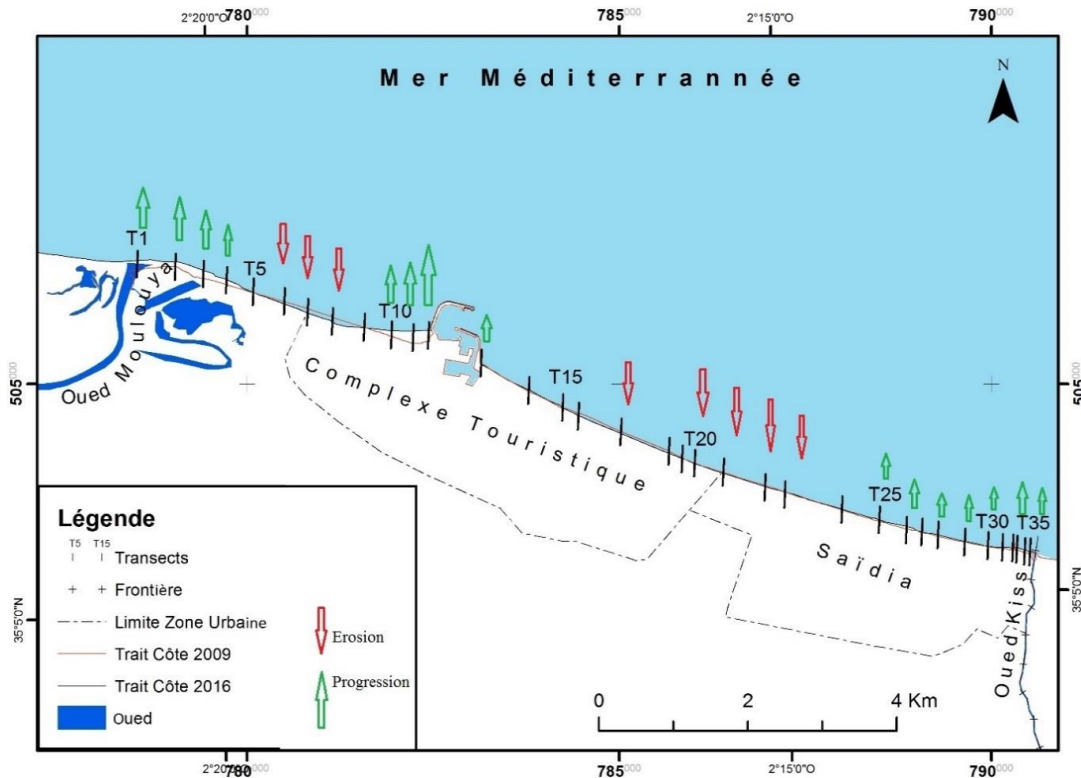


Fig.6 : Dispositif des transects avec trait de côte de 2009 et 2016 (Benata, 2016)

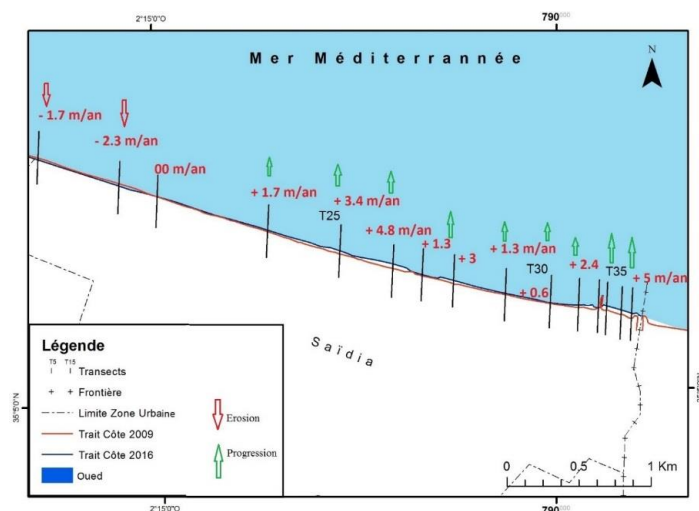


Fig.7 : Taux de variation du trait de côte en m/an, de Caracas à l'embouchure d'Oued Kiss entre 2009 et 2016 (Benata, 2016)

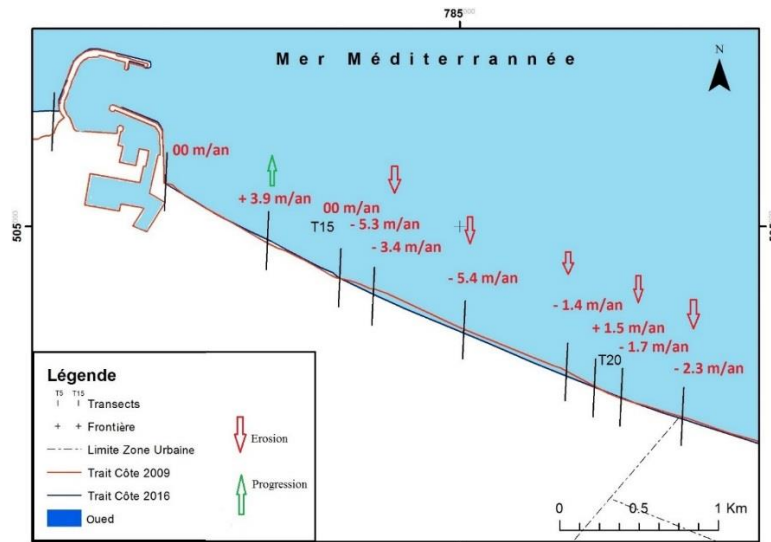


Fig.8 : Taux de variation du trait de côte en m/an entre la Marina et Caracas entre 2009 et 2016 (Benata, 2016)

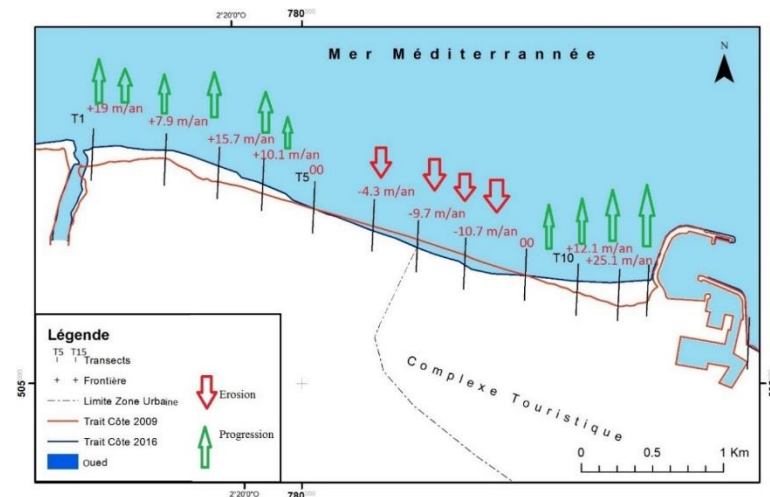


Fig.9 : Taux de variation du trait de côte en m/an, entre l'embouchure de la Moulouya et la Marina entre 2009 et 2016 (Benata, 2016)

Conclusion

Dans cette étude nous avons démontré que la dynamique sédimentaire du littoral de Saïdia pendant la période de 2006 à 2016 a connu deux phases différentes. La première phase de 2006 à 2009, a connu en général une progression du trait de côte de ce littoral sauf au niveau de la plage de Saïdia. Cet engraissement de la grande partie de la plage s'explique par les lâchers très importants qui ont été effectués au niveau des barrages Machrah Hammadi et Mohamed V à la suite de la pluviométrie. La masse d'eau importante qui a été déversée par la Moulouya sur le littoral a été accompagnée par une grande charge sédimentaire qui a engraisé la côte des deux rives de la Moulouya. Par contre au niveau de la plage municipale et au voisinage de l'embouchure d'Oued Kiss nous avons constaté un démaigrissement. Ceci est lié au prélèvement des grandes quantités de sable lors de la mise à niveau de la plage municipale opérée par la Direction Régionale de l'Equipement, du Transport et de la Logistique de Berkane en cette période.

L'évolution de la côte pendant la période de 2009 à 2016 est différente avec l'évolution qui a eu lieu entre 2006 et 2009. Nous avons constaté que le rivage proche de l'embouchure de la Moulouya est toujours en progression entre les transects T1 et T4. En revanche, la section du rivage entre T5 et T9 qui progressait dans la première période connaît actuellement une forte érosion avec des taux de recul allant parfois jusqu'à 10 m/an ce qui représente un risque de disparition du rivage au niveau du

SIBE de la Moulouya. La nouvelle digue de la Marina est un autre facteur qui entraîne la l'engraissement de sa partie Ouest. En revanche la partie Est de la Marina entre les transects 13 et 23 connaît un recul significatif par manque d'apport sédimentaire. Au niveau de la plage municipale et de l'embouchure d'Oued Kiss, nous avons constaté un engraissement. Ainsi les rochers se trouvant à l'Est de la plage municipale de Saïdia joueraient le même rôle que les digues d'un port en cumulant le sable dans les zones qui lui sont adjacentes à l'Est et à l'Ouest.

Référence bibliographique

- BENATA M., (2017) – Impacts des actions anthropiques et des aménagements touristiques sur le littoral de Saïdia-Cap de l'Eau. Thèse de doctorat en géographie. 378 p. Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences Humaines d'Oujda.
- BENATA M., SBAI A., BENRBAIA K. (2016) – Conséquences d'une gestion non rationnelle du littoral: Cas du littoral de Saïdia (Maroc oriental). Les littoraux marocains: Changement climatique et stratégies de gestion. Revue Paysages géographiques n°2. Publication du Laboratoire de géomorphologie et environnement de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Marrakech, Université Cadi Ayyad. pp 125 – 143.
- BOUABDALLAH M. et LARUE J. P. (2009) – « Évolution du littoral de la baie de Saïdia : dynamique naturelle et impact des aménagements (Maroc oriental) », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 3 | 2009, mis en ligne le 17 octobre 2009, Consulté le 01 novembre 2010. URL : <http://physio-geo.revues.org/878>
- BOUMEAZA T. (2002) – Le cours inférieur de la Moulouya : morphologie quaternaire, dynamique fluvial et morphologique côtière du littoral entre Kabdana et Saïdia (Maroc oriental, Maroc). Thèse de Doctorat en Sciences, Univ. de Liège, Mars, 342p.
- BOUMEAZA T., SBAI A., SALMON M., BENATA M. et OZER A. (2012) – Impacts écologiques des aménagements touristiques sur le littoral de Saïdia, Maroc oriental. Méditerranée 115/2010. URL : <http://mediterranee.revues.org/4888>
- IRZI Z. (2002) – Les environnements du littoral méditerranéen du Maroc compris entre l'oued Kiss et le Cap des Trois Fourches, Dynamique sédimentaire et évolution et écologie des foraminifères benthiques de la lagune de Nador. Thèse de Doctorat. Univ Med 1er, Fac.Sc. Oujda, 311p.
- LASGAA H., SBAI A., BOUMEAZA T. (2014) – Quantification du transport sédimentaire réel du littoral de Saïdia-Cap de l'Eau (Maroc Nord-Est). Edition Parallia CFC.XIIIème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Littoral DOI : 10. 5150/jugcgc. p 423-430
- MOUZOURI M et IRZI Z. (2011) – Evolution et morpho-dynamique de la plaine côtière de Saïdia (Littoral méditerranéen du Nord Est du Maroc) durant la période 1958-2006. Bulletin de l'Institut Scientifique, section science de la terre n° 33, 67-78
- SALMON M., SBAI A., BOUMEAZA T., BENATA M. et OZER A. (2010) – L'érosion des côtes meubles de l'extrême nord-est de Maroc, Bulletin de la Société Géographique de Liège, 2010, pp.97-105
- SBAI A. et BOUAZZA A. (2002) – Evolution géomorphologique et dynamique récente de la plaine littorale de Saïdia (Maroc NORD-EST). In : Le littoral méditerranéen oriental : Diagnostic et choix de développement et d'aménagement. Colloque national, 13-14 février 2002, Oujda, pp 3-30.
- SNOUSSI M. et IMASSI S. (2003) – Impact des fluctuations hydro-climatiques et des barrages sur l'évolution du trait de côte : delta de la Moulouya. Université Mohamed V, Faculté des Sciences. Département des Sciences de la terre, Rabat, Maroc.
- ZOURARAH B. (1995) – La zone littorale de la Moulouya (Maroc Nord-Oriental): Transit sédimentaire, Evolution morphologique, Géochimie et état de la Pollution. Thèse de 3ème cycle, Univ. Med. V, Fac. Sc. Rabat, 197p.

MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE DE LA CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE AU NIVEAU DU LITTORAL ATLANTIQUE MAROCAIN

Mohammed Yassine EL HABTI, Anas ZAYOUN, Ahmed RAISSOUNI & Abdelkrim EL ARRIM
Laboratoire, Environnement, Océanologie, et Ressources Naturelles ». Dpt. des Sciences de la Terre,
FST de Tanger, Km 9, Route de Ziatine, BP 416, Maroc.

Yhabti5@gmail.com

Résumé: L'équilibre sédimentaire d'un littoral est très sensible à toute modification qui peut intervenir dans son environnement sous l'action des phénomènes naturels. En effet, les zones côtières du littoral atlantique marocain sont exposées à un dynamisme important, avec une houle permanente et de forts courants de la marée. L'objectif de cette étude est l'analyse de l'évolution de la cinématique du trait de côte de Moulay Bouselham (Maroc) et le suivi spatio-temporel, en utilisant une photo-interprétation multi dates acquise en, 1976, 1988, 2010 et une image satellitale de 2018, et ceci à l'aide de la Télédétection Spatiale, (SIG), (GPS), Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Le taux des changements enregistrés a été calculé au moyen de l'indice End Point Rate (EPR), l'indice de régression linéaire rate (LRR). En outre, à travers l'analyse SIG, le littoral a été classé en zones d'érosion et zone d'accrétion. Les résultats des analyses montrent une évolution du littoral en érosion estimé à 92 % et en accrétion de 8 %.

Mots clés : Erosion côtière- Modélisation – hydrodynamisme – SIG - DSAS.

MODELING AND DIGITAL SIMULATION OF COASTAL KINEMATIC AT THE MOROCCAN ATLANTIC COAST

ABSTRACT: The sedimentary balance of a littoral is very sensitive to any modification that can intervene in its environment under the action of natural phenomena. The coastal zone of the Moroccan Atlantic coast is exposed to a strong dynamism, with a permanent swell and strong tidal currents. The objective of this study is the analysis of the evolution of the kinematics of the coast line of Moulay Bouselham (Morocco) and the spatio-temporal follow-up, using a photo interpretation multi dates acquired in, 1976, 1988, 2010 and a satellite image of 2018, and this with the help of Spatial Remote Sensing, (GIS), (GPS), and Digital Shoreline Analysis System (DSAS). The rate of changes recorded was calculated by means of the End Point Rate Index (EPR), the Linear Regression Rate Index (LRR). In addition, through GIS analysis, the coastline has been classified as erosion zones and accretion zones. The results of this work also show erosion and accretion processes along the Moulay Bouselham coast (10 km) estimated at 92% and 8%, respectively.

Key words: Coastal erosion – Modeling – hydrodynamics - GIS - DSAS.

INTRODUCTION

Le littoral est la zone entre la limite continentale de l'influence marine et la limite marine de l'influence continentale. Il correspond, en réalité à une zone très mobile dont les limites marine et continentale sont difficiles à déterminer (Carter, 1988). De ce fait, la zone côtière représente un domaine affecté par des processus dynamiques naturels et anthropiques. Ceux-ci influencent souvent l'évolution spatio-temporelles des zones côtières en conditionnant, de manière directe ou indirecte, lentement ou encore brutalement, leur état hydrodynamique, sédimentaire et par conséquence morphologique (Paskoff, 1981). Ces processus peuvent engendrer des risques sur la stabilité de l'environnement dont on y distingue: les risques quotidiens qui dépendent de l'action des agents dynamiques marins (marées, houles et courants) qui, perpétuellement agissent sur les côtes en érodant ou en accumulant des corps sédimentaires et en modifiant le modelé du trait de côte.

1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La côte de Moulay Bouselham, située au Nord de l'Atlantique marocain à environ 80 km de la ville de Kénitra (figure 1), se présente sous forme d'une côte rectiligne, façonnée par l'embouchure tidale de la Merja Zerga. Les unités morphologiques se présentent sous forme d'un cordon dunaire large (jusque à 900 m) avec une altimétrie qui dépasse les 20m d'altitude. Ce système dunaire qui longe la côte sur plusieurs Km est considéré comme étant un des plus importants réservoirs de sable au Maroc. Il joue alors un rôle de rempart naturel contre la submersion marine de la région. La plage est bordée par un estran rectiligne d'une largeur de 80 à 210m. Au nord de l'embouchure, une partie de la ville de Moulay Bouselham est construite sur la dune et constitue actuellement un lieu privilégié pour les activités touristiques et résidentielles. Elle est occupée par une corniche sur environ 2 Km vers l'extrémité Nord de la ville.

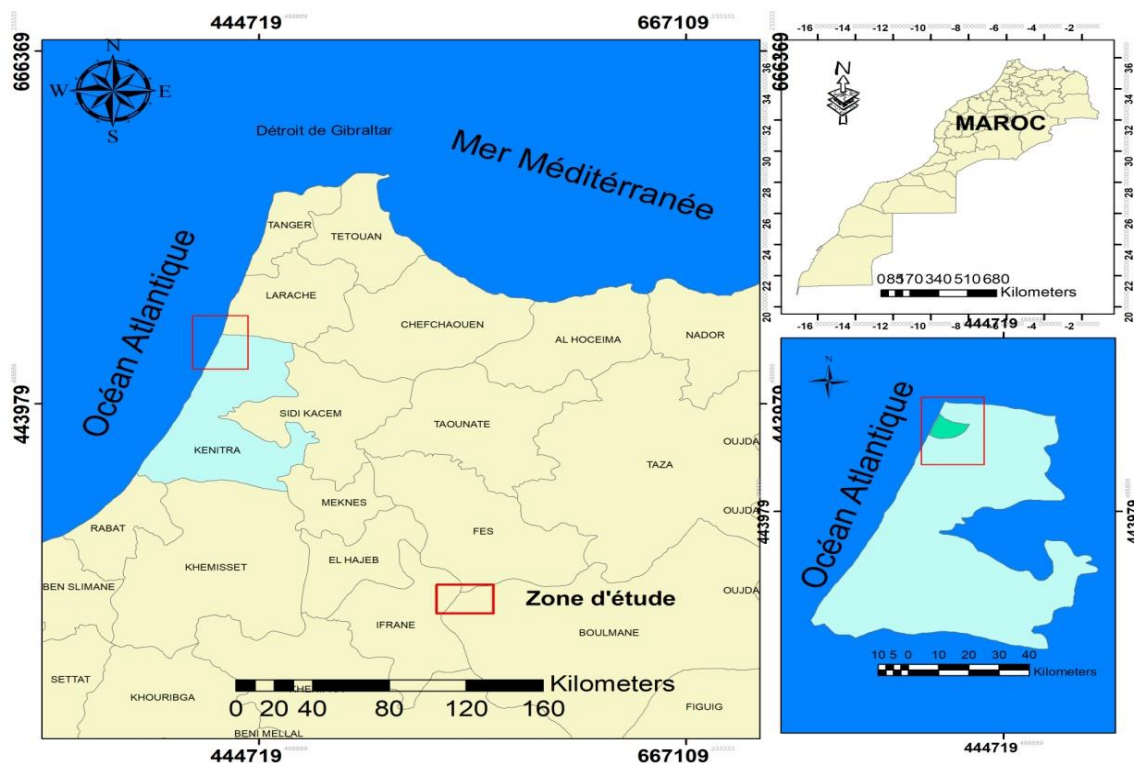


Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

2. MATERIELS ET METHODES

Pour déterminer le recul du trait de côte, l'approche analytique employée dans cette étude était basée sur la méthode d'observation indirecte. Elle repose sur des techniques de photo-interprétation assistées par des photographies aériennes multi dates couvrant une période de 42 ans (1976, 1988, 2010) (Tabl. 1) avec une périodicité variant de 12 à 22 ans. Une image satellitale de 2018 et une carte topographique ont servi à la correction géométrique des photographies aériennes. La carte à 1/50 000 a été dressée, dessinée et publiée par la Division de la Cartographie en 1974.

Tabl 1. Données des missions aériennes des années : 1974, 1988 et 2010, et d'image satellitale de 2018

Année	Type de document	Echelle	Nature	Nombre des photos aériennes utilisées
1976	Photo aérienne	1/40 000	Noir et Blanc	4
1988	Photo aérienne	1/40 000	Noir et Blanc	5
2010	Photo aérienne	1/40 000	Noir et Blanc	4
2018	Image satellitale	–	Couleur	1

L'approche comportait un processus en trois étapes: premièrement, la correction géométrique des photographies aériennes utilisant la géorectification polynomiale, et le choix d'une ligne de référence, deuxièmement, la digitalisation du trait de côte et l'estimation des erreurs et enfin la détermination des taux d'évolution côtière.

3. CALCUL DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

Les documents photographiques ont été d'abord scannés puis débarrassés des traditionnelles bordures noires. Ils ont ensuite été soumis à l'opération de géoréférencement avec des coordonnées conique conforme de Lambert Nord Maroc par le logiciel ArcGIS 10.5. Une fois les photos aériennes géoréférencées, leurs mosaïques se font sous ArcGIS 10.5. Cette opération consiste à éliminer les bordures de clichés, réduire et traiter les zones de recouvrement, et homogénéiser les couleurs et leur dynamique sur l'ensemble de la zone d'étude. L'étape suivante consistait à déterminer la position de ligne de référence. Dans cette étude, la ligne de référence choisie était la ligne des pleines mers.

Enfin, le DSAS (Digital Shoreline Analysis System) a été utilisé pour calculer le taux de déplacement et les changements du trait de côte. Le DSAS 4.3 est une application SIG pour ArcGIS 10.5 permettant de calculer sur des transects perpendiculaires au trait de côte, les statistiques des taux d'évolution à partir des différents traits de côte historiques. Cette opération a été réalisée en quatre étapes: 1- digitalisation du trait de côte, 2- création de ligne de base, 3- génération de transects et 4- calcul du taux de changement du littoral (Thieler et al. 2005). Dans cette étude le DSAS a généré 397 transects avec un espacement de 25 m et une longueur de 700 m, orientés perpendiculairement à la ligne de base (figure.2). Les vitesses annuelles de modifications du trait de côte (en mètres par an) sont estimées à chaque transect en utilisant deux méthodes statistiques: « End Point Rate » (EPR) et « Linear Regression Rate » (LRR). Les vitesses de changements de la ligne du rivage à court, moyen, et long terme sont évaluées.

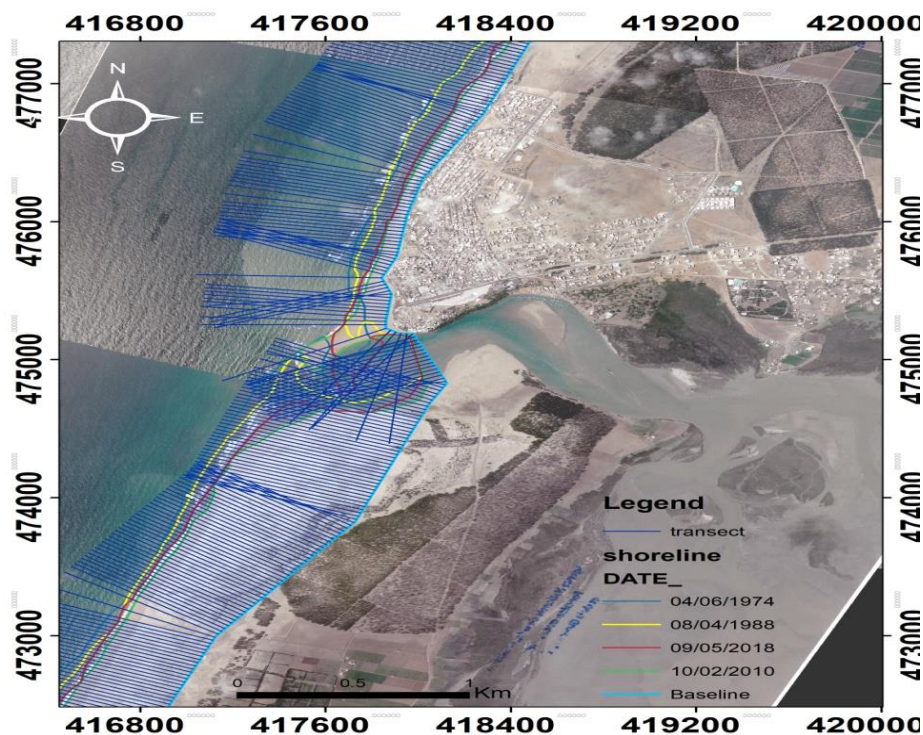


Figure 2. Carte de ligne de base et de transects pour l'analyse des modifications du trait de côte de Moulay Bouselham

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Nous avons subdivisé la côte étudiée en trois secteurs du Nord vers le Sud (figure. 3) afin de mieux visualiser les modifications survenues sur la position de la ligne de pleines mers. Les résultats obtenus par l'analyse diachronique montrent que le littoral de Moulay Bouselham a connu une évolution qui varie d'une zone à l'autre, et d'une période à une autre au sein de la même zone (figure.3, Tabl.2). Les variations de la position de la ligne de référence durant ces 42 années (1976-2018) témoignent d'une tendance régressive le long des 10 km du trait de côte étudié. En effet, sur les 395 transects analysés, 370 (92%) sont en érosion et 25 (8%) sont en accrétion.

Tableau 2: Statistique de EPR et LRR entre 1974 et 2018 le long du littoral de Moulay Bouselham

Secteurs d'études	Secteur A	Secteur B	Secteur C
Nombre de transects	114	129	152
EPR			
Moyenne de la mobilité du littoral (m /an)	-1,95	-2,03	-1,96
Minimum de la mobilité du littoral (m/an)	-2,98	-13,09	-3,11
Maximum de la mobilité du littoral (m /an)	-0,59	10,67	-0,97
LRR			
Moyenne de la mobilité du littoral (m /an)	-2,25	-2,97	-1,70
Minimum de la mobilité du littoral (m/an)	-3,19	-15,71	-2,77
Maximum de la mobilité du littoral (m /an)	-0,62	4,75	-0,11

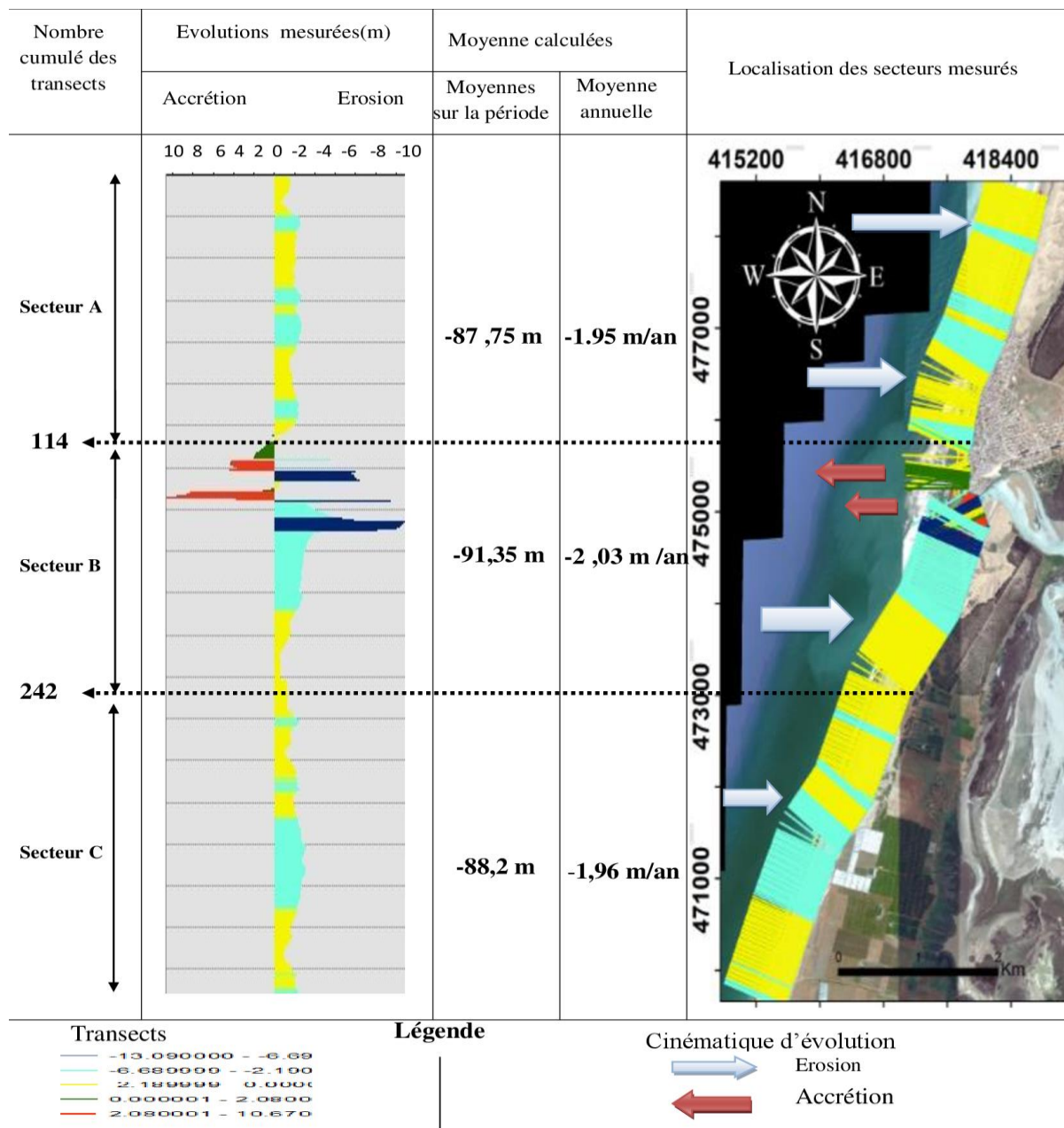


Figure 3. Le modèle cartographique basé sur le calcul de points extrêmes (EPR) entre deux dates 1976-2018 (Erosion et accrétion)

Secteur A: Ce secteur au Nord de la côte étudiée s'étale sur une longueur d'environ 2,32 Km. L'érosion a affecté cette partie par rapport à sa situation en 1976. Le taux moyen de recul est de -1,95 m/an en utilisant la méthode EPR, avec un maximum de -0,59 m/an et un minimum de -2,98 m/an et de -2,25 m/an estimé par la méthode LRR (Tabl.2). Ces résultats peuvent être légèrement influencés par la marge d'erreur (+/- 0,25 m/an) surtout dans les secteurs à faible évolution.

Secteur B: Au cours de cette période et au niveau de l'embouchure, on remarque une alternance entre le secteur en accrétion et en érosion sur une longueur de 2,29 km du trait de côte. Le nombre de transects dans la zone B est de 129 dont 109 transects sont en érosion, environ 84,49% et 20 transects en accrétion. La partie Nord du secteur présente un

avancement de la flèche littorale de 286m, soit 6,35m/an. La vitesse moyenne de changements est de -2,03 m/an selon la méthode EPR et de -2,97 m/an estimée par la méthode LRR

Secteur C: Ce secteur tout au sud de la côte étudiée s'étend sur une longueur d'environ 5,51Km. Il présente une érosion à long terme ; la vitesse d'évolution dans ce secteur indique une érosion de -1,96 mètres par an en utilisant la méthode EPR (Tabl.2, figure 3) et de -1,70 mètres par an estimée par la méthode LRR. Environ 100% des transects indiquent une érosion estimée au niveau de tous les transects.

CONCLUSION

L'étude de l'évolution du trait de côte le long du littoral de Moulay Bouselham entre 1976 et 2018 a été basée sur la photo-interprétation en utilisant des photo-aériennes multi dates prises respectivement en 1976, 1988, 2010 et 2018. Cette analyse a été réalisée à l'aide de SIG et de DSAS (Digital shoreline analysis system). Les résultats obtenus montrent que durant les dernières 45 ans, toute la zone côtière de Moulay Bouselham est sujette à l'accrétion ou à l'érosion. En outre, cette étude a indiqué que pendant cette période 92% du littoral est en érosion et que seulement 8% est en accrétion. Cette modification est essentiellement due à l'exposition de la côte, aux houles énergétiques du NW et NNW ainsi que la présence de la barrière rocheuse qui empêche les sédiments apportés par la dérive littorale à se déposer sur la plage.

Références bibliographiques

- CARTER R.WG (1988). Coastal environments. Academic Press, London, 617p. Coastline Case of Tangier Bay. International Journal of Geosciences, 2018, pp, 320-336.
- PASKOFF R. (1981). L'érosion des côtes. Paris, Presses Universitaires de France, 127 p.
- SALIM F., EL HABTI M., LECH-HAB K., RAISSOUNI A., EL ARRIM A., (2018). Application of a Geomatics Approach for the Diachronic Study of the Mediterranean
- SBAÏ L. (2001). Le droit de l'environnement marin et côtier marocain. Dichotomie entre l'état du milieu et une législation obsolète. Presses des belles couleurs, Rabat, 146p.
- THIELER, E.R., DANFORTH, W.W., (1994). Historical shoreline mapping (I): improving Techniques and reducing positioning errors. J. Coast. Res. 10 (3), 549 et 563p.

RISQUE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LE CENTRE URBAIN DE MOULAY YACOUB (FES, MAROC)

Ilias OBDA¹, Younes EL KHARIM², Abderrahim LAHRACH¹, Abdel-Ali CHAOUNI¹,
Mohammed ELMANSOURI³

¹Departement des Sciences de la terre, FST de Fès, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah,

²Departement de géologie, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi (UAE),

³Laboratoire Public d'Essai et d'Étude (LPEE),
Tel. : +212 661565251 ; E-mail : obdailias@gmail.com

Résumé : Le centre urbain de Moulay Yacoub connaît une densification de l'urbanisation pour satisfaire la demande en logement de location pour les visiteurs des sources hydrothermales du dit centre. Malencontreusement, le contexte géologique du centre urbain est prédisposé aux mouvements de terrain. En effet, le centre est bâti sur une colline de nature marneuse, de Miocène, très friables en surface. La majorité des constructions tantôt privés que publics connaît divers degrés de pathologie allant de simples fissurations obliques ou en zébrée aux fissurations béantes et défauts d'ouverture de portes et fenêtres, en relation avec les mauvaises caractéristiques géotechniques des marnes miocènes sur lesquelles est bâti la totalité du centre urbain. Les différentes mesures géotechniques (reconnaissance par sondages carottés, sondages pressiométriques, essai de cisaillement rectiligne, essai de compressibilité à l'odomètre, etc.) ont montré la friabilité des sols marneux du centre et leur potentiel de gonflement, ce qui constitue un aléa de retrait-gonflement non négligeable.

Au surplus, ce phénomène exacerbe la situation par la formation de manteaux superficiels de marnes altérées, ce qui prédispose ces derniers aux mouvements de versant allant de simples solifluxions superficielles aux grands glissements de terrains.

Mots clés : Aléa mouvements de terrain, géotechnique, Moulay Yacoub.

Abstract: The urban center of Moulay Yacoub is experiencing a densification of urbanization to satisfy the demand for rental housing for visitors of the hydrothermal springs of the center. Unfortunately, the geological structure of the center is predisposed to landslides and where the building does not consider such a hazard. Indeed, the center is built on a marly hill, with a very friable surface.

The majority of constructions, private and public, know varying degrees of pathology, ranging from simple oblique or zebra cracks to gaping cracks and doors and windows opening defects, in relation to the low geotechnical characteristics of the Miocene marls on which the entire structure of the urban center is built. The geotechnical measurements (Core drilling, pressuremeter test, straight shear test, odometer compressibility test, etc.) have shown the friability of the marly soils of the center and their potential for swelling, which shows a significant hazard of shrinkage-swelling.

Moreover, this phenomenon exacerbates the situation by the formation of superficial coats of altered marl, which predisposes them to slope movements ranging from simple solifluxions to large landslides.

Keywords: Landslide hazard, geotechnics, Moulay Yacoub.

Introduction

Les aléas naturels, dont fait partie les mouvements de terrain, sont de grandes actualités aussi bien sur le plan scientifique et sur le plan médiatique à cause de l'augmentation de la vulnérabilité due à la forte urbanisation non maîtrisée. La majorité des constructions et des infrastructures publiques dans le centre urbain de Moulay Yacoub connaît divers degrés de dégâts en relation avec les mauvaises caractéristiques géotechniques des formations sur lesquelles est bâti la totalité de ce centre. En effet, ces mouvements de terrain reflètent l'importance de cette problématique, dans la le centre urbain de Moulay Yacoub, qui se résume en deux points majeurs :

1. Diagnostiquer en produisant les données chiffrées et les documents cartographiques des mouvements de terrain observés dans le territoire de ce centre urbain ;
2. Chercher les facteurs et à comprendre ces phénomènes dans cette zone.

De ce fait, la méthodologie suivie pour déterminer les facteurs et comprendre ces phénomènes est basée essentiellement sur une description morphologique des mouvements de terrain dans l'aire d'étude et puis sur l'approche géotechnique en faisant les mesures de reconnaissance par sondages carottés, sondages pressiométriques, essai de cisaillement rectiligne, essai de compressibilité à l'odomètre, etc.

Description du secteur étudié

Le centre urbain de Moulay Yacoub, chef-lieu de la préfecture qui porte le même nom, est situé à 25 km au NW de la ville de Fès. Ce centre est localisé dans le Prérif, à la limite du sillon sud rifain et du bassin de Saïss qui le sépare du massif Hercynien central (Meseta marocaine) et le Moyen Atlas au sud (fig. 1). Plus précisément, le centre urbain Moulay Yacoub occupe la bordure du Saïs, au contact de la section molle du Prérif, sans rides, comprise entre le massif de Zerhoun à l'ouest et le Tghat-Zalagh à l'est. Géomorphologiquement, le centre fait partie du Prérif où prédomine le relief collinaire mou à la faveur des affleurements marneux tendres, à l'exception des quelques ressauts topographiques en forme de reliefs rocheux appelés sofs (Zalagh, Moulay Bouchetta El Khammar, etc.). Le centre urbain s'est développé sur le versant ouest d'une colline marneuse du miocène du Sillon Sud Rifain, à la faveur de la résurgence de nombreuses sources thermales.

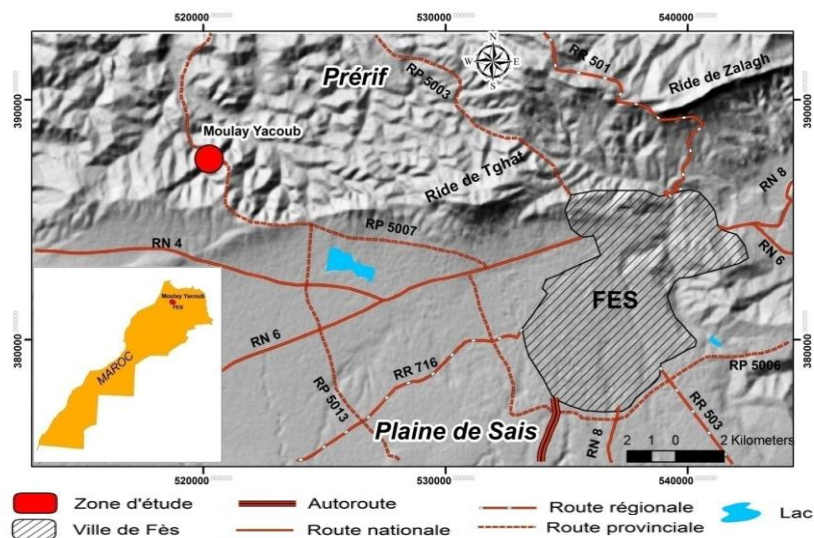


Figure 1 : Situation géographique du Moulay Yacoub

Mouvements de terrain et impact dans le centre urbain de Moulay Yacoub

Bien que la topographie au Prérif soit relativement clémente, si l'on compare avec les hauts reliefs du Rif central, cette région préريفaine est sujette à des manifestations gravitationnelles, quoique non spectaculaires comme celles du territoire rifain. Les terrains y sont généralement en forme de collines moyennes et basses, façonnées en marnes propices aux solifluxions et au ravinement ; sans omettre de rappeler les versants encaissés dans les cours d'eau d'ordre supérieur, surtout au niveau des méandres, qui subissent le sapement des pieds pouvant atteindre toute la dénivelé de ces versants (Avenard, 1995, Faleh et Sadiki, 2002).

Le centre urbain Moulay Yacoub n'en fait pas exception puisqu'on y rencontre des glissements rotationnels de divers ampleurs, des solifluxions (fig. 2 et 3), dont les indices morphologiques en forme d'escarpements et d'affaissement dans les parties amonts des processus gravitationnels, fissurations bourrelets ou boursouflures dans les parties avales sont assez perceptibles dans le périmètre non bâti du centre; mais ils le sont moins dans les secteurs déjà construits en raison de la densification urbaine.

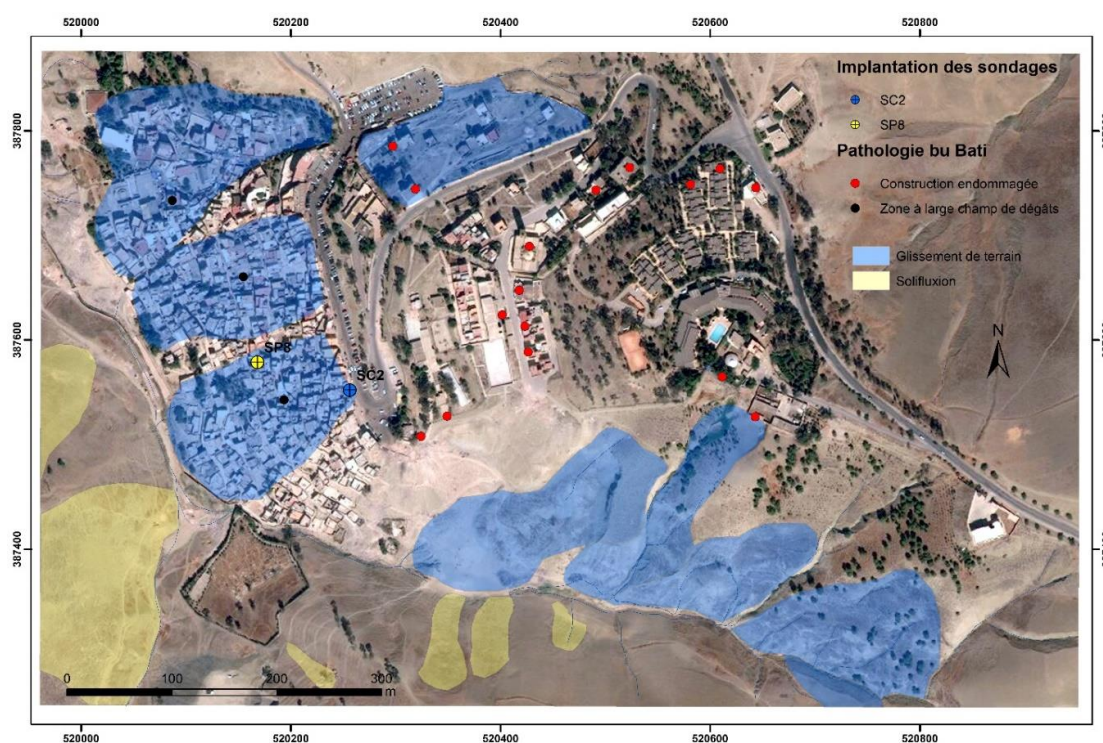


Figure 2 : Répartition spatiale des mouvements de terrain de la zone étudiée

Dans ce dernier cas, les indices d'instabilité se matérialisent en forme de pathologie du bâti. La majorité des constructions tantôt privés que publics connaît divers degrés de pathologie allant de simples fissurations obliques ou en zébrée aux fissurations béantes et défauts d'ouverture de portes et fenêtres ; ou encore des effondrements (fig. 2 et 3). Cette pathologie généralisée de diverse gravité dans l'ancien quartier ; plusieurs bungalows de l'hôtel Moulay Yacoub sont condamnés et inexploitable par de multiples fissurations, basculements et défauts d'ouverture des portes et fenêtres ; fissurations apparentes sur la façade de la Quiadat ; de l'agence de la Banque Populaire, à Dar Taleb, à l'abattoir à cause des rejets liquides, à la mosquée et aux niveaux de nombreuses constructions de la ville (fig. 3).



Glissement rotationnel rétrogressif, gagnant l'amont de la colline du centre



Solifluxion dans un versant marneux



Écartement des jointures entre les maisons



Confortation généralisée du pied du versant au niveau du parking public



Fissuration murale intense postérieure aux tentatives de réparation



Effondrement des maisons dans l'ancien quartier

Figure 3 : Types de processus gravitationnels affectant le secteur de Moulay Yacoub et pathologie du bâtiment associée

Les valeurs des paramètres géotechniques des sondages carottés et pressiométriques réalisés dans l'ancien quartier par LPEE (Obda, 2017), dans le cadre de ce travail, uniquement celles des sondages SC2 et SP8, respectivement, sont médiocres et ne s'améliorent qu'à partir d'une dizaine de mètres en profondeur (fig. 4 et 5 et tableau 1). Les mesures de pressions de l'essai au Pressiomètre Ménard montrent que le sol de surface (0 à -3m) ne résiste pas au gonflement de la sonde et se déforme à une pression inférieure à 10 bars, tandis que même une pression de 15 bars n'enduit pas de déformation au niveau des sols plus profonds. Aussi, les indices de compression et de gonflement obtenues par l'essai de compressibilité par paliers à l'œdomètre

rèvent l'aspect gonflant des marnes en surface, ces indices diminuent significativement en profondeur.

Au demeurant, les fissurations et les défauts de fermetures des ouvertures dans le bâti, même sur terrain plat suggère l'état expansif (retrait-gonflement) des marnes, même si les valeurs des indices de gonflement sont relativement faibles.

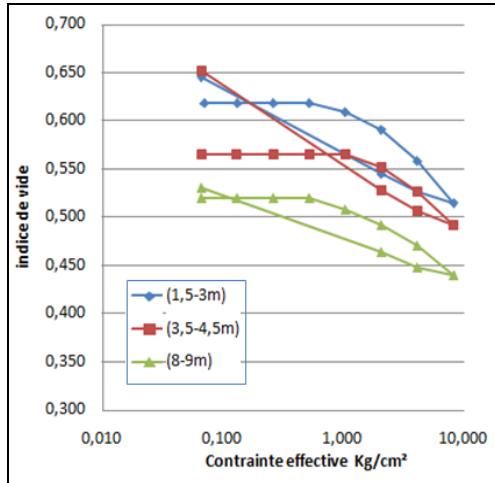


Figure 4 : Courbes œdométriques du sondage carotté n°2

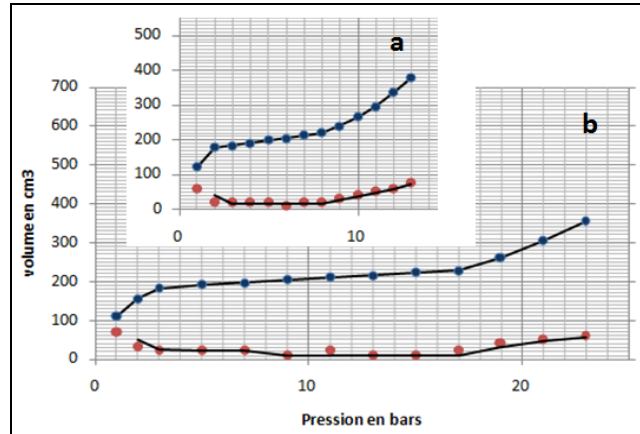


Figure 5 : Les courbes pressiométriques à 3m et à 9m de profondeur (respectivement a et b) du sondage SP8

Tableau 1. Paramètres géotechniques des échantillons des marnes prélevés par carottages (Obda, 2017, d'après LPEE)

	Ech SC2 (1,5-3m)	Ech SC2 (3,5-4,5m)	Ech SC2 (8-9m)
Essai de cisaillement rectiligne			
Cohésion C (KPa)	11	20	33
Angle de frottement ϕ (°)	24	23	21
Essai œdométrique			
Indice de compression Cc	0,145	0,117	0,104
Contrainte de préconsolidation σ_c en Kg/cm ³	1,57	1,90	1,34
Indice de gonflement Cg	0,069	0,082	0,046
Contrainte de gonflement σ_g en Kg/cm ³	1,03	1,8	1,03

Conclusion

L'instabilité des terrains, quelle soit en forme de glissement de terrain, de solifluxion ou de retrait-gonflement dans le centre urbain de Moulay Yacoub, est imputable au degré d'altération élevé dans la partie supérieure du sol, ce qui facilite l'infiltration des eaux de pluie ainsi que celle des eaux usées des habitations qui ne disposent pas de réseau d'assainissement. Ces eaux infiltrées s'accumulent au niveau de la couche marneuse. Il s'ajoute à l'effet de la pente, la force verticale développée par le poids de la zone altérée qui devient supérieure à la résistance au cisaillement du sol. De surcroît, l'état critique des bâtiments du secteur est non seulement l'unique conséquence des mauvaises caractéristiques géotechniques des marnes miocènes sur lesquelles est bâti la totalité du centre urbain mais aussi le résultat de l'habitat vétuste insalubre, (absence de fondations adéquates, surélévations,

absence de drainage des eaux et d'étanchéité, ...etc.) ou des pratiques qui ne respectent pas les normes de construction sur des talus instables ou du moins sur des sols expansifs.

Références bibliographiques

- AVENARD J-M., (1995) : Dynamique érosive actuelle et actions humaines dans le Prérif (Maroc). *Colloque "Développement des montagnes rifaines : quelle stratégie ?" série Publications de la FLSH*, pp. 394-407.
- FALEH A. et SADIKI A., (2002) : Glissement rotationnel de Dhar El Harrag : exemple d'instabilité de terrain dans le Prérif central (Maroc). *Bulletin de l'Institut scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, 2002, n° 24, pp. 41-48.
- Lakhdar A., Ntarmouchant A., Rrbeiro M.L., Beqqali M., El Ouadeihe K, Benaabidate L., Dahire M., Driouche Y. et Ben Slimane A. (2006) : Nouvelle approche géologique et géodynamique du complexe hydrothermal de Moulay Yacoub (Bordure septentrionale du sillon sud Rifain), *Communication Géologique*, 2006, t. 93, pp. 185-204.
- OBDA I, (2017) : Étude géotechnique des glissements de terrain : cas du centre de Moulay Yacoub. Mém. de Master, Faculté de sciences et techniques de FES, 68 pages.

SUIVI DE L'INSTABILITE DES VERSANTS DANS LE CENTRE RURAL D'EL FENDAK AIN JDIDA (PROVINCE DE TETOUAN, MAROC)

Layachi ELFAGHLOUMI¹, Younes EL KHARIM¹, Abdelouahed EL OUZANI TOUHAMI¹, Ali BOUNAB¹

¹Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, B.P. 2121 M'hannech II -Tétouan, *elfaghloumi@hotmail.fr*

Résumé : Le centre rural El Fendak Ain Jdida connaît d'importants phénomènes de mouvements de masse ; par plusieurs mécanismes allant de la reptation aux mouvements complexes, conduisant ainsi à une dégradation continue de sol et de l'ensemble du cadre de vie des habitations ; sans omettre qu'ils posent de sérieux problèmes à l'aménagement. Le site a fait l'objet d'une approche multidisciplinaire pour caractériser l'instabilité du versant et sa cinématique, en associant l'analyse géomorphologique, la photo-interprétation et la topométrie. L'analyse des indices géomorphologique sur le terrain couplée à la photo-interprétation multodate a permis de cerner les zones instables et suivre leurs évolutions géomorphologiques historiques depuis la période du protectorat espagnol. Quant à l'activité actuelle et la cinématique de ces terrains instables, les déplacements différentiels au sein des mouvements ont été suivis par mesure, au théodolite des distances. La confrontation des vitesses de mouvement par suivi tachéométrique et les données pluviométriques suggère une activité saisonnière des mouvements de versant affectant le centre rural El Fendak Ain Jdida ainsi que des phases de ralentissement/d'accélération des déplacements.

Mots clés : Mouvements de versant, topométrie, photo-interprétation, contexte rifain.

Abstract: In the El Fendak Ain Jdida rural center, important mass movement phenomena develop through several mechanisms ranging from creeping to complex movements, leading to a continuous degradation of the soil in particular and the living environment of the inhabitants in general; as well as the serious problems that they cause for the development. The site was the subject of a multidisciplinary approach in order to characterize the unstable slopes and their kinematics, combining geomorphological analysis, photo-interpretation, and topometry. The analysis of the geomorphological indices on the ground coupled with the multodate photo-interpretation made it possible to define the unstable zones and to follow their historical and geomorphological evolution since the period of the Spanish protectorate. As for the current activity and the kinematics of these unstable terrains, the differential displacements within the movements have been measured using the theodolite which determines the distances between supposed fixed and mobile points. The comparison of movement velocities by tacheometric tracking and rainfall data suggests a seasonal activity of the slope movements affecting the rural center El Fendak Ain Jdida as well as phases of slowdown / acceleration of displacements.

Keywords : Landslides, topometry, aerial photo interpretation, Rif context.

1- Introduction

Le centre rural de la commune Ain Lahsen, objet de cette étude, est situé dans le couloir El Fendak Ain Jdida qu'est le siège d'une densité des mouvements des versants des plus élevées de la province de Tétouan (El Kharim, 2002, 2011). Le périmètre de ce centre rural et son quartier administratif est affecté par ces processus gravitationnels. Ce centre héberge le

quartier administratif depuis la période de protectorat, après avoir été transféré depuis un ancien site aussi instable que l'actuel (El Faghloumi et al., 2014).

Ce travail aborde l'aléa mouvements de versant du centre rural de Fendak Ain Jdida par l'évolution historique à base de la photo-interprétation, le suivi de l'activité actuelle de l'instabilité par la topométrie et les indices géomorphologiques relevés sur le terrain.

2- Localisation de la zone d'étude

Le centre rural El Fendak Ain Jdida est situé dans le couloir ou col topographique qui porte le même nom et qui constitue, géologiquement, le prolongement vers l'ouest de l'accident transverse de Tétouan (Fig.1).

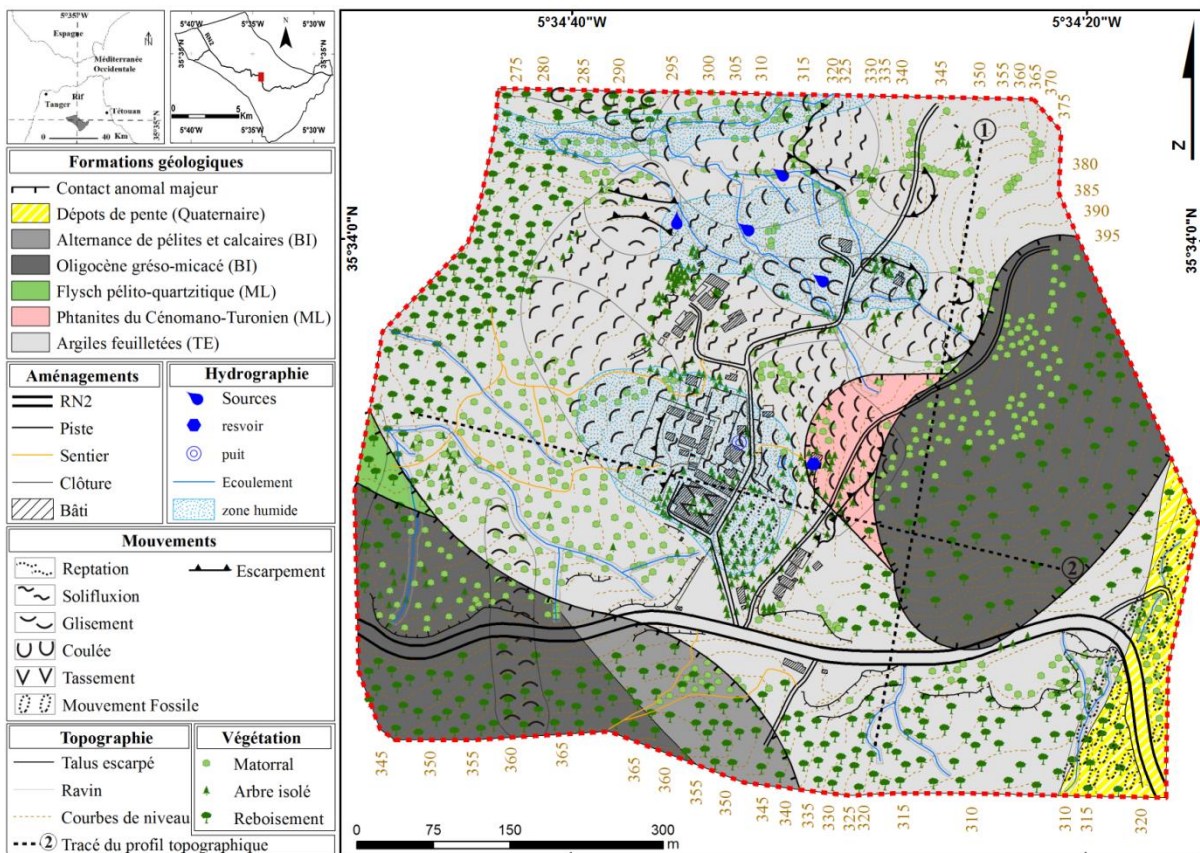


Figure 1 : Carte géomorphologique simplifiée du centre El Fendak Ain Jdida

Dans ce secteur d'étude affleurent (Fig. 2) : l'unité structurale de Beni Ider (BI) occupant localement la position structurale la plus élevée et représentée par les alternances marnocalcaires éocènes et les flyschs grés-micacés oligocènes ; la nappe de Melloussa (ML) représentée par les flyschs pélito-quartzitiques du Barrémien à Albien ; ces deux unités chevauchent l'unité de Tanger externe de l'intrarif qui constitue le para-autochtone et qui affleure par argilites olivâtres à intercalation des lits calcaires et de phtanites du Turonien-Sénonien. Cette dernière unité est couverte, dans quelques endroits, par des colluvions et des dépôts de masses des mouvements de versants sous forme d'une matrice argileuse à cailloutis et blocs-

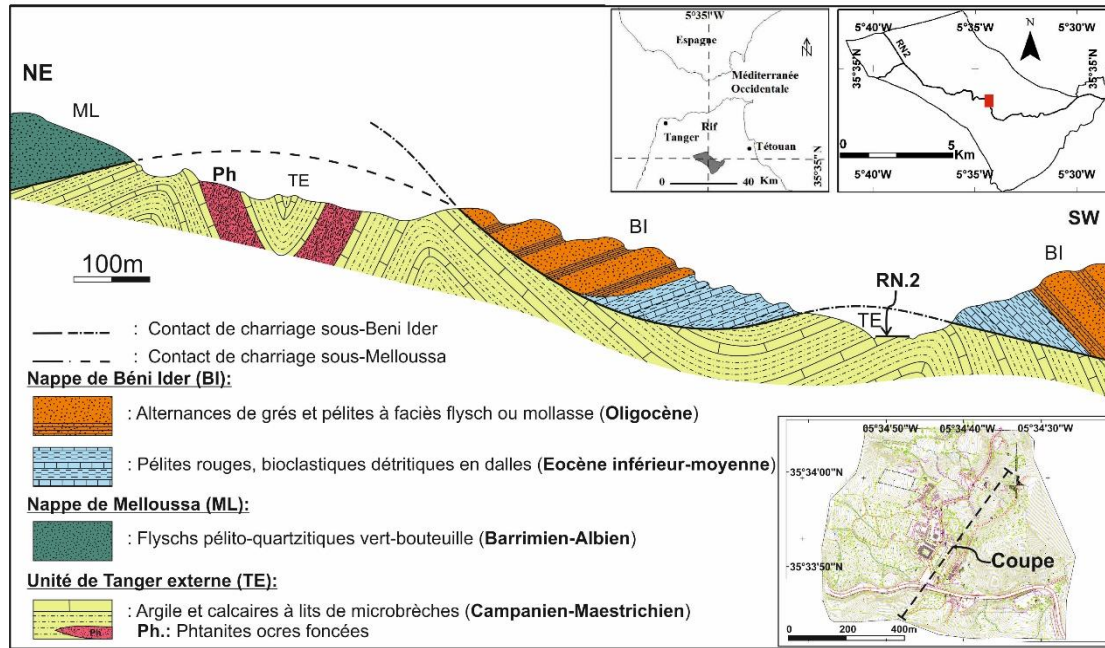


Figure 2 : Coupe géologique NE-SW au niveau du nouveau centre El Fendak Ain Jdida

3- Matériel et méthodes

Six couples de photographies aériennes du secteur d'étude (1958, 1963, 1986, 2003, 2011 et 2005) ont été analysés, en plus du travail de terrain, pour suivre l'évolution morphologique récente de l'instabilité des versants au cours des 53 dernières années (1958-2011). Au demeurant, les mesures de déplacements entre octobre 2008 et septembre 2014, ont été réalisées au rythme d'une campagne par année, à l'aide d'un théodolite (station total) et de piquets en acier implantés à travers le secteur d'étude. Pour chaque point, les déplacements mesurés sont traduits en vitesses puis intégrés dans une des cinq classes de vitesses proposées (Weber, 2001).

3.1- Evolution de l'instabilité par la photo-interprétation

A partir de l'interprétation des six couples de photographies aériennes à disposition, on retient quatre étapes principales dans l'évolution des dernières 53 années (1958-2011) :

- les photos aériennes de 1958 et celles de 1963 (à 1/50000) montrent que les secteurs actuellement instables (figure 1) sont antérieurs à la date susmentionnées mais ils n'affichent aucun indice d'instabilité perceptible. Le quartier administratif y est bâti depuis 1948 (période de protectorat). Nos connaissances historiques indirectes (recueil des témoignages des habitants de la région) indiquent que le défrichement des sols cultivables, notamment argileux, dans la zone a eu lieu avant l'arrivée des espagnoles.

- En 1986, couples de photos à 1/21.000, à l'exception d'un glissement de terrain au sud-ouest du centre ayant affecté la route nationale, aucune déformation notable n'a été enregistrée. Mais les témoignages humaines mentionnent les réparations récurrentes des bâtiments administratifs, ce qui suppose des mouvements lents des anciennes masses de mouvements.

- le couple des photos de 2005 (1/7.500) montre la réactivation de l'ancien mouvement glissement-coulée et le déclenchement d'un mouvement complexe similaire à celui-ci dans la partie nord extrême du centre.

- l'interprétation des photos de 2011 (1/20.000) montre dans la zone de solifluxion deux réactivations en glissement de terrains qui ont touchés les escarpements sommitaux plus précisément au niveau du mur de clôture de l'établissement scolaire El Fendak et le second, plus en amont dans la formation phtanitique.

3.2- Mesures de déplacement

La figure 3 montre la distribution spatiale et différentielle des vitesses de déplacement des piquets à travers le secteur d'étude, ce qui représente un zonage morphocinétique des déplacements gravitaires des terrains.

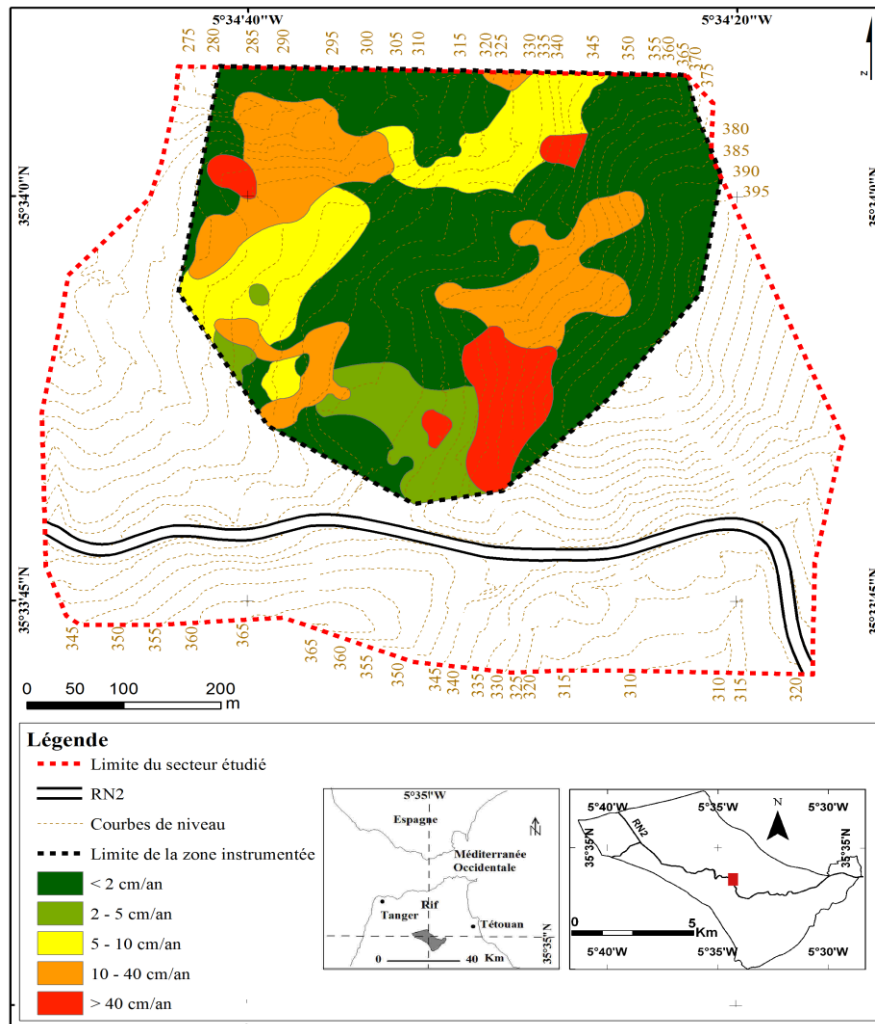


Figure 3 : Zonage morphocinétique des indicateurs topométriques du centre El Fendak Ain Jdida par interpolation manuelle pour la période du 05/10/2008 au 21/09/2014

Les vitesses s'organisent en bandes plus ou moins concentriques dont les limites se comparent très grossièrement avec les limites morphologiques des mouvements de versant, observées sur le terrain (lobes, bourrelets, ravin, escarpement,...). L'évolution des vitesses

indique une différence très nette de comportement entre les différents secteurs du centre. En effet, si l'activité de certaines zones en solifluxion démontre une évolution relativement régulière avec des vitesses quasi-constantes, les autres en reptation, à activité faible mais persistante, sur des secteurs en pente escarpées révèlent des phases d'accélération, durant lesquelles des vitesses de plus de 53 cm/an ont été enregistrées. Cette différence d'évolution entre les différents secteurs est induite par la morphologie, la structure, la couverture superficielle, la végétation et les systèmes d'écoulement qui diffèrent d'un compartiment à l'autre.

4- Discussions

Le centre rural de El Fendak Ain Jdida est bâti sur un versant exposé vers l'ouest et à pentes moyennes. Géologiquement, il est installé sur des pélites, plutôt plastiques et imperméables, en aval d'un contact de chevauchement des nappes de flyschs, relativement fissurés. Ce contact est souligné par des suintements. Une telle conjoncture de facteurs de prédisposition a légué un versant à morphologie de terrain irrégulière, loupes de glissements et boursuflures, , signes d'une instabilité ancienne. Cependant, la présence d'arbres inclinés et de pathologies de construction suggère une activité du moins à lente, mais avec des réactivations récurrentes, comme il a été révélé par l'auscultation topographique. Les déplacements enregistrés au cours de la période d'auscultation, 2008-2014, a coïncidé avec 4 années excessivement pluvieuses, 2008-2010 et 2013, dépassant la moyenne annuelle de 680mm, selon la station météorologique de Torreta (ville de Tétouan), 18 km à l'est du site.

5- Conclusion

Les déformations anciennes du versant ont été étudiées, par photointerprétation, sur plus d'un demi-siècle. L'analyse des photos- aériennes a permis d'obtenir des informations sur l'évolution générale du site et de décrire quelques-unes des étapes de son développement et d'identifier un certain nombre de processus et de transformations géomorphologiques qui ont accompagné cette évolution. On retient quatre étapes principales dans cette évolution.

La surveillance des déformations et déplacements de surface a permis de suivre la cinématique spatio-temporelle du versant. L'utilisation de théodolite a permis de détecter les mouvements imperceptibles à l'œil et d'obtenir des mesures cinématiques précises dont les résolutions sont infra centimétriques. Cette approche méthodologique quantitative a permis de mettre en avant l'hétérogénéité spatiale et temporelle des champs de déplacement et de souligner le compartimentage du versant en diverses unités morphodynamiques. Cependant, le déphasage dans la mise en mouvements des différents secteurs était impossible avec des mesures ponctuelles. La conjugaison de campagnes ponctuelles et de mesures en continu est donc nécessaire pour apprécier au mieux les moindres accélérations saisonnières et analyser la cinématique du site en réponse aux facteurs de déclenchement (Weber 2001 ; Oswald, 2003 ; Ayalew et *al.*, 2005).

Références bibliographiques

- Ayalew L., Hiromitsu Y., Hideaki M. et Takami K. (2005): Landslides in Sado Island of Japan : Part I. Case studies, monitoring techniques and environmental considerations. *Engineering Geology*, 81, pp. 419-431.
- Durand-Delga M. et Didon J. (1984) : Carte géologique du Rif - Melloussa 1/50.000. Notes et Mém. *serv. Géol. Maroc*, Rabat, 296.
- El Faghloumi L., El Ouzani Touhami A. et El Kharim Y. (2014) : Mouvements de masse dans le couloir d'El Fendak Aïn Jdida (Province de Tétouan, Rif Occidental, Maroc) : mécanismes, causes, impacts et mode de prévention. *Revue AFN Maroc*, n°12-14, pp. 23-49.
- El Kharim, Y. (2002) : Etude des mouvements de versants dans la région de Tétouan (Rif occidental) : Inventaire, analyse et cartographie. *Thèse Doctorat d'Etat ès Sciences*. Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan. 201p.
- El Kharim Y. (2012): Rasgos geológicos de la inestabilidad de laderas en la región de Tetuán (Rif septentrional, Marruecos). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección geológica*, ISSN 0583-7510, Tomo 106, N° 1, 2012, págs. 39-52.
- Oswald D. (2003) : Analyse de l'activité de glissements de terrain et relation avec les conditions climatiques : Exemples dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse) *thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Fribourg (Suisse) pour l'obtention du grade de Doctor rerum naturalium*. 147p
- Weber M. D. (2001) : Contribution de la géomorphologie à la connaissance des mouvements de terrain dans « les terres noirs » alpines : le glissement-coulée de Super-Sause (Alpes de Haute Provence, France). *Thèse de doctorat*, Univ. Luis Pasteur. Strasbourg, France, 316p

MODELISATION DES FACTEURS DE RISQUE D'INCENDIE DANS LA FORET DE AIN LEUH (MOYEN ATLAS CENTRAL, MAROC)

BOURAZZA Zakia ⁽¹⁾ & HAMDACH Youssef ⁽²⁾

⁽¹⁾ Docteur en géographie et aménagement, Laboratoire LAGEA .F.L.S.H Sais FES

⁽²⁾ Enseignant chercheur en géographie. Laboratoire Recomposition de l'Espace et Développement Durable, F.L.S.H, Université Chouaib Doukkali El Jadida.

RÉSUMÉ: La forêt d'Ain Leuh est située au coeur du Moyen Atlas Central, plus précisément sur le causse d'Ain Leuh. Elle appartient à l'étage bioclimatique humide à sub humide. C'est une forêt très diversifiée en essences et en formations forestières. L'interface forêt/homme est très importante en raison de l'éclatement de l'habitat. L'intégration des cartes thématiques des différents facteurs intervenant dans le phénomène des incendies dans le Système d'Information Géographique (SIG) avec leurs bases de données, a permis d'identifier trois classes de risque d'incendie: risque fort, risque moyen et risque faible. Le principal facteur de déclenchement des incendies de forêts est de nature anthropique, car les zones les plus exposées sont celles qui sont proches des installations humaines.

Mots-clés: Risque, incendies de forêts, SIG, Ain Leuh, Maroc

GIS AND MODELLING RISK FACTORS OF FOREST FIRE (MIDDLE ATLAS CENTRAL, MOROCCO)

ABSTRACT: Ain Leuh forest is located in in the heart of the Middle Atlas Central, precisely on the cause of Ain Leuh. It belongs to the humid to wet sub-humid bioclimatic stage. It is a very diverse forest in terms of species and forest formations. The forest / man interface is very important because of the habitat burst. The integration of the thematic maps of the different factors is involved in the phenomenon of fires in the Geographic Information System (GIS) with their databases, it identified three classes of fire risk: high risk, medium risk and low risk. The main factor triggering forest fires is of an anthropogenic nature, because the most exposed areas are those that are close to human settlements.

Keywords: Risk, forest fires, GIS, Ain Leuh, Morocco

INTRODUCTION

La forêt d'Ain Leuh est un secteur écologique original dans le Moyen Atlas central (Jennan, 2004). La couverture végétale dominée par des forêts ou des matorrals élevés (Lecompte, 1969) est interrompue par d'autres formes d'occupation des sols, notamment les terres de cultures sèches ou irriguées et l'habitat aggloméré.

Par ses fonction écologique et socio économique, la forêt de Ain Leuh représente un grand intérêt dans la stabilité de la population dans la zone et dans le développement durable. Cependant, cet écosystème naturel est soumis à plusieurs contraintes naturelles et humaines. Parmi ces contraintes, les incendies constituent un danger majeur à cause de leurs répercussions sur les écosystèmes forestiers.

La politique forestière pratiquée dans notre pays commerce à s'inspirer de l'expérience des pays avancés dans le domaine et prendre en considération les innovations scientifiques en matière de gestion et protection du patrimoine forestier dont la mise en œuvre de politiques adaptées exige une bonne connaissance.

En effet, les cartes réalisées de manière traditionnelle ne sont plus adaptées aux besoins actuels. La complexité et la diversité de données relatives à l'environnement ont favorisé le développement de système capable de répondre aux besoins de collecte, d'analyse et de représentation de phénomènes environnementaux. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont devenus l'un des outils incontournables pour la compréhension et le suivi des phénomènes dynamiques et une nécessité pour l'orientation d'investissement et la disposition d'arguments valables pour la prise de décisions

La présente étude s'inscrit dans cette perspective. Elle traite spécifiquement les incendies de forêt que nous essayerons d'illustrer à travers le SIG.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La forêt d'Ain Leuh est située au sud-ouest du Moyen Atlas sur une superficie d'environ 12811 ha (Fig. 1). Ce massif offre des potentialités forestières importantes et présente une richesse floristique remarquable. Les formations forestières constituent une véritable mosaïque marquée par la diversité des essences forestières (chêne vert, cèdre, pin d'Alep, thuya...) et la multiplicité des communautés végétales, appartenant souvent à des formations non forestières. Généralement, la forêt d'Ain Leuh est un territoire géographique quasiment montagnard, avec des altitudes comprises entre 750 m sur les bordures et 1950 m sur les hauts sommets. L'espace de la forêt n'est pas un simple ensemble de plateaux étagés, mais forme une dorsale marquée par la succession de bourrelets élevés, de plateaux et de cuvettes d'ampleur inégale.

Son évolution morphologique est marquée dans le paysage par des formes de dissection et de karstification multiples. Elles sont à la base de l'organisation écologique de la région. Les assises du Lias, constitués de calcaires et dolomies, reposant sur le matelas des roches tendres du Trias, ont facilité par leur relative compétence la retransmission des accidents tectoniques, du socle paléozoïque vers la couverture secondaire. Celle-ci s'est, par la suite, cassée suivant de grands alignements, découpant la région d'étude en plusieurs tronçons.

La forêt appartient au climat méditerranéen à hiver froid. D'après le quotient pluviométrique d'Emberger, on constate que la forêt peut être classée dans une ambiance bioclimatique humide à hiver froid. Cependant, des nuances peuvent apparaître en fonction de l'exposition et de la topographie. Le régime pluviométrique montre la supériorité de l'hiver dans l'apport pluvial. Les moyennes des températures minimales attestent d'une rigueur thermique hivernale remarquable qui dure entre octobre à mai. Cette rigueur s'accompagne de chutes de neige abondantes. Le nombre moyen de jours de pluie atteint cent jours, alors que les précipitations neigeuses peuvent enregistrer 46 jours par an.

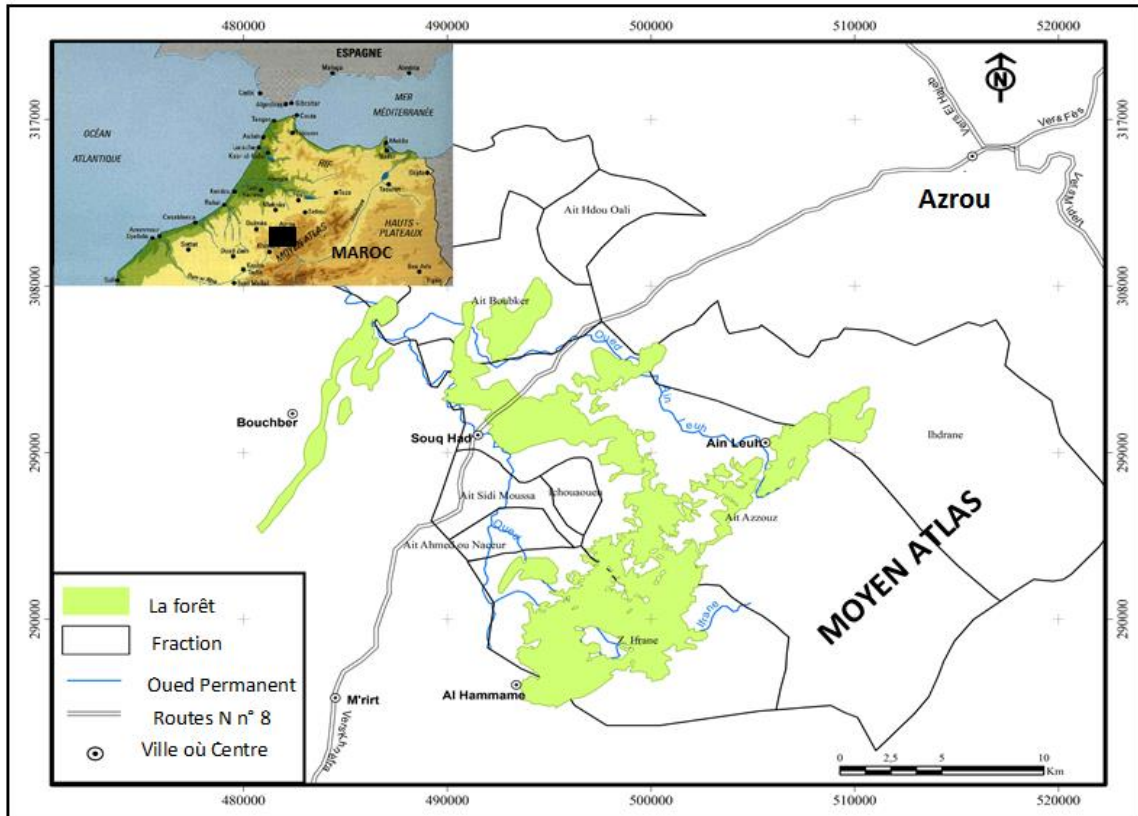


Figure 3 : Carte de situation de la forêt d'Ain Leuh

2. MATERIEL ET METHODES

La méthode utilisée est basée sur l'analyse multicritère via un SIG. Cette analyse multicritère est une méthode qui a pour objet la manipulation de plusieurs critères (sous forme de couches d'informations) dans le but ultime est faciliter la prise de décision. Pour la mise en place de cette méthode, on a suivi les étapes suivantes :

- Choix des facteurs agissant sur le phénomène : les facteurs et les combinaisons des facteurs pouvant contribuer au déclenchement et à la propagation des incendies de forêts sont très nombreux. Les plus importants sont donc choisis parmi les plus fréquents mais en tenant compte aussi de la disponibilité des données correspondantes. Dans ce travail, les facteurs suivants sont pris en compte: les types de végétation, l'occupation humaine (routes et douars) et le facteur topo-morphologique.
- Choix d'indice de risque : parmi les nombreux indices, nous avons opté un indice de risque qui paraît à notre avis, adapté au problème étudié. Cet indice de risque défini par Dagorne & Duche (1994) consiste à intégrer trois sous indices tel que le décrit la formule suivante :

$$IR = 5IC + 2IH + IM$$

IR: Indice de risque de feu de forêt ;

IC: Indice de combustibilité ;

IH: Indice d'occupation humaine ;

IM: Indice topo-morphologique.

Cet indice est conçu selon un modèle affectant à chaque paramètre un coefficient de pondération, en fonction de son influence sur la propagation de l'incendie. Dans notre cas,

nous cherchons, à partir de l'intégration des données multi source, à cartographier les secteurs exposés au risque d'incendies. Pour valider l'approche retenue, l'application a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.2.2.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'historique des incendies dans la forêt d'Ain Leuh, au cours de la période 2003 – 2013, montre que les feux de forêts sont faibles qualitativement et quantitativement en comparaison avec d'autres régions du pourtour méditerranéen (Martinez et al, 2004 ; Gouiran, 1999). En effet, ils n'ont touché qu'une superficie totale de 26 ha avec une moyenne de 2,3 ha/an. Quant au nombre d'incendies durant cette période, il est de 25 avec une moyenne de 2,27 incendies par an.

En ce qui concerne leurs variations inter-annuelles, la figure 2 montre que la plupart des incendies ont eu lieu en 2003 avec une superficie de 7,01 ha, soit 23,73% de la superficie incendiée durant la période indiquée, et en 2004 avec une surface de 6,39 ha; soit 24,37% des espaces incendiés.

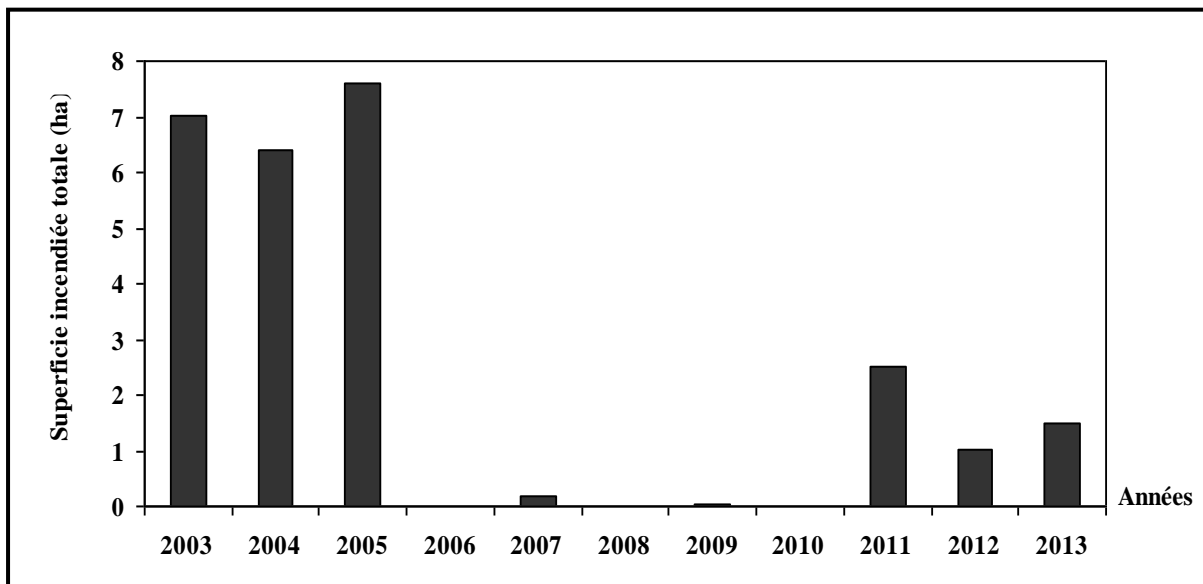


Figure 2: Superficie totale des incendies de forêts par an pour la période 2003 -2013
(Source: DREFLCD, Meknès)

Le croisement entre la couche de l'indice de combustibilité, la couche de l'indice topomorphologique et l'indice d'occupation humaine a permis d'aboutir à la cartographie du risque potentiel d'incendies de forêts en appliquant la formule suivante:

$$IR = 5.IC + 2.IH + IM$$

La carte du risque potentiel d'incendies dans la forêt d'Ain Leuh (figure 3) montre une prédominance du risque très faible ; 87% de la superficie totale de la région d'étude. Les autres classes sont distribuées comme suit: risque faible : 6 %, moyen : 5%, et fort : 2%. Ces résultats sont dus aux faibles densités humaines et à la faible densité du réseau routier implanté en forêt d'Ain Leuh, ainsi qu'aux conditions topo-morphologiques de la forêt qui sont peu favorables (Hamdach, 2015).

La confrontation de ce modèle SIG avec les données historiques montre que la majorité des feux qui se sont déclarés aux cours de la dernière décennie se sont produits surtout dans les zones à risque moyen et fort.

En terme d'aménagement forestier contre les incendies de forêts, nous proposons une gestion participative des feux de forêt par l'implication des habitants riverains des forêts dans les actions visant à empêcher tout départ de feu, un débroussaillage préventif tout près des douars et routes et une intensification des équipements de DFCI (Défense de la Forêt Contre les Incendies) qui comprend essentiellement les points d'eau, les postes vigies et les tranchées pare-feu.

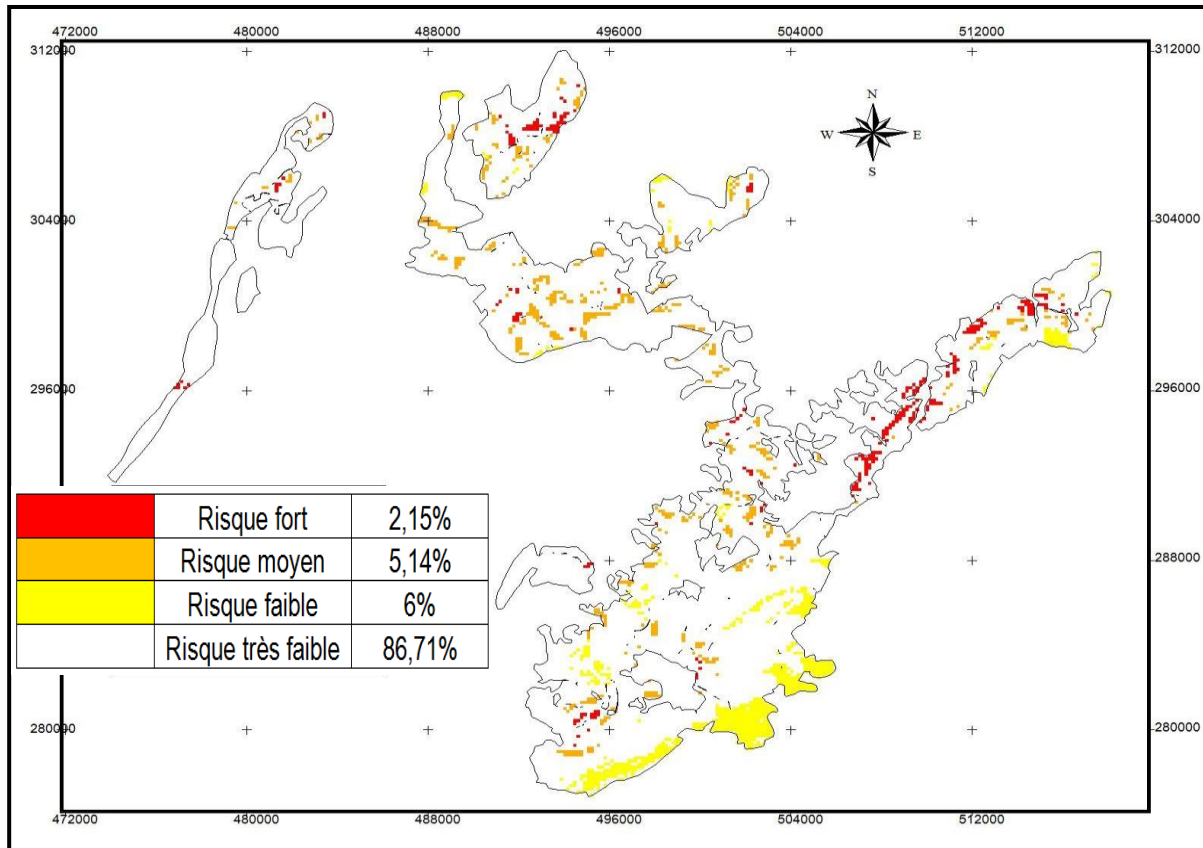


Figure 2. Carte du risque potentiel d'incendies dans la forêt d'Ain Leuh

CONCLUSION

A partir de l'approche cartographique, les zones sensibles sont maintenant bien connues et cartographiées. L'objectif à ce niveau est donc atteint ; cela permettra d'optimiser l'allocation des ressources destinées à la lutte contre les feux naissants et, plus spécifiquement, à un programme adéquat d'actions dans le domaine de la prévention, dont le but fondamental est de réduire la fréquence des feux et la superficie incendiée.

Deux facteurs fondamentaux semblent intervenir dans l'éclosion des incendies. D'une part, l'accroissement de la population entraîne une pression accrue sur les terres forestières, due à la demande de terres de culture et de pâturage dans certaines régions et d'espaces de loisirs dans d'autres. D'autre part, les fluctuations climatiques donnent lieu à de longues périodes de sécheresse, qui accroissent et étendent dans le temps et dans l'espace le danger d'incendie (Velez, 1999 ; Marc et al., 2007).

En perspectives, des voies de recherches sont essentielles en matière de géogouvernance et de développement durable dans le cadre d'une prévention contre le risque d'incendie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DAGORNE A.Y., DUCHE, J.M. CASTEX, OTTAVI J.Y. avec la participation de DALLIER CH. ET DE COSTER A. (1994). Protection des forêts contre les incendies & Système d'Information Géographique: Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes). *Revue forêt méditerranéenne*. T. XV, n°4, octobre, 409 – 420.
- GOUIRAN M. (1999). Bilan des dégâts causés par les incendies de forêts dans les pays riverains de la Méditerranée (1981-1997) : pour la création d'un système d'information sur les incendies de forêts. Atelier "Les bases de données sur les feux de forêts en région méditerranéenne, utilisations et enseignements", 27 avril – 1er mai 1999, Tétouan, Maroc, pp 157 – 176.
- HAMDACH Y. (2015). Les incendies de forêts: genèse et impacts environnementaux et socio-économiques dans le Moyen Atlas septentrional, Maroc : cas des forêts de Bab Azhar et de Chiker. Thèse présentée pour l'obtention de Doctorat en Géographie et Aménagement. Université Sidi Mohammed ben Abdellah, Fès.
- JENNAN L., (2004). Le Moyen Atlas central et ses bordures. Thèse de doctorat d'Etat, soutenue à la faculté des Lettres et Sciences Humaines Dhar Mahraz. Fès.
- LECOMPTE M., (1969). La végétation du Moyen Atlas central: esquisse phyto-écologique et carte des séries de végétation au 1/200000. R.G.M., pp: 3 - 34. Rabat.
- LECOMPTE M., (1969). La végétation du Moyen Atlas central: esquisse phyto-écologique et carte des séries de végétation au 1/200000. R.G.M., pp: 3 - 34. Rabat.
- MARC B., DESPINA K., PAVLOS K., NIKOS P (2007). A decision support system for managing forest fire casualties. *Journal of Environmental Management* 84, pp 412–18.
- MARTINEZ J. ET MARTIN P. (2004). Los incendios forestales en España. Analisisi de incidencias y causalidad. Nuevastecnologias para la estimacion delriesgode incendios forestales. Coleccion de estudios ambienta les y socioeconomicos. Concejo Superior de Investigaciones Cientificas, pp. 11- 22
- VELEZ R. (1999). Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action. *Options Méditerranéennes, Série B: études et Recherches*, n 26. Zaragoza : IAMZ, 118 pages.

DEPLACER TOUTE UNE VILLE EN PLEIN DESERT ALGERIEN, CAS DE HASSI MESSAOUD

SETTI M'hammed ⁽¹⁾ & BACHIR Ali Mustapha ⁽²⁾

(1) Professeur Département de Géographie et d'Aménagement - USTHB – Alger settimhammed@yahoo.fr

(2) Architecte – Casablanca (Maroc) ali@belleriv.com

RESUME: Après l'adoption en Algérie de la loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes en décembre 2004⁽¹⁾, l'observation d'un risque majeur dans l'actuelle ville de Hassi Messaoud a fait naître le projet de la nouvelle ville prévue à l'horizon 2022.

La nouvelle ville de Hassi Messaoud s'inscrit dans un contexte particulier, celui de délocaliser toute une ville (actuelle) qui se situe en zone à risque majeur du fait de sa situation à l'intérieur du périmètre d'exploitation des hydrocarbures, présentant un réel danger pour la population, les biens et l'environnement.

Aujourd'hui, la ville de Hassi Messaoud compte 55000 habitants, elle s'est développée au mépris des règles d'urbanisme et de sécurité industrielle. La décision courageuse de rayer la ville actuelle et la faire renaître ailleurs est prise et semble inéluctable. Elle sera reconstruite à 75 km plus loin, sur un nouveau site, et pouvant accueillir 80000 habitants.

Le but recherché à travers cette étude est d'exposer un cas assez rare du risque industriel sur une agglomération urbaine; son origine, son évolution et enfin la solution adoptée pour résoudre le problème.

Mots clés: Risque industriel, Pipelines, Ville nouvelle, Hassi Messaoud, Algérie.

MOVING A CITY IN THE MIDDLE OF THE ALGERIAN DESERT, HASSI MESSAOUD ISSUE

Abstract: Since the law on the prevention of major risks and disaster management was adopted in Algeria, in Dec 2004⁽¹⁾, a report on a major risk in the current city of Hassi Messaoud has led to the creation of a new city. This project will be carried out by 2022.

Meanwhile, this new city of Hassi Messaoud is part of a particular context i.e relocating a whole (current) city that is located in a high-risk area because it is within the exploitation of hydrocarbons perimeter. Consequently, people, goods and the environment will be faced with a real threat.

Today, the city of Hassi Messaoud has a population of 55,000 inhabitants. It has developed along with a lack of urban planning principles and industrial safety. The courageous decision to wipe out the current city and bring it back to life elsewhere is taken and seems inevitable. It will be rebuilt 75 km farther (46.60 miles), on a new site, and can accommodate 80,000 inhabitants.

The aim of this study is to provide an overview of a rather rare case of industrial risk in an urban agglomeration; its origin, its evolution and in the end the solution adopted to solve the problem.

Key words: Industrial Risk, Pipelines, New City, Hassi Messaoud, Algeria.

Introduction

Le risque d'ordre anthropique se caractérise par un accident dont les principales causes émanent clairement de l'action humaine, de façon délibérée ou autrement (Exemple: site industriel, canalisation de transport de matières dangereuses, silos de stockage de céréales,

rupture de barrage...); bien qu'un aléa naturel puisse entraîner une catastrophe technologique, comme l'incident nucléaire de Fukushima (Japon) a pu récemment le rappeler.

Le développement, à proximité d'un site à risques, d'habitats, de structures administratives, éducatives ou de santé, d'infrastructures de transport ou d'activités économiques, expose des populations à un éventuel accident. Ce risque peut entraîner des conséquences graves pour la population, les biens, l'environnement ou le milieu naturel. Dans beaucoup de cas, la population est forcée de quitter les lieux, entraînant une tragédie humaine.

La connaissance des aléas naturels et technologiques est le préalable à toute politique de maîtrise de l'urbanisation. Ainsi, la planification urbaine autour des sites à risque participe à la réduction des menaces en intervenant directement sur le facteur des enjeux, ou de la vulnérabilité.

La ville de Hassi Messaoud est un cas réel d'implantation humaine sur un site à risque majeur. L'interférence des responsabilités entre l'administration locale et la compagnie (SONATRACH) sur la gestion du périmètre pétrolier a créé une situation de danger permanent, aussi bien pour les personnes qui y habitent que pour les installations pétrolières. Avant qu'il ne soit trop tard, l'Etat algérien a pris une décision radicale; celle de déplacer toute la ville vers un lieu plus sûr pour parer à d'éventuels risques.

1. HASSI MESSAOUED ... REPERES GEOGRAPHIQUES

Le nom de la ville dérivé du mot « Hassi » qui signifie puits en berbère, et du nom propre « Messaoud », en référence au chamelier Messaoud ROUABAH qui s'était installé dans la région en 1919 venant de la ville de Metlili Chaânba (région de Ghardaïa) en quête d'eau et de pâturage.

La ville de Hassi Messaoud se trouve au milieu du Sahara algérien à 800 kilomètres au sud-est de la capitale Alger et à 86 kilomètres au sud-est du chef lieu de la wilaya d'Ouargla (Fig.1).

Elle abrite l'un des plus grands gisements de pétrole au monde qui s'étend sur 6000 km². En conséquence, l'économie de la ville est largement tournée vers l'exploitation, directement ou indirectement, des hydrocarbures.

Aujourd'hui, elle compte une population de 55000 habitants et siège de nombreuses compagnies et entreprises nationales et étrangères, publiques et privées spécialisées dans le domaine pétrolier.

2. AU COMMENCEMENT CE FUT LE PETROLE

Alors simple lieu-dit dans le désert saharien, halte caravanière sur les routes du Sud, Hassi Messaoud est sortie de l'anonymat en juin 1956 suite à la découverte, en pleine guerre d'Algérie, par la société française SN Répal d'un puits de pétrole (Seghiri, 2002).

La nouvelle était très importante à l'époque, elle devient stratégique pour la France coloniale qui voyait dans cette découverte, un espoir de maintenir quelque temps, une indépendance énergétique face aux deux superpuissances de l'époque (les Etats Unis et l'Union Soviétique). Il s'est révélé par la suite que ce lieu était un centre géographique d'un vaste bassin pétrolier qui compte aujourd'hui environ un millier de forages productifs.



L'étendue reconnue de la nappe dépasse 800 km², la couche du pétrole est située à une profondeur moyenne de 3300 mètres, avec une épaisseur utile de 80 mètres.

Dès l'année suivante (1957), les deux grandes compagnies françaises de l'époque, CFP (devenue par la suite TOTAL) et SN Répal (devenue ELF), ont implanté leurs bases de vie (Base 24 février et Base Irara). L'exploitation du gisement commence vraiment le 07 janvier 1958, jour où les vannes des citernes de stockage de Hassi Messaoud s'ouvrent sans cérémonie, pour la première fois depuis qu'il a jailli des entrailles de la terre en 1956. Le pétrole coule dans l'oléoduc provisoire qui le conduit, sur 180 km, jusqu'à Touggourt, station de transit pour la Métropole (France).

3. NAISSANCE D'UNE VILLE

Hassi Messaoud est née comme cité pétrolière de travailleurs masculins, même pendant les décennies 1960 et 1970; elle appartenait à la famille des cités minières (Lerat, 1971). En 1959, il a été décidé par les pouvoirs publics de l'époque la création d'un embryon d'agglomération (700 cabines alimentées), en bordure de la Route Nationale. Tracés au cordon, deux « quartiers » ont vu le jour.

Progressivement, la population est devenue familiale. Certaines entreprises avaient institué des primes d'installation pour encourager la fixation des familles. Ainsi, le nombre d'habitants est passé de 640 personnes en 1966 à 5000 personnes en 1970.

Donc, cette ville, qui n'en était pas une, était composée de bases de pétroliers, d'une rue centrale, d'une structure urbaine faite en ferraille qui abritait un centre administratif et d'une cabane en bois qui faisait office de café. Avec le temps, et la croissance de la population, la ville a bien sûr quelque peu élargi ses fonctions, en faisant place à un certain volume d'activités tertiaires inhérentes à une agglomération moyenne. Ce n'est qu'à partir des années 1980 qu'elle a pris un visage plus urbain: axe commercial, grands ensembles, rues revêtues avec éclairage public...

En 1983, la SONATRACH installe à Hassi Messaoud ses cadres basés jusque-là à Alger. Elle fait construire en trois ans 1850 pavillons dans une cuvette de 100 ha située à quelques kilomètres du centre de la ville. En 1985 et en vertu du découpage administratif, Hassi Messaoud est devenu une commune de 71237 km², régi par une Assemblée Populaire Communale (APC) relevant de la wilaya d'Ouargla.

Côté urbanistique, Hassi Messaoud constitue aujourd'hui un ensemble multiforme avec des sous-ensembles très typés: le Centre administratif et résidentiel, qui manifeste une amorce de centralité; le quartier des chalets préfabriqués; le quartier des dépôts et entrepôts à l'ouest de Route Nationale; et enfin, le quartier d'El Haïcha, ancien bidonville loti dans les années 1980 et habité essentiellement par les nomades. A la ville proprement dite s'ajoutent, en discontinuité, dans un rayon de 3 à 5 kilomètres, les deux bases de vies, premiers éléments implantés au démarrage de la cité, les deux complexes industriels, un aéroport de niveau international.

En l'espace de quarante ans, Hassi Messaoud s'est incontestablement urbanisé, passant du stade de la cité à celui de la ville. Sa population a continué de croître, passant de 8300 personnes recensées en 1987 (RGPH, 1987), 38000 habitants en 1998 (RGPH, 1998), 45000 habitants en 2008 (RGPH, 2008) à 55000 habitants en 2018.

4. LA VILLE ENCORE UN GRAND RISQUE

En quelques années, Hassi Messaoud est complètement transformé par le développement de l'activité pétrolière. Il s'est développé d'une manière anarchique, au mépris des règles d'urbanisme et de sécurité industrielle. Avec un accroissement rapide le sa

population, il est devenu une grande ville qui a subi une urbanisation sous pression des besoins et sans cadre de cohérence urbain. Plus encore, son développement n'a jamais été pensé, il est le fait d'une sédimentation d'actions sectorielles inscrites dans une approche dénuée de toute considération des dangers encourus et des risques.

Aujourd'hui, c'est toute la ville qui est exposée à un risque majeur, un risque industriel, du fait de sa situation à l'intérieur du périmètre d'exploitation des hydrocarbures, sur des champs de production. Ajouter la cela, le nombre important d'oléoducs et gazoducs traversant l'agglomération à partir des champs environnants (In Amenas, Haouadh el Hamra ...) du fait que Hassi Messaoud est le point d'arrivée et de départ de ces pipes. En effet, la ville avec ses bidonvilles et tous les équipements industriels de l'exploitation pétrolière, se situent au-dessus de la nappe et des pipelines (Fig 3 & 4), avec ce que la situation comporte comme danger, vu les nombreux incendies enregistrés depuis des années aux alentours, mais qui n'ont heureusement pas causés de dégâts majeurs pour le moment.

Désormais, la configuration actuelle de la zone urbaine de la ville dans le périmètre d'exploitation de l'immense gisement pétrolier est exposée à un risque majeur, elle peut entraîner des conséquences tragiques aux personnes, aux biens et à l'environnement (Amrouche, 2014). Selon les experts, un accident peut provoquer une véritable catastrophe anthropique avec un nombre importants de victimes.



Les bidonvilles, les habitats précaires et les constructions illicites gênent considérablement les infrastructures pétrolières (Fig 4, 5 & 6) et rendent difficile l'intervention sur ces périmètres en cas d'incident, vu le nombre important de construction et la présence d'autant de vies humaines, dans un champ pétrolier comptant 17 points classés à risques majeurs par les experts en mars 2004.



Cette situation de gravité de Hassi Messaoud nous amène à rappeler l'accident sur un oléoduc au Mexique (1984) qui a fait un millier de morts; et les récurrentes explosions des oléoducs au Nigeria (2006, 2008 et 2015) qui ont fait à chaque fois des centaines de morts.

5. A QUI LA FAUTE ?

Il est vrai que dans les années 1970, il était interdit de construire en dur à Hassi Messaoud. Les quelques cadres qui osaient ramener leur famille étaient logés dans des

mobiles homes. La ville n'était alors qu'une cité de travail. Donc, qui a permis à une ville de se développer sur un champ de pétrole ?

Avant que la ville ne commence à s'étendre et avant l'instauration de la commune de Hassi Messaoud, l'autorité qui gérait le périmètre était la société algérienne des hydrocarbures, la SONATRACH. Cette dernière avait clôturé les surfaces qui entourent les puits et avait le pouvoir de s'interposer en cas de transgression.

Si la législation en vigueur a délimité les normes et a institué un périmètre de sécurité, comme il se fait dans tous les pays producteurs de pétrole, il semble qu'il n'a pas été appliqué, vu que des ensembles d'habitations et des écoles ainsi que des hôpitaux et des infrastructures socio-économiques ont été construits à l'intérieur des périmètres de sécurité.

Tout le monde dans cette ville s'accorde à dire qu'avec l'arrivée de l'Assemblée Populaire Communale (APC) tout a changé. Sous la pression des besoins de la population sédentarisée, la mairie a autorisé l'installation de ce nombre important de population sur des espaces non sécurisés en distribuant des autorisations de construire à tout-va (Allioua, 2005). Il n'y a pas que les privés qui élevaient du bâti, l'Etat également s'y est mis, les cités ont poussé comme des champignons. Même les terrains entre immeubles, prévus comme des espaces verts ou places publiques, sont désormais devenus des commerces, construits et exerçant illicitement. À deux pas de ces échoppes, on continue à extraire du pétrole, au détriment des règles de sécurité (Fig. 7).



Fig. 7 Installation pétrolière à l'intérieur de la ville

A notre avis, c'est cette double autorité de gestion d'un espace aussi sensible et complexe entre l'APC et la SONATRACH, et la passivité des autorités centrales qui ont provoqué le résultat « alarmant » que donne la ville actuelle. Personne n'a pensé à maîtriser le développement anarchique de la ville, à la contenir, la tenir éloignée des puits et pipelines. Elles ont laissé faire pendant trop longtemps, alors qu'il fallait mettre un coup d'arrêt dans les années 1970.

6. DEPLACER HASSI MESSAOUD...NECESSITE ET URGENCE

Devant cette situation préoccupante, il fallait prendre des décisions radicales avant que le pire se produise. La première décision fut prise en avril 2005⁽²⁾ par un décret ministériel en classant le périmètre d'exploitation des gisements de Hassi Messaoud en « zone à risques majeurs ». Le décret a dans ce sens interdit à l'intérieur de ce périmètre qui comprend la ville de Hassi Messaoud « toute construction, réalisation ou investissement à caractère industriel, commercial, touristique ou agricole et, de façon générale, toute autre opération qui n'est pas liée à l'industrie des hydrocarbures ». Le texte interdit également tout octroi de permis de construire et/ou de concession qui n'est pas lié directement à l'industrie des hydrocarbures ou à celui du secteur minier.

La seconde décision fut prise, en septembre 2006⁽³⁾ par décret présidentiel cette fois-ci. Elle est encore plus courageuse et plus déterminée que la première, elle consiste à déplacer impérativement la ville actuelle de Hassi Messaoud. Le décret exécutif est pris en application de la loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes, il stipule

dans l'un de ses articles que « Les activités secondaires et tertiaires ainsi que les logements et les infrastructures non liés à l'activité pétrolière, implantés à Hassi Messaoud, sont transférés hors du périmètre d'exploitation du gisement. Les bidonvilles, constructions illicites et habitations précaires, érigées à l'intérieur du périmètre sont démolies ».

Face au danger que fait peser une zone classée à risque, le Gouvernement algérien n'avait d'autre choix que de prendre la décision de délocaliser la ville actuelle vers une autre ville nouvelle, et de rendre à terme, une fois pour toute, Hassi Messaoud aux pétroliers.

La décision est économiquement nécessaire, car elle permettra aux compagnies pétrolières (nationales ou étrangères) de réaliser leur travail dans de meilleures conditions de sécurité. Mais socialement, cela signifie concrètement de déplacer 55000 habitants vers un autre lieu de vie. Chose qui est difficile après avoir laissé les gens s'enraciner pendant plus de quatre décennies (Ourad, 2005).

L'Etat semble avoir pris une décision irrémédiable, son intention est très noble. Il sait que Hassi Messaoud dans sa configuration actuelle est appelé à disparaître, et qu'il va falloir trouver le temps pour le faire et les mots pour le dire, surtout à la population locale.

CONCLUSION

La ville de Hassi Messaoud est l'exemple type de la problématique de développement urbain en Algérie. On impute, dans ce cas précis, les erreurs de gestion de l'espace à deux facteurs, l'absence de vision prospective et la non-convergence des intérêts du secteur de l'énergie avec ceux de l'administration locale. Le résultat est «alarmant» en particulier sur le plan environnemental, et plus grave encore, en matière de menace sur la sécurité des habitants.

Pour sécuriser le champ pétrolier, on décide de transférer toute la ville, afin d'éviter une énorme catastrophe. La nouvelle ville devrait permettre d'éviter les erreurs du passé. L'instance chargée de l'opération de délocalisation (ENVH) a été installée en 2007. L'opération s'annonce ardue, mais le train est lancé et le projet de la nouvelle ville avance à grand pas.

Notes

(1) Loi n° 02-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes.

(2) Décret n° 05-127 du 24 avril 2005 relatif au classement de Hassi Messaoud comme zone à risques majeurs.

(3) Décret présidentiel (Exécutif) DE n° 06-321 en date du 18 septembre 2006 relatif au projet de délocalisation de Hassi Messaoud.

Références bibliographiques

ALLIOUA Houria. (2005). Délocalisation de la ville de Hassi Messaoud. (Reportage). In : Quotidien El Watan du 01-06-2005, pp.7.

AMROUCHE Akli. (2014). Ville nouvelle de Hassi Messaoud, une oasis urbaine du futur pour dynamiser le grand sud. (Numéro spécial). Revue Vies de villes. N°05 – Février 2014. <http://www.viesdevilles.net>

LERAT Serge. (1971). Hassi Messaoud. Les Cahiers d'Outre-mer, Bordeaux, pp. 16-31.

OURAD Meziane. (2005). Hassi Messaoud, la ville qui doit disparaître ! (Reportage). In : Quotidien Liberté du 21-02-2005.

ONS (Office National des Statistiques). RGPH 1987, RGPH 1998 et RGPH 2008. Alger.

SEGHIRI Allaoua. (2002). Hassi Messaoud est-elle une ville ? (Note). In : Revue Méditerranée, tome 99, 3-4-2002, Le Sahara, cette « autre Méditerranée » (Fernand Braudel) pp. 99-102. https://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_2002_num_99_3_3268

EVOLUTION DE LA LAGUNE DE NADOR SOUS L'IMPACT DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER (MAROC NORD-EST)

Hicham LASGAA

Groupe de recherche : Climat, eaux, environnement et risques d'aménagement. Département de géographie, FLSH. Université Moulay Ismail. Mekhnès, Maroc
hichamlasgaa@yahoo.fr

Résumé : La lagune de Nador constitue un espace humide d'une grande valeur écologique et biologique qui ne cesse d'évoluer depuis sa genèse. L'étude de l'évolution actuelle de la lagune montre une dynamique rapide du cordon dunaire constituant l'île barrière. Cette évolution géomorphologique apparaît clairement dans le déplacement de l'ouverture qui assure le renouvellement des eaux marines au sein de la lagune et aussi par le démaigrissement de l'île barrière. En outre, les changements climatiques à l'échelle du globe conduisent à la fonte des glaces polaires, ce qui entraîne l'augmentation du niveau de la mer. Par conséquent, les espaces côtiers vont connaître une érosion naturelle accélérée, voire même la disparition de certaines zones.

Le but du présent travail est d'étudier les conséquences potentielles de l'élévation future du niveau de la mer sur l'île barrière en prenant en considération les scénarios d'élévations du niveau de la mer d'ici 2100.

Pour réaliser ces objectifs, nous nous basons sur la combinaison des profils d'équilibre de Bruun 1962 dans un SIG pour construire un MNT (Modèle Numérique de Terrain), afin de cartographier l'évolution future sous l'effet de l'élévation du niveau de la mer, causée par le réchauffement global de la planète.

Les résultats obtenus montrent une forte dégradation de l'île barrière de la lagune d'ici l'an 2100 d'environ 50% en moyenne.

Mots clés : dynamique, élévation du niveau de la mer, scénario, île barrière, Marchica, Maroc

EVOLUTION OF THE NADOR LAGOON IN RESPONSE TO THE SEA LEVEL RISE (NORTHEAST MOROCCO)

Abstract: The Nador Lagoon is a wetland of a great ecological and biological value that has been evolving since its inception. The study of the current evolution of the lagoon shows a rapid dynamic of the dune cord constituting the barrier island. This geomorphological evolution appears clearly in the displacement of the opening which ensures the renewal of the marine waters within the lagoon and also by the weight loss of the barrier island. In addition, the global climate change is leading to the melting of polar ice, resulting in rising the sea levels. As a result, coastal areas will experience accelerated natural erosion and even the disappearance of some coastal areas.

The subject of this study is to investigate the potential consequences of the future sea level rise on the barrier island by taking into consideration the sea level rise scenarios by 2100.

To achieve these goals, we rely on the combination of the Bruun 1962 equilibrium profiles into a GIS to construct a DEM (Digital Terrain Model), in order to mapping the future evolution under the effect of the sea level rise.

The results obtained show a strong degradation of the barrier island of the lagoon by the year 2100 of about 50% on average.

Key-words: dynamics, sea level rise, scenario, barrier island, Marchica, Morocco

Introduction

Au cours du 20^{ème} siècle, le niveau mondial moyen de la mer a augmenté d'au moins 10 cm. Cette hausse devrait se poursuivre et s'accélérer très probablement au 21^{ème} siècle en raison du réchauffement du climat du globe à 88 cm à l'horizon 2100. Au-delà du XXI^e siècle, de nouvelles augmentations importantes du niveau de la mer semblent inévitables et si le changement climatique n'était pas maîtrisé, le Groenland et l'Antarctique pourraient devenir des sources importantes d'élévation du niveau de la mer (Church et al., 2001). Les impacts qui en résultent vont aggraver les tempêtes de mer ainsi que les risques d'inondation et de submersion des côtes basses.

Compte tenu des risques existants et les risques croissants dans les zones côtières, il y a un grand besoin de gagner autant de perspicacité que possible dans la nature exacte et l'ampleur des augmentations possibles du risque lié à l'élévation du niveau de la mer et les tendances futures du climat sur les milieux naturels, ainsi que les menaces qui pèsent sur la société humaine.

Dans ce sens, cette étude a pour objectif d'évaluer la vulnérabilité de la lagune de Nador au risque d'érosion et de submersion en cas d'une augmentation probable du niveau de la mer. Les estimations de 0.5 à 1m proposées par l'IPCC sont vivement prises en considération dans l'élaboration de cette étude.

I. Localisation de la zone d'étude

La lagune de Nador s'étend sur 25 km environ de longueur et 7km de largeur. Sa superficie dépasse 115 km². Elle présente la plus grande lagune au Maroc et la deuxième en Méditerranée. Elle est délimitée par la ville de Beni Nsar à l'ouest, Arekman à l'est, la Méditerranée au nord et la plaine de Bouareg au sud (Fig. 1).

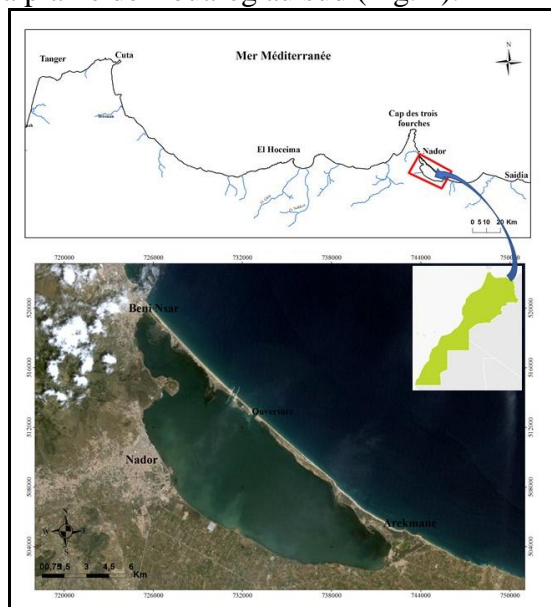


Figure 1: Situation de la zone d'étude

II. Méthodologie

L'estimation de la zone côtière qui sera submergée par l'élévation du niveau de la mer repose généralement sur le traitement des données topo-bathymétriques à grande échelle.

Dans la présente étude, la zone inondée d'une élévation probable du niveau de la mer de 0,5 m à 1 m a été déduite des données topographiques extraites de la restitution aérienne de

2006. Après cela, un modèle numérique d'élévation (DEM) a été produit de l'interpolation des données d'élévation. Les données bathymétriques sont fournies par «USGS». Ce modèle a été converti en MNT pour effectuer les traitements nécessaires dans un SIG.

L'estimation de la partie de la lagune qui sera probablement couverte en eau repose sur l'intégration des profils topographiques et bathymétriques dans le modèle de Bruun 1962:

$$R_{\infty} = S \frac{L_*}{h_* + B}$$

L^* est la largeur du profil, h^* est la hauteur de la berme et B est la largeur de la plage. Cette équation a été modifiée par Dean et Maurmeyer (1983) pour les île-barrières sous la forme :

$$R_{\infty} = S \frac{L_* + L_w + L_L}{h_* - h_L}$$

Les divers termes sont expliqués dans la figure 2. Le recul du rivage représente environ 50 à 200 fois l'élévation du niveau de la mer, les facteurs les plus importants étant liés aux pentes plus douces des plages et aux conditions de vagues plus énergiques (CEM 2008).

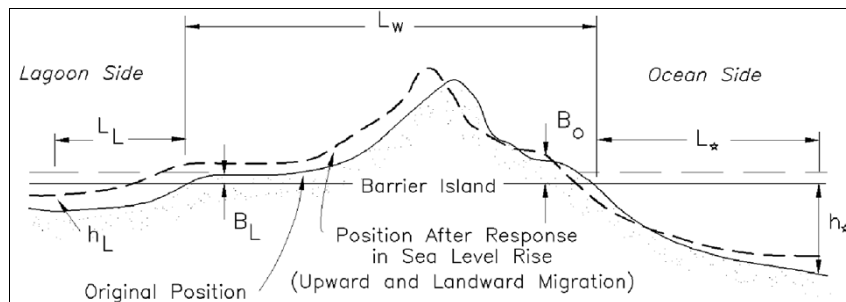


Figure 2: La règle de Bruun pour le cas d'une île-barrière modifiée par Dean and Maurmeyer 1983

III. Résultats et discussion

III.1. Topo-bathymétrie douce

Notre première analyse des données topographiques et bathymétriques montre que l'île barrière qui forme la lagune de Nador est constituée d'une topographie douce marquée par des élévations faibles. Les plus hautes altitudes sont situées entre l'ouverture de la lagune et Arekmane à 16m environ ; une bonne partie de la topographie est généralement faible et ne dépasse pas 5m. Par ailleurs, on constate la présence des terres basses au niveau de la mer sur cet espace. Celles-ci montrent la vulnérabilité de l'île barrière à une simple élévation du niveau de la mer, voire même aux tempêtes marines. En outre, l'analyse des données bathymétriques montre une bathymétrie très faible notamment à l'intérieur de la lagune (Fig. 3). Elle est autour de -1m en général sauf à l'extrême nord-ouest de la lagune, là où la topographie sous-marine s'abaisse jusqu'à -3m. Par ailleurs, la bathymétrie de la zone littorale est faible dans les premiers 200 mètres et ne dépasse pas -5m de profondeur. Globalement, nous constatons un gradient de la bathymétrie en allant vers le large jusqu'à -50m à plus de 2000m de la lagune.

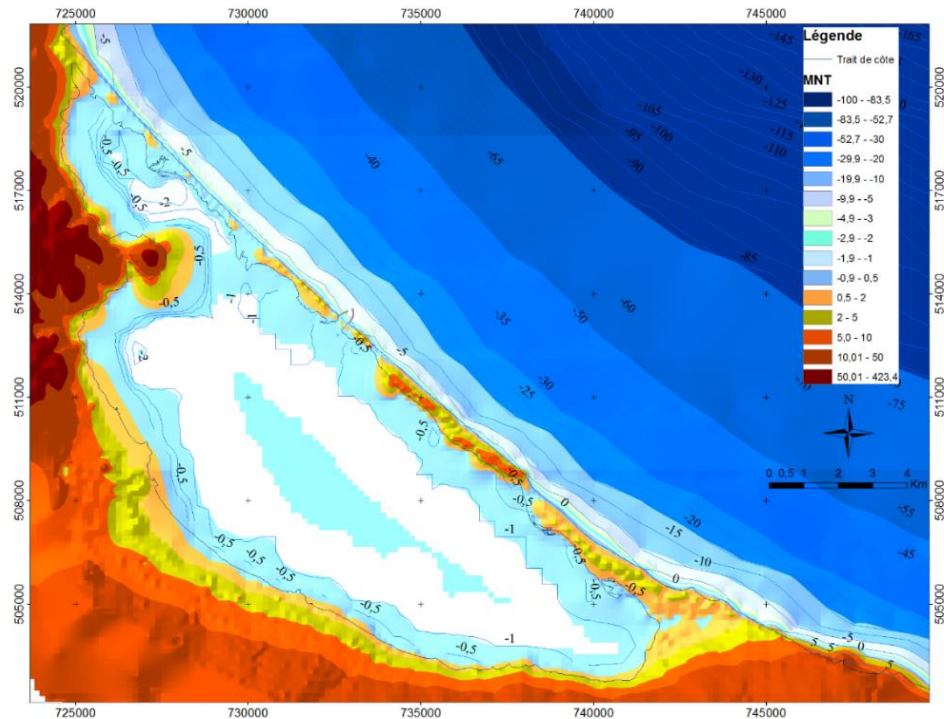


Figure 3: Carte topo-bathymétrique de la lagune de Nador

III.2. élévation du niveau de la mer et dégradation de l'île barrière

La présente étude a pour objet d'étudier les conséquences spatiales de l'élévation future du niveau de la mer sur la résistance de la lagune face aux changements climatiques. Les scénarios d'élévation du niveau de la mer deviennent de plus en plus catastrophiques. Selon le rapport de l'IPCC de 1996, le niveau de la mer augmentera de 49 cm à l'horizon de 2100. En 2001 le rapport de l'IPCC prédit une élévation du niveau de la mer à 62 cm, en raison d'un réchauffement de la planète de 3° C d'ici 2100. En outre, le dernier rapport de l'IPCC prédit que le niveau de la mer en général augmentera de 1m environ à la fin du 21^{ème} siècle.

Après l'acquisition et l'exploitation des données topographiques et bathymétriques de la lagune de Nador, nous avons rassemblé toutes ces données dans un seul modèle numérique de terrain (MNT). Ce dernier nous permet de visualiser et de dessiner des profils topo-bathymétriques pour estimer l'adaptation de l'île barrière aux variations du niveau de la mer. Au total, 6 profils d'équilibre tracés tout au long de l'île barrière pour couvrir toute la zone d'étude d'une part, et d'essayer d'obtenir au maximum des résultats satisfaisants et plus précis d'autre part (Fig. 4). En outre, la présente étude estime non seulement la partie de la lagune qui serait inondée en fonction de l'élévation du niveau de la mer, mais fournit également une évaluation du recul ultérieur du trait de côte induit par l'érosion côtière.

Le modèle statistique et géométrique des profils d'équilibres pour les îles barrières a été appliqué sur 6 profils en tenant compte des scénarios d'élévation du niveau de la mer d'ici 2100. Rappelons à ce propos que les estimations sont de 0,5 m à 1m suite à une élévation de la température du globe d'environ +3° C selon le dernier rapport de l'ICPP.

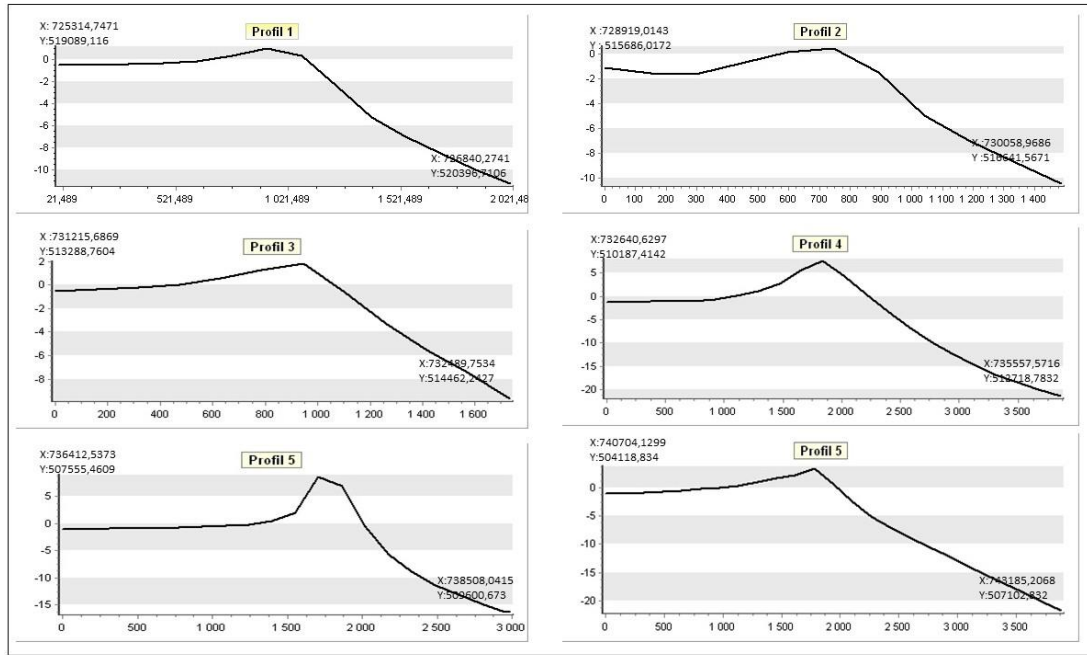


Figure 4: profils d'équilibre

En cas d'une élévation du niveau de la mer de 0.5 m, des parties importantes de l'île barrière de la lagune de Nador seront disparues. Généralement, toute la ligne du rivage de l'île barrière se retirera en deçà de sa position actuelle. Les estimations des zones qui seront inondées et de diminution de l'île barrière suite à une élévation du niveau de la mer de 0,5 m et 1 m sont reportées dans le tableau 1.

Tableau 1: Estimation des scénarios de retrait causés par l'élévation du niveau de la mer

Profils	Coordonnées X	Coordonnées Y	Élévation de 0.5m	Élévation de 1m
1	725314,7471	519089,116	148	297
	726840,2741	520396,7106		
2	728919,0143	515686,0172	88	177
	730058,9686	516641,5671		
3	731215,6869	513288,7604	205	410
	732489,7534	514462,2427		
4	732640,6297	510187,4142	157	315
	735557,5716	512718,7832		
5	736412,5373	507555,4609	156	312
	738508,0415	509600,673		
6	740704,1299	504118,834	190	381
	743185,2068	507102,832		

Une élévation de 0.5 m mettra tout le cordon dunaire formant la lagune en véritable risque d'érosion. Le taux de recul et de diminution est de 157m environ au niveau de la rive droite de l'ouverture de la lagune (profil 4) et de 88m environ au secteur 2 contre 148m de recul tout près de Beni Nsar (profil 1), et entre 205m et 190 m au niveau des profils 3, 5 et 6.

La prise en considération du scénario de 1m de l'IPCC pour estimer l'évolution future de la lagune montre une forte dégradation de cette zone. Le recul du cordon sableux sera donc entre 177m au niveau du profil 2 et 410m au niveau de la rive gauche de l'ouverture de la lagune (profil 3). Le secteur 1 connaîtra un recul de 300m environ, contre 381m de diminution dans le secteur 6 et 315 m à l'échelle de la rive gauche et droite de la passe.

Par ailleurs, nous nous sommes basé sur les résultats de ces scénarios pour dresser une carte d'évolution de la lagune à l'horizon 2100 (Fig. 5).

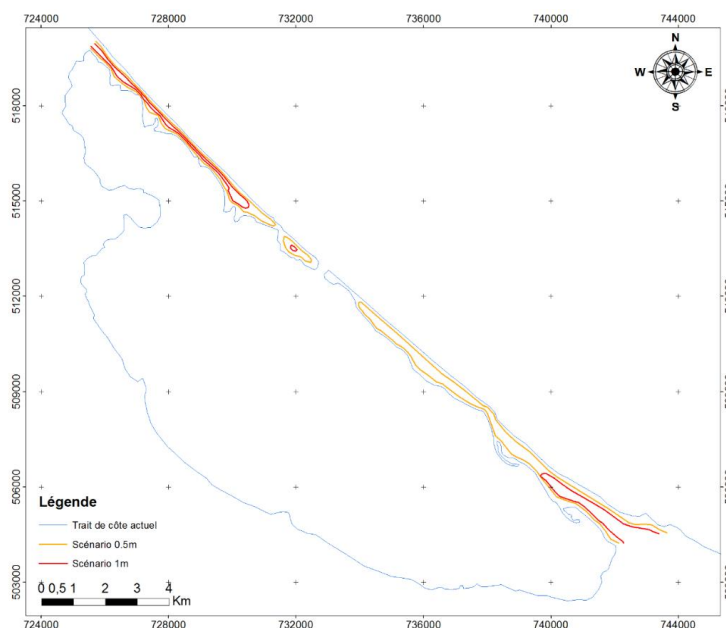


Figure 5. Scénarios d'évolution de la lagune de Nador à l'horizon 2100

On constate que la lagune de Nador présente un espace en plein risque même pour un scénario d'élévation du niveau de la mer de 0.5m. En cas d'une montée du niveau de la mer de 1m, la zone côtière connaîtra un changement géomorphologique majeur. Nous estimons à travers cette étude qu'il n'aura plus de lagune d'ici 2100 si le niveau de la mer continue de s'élever. L'île barrière subira une forte perturbation et par conséquent la lagune disparaîtra et elle se transformera en baie qui s'étendra entre le Cap des Trois Fourches et Arekmane.

Conclusion

L'étude de l'impact de l'élévation du niveau de la mer entre 0.5m et 1m à cause du réchauffement de la planète sur la lagune de Nador montre une forte dégradation qui se manifeste dans le recul et la diminution de l'île barrière formant la lagune. En cas d'élévation du niveau de la mer de 0.5m, des centaines de mètres linéaires seront disparus de la lagune. Les parties de l'île barrière les plus vulnérables à une probable montée du niveau de la mer sont celles caractérisées par une topographie basse et une largeur faible (L_w). Ce risque de disparition de la lagune devient plus catastrophique en cas d'un scénario d'élévation de 1 m, où on constate presque la disparition totale de plusieurs parties de l'île barrière. Nous estimons, selon les scénarios élaborés par IPCC à l'horizon 2100 qu'il n'y aura plus de lagune à Nador. En outre, le littoral se présentera sous forme d'une grande baie entre le Cap des Trois Fourches et Cap de l'Eau.

Bibliographie

- Bruun, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Waterways and Harbors Division, vol. 88, pp. 117–130.
- Church, J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M.T., Qin, D. and Woodworth, P.L., 2001. Changes in Sea Level, In Climate Change 2001. Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- Dean, R. G., and Maurmeyer, E. M. 1983. Models for Beach Profile Response, *CRC Handbook on Beach Erosion and Coastal Processes*, P. D. Komar, ed., Chapter 7, pp 151-166.
- IPCC, 1996. Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of IPCC. Cambridge University Press. 572 pp.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of IPCC. Cambridge University Press. 881 p.

ETUDE DE CONTAMINATION METALLIQUE AU NIVEAU DU SEDIMENT DE L'OUED MARTIL: IMPACT DE L'ACTIVITE ANTHROPIQUE

Z. DJEBARY TAHIRI¹, A. RAISSOUNI¹, M. RAISSOUNI¹, A. EL ARRIM¹, H. ER-RAIOUI² et S. BOUZID²

¹Laboratoire d'Océanologie, Environnement et Risques Naturels, Département des Sciences de la Terre, FST de Tanger, BP 416, Tanger, Morocco.

²Laboratoire de Biologie Appliquée et Sciences de l'Environnement, Département des Sciences de la Terre, FST de Tanger, BP416, Tanger, Morocco.

RESUME: Conscients du rôle des zones côtières marocaines, comme étant un pôle structurant de l'économie nationale, à cause de la concentration industrielle (80 % des effectifs permanents des industries), touristique (50 % de la capacité d'accueil) et commerciale (92 % du commerce extérieur), et vu la répercussion négative de telles activités sur l'état de l'environnement marin côtier et son impact sur la vie socio-économique des pays adjacents, nous avons visé un objectif pour évaluer les caractéristiques granulométriques, et estimer le degré de contamination du principal cours d'eau débouchant dans la Méditerranée occidentale, à travers une étude spatio-temporelle des teneurs des métaux: fer, manganèse, cuivre, zinc, plomb, nickel, et cadmium dans les sédiments, afin de mettre en évidence le risque sanitaire des effluents urbains et industriels sur la qualité des eaux. L'évaluation métallique des sédiments des oueds Moghogha et Martil montre une importante pollution métallique, en particulier par le cadmium et le plomb, ce qui confirme l'impact anthropique très important lié aux rejets non traités des villes de Tanger et Tétouan. Le calcul du facteur d'enrichissement indique des enrichissements forts en cadmium, plomb, et cuivre.

Mots clés : Environnement, Pollution, Sédiment, Eléments Métalliques, Facteur d'enrichissement.

Abstract : Conscious of the role of Moroccan coastal areas as a structuring pole of the national economy, because of the industrial concentration (80% of the permanent workforce of the industries), tourism (50% of the capacity), the negative impact of such activities on the state of the coastal marine environment and its impact on the socio-economic life of adjacent countries, we have set an objective to evaluate the grain size characteristics, and to estimate the degree of contamination of the main river leading into the Western Mediterranean, through a spatio-temporal study of the metal contents: iron, manganese, copper, zinc, lead, nickel, and cadmium in sediments to highlight the health risk of urban and industrial effluents to water quality. The metal assessment of the sediments of the Moghogha and Martil River shows significant metal pollution, particularly cadmium and lead, This confirms the very significant anthropogenic impact of untreated discharges from the cities of Tangier and Tetouan. The calculation of the enrichment factor indicates strong enrichments in cadmium, lead, and copper.

Key-words: Environment, Pollution, Sediment, Metal Elements, Enrichment Factor

1. Introduction

Les écosystèmes côtiers et estuariens comptent parmi les milieux naturels les plus riches et les plus productifs d'un point de vue biologique. Or ces milieux sont soumis à de nombreuses sources de dégradation. En effet, la majorité des polluants déversés sur les bassins versants, sont charriés par les cours d'eau pour se retrouver inévitablement en mer. Contrairement aux polluants organiques susceptibles d'être dégradés dans l'environnement, les métaux sont persistants, et peuvent s'accumuler dans les sédiments et dans les êtres vivants (champignons, végétaux, insectes, ...), Ces ETM proviennent en partie de l'héritage du fond géochimique parental mais surtout des diverses activités anthropiques. Certains éléments qualifiés de

micronutriments, sont essentiels à l'activité biologique mais peuvent devenir toxiques à forte concentration comme c'est le cas de Cu et de Zn, contrairement à d'autres, tels que le Hg et Pb qui sont considérés comme particulièrement dangereux et toxiques même en très faibles quantités (Bourrinet et al. 2008).

2. Matériels et méthodes

a. Situation de la zone d'étude

L'Oued objet d'étude est l'Oued de Martil, allant de l'est de Tétouan jusqu'à Martil avec un bassin versant de 1220 km² et un débit moyen annuel de 14,7 m³/s, l'Oued Martil est compté parmi les plus importants réseaux hydrographiques du versant méditerranéen du Rif. Né dans le massif de Beni-Lait, l'Oued Martil prend sa source dans des formations marno calcaires à 1000 m d'altitude. Il se subdivise en un tronçon supérieur à pente raide qui traverse la dorsale calcaire et un autre à pente faible qui longe la ville de Tétouan, pour se jeter finalement dans la mer Méditerranée au niveau de la ville de Martil.

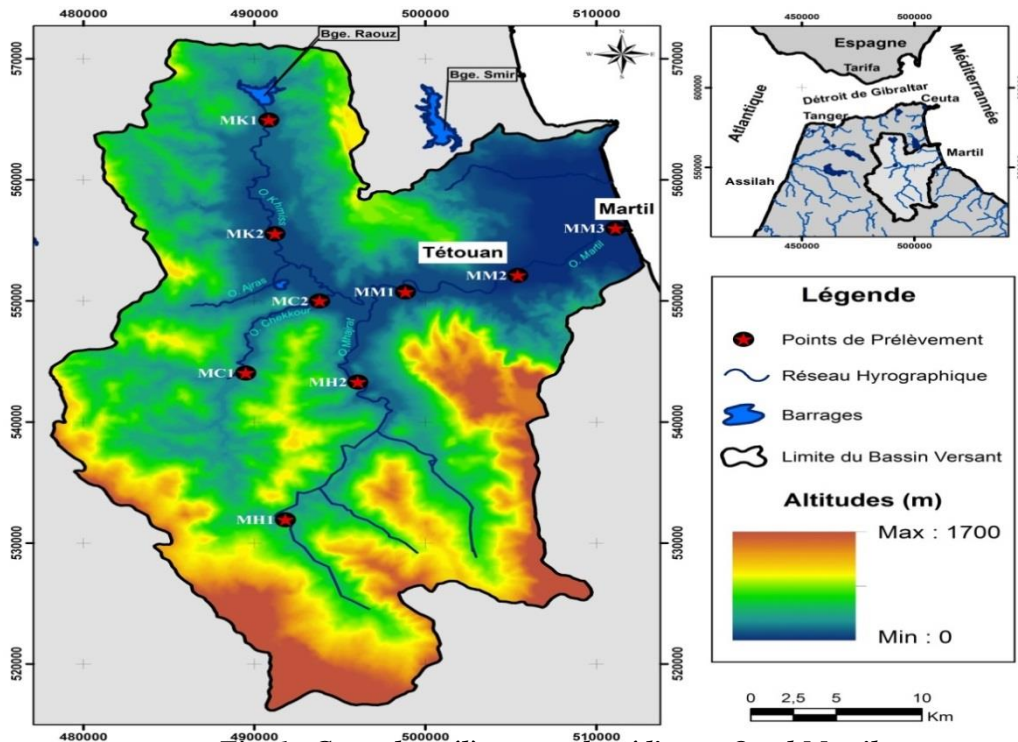


Fig. 1. Carte de prélèvement du sédiment Oued Martil.

b. Echantillonnage et prélèvements

Des échantillons de sédiments ont été prélevés en 2 campagnes, en période hivernale Janvier et août 2011 pour l'époque estivale. Ces échantillons ont été prélevés dans les mêmes points pour les deux campagnes. Les sédiments destinés aux analyses sont collectés au niveau de la couche superficielle à l'aide d'une pelle en plastique sur une profondeur variant entre 20 et 30 centimètres (maintenue propre entre les échantillonnages), dans des zones à sédimentation calme et riche en matériaux fins et en dépôt organiques. Les prélèvements sont transférés en sacs de plastique propres. Les échantillons sont transportés dans une glacière puis congelés à - 18°C pour limiter les réactions de dégradation photochimiques, thermiques et bactériennes de la matière organique. Ils sont ensuite déshydratés à l'étuve à 80°C pendant 48h puis broyés et homogénéisés. Les teneurs en métaux lourds dans les sédiments dépendent fortement des caractéristiques granulométriques. Förstner et al 1989 ont montré que la

distribution des métaux dans les sédiments dépend du contenu en sables, en silts et en argiles. Donc on a estimé la concentration des métaux lourds dans la totalité du sédiment par l'utilisation de la fraction fine <63 μm . De ce fait, on a procédé à réaliser un tamisage humide des échantillons à 63 μm , l'opération consiste à faire passer l'échantillon par le tamis sous un jet d'eau suffisant, la fraction fine est alors séparée de la fraction grossière puis, après décantation, on élimine l'eau et on transfère la phase solide vers l'étuve à 40°C. Finalement, l'échantillon sec est broyé à l'aide d'un mortier agate et conservé dans des sachets de plastiques jusqu'à l'analyse.

Les mesures de métaux par ICP-AES, nécessitent des échantillons liquides à cause de l'existence d'un capillaire amenant l'échantillon au nébuliseur. Il faut donc traiter les échantillons de manière à les passer sous forme liquide et rendre alors leurs analyses possibles (Alvarez et al 2002). Le protocole suivi pour la digestion des sédiments par le moyen de l'étuve conventionnel à 0.2 g de sédiment sec (fraction fine préalablement broyée), introduit dans un récipient de téflon, on ajoute 4 ml d'acide nitrique concentré et 1 ml d'acide fluorhydrique concentré. Le réacteur fermé est porté à 105 °C dans une étuve pendant 24 heures. Après le chauffage, le contenu filtré, est transféré dans un matras et jaugé avec l'eau distillée à 50 ml. Les dissolutions sont gardées dans des flacons de polyéthylène à 4°C jusqu'à leur analyse. Pour la mesure des concentrations en métaux traces dans les sédiments superficiels des cours d'eau, les solutions obtenues après digestion ou extraction séquentielle ont été analysées par ICP-AES.

3. Résultats et discussion

a. Granulométrie

Dans les échantillons analysés, les teneurs de la fraction fine (<63 μm) varient généralement entre 7% et 93 %. Une évolution anormale de la distribution de la fraction fine est observée pour le sédiment de l'Oued Martil, des pourcentages relativement élevés de la fraction fine sont remarqués notamment pour les stations MH2 et MM3.

L'étude granulométrique montre :

- Un dépôt par des courants irréguliers;
- Un sédiment déposé après un faible parcours et qui n'est pas encore trié;
- Un mélange de sédiments de diverses provenances.

La comparaison entre l'étude granulométrique dans les sédiments superficiels entre l'amont et l'aval, indique l'existence d'un apport de matières fines récentes, ceci ne peut être attribué qu'aux activités humaines influencées par les régimes fluvial et éolien.

b. Teneurs en métaux

En comparant les résultats (Tab. 1) obtenus dans les différents sites de prélèvement pour le sédiment d'Oued Martil, on note que les teneurs les plus élevés sont enregistrés au niveau des points MM1, MM2 et MM3 situés au centre d'agglomération urbaine à la sortie de la décharge municipale MM1, à proximité de la zone industrielle MM2 et à l'aval du cours d'eau MM3.

La distribution de la teneur des métaux est presque semblable pour le Fe, Pb, Cd et le Cu, et à un degré moins pour Zn, Ni et le Mn. Les valeurs les plus fortes sont enregistrées à partir du point MM1 situé à la sortie de la décharge municipale de Tétouan. Ces résultats indiquent un enrichissement assez considérable pour le fer enregistrant une valeur de 148 mg/l qui continue à augmenter en traversant la zone industrielle de Kouilma et la ville de Martil enregistrant un maximum de 173 mg/l à l'aval de l'Oued. Cette même tendance est observée pour le plomb, cadmium, qui représente parfois le triple des valeurs enregistrées à l'amont de

l'Oued. Pour le cas du cuivre, les résultats sont très surprenants puisque ces valeurs dépassent largement d'autres études réalisées dans d'autres estuaires marocains (Morhit et al 2008, 2012). Pour les autres éléments, une distribution assez irrégulière et peu significative est remarquée, des valeurs très faibles sont enregistrées prouvant un appauvrissement de ces éléments dans le sédiment de ce cours d'eau. On peut attribuer les concentrations obtenues à la nature des terrains traversés. L'évolution dans le temps est peu significative pour les sept éléments étudiés puisque on note que les résultats obtenus ont presque les mêmes valeurs.

Table 1: Teneur en métaux au niveau du Sédiment Oued Martil. 2011 en mg/l.

Echantillons	Campagne	Fer	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn
<i>MC1</i>	juin-11	84,844	0,101	0,008	0,354	0,397	0,072	0,168
	janv-11	83,996	0,094	0,008	0,351	0,441	0,071	0,188
<i>MC2</i>	juin-11	102,664	0,148	0,004	0,366	0,469	0,103	0,223
	janv-11	79,051	0,125	0,004	0,410	0,46	0,102	0,225
<i>MK 1</i>	juin-11	89,204	0,117	0,005	0,218	0,437	0,052	0,205
	janv-11	99,908	0,115	0,005	0,192	0,459	0,057	0,201
<i>MK2 (Aval)</i>	juin-11	147,992	0,180	0,006	0,408	0,492	0,105	0,257
	janv-11	149,472	0,183	0,006	0,510	0,587	0,116	0,156
<i>MH1</i>	juin-11	95,940	0,110	0,007	0,386	0,449	0,080	0,134
	janv-11	71,955	0,097	0,007	0,284	0,94	0,100	0,133
<i>MH 2 (Aval)</i>	juin-11	89,640	0,121	0,005	0,266	0,652	0,119	0,166
	janv-11	88,744	0,119	0,005	0,247	0,522	0,131	0,164
<i>MM 1 (Amont)</i>	juin-11	148,900	0,281	0,012	0,369	0,85	0,173	0,285
	janv-11	131,032	0,239	0,012	0,464	0,62	0,190	0,279
<i>MM 2</i>	juin-11	160,888	0,357	0,010	0,596	0,88	0,141	0,245
	janv-11	157,670	0,364	0,010	0,445	0,96	0,135	0,242
<i>MM 3 (Aval)</i>	juin-11	173,280	0,353	0,014	0,513	1,012	0,125	0,281
	janv-11	169,814	0,346	0,016	0,512	1,121	0,098	0,247

c. Facteur d'enrichissement

Le facteur d'enrichissement (FE) permet d'évaluer l'intensité d'une pollution métallique en séparant le signal anthropique du signal naturel. Le calcul de cet indicateur ne peut se définir que par rapport au fond géochimique naturel, correspondant aux teneurs métalliques pré anthropique (Trefrey 1976, Alexander 1993, sutherland 2000). Certains auteurs utilisent les concentrations de la croûte (UCC) continentale comme fond géochimique naturel (Hofmann 1988, Soto-Jiménez et al 2001). Cependant, les différences entre les teneurs de la croûte terrestre et la composition chimique des roches mères locales peuvent conduire à des conclusions erronées (Reimann 2005 et al, Turekian et al 1978). Parallèlement, la normalisation des teneurs en métaux par la concentration d'un élément conservatif est une étape nécessaire dans le calcul du facteur d'enrichissement. Elle permet de corriger l'effet des variations de la composition minéralogique et granulométrique des sédiments sur la distribution du contaminant. Plusieurs éléments conservatifs sont envisageables (Al Loring 1990, Fe Schiff 1999, MO Hissler 2005). Dans le cas de cette étude, la normalisation a été réalisée avec le Fe.

Ainsi, le facteur d'enrichissement (FE) d'un élément trace métallique est calculé selon la formule suivante : $EF = ((Me/Fe) \text{ sample}) / ((Me/Fe) \text{ average shale value})$.

Les résultats (Tab. 2) montrent que les valeurs les plus faibles du FE ($FE < 2$) sont obtenues pour les éléments Zn, Ni et Mn indiquant ainsi une absence de contamination anthropique par

ces éléments, les valeurs de FE indiquent une contamination modérée pour le Pb, la tendance avec l'espace souligne une augmentation de la pollution métallique par cet élément en allant de l'amont vers l'aval. Un enrichissement significatif par rapport au fond géochimique local est enregistré pour le Cd et Cu, caractérisé par des valeurs surprenantes de Cu qui atteignent la valeur de 6,52 à l'aval de l'Oued.

Tableau 2 : Valeurs obtenues du FE pour le sédiment de surface de l'Oued de Martil 2011.

Echantillon	[Fe] mg/Kg	Fe (%)	[Pb]	[Cd]	[Zn]	[Cu]	[Ni]	[Mn]
MC1	21105	2,1105	2,726	14,910	1,113	5,206	0,588	0,117
MC2	22714,375	2,2714375	3,546	6,927	1,139	5,362	0,783	0,137
MK1	23639	2,3639	2,895	8,320	0,578	4,970	0,400	0,119
MK2	37183	3,7183	2,880	6,347	0,823	3,805	0,516	0,077
MH1	20986,8	2,0986	2,910	13,119	1,064	8,677	0,744	0,088
MH2	22298	2,2298	3,175	8,820	0,767	6,903	0,973	0,103
MM1	34991,5	3,4991	4,384	13,489	0,794	5,508	0,900	0,112
MM2	39819,7	3,98197	5,341	9,878	0,871	6,058	0,601	0,085
MM3	42886,7	4,28867	4,808	13,757	0,797	6,521	0,451	0,085
Echelle d'intensité de pollution en fonction des intervalles de valeurs du Facteur d'enrichissement FE (Sutherland, 2000)								
	FE ≤ 2		Enrichissement anthropique inexistant ou faible					
	2 < FE < 5		Enrichissement modéré					
	5 < FE < 20		Enrichissement significatif					

4. Conclusion

En conclusion, les résultats obtenus dans ce travail montrent clairement l'impact des rejets des villes de Tétouan et Martil sur les sédiments de l'Oued Martil. Ces résultats sont supérieures à ceux mesurés au niveau du sédiment de Saidia (Fahssi 2015) et celui de l'estuaire du fleuve Comoé Grand-Bassam Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Keiba 2013). L'analyse des données géochimiques met en évidence la présence d'une association métallique (Pb, Cu et Cd) d'origine anthropique. Les fortes concentrations le long de l'Oued étudié sont situées à la proximité immédiate des différentes unités industrielles, et au niveau des stations à fort taux de matière organique (décharge publique de Tétouan), où elle joue un rôle prépondérant dans l'accumulation des métaux. Ces données sont comparées par une étude de facteur d'enrichissement prouvant la nature anthropique des métaux étudiés dans le sédiment du cours d'eau, indiquant la zone d'étude comme une zone de double influences naturelle et anthropique (déchets liquides et / ou solides industriels et domestiques). Sur le plan éco-social, ces données peuvent servir comme étant un paramètre essentiel concernant l'aménagement de la zone pour une meilleure gestion environnementale au bénéfice du développement de la zone. Le projet d'aménagement lancé par sa majesté en octobre 2015, a mis le point sur la problématique de l'oued Martil, et traduit l'intérêt particulier qu'accorde le

Souverain à la Protection de l'Environnement, le renforcement de l'attractivité Economique des villes ainsi que l'Amélioration permanente des conditions de vie des citoyens.

Références bibliographiques

- ALEXANDER, C., SMITH, R., CALDER, F., SCHROPP, S., WINDOM, H., (1993). The historical record of metal enrichment in two Florida estuaries. *Estuaries* 16, 627–637.
- ALVAREZ, E.A., CALLEJON MOCHON M., JIMENZ SANCHEZ J.C., TERNERO RODRIGUEZ M., (2002). Heavy metal extractable forms in sludge from wastewater treatment plants, *Chemosphere*, 47: 765-775.
- BOURRINET P., RAMADE F., REMOND-GOUILLOUD M., (2008). Pollution. cbhg.org/wpcontent/uploads/2008/06/pollution-eu.pdf.
- FAHSSI A., CHAFI A., (2015). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et les organismes aquatiques du littoral de Saidia (Maroc oriental). *European Scientific Journal*. 11 334-360.
- FÖRSTNER, U., AHLF, W., CALMANO, W., (1989). Studies on the transfer of heavy metals between sedimentary phases with a multi-chamber device: combined effects of salinity and redox variation. *Marine Chemistry* 28, 145-158.
- HISLER, C., PROBST, J.L., (2005). Impact of mercury atmospheric deposition on soils and streams in a mountainous catchment (Vosges, France) polluted by chlor-alkali industrial activity: the important trapping role of the organic matter. *Science of the Total Environment* 361, 1–3.
- HOFMANN, A.W., (1988). Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust. *Earth and Science Letters* 90, 297-314.
- KEIBA N. K., SIAKA B. B., GBOMBELE S., NAGNIN S., BERNARD S. M., BIEMI J., (2013). Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* Volume 61: 4530 - 4539.
- LORING, D. H., (1990). Lithium-a new approach for the granulometrical normalization of trace metal data. *Marine Chemistry* 29, 156-168.
- MORHIT M., FEKHAOU M., ABIDI A., YAHYAOU A., HAMDANI A., (2012). Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc). *Déchets Sciences Techniques*. 61 8-17.
- MORHIT M., FEKHAOU M. SERGHINI M., BLIDI S., ABIDI A., BENNAKAM R., YAHYAOU A., JBILOU M. (2008). Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). *Bull. Inst. Sci.* 30.39-47.
- REIMANN C., DE CARITAT P. (2005). Distinguish between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment* 337, 91-107.
- SCHIFF, K.C., WEISBERG S.B. (1999). Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Marine Envir. Research* 48, 161-76.
- SOTO-JIMÉNEZ M. F., PÁEZ-OSUNA F., (2001). Distribution and normalization of Heavy metal Sotoconcentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53, 259-274.
- SUTHERLAND, R. A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology* 39 611–627.
- TREFREY, J.H., PRESLEY, B.J., (1976). Heavy metals in sediments from San Antonio Bay and the northwest Gulf of Mexico. *Environmental Geology* 1, 282–294.
- TUREKIAN, K.K. (1978). *Handbook of geochemistry*, vol. II-3. Springer-Verlag. Berlin, 27-B-1 à 27-O-1.

CARACTERISATION EXPERIMENTALE DES EFFETS DE SITE DANS LA VILLE DE NADOR EN UTILISANT LA TECHNIQUE H/V

Aboubakr CHAARAOUI (1), Mimoun CHOURAK (2), Jose Antonio PELÁEZ (3), Seif-eddine CHERIF (4)

60000, Oujda, Maroc. *A.chaaraoui@ump.ac.ma*

1 Laboratoire de géosciences appliquées, Université Mohamed Premier, Oujda.

2 Laboratoire de mathématiques et mécaniques, École nationale des sciences appliquées, Oujda.

3 Université de Jaén. Département de physique. Espagne.

4 Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.

RÉSUMÉ: L'objectif de cette étude est de caractériser les sols de la zone urbaine de la région de Nador à l'aide du bruit de fond ambiant (méthode H/V) et de développer des cartes de l'aléa sismique local sur la zone délimitée par le périmètre urbain, en définissant les fréquences et les amplitudes, et interpréter les résultats dans le contexte des études géotechniques et des cartes géologiques. La distribution spatiale des différentes fréquences a été faite ; elle est considérée comme un outil important dans la conception des différentes structures.

Mots-clés: Zone urbaine de Nador, méthode H/V, fréquence fondamentale du sol, carte d'iso-fréquences, PPR, carte d'aptitude urbaine.

EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF SITE-EFFECTS IN NADOR CITY USING THE H/V TECHNIQUE

ABSTRACT: The objective of this study is to characterize soil in the urban area of Nador, using ambient background noise (the H/V method). The purpose is to develop maps of the local seismic hazard on the area delimited by the urban perimeter, defining the frequencies and amplitudes, and interpreting the results in the context of geotechnical studies and geological maps. The spatial distribution of the different frequencies is made, it is considered as an important tool in the design of the various structures.

Keywords: Urban area of Nador, H/V method, fundamental soil frequency, Iso-frequency map, PPR, city planning mitigation map.

Introduction:

La répartition des dégâts sismiques est liée directement aux conditions du sol, dans ce rapport, nous étudierons les effets du site dans la zone urbaine de Nador (nord-est du Maroc). Cette zone est exposée aux risques sismiques liés à l'existence de plusieurs accidents (Nekor, Alborane...) (Vidal 1977) et est classée dans une zone de forte sismicité au niveau de la réglementation sismique marocaine (RPS2000 version 2011).

La technique de Nakamura (Nakamura 1989) a été adoptée pour l'analyse des mesures de bruit de fond (H/V) afin de déterminer les fréquences prédominantes des sols dans cette zone, puis identifier les zones susceptibles d'amplifier les mouvements sismiques lors d'un séisme. Cette technique est largement utilisée ces dernières années du fait de son économie en terme de temps et de coût et vu qu'on peut l'appliquer aussi aux régions de sismicité faible et moyenne.

Le but de cette étude est de développer des cartes de l'aléa sismique local sur la zone délimitée par le périmètre urbain, en déterminant les fréquences et amplitudes prédominantes. Ces résultats ont été interprétés dans le cadre d'études géotechniques et des cartes géologiques.

1. Description de la zone d'étude

La ville de Nador est située dans le nord-est du Maroc, sur la côte de la mer Méditerranée. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur la zone administrative et certaines zones limitrophes afin de couvrir le maximum de la ville existante (Figure 1).



Figure 1. Délimitation de la zone d'étude

La sismicité dans la zone d'étude est principalement liée à la collision entre les plaques euro asiatique et africaine et à l'existence de plusieurs quasi-accidents et failles majeures dans la région (Figure 2). Les amplitudes des tremblements de terre enregistrés sont généralement modérées.

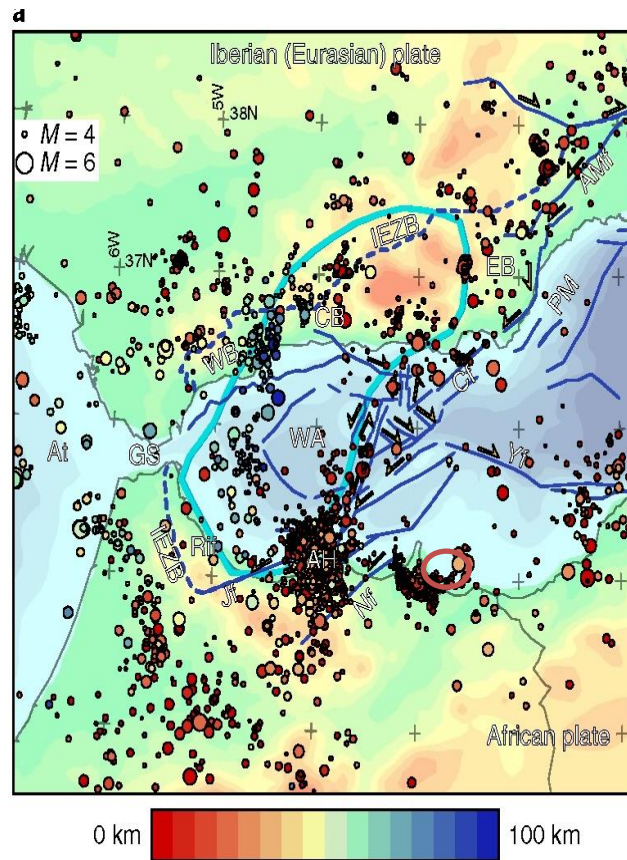


Figure 2. Répartition de la sismicité au Maroc (Wim Spakman et al., 2018)

Nous avons établi une carte lithologique spatiale préliminaire sur la zone d'étude (Figure 3), en tenant compte de la description géologique et de l'activité sismique. Cinq zones ont été déterminées par les études géotechniques et la carte géologique de la zone, allant de la partie de rive de la lagune (niveau 0 du NGM) au substratum volcanique sur les montagnes du Gourougou.

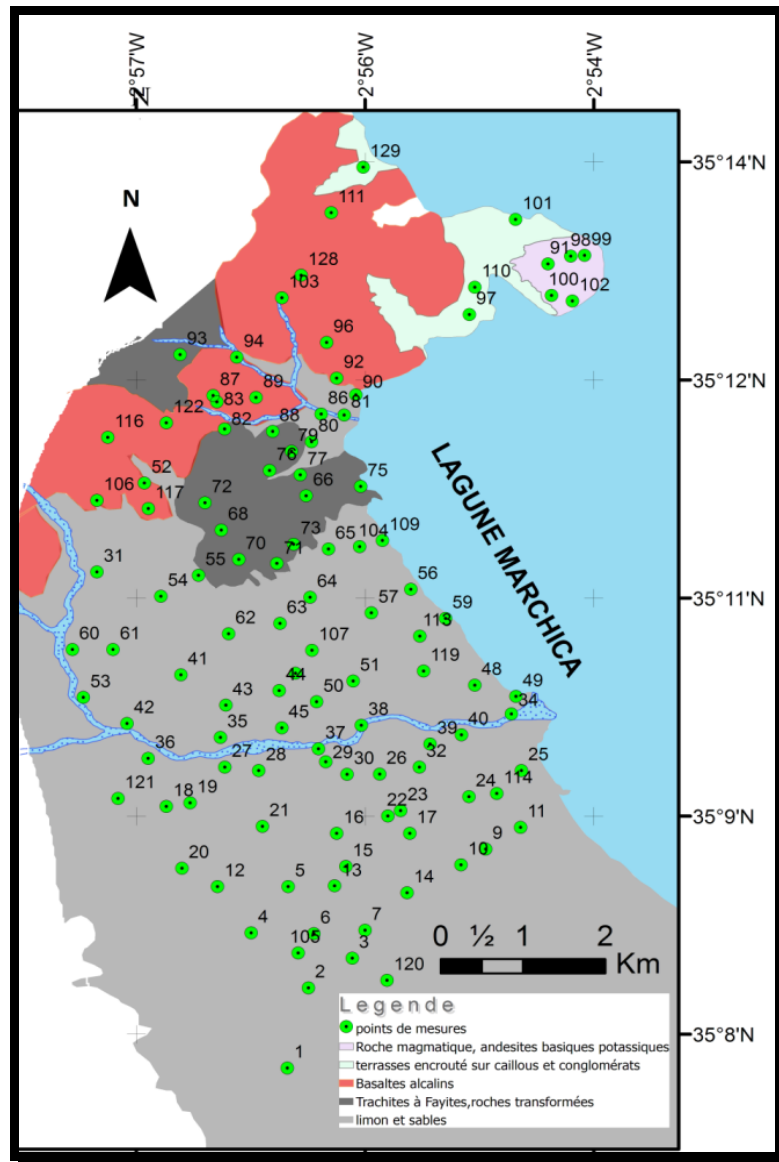


Figure 3. Distribution des points de mesure par rapport aux formations lithologiques

Connaître ces caractéristiques lithologiques nous permet une compréhension préalable de l'effet de site qui s'articule sur le type de formations, ce qui permet de connaître les zones à fort contraste d'impédance, susceptible de piéger les ondes sismiques et provoquer le phénomène d'amplification du sol. La carte lithologique nous a permis de répartir les points de mesure en couvrant les différentes formations.

2. Matériel et méthodes

L'analyse H/V a été initiée par Nogoshi et Igarashi (1971) et développée par Nakamura (1989), qui a rapporté le rapport spectral entre les composantes horizontale et verticale des enregistrements de bruit de fond aux fréquences fondamentales mesurées dans la zone d'étude. Le principe de la méthode consiste à enregistrer les vibrations ambiantes dans les trois directions et à traiter les différents signaux pour obtenir un spectre équivalent ayant un pic relatif à la fréquence fondamentale du sol en fonction de l'amplification.

Dans le cadre de cette expérience, 129 enregistrements de bruit de fond ont été réalisés dans le centre urbain et les environs de la ville de Nador. Les vibrations ambiantes ont été

enregistrées avec le sismomètre Guralp 6TD couplé à trois composants et un ordinateur utilisant Scream 4.6 permettant de visualiser le signal sur le terrain et faire un prétraitement et vérification sur site pour assurer des mesures correctes.

Le choix des points de mesure a clairement été effectué en suivant la carte lithologique et l'image satellitale (Figure 3), également à proximité des points relatifs aux levés géotechniques disponibles tout en couvrant le centre urbain.

Le nombre d'enregistrements a été augmenté à 201 après traitement. En raison de la difficulté de déterminer la fréquence de résonance, la durée d'enregistrement était de 40 à 60 minutes pour chaque site de mesure. L'analyse H/V du bruit enregistré a été réalisée à l'aide du logiciel Geopsy (Wathelet 2006, open source).

La figure 4 montre les différents exemples représentatifs des courbes H/V obtenues. La ligne noire continue représente la courbe moyenne H/V, les lignes pointillées définissent la plage de l'écart type. La colonne gris clair et gris foncé concerne la variation de la fréquence prédominante.

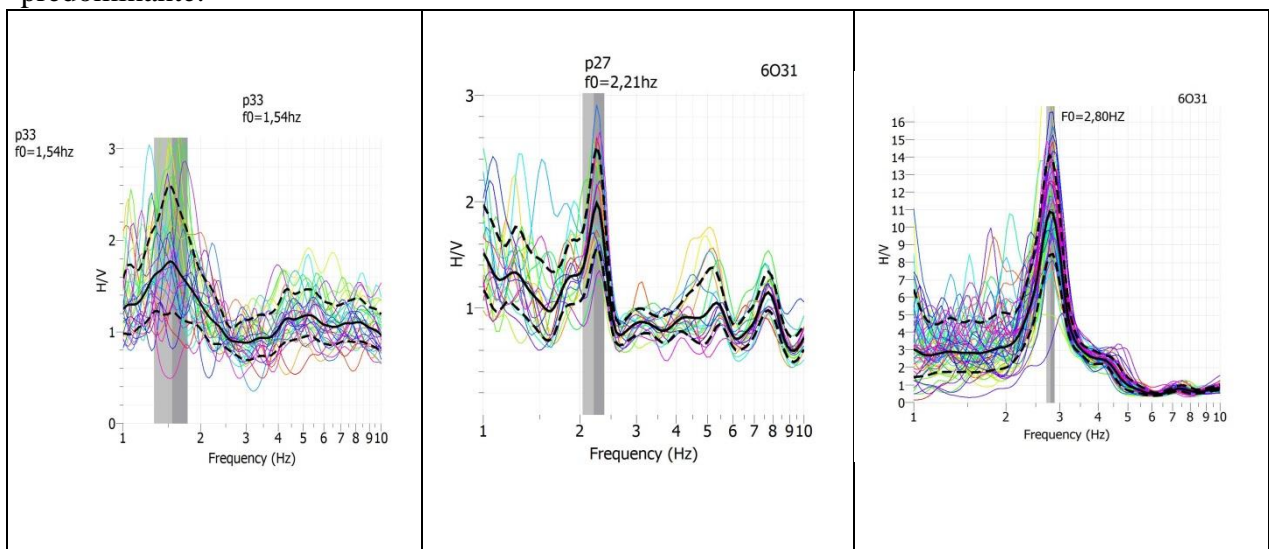


Figure 4. Courbes du rapport spectral H/V estimées à partir des mesures de bruit de fond

3. Résultats et discussion:

Pour chaque site de mesure, l'analyse H/V du bruit enregistré a été effectuée. Le traitement des données a été réalisé à l'aide du logiciel Geopsy et les valeurs de fréquence obtenues sont les suivantes:

- Les fréquences de résonance les plus basses $F_0 < 1.80\text{Hz}$ intéressent la zone littorale et les rivières. Les caractéristiques géotechniques correspondent à des formations argileuses et argilo-limoneuses d'épaisseur supérieure à 20 m
- Les fréquences de résonance intermédiaires (1,8 Hz à 3 Hz) sont enregistrées au bas des reliefs ainsi que sur les zones de remblais surmontant des argiles plastiques et un substrat argileux compact et moins épais,
- Les fréquences supérieures à 3 Hz représentées dans les zones montagneuses s'élèvent à une altitude supérieure et correspondent à des niveaux d'amplification plus élevés.
- Effet de la topographie sur l'amplification du site: Sur la montagne de la presque île d'Atalayoune au nord, l'effet du site topographique est le seul facteur de variation des fréquences puisque la structure géologique est homogène. Il est clair que les points situés au sommet de la montagne ont des fréquences plus élevées que ceux situés à la base du bassin, mais d'autres mesures doivent être effectuées afin de s'assurer des mesures correctes.

Conclusion:

La première étude de fréquence et d'amplification de la ville de Nador est présentée dans cette étude, du fait de l'existence de sédiments meubles et épais, la ville peut avoir le phénomène d'amplification lors d'une action sismique.

Les enregistrements de bruit de fond de la zone urbaine de la ville de Nador sont analysés pour plus de 200 points. Une interprétation des variations des rapports spectraux H/V en termes de lithologie locale du site a été faite. La distribution de fréquence prédominante est variable allant de 0,78 à 5,7 Hz, avec un facteur d'amplification allant de 2 à 11.

Sur la base des observations et des analyses présentées ci-dessus, les caractéristiques de base dépendent principalement du type de sol et de la topographie. En outre, il conviendrait d'améliorer la recherche par d'autres mesures concernant principalement la détermination expérimentale. Notamment, V_s la vitesse du sol, considérée avec une distribution spatiale couvrant les différentes formations géologiques et les fréquences prédominantes faisant l'objet de la présente étude. Ceci, afin de compléter les divers paramètres pouvant être très bénéfiques et applicables à l'ingénierie de la région, en plus d'apporter une contribution précieuse au micro zonage.

REFERENCES

- Bonnefoy-Claudet, Cotton, F., and Bard, P.-Y. (2006), "The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies", A literature review, *Earth science review*, 79:205-227.
- Konno K. & Ohmachi T., 1998. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88: 228-241.
- Kramer, S.L. (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice Hall, 653 p.
- Louaya, A. et al., 2010 Etude morpho structurale de la région de Nador (Maroc-nord-oriental).
- Nakamura, Y. (1989), "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, Vol. 30, No. 1, pp. 25- 33.
- Nakamura, Y. (2000), "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface and its applications", 12th World Conf. on Earthquake Engineering (Auckland, New Zealand).
- Nakamura, Y. (2010), Comment on "Microtremor Measurements in the Nile Delta Basin, Egypt: Response of the Topmost Sedimentary Layer" by E.A. Fergany and S. Bonnefoy-Claudet, *Seismological Research Letters*, 81, No. 2.
- SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient Vibrations - measurements, processing and interpretations. SESAME European research project, deliverable D23.12, 2005.

LES RISQUES D'INONDATION À TAZA

ZIYANE Fatima Zahra, SBAI Abdelkader & EL GHALBI Khallaf
Université Mohamed Ier, FLSH, Oujda. ZiyaneFatimaZahraa@gmail.com.

Résumé: La ville de Taza a connu lors de la dernière décennie (1995-2005) certaines catastrophes naturelles (inondations, incendies de forêts, mouvements de terrains...) qui ont été à l'origine de pertes de vies humaines, des dégâts matériels et des déficits considérables sur les plans économiques et environnementaux. Pour cette raison, l'évaluation des zones exposées aux différents types de risques est devenue une préoccupation majeure de nombreux départements ministériels, du secteur privé et des collectivités locales.

Le présent travail vise l'évaluation des zones à risques liés aux inondations torrentielles des cours d'eaux (cas de l'oued Larbaâ) dans le périmètre urbain de la ville de Taza.

Mots clés : inondation, risque, oued Larbaa, Taza, Maroc.

RISK OF FLOODING IN TAZA

Abstract: The city of Taza has experienced during the last decade (1995-2005) certain natural disasters (floods, forest fires, land movements ...) which have resulted in loss of life, property damage and significant economic and environmental deficits. For this reason, the assessment of areas exposed to different types of risk has become a major concern for many government departments, the private sector and local communities.

The present work aims at the evaluation of risk zones linked to torrential floods of rivers (case of Wadi Larbaâ) in the urban perimeter of the city of Taza.

Key words: flood, risk, wadi Larbaa, Taza, Morocco.

Introduction

Les inondations par débordement des cours d'eau représentent des phénomènes naturels, largement répandus au niveau des villes nord orientales du Maroc.

La ville de Taza par sa situation géographique (au piémont de deux chaînes de montagnes: le Rif et le Moyen Atlas) et ses caractéristiques climatiques, topographiques, géologiques... est l'une de ces villes les plus exposées à ce phénomène.

L'oued Larbaâ déborde de son lit mineur et inonde une bonne partie de La ville. La dernière inondation date du 27 septembre 2000. Elle a atteint une ampleur qu'elle n'a jamais atteinte depuis longtemps.

Pour une bonne planification et un aménagement rationnel de la ville de Taza, les décideurs, les aménageurs et les urbanistes doivent prendre en considération, lors de l'élaboration des plans d'aménagement et d'occupation des sols, toutes les menaces causées par les différents types de risques.

Methode

L'étude du risque d'inondation nécessite la mise en oeuvre d'une méthode pluridisciplinaire. Pour mener les travaux de cette étude, nous avons suivi les étapes suivantes :

- une large lecture bibliographique, touchant la problématique des inondations ;
- acquisition des données cartographiques et préparation des bases de données cartographiques sur le Système d'Information Géographique;
- acquisition, traitement et analyse des données climatiques;
- entretiens avec les différents acteurs impliqués dans la problématique traitée;
- reconstitution et analyse des inondations historiques affectant la ville de Taza.

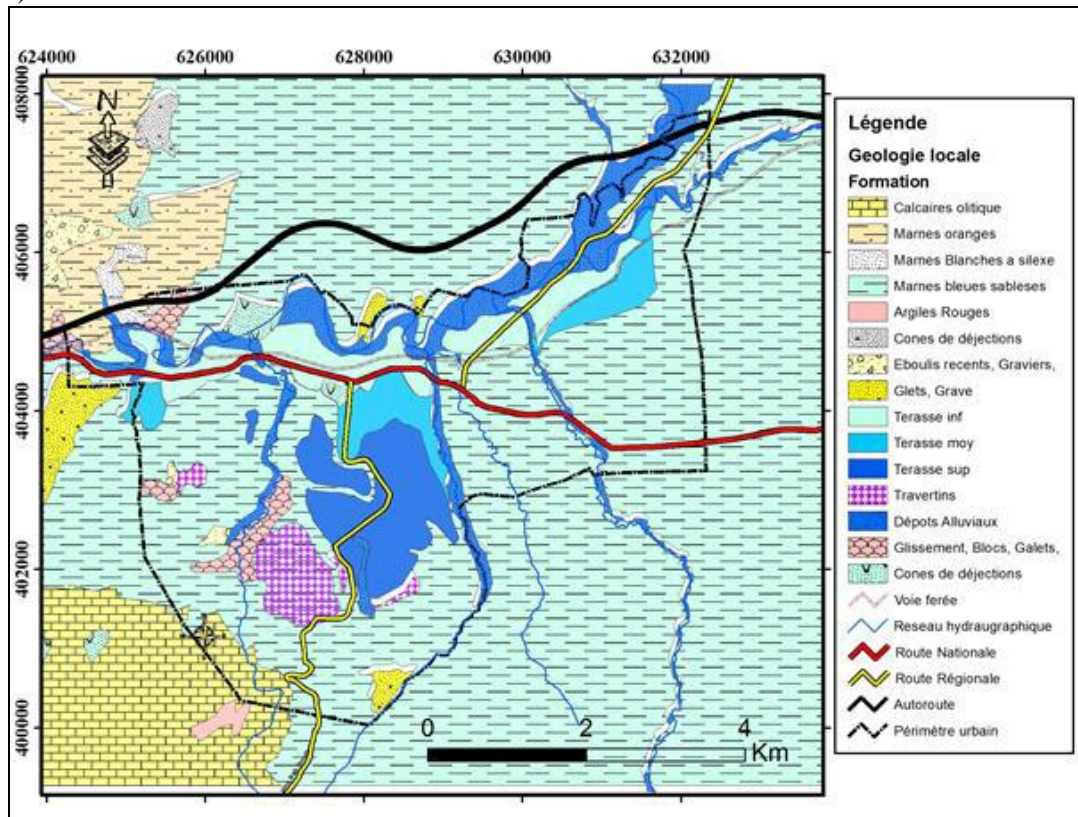
Présentation de la zone d'étude

La ville de Taza appartient à la partie la plus étroite du sillon sud rifain. Elle est limitée au Nord par les rides de la chaîne pré rifain et au Sud par les montagnes de la chaîne moyen atlasique. Administrativement, elle appartient à la région de Fès – Meknès.

1- Facteurs de déclenchement du risque

1.1- La géologie

La ville de Taza est située dans la partie la plus étroite du sillon sud rifain (couloir Fès-Taza), qui matérialise la jonction entre le domaine rifain (au Nord) et atlasique (au Sud). (Carte.1).

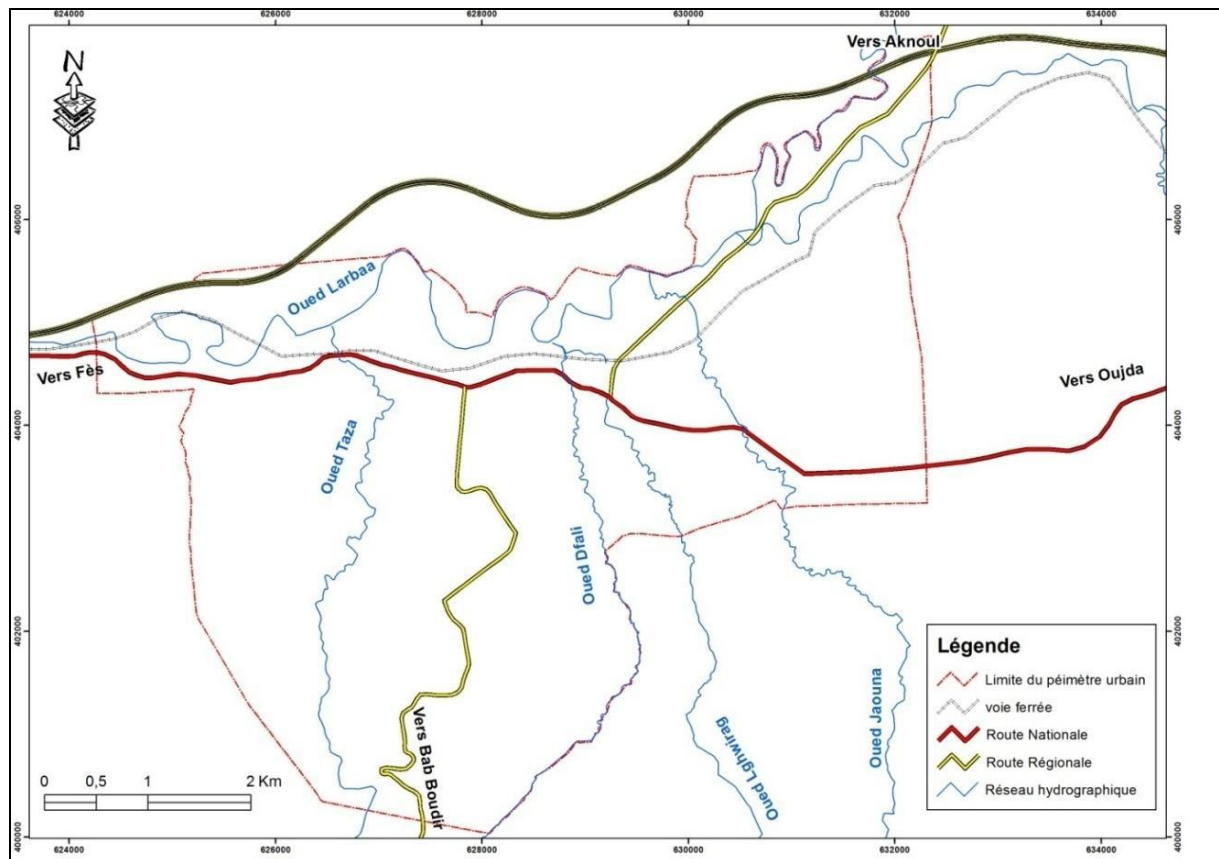


Carte.1. La géologie de la zone d'étude

1.2- Réseau hydrographique dense

La ville de Taza est sillonnée par un réseau hydrographique dense formé essentiellement par un cours d'eau principal (oued Larbaâ) et ses affluents (oued Errouirag, oued Taza, Oued Dfali). (Carte.2).

Cette organisation spatiale du réseau hydrographique a naturellement un grand effet sur le comportement des écoulements et spécialement sur le déroulement des crues dans les artères hydrographiques principales (Badr Laayan 2011).



Carte.2. Réseau hydrographique

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Larbaâ et ses sous bassins versants sont représentées dans le tableau (Tab.1).

Tabl.1. Caractéristiques du bassin versant de l'oued Larbaâ et quelques sous bassins versants

Bassin	Surface	Longueur	Altitude	Pente (%)
Oued Larbaa	762.50	35.00	1768	3.90
Oued Lahdar	42.65	17.00	1768	7.90
Oued dfali	18.74	14.41	1123	7.79

Sources : agence du Bassin Hydraulique de Sebou 2015

La longueur des cours d'eau comparée aux différences d'altitude montre des pentes raides favorisant des écoulements rapides et de forte énergie, ce qui peut provoquer des crues torrentielles catastrophiques lors des événements pluvieux exceptionnels.

1.3- Des précipitations intenses et irrégulières

L'étude pluviométrique est fondamentale pour analyser et traiter le phénomène de crue; la pluie intervient directement pour renforcer les mécanismes d'inondation.

La ville de Taza reçoit une importante quantité de précipitation. Ces précipitations appréciables sont dans la plupart des cas d'origine orageuses et entraînent l'augmentation des débits. Elles sont caractérisées par une importante irrégularité interannuelle de l'intensité pluviométrique (Fig.1).

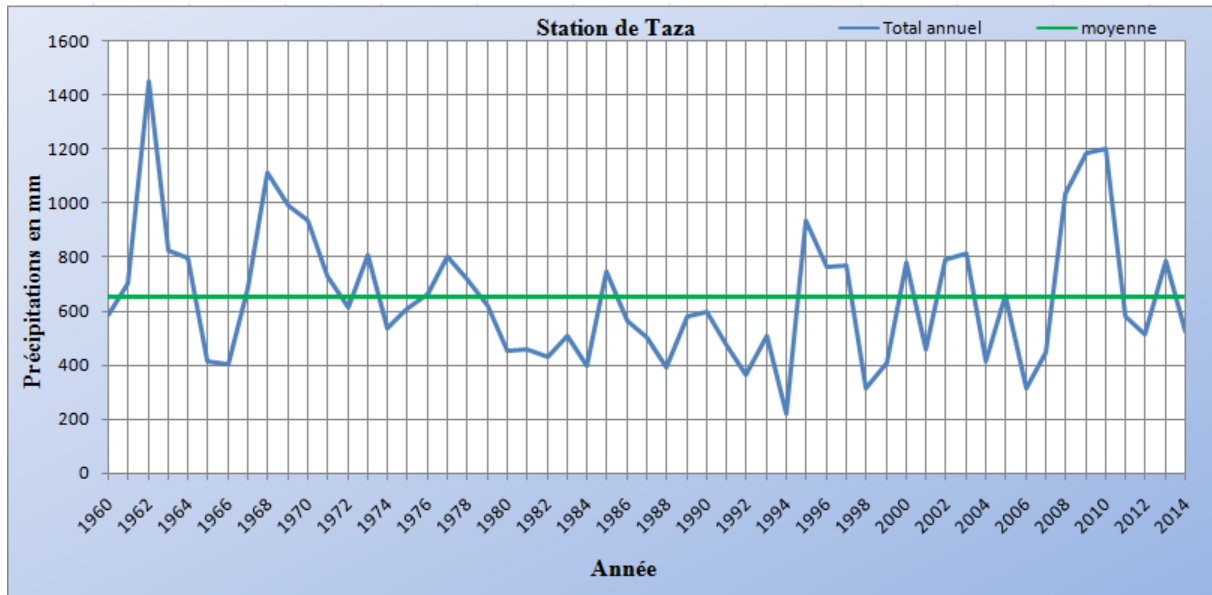


Fig.1. Evolution des précipitations (1960-2014)

1-3-1 Les précipitations mensuelles

Dans la ville de Taza, les premières pluies abondantes débutent à la dernière décade d'octobre ; elles redoublent de vigueur dans la deuxième moitié de décembre. Puis elles vont en diminuant régulièrement à partir de Mars pour s'arrêter au début du mois de Juin (Fig.2)

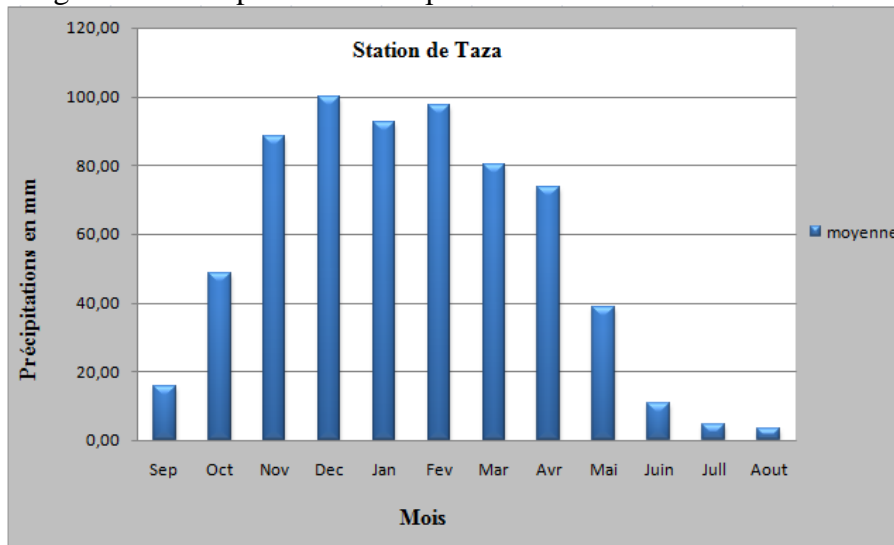


Fig.2. Le régime annuel des précipitations (1960-2014)

1.4- Température contrastée

Le sol nu est très exposé à l'impact du soleil ; de même, il est très influencé par la température minimale d'hiver basse et maximale d'été élevée et par l'amplitude thermique annuelle est prononcée, les fortes températures sont enregistrées pendant la période sèche qui dure en moyenne de 4 à 5 mois (fig.3)

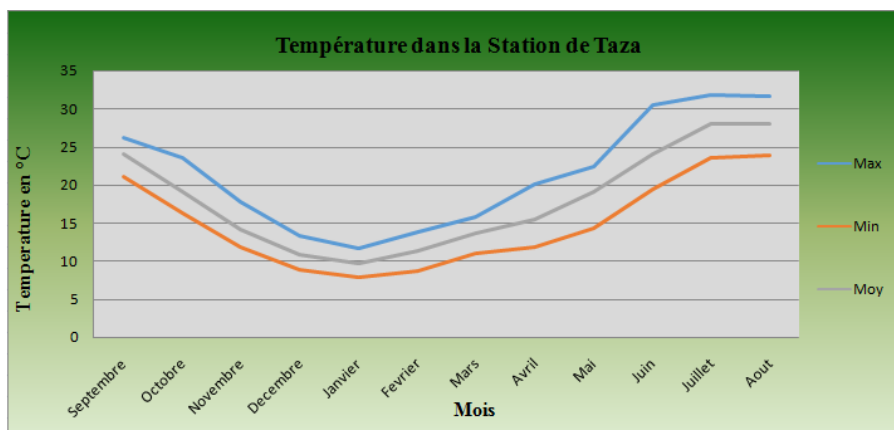


Fig.3. Régime annuel des températures

La température contribue indirectement à l'aggravation des phénomènes d'inondation. Dans les régions à climat sec, les fortes températures d'été influent sur les sols. Ceux-ci deviennent fragiles et très sensibles à la compaction des gouttes de pluies qui provoquent les processus d'érosion hydrique et les pertes des sols. Alors que pendant la saison d'hiver, la première pluie forme sur les surfaces qui se caractérisent par la vulnérabilité des sols une couche imperméable (la croûte de battance) qui favorise bien des ruissellements importants qui peuvent donner des débits forts jamais enregistrés lors des périodes humides avec la même intensité de pluies.

1.5- Facteur anthropique aggravant le risque d'inondation

À l'exception des causes naturelles responsables des inondations dans la ville de Taza, l'action anthropique et la construction irrégulière en plein lit de l'oued Larbaâ, agissent comme des facteurs amplificateurs du risque d'inondation.

L'augmentation de l'habitat illégal le long des rives de l'oued constitue des obstacles physiques à l'écoulement régulier des eaux de crue, favorisant ainsi la submersion des quartiers non réglementaires sinistrés.

2- Impact des inondations sur la zone d'étude

La zone d'étude (Taza) connaît de multiples risques naturels liés à plusieurs facteurs décrits antérieurement, tel que les inondations qui affectent les zones vulnérables et engendrent des dégâts à ampleur variable.

Le risque encouru par les inondations connaît des conséquences sociales et économiques très lourdes tant sur le plan humain que matériel avec des coûts financiers considérables. Citons l'inondation qui a ravagé le quartier El Melha en 2000. Elle est générée par Oued Larbaa et ses affluents. C'est plus violent, causant des dégâts évalués à 40 millions de DH (DRH Sebou, 2000, 2008).

Les dégâts matériels étaient importants et ils ont concerné affecter divers secteurs (cultures, élevage, habitat, infrastructures, commerce, etc. (Tabl 2). Les dégâts humains étaient également importants. Cette inondation a affecté presque 239 habitats et a provoqué 22 décès (d'après la presse nationale), (Tabl 3).

Tabl.2. Les dégâts matériels

Année	Oued	Quartier	Impact sur le milieu	Dégât matériel
1995	Larbaa	El Melha	Immersion de Douar El Melha	Effondrement de plus de 3 Maison

1997	Larbaa	El Melha	-Immersion du douar El Melha -9m de niveau de crue	Effondrement de plusieurs Habitation
2000	Larbaa	El Melha	Immersion du Douar El Melha	Effondrement de 17 Habitations
2002	Larbaa	El Melha	Immersion du Douar El Melha	Immersion de 34 habitations
2007	Larbaa	El Melha	Immersion du douar El Melha	
2010	Larbaa	El Melha	Immersion du Douar El Melha	Plusieurs Victimes

Tabl.3. Les dégâts humains

Année de crue	Oued	Quartiers	Décès	Hospitalisation
1995	Larbaa	El Melha	+ de 5 personnes	Plusieurs hospitalisations
2000	Larbaa	El Melha	-Plus de 10 personnes -22 selon la presse nationale	+ de 7 personnes
2010	-Oued Larbaa -Oued Lahdar	-El Melha -Mimouna	2 personnes	Plusieurs hospitalisations

Conclusion

La ville se situe dans un site relativement fragile et vulnérable, plusieurs zones à niveau de ses périphériques représentent des zones à risques, notamment le long de l'oued Larbaa et ses affluents par les phénomènes des inondations.

Le climat et les autres paramètres naturels et anthropiques referment que la ville doit lutte contre ces risques d'une façon à l'autre, pour cela, il faut:

- Procéder dans l'immédiat à l'arrêt de toute éventuelle prolifération de l'habitat irrégulier dans les zones menacées par de tels aléas naturels;
- Entamer, en imminence, des études de restructuration des quartiers irréguliers se trouvant au sein de la plaine alluviale de l'oued Larbaâ;
- Procéder au transfert de la décharge publique vers un autre site bien choisi. Ce site doit impérativement faire l'objet d'études préalables d'impact sur l'environnement ;
- Assurer l'accessibilité aux quartiers à restructurer par la réalisation d'ouvrages d'art adéquats au débit centennal de l'oued Larbaâ.

Bibliographie

- AGOUMY A., (1979): La croissance de la ville de TAZA et ses conséquences sur la disharmonie Urbaine. Doctorat de 3ème Cycle en Géographie, Université François Rabelais-Tours.
- AKDIM B., LAAOUAN M., TAOUS A., OBDA K (2003): Risques hydrologiques dans la région de Taza (Maroc) genèse, conséquences, et problèmes d'aménagement. Géomagreb, n° 1.
- LAAYAN B., (2008): Modélisation Hydraulique et Aménagement de la vallée de l'Oued Larbaâ. Mémoire de projet de fin d'étude de Master- Hydrologie. USMBA. Fès, Maroc.
- SAMRI Y., (2010) : Les inondations de 2010 à TAZA, Phénomènes hydromorphologique et impacts socio-économiques, mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Géographie, FLSH Fès-Sais.

TRIBAK A., NOUACEUR Z., ELGAROUANI A., ABAHROUR M., AMYAY M. (2011): GENESES ET IMPACTS DES PLUIES INTENSES SUR LES MILIEUX PRE RIFAINS MAROCAINS : ETUDES DU CAS DE LA REGION DE TAZA, MAROC. GEOMAGREB, N°7.

MECANISMES DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET LEUR ROLE DANS LA FREQUENCE DE LA SECHERESSE DANS LA REGION CENTRE-ORIENTALE DU MAROC

SEGHIR Aziz*, MEHDAOUI Radouan**, MILI El-Mostafa** et SEGHIR Mustapha**

*Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, FLSH-Saïs, Fès. seghiraziz@gmail.com

**Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Meknès.

RESUME: Le climat de la région de la moyenne Moulouya est très variable. L'une des manifestations les plus préoccupantes de cette variabilité est la sécheresse. Cependant, on constate un apport pluviométrique généralement modeste, très inégalement réparti dans l'espace et très irrégulier dans le temps. Par conséquent, le but de cette étude tentera de résumer certaines situations météorologiques typiques ou extrêmes qui se produisent dans notre région, et investir une partie des informations qui peuvent être vues dans la section des modèles numériques (pression égale cartes principalement) d'une manière très générale et facilement compréhensible. Celles-ci sont les situations les plus extrêmes que nous distinguons dans notre région associées à différentes configurations que l'on lit sur des cartes de surface atmosphérique.

Dans ce même aspect, l'étude des caractéristiques de la circulation atmosphérique au-dessus de la région de la moyenne Moulouya d'une période de 34 ans et au cours des conditions extrêmes de sécheresse à nos jours, montrent le rôle important des variations de la position, de la dynamique et de l'intensité des anticyclone dans les changements de la fréquence et la gravité des phénomènes climatiques spatio-temporels extrêmes et précisément la sécheresse météorologique.

Mots clés: sécheresse météorologique, anticyclone, pluviométrie, moyenne Moulouya, Maroc.

MECHANISMS OF THE WEATHER CONDITIONS AND THEIR ROLE IN THE FREQUENCY OF DRILLING IN THE CENTRAL EAST CENTRAL REGION OF MOROCCO

ABSTRACT: The climate of the middle Moulouya region is very variable. The drought is one of the most worrying signs of this variability. However, we note a modest pluviometric contribution, very unequally distributed in the space and very irregular in time. Therefore, the aim of this study is to summarize some typical or extreme weather situations that occur in this area, and using some of the information that can be seen in the numerical models section, (mainly equal pressure maps) in a very general and easily comprehensible way. These are the most extreme situations that we distinguish in our region associating with different configurations that are observed in atmospheric surface maps (anticyclones, depression, storms).

In the same feature, the atmospheric circulation characteristics study above the middle Moulouya region over a period of 34 years and during the extreme drought conditions until today shows the important role of position variations in the dynamics and intensity of anticyclones oceanic within the changes in the frequency and severity of extreme space and time weather phenomena and specifically in the meteorological drought.

Keywords: Meteorological drought, Anticyclone, Rainfall, middle Moulouya, Morocco.

INTRODUCTION

L'évolution du climat au cours des 100 dernières années a produit un climat propre à la Méditerranée. Toutes les régions occidentales ont enregistré une légère augmentation des températures et une baisse significative des précipitations.

La région orientale du Maroc en général et la moyenne Moulouya en particulier atteignent aujourd'hui des niveaux d'assèchement se manifestant chaque année grâce à l'extension de la sécheresse au sein de l'année avec la diminution des précipitations et des conditions météorologiques extrêmes

Il est donc nécessaire de présenter une étude à l'échelle de l'ensemble du bassin de la moyenne Moulouya, pour appréhender les caractéristiques spatio-temporelles des phénomènes extrêmes de la sécheresse depuis les années 1980. Cela permettra alors de donner certains éléments de réponses aux problématiques associées aux nouveaux régimes climatiques marquant cette période et qui sont devenus une caractéristique évidente dans la région.

1. Description de la zone d'étude

La zone étudiée est située dans la moyenne Moulouya et se rattache géographiquement à la région centro-orientale du Maroc (figure 1). C'est une zone intra-montagneuse et présente une situation topographique hétérogène. Cette hétérogénéité est associée également à l'existence des systèmes topographiques différents. Elle est encadrée au Nord par les massifs de Beni Bou Mahiou et Béni Issnassène, au Sud par les montagnes du Moyen Atlas, à l'Ouest par le pré-Rif oriental, et à l'Est par les hauts plateaux orientaux.

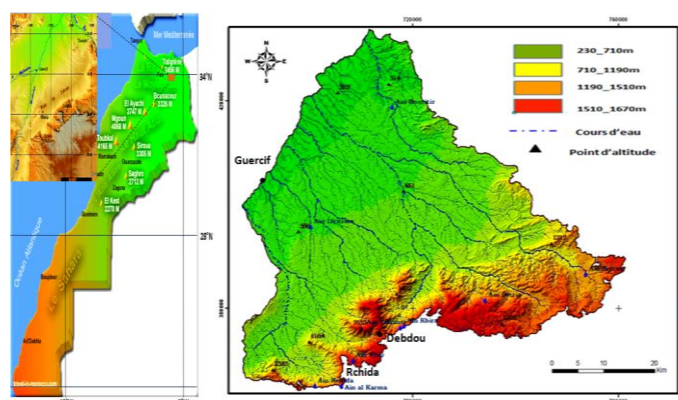


Figure 1. Situation de la zone d'étude

Les conditions climatiques sont celles du climat, sub-tropical, l'étage bioclimatique semi-aride à variante tempérée avec une tendance continentale et sèche en s'avancant vers l'intérieur du pays.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 300 mm/an. Le régime pluviométrique est du type AHPE avec une période sèche s'étalant sur 6 mois, du mois de mai jusqu'à octobre.

Les vents dominants sont de l'Est et Sud-Est (le chergui) et les vents de Nord d'origine méditerranéenne. La végétation naturelle occupe la plus grande partie de la région; elle se caractérise par une faible densité et un recouvrement moyen. Elle est dominée par les steppes d'Alfa et du Romarin et le Chêne vert ainsi que le Thuya et le Genévrier Oxycèdre.

2. Matériel et méthodes

Dans le cadre de cette étude, il apparaît nécessaire de bien expliquer les paramètres météorologiques et les principales situations climatiques responsables de la sécheresse qui se sont produits dans notre région entre 1980 à 2009 (étude du système météorologique et climatique spécifiquement le long des côtes atlantiques et méditerranéens). ensuite nous compléterons cette présentation par l'analyse de la variabilité climatique à différentes échelles de temps, puis nous examinons la relation entre les facteurs géographiques et les facteurs météorologiques.

Vu la forte variabilité spatiale des précipitations dans notre région, nous avons essayé de calculer l'indice standardisé des précipitations ISP pour différentes stations. Cet indice a été développé en 1993 par (McKee *et al*) en vue de caractériser les déficits pluviométriques pour une période donnée

Pour mieux cerner les variations spatiales des précipitations dans notre bassin, on a utilisé les données de 25 stations. Ces stations sont réparties selon des altitudes qui varient entre 360 et 1650 m

Dans cette partie de la moyenne Moulouya, les totaux des précipitations annuels vont de 427 mm (dans l'extrême Sud-Est) à moins de 200 mm voire même à moins de 120 mm (dans l'extrême Ouest). Mais seul le massif de Debdou bénéficie d'une précipitation moyenne annuelle égale ou supérieure à 400 mm. Les deux tiers du bassin reçoivent entre 140 et 200 mm/an. Le total des précipitations est compris entre 175 mm/an (zone de Tafрата) et 427 mm/an (zone de Debdou).

3. Résultats et discussion

D'après les résultats obtenus, il apparaît clairement que la situation anticyclonique d'air continental Nord-Est dans les types de circulation sèche sont plus répandus par un pourcentage atteignant presque 30%, suivi par la situation d'air continental chaud du secteur Est et Sud-est.

Pour les circulations des flux humides, on voit que les temps orageux de convection sont importants par rapport aux autres situations perturbées par un pourcentage qui arrive à 20 %. Les résultats indiquent que les sécheresses hivernales montrent une variabilité spatiale.

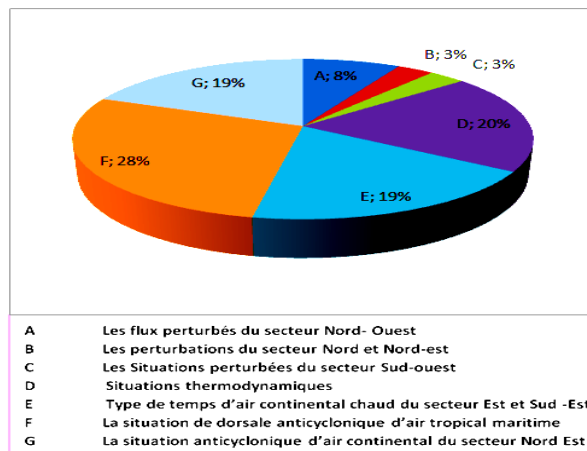


Figure 2. Les types de temps les plus fréquents en pourcentage sur la zone d'étude de 1980 à 2009

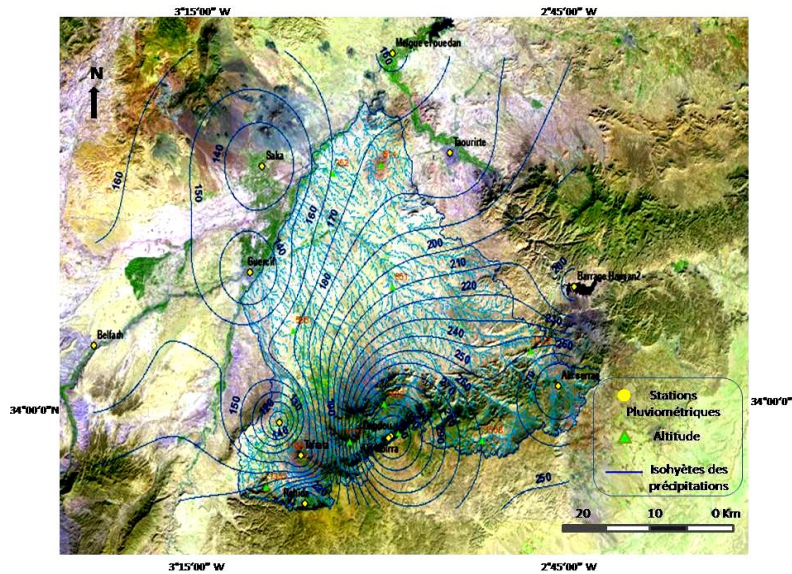


Figure 3. Carte des Isohyètes des pluviométries annuelles moyennes entre 1980 et 2009

Par son relief qui fait obstacle à l'entrée des flux humides, si on prend compte le facteur orographique : les montagnes du Moyen Atlas au Sud et du pré-Rif oriental à l'ouest, la chaîne montagneuse des Beni Issnassène au Nord Est et les hauts plateaux orientaux à l'Est, ces hautes barrières montagneuses privent la région étudiée d'une grande partie des perturbations venant de l'Atlantique et la Méditerranée qui peuvent donner des précipitations sur la région (phénomène de Foehn.) (El Baye, 1993 ; Arraji, 1995)

En matière météorologique, la distribution des précipitations au Maroc s'explique par son ouverture sur la Méditerranée (OM), au Nord, et sur l'Océan Atlantique à l'Ouest, et en marge du plus grand désert chaud du monde, le grand Sahara nord-africain au Sud.

La circulation atmosphérique en surface au niveau de cet espace dépend étroitement de trois centres d'action formés dont l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande (NOA) et la dépression Saharienne elle est permanente. En altitude l'anticyclone sub-tropical. Ces centres constituent les facteurs déterminants qui régulent le climat du Maroc et ses types de temps pluvieux et secs.

Indice standardisé de précipitations (ISP).

Cet indice permet de quantifier l'écart des précipitations d'une période, déficit ou surplus, par rapport aux valeurs moyennes historiques de la période, dont il reflète l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. Il est calculé surtout, lorsque la précipitation n'est pas normalement distribuée, notamment pour des périodes inférieures à 12 mois. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$IPS = (P_i - P_m) / \sigma$$

P_i : les précipitations de l'année i.

P_m : la moyenne de précipitations.

σ : la déviation standard ou écart type.

L'analyse fréquentielle en termes d'évaluation de l'indice SPI durant la période étudiée, indique un pourcentage moyen de 68 % d'années normales et 16 % d'années sèches, dont 2 % représentent une sécheresse extrêmement élevée et 14 % Modérément sec. Contre 7 %

d'années très humides et 5 % d'années humides (tableau n°1). Cependant le plus remarquable, c'est que les périodes déficitaires sont plus étendues dans les espaces situées dans la plaine de Tafrata par rapport aux stations situées au massif de Debdou (Figure n° 4 et 5)

Tableau n° 1 : Fréquence (%) de l'indice de sécheresse (SPI) à l'échelle du bassin de Tafrata :

ISP	Extrêmement humide EXH	Très humide TH	Humide H	Normal N	Modérément sec MS	Sévèrement sec SS	Extrêmement sec EXS
Debdou	3 %	6 %	6 %	68 %	9 %	3 %	3 %
Ain serraq	3 %	6 %	3 %	71 %	13 %	3 %	0 %
Rchida	3 %	10 %	0 %	71 %	16 %	0 %	0 %
Br.Hassan 2	0 %	3 %	13 %	56 %	22 %	3 %	0 %
Tafrata	3 %	13 %	6 %	63 %	13 %	3 %	0 %
Mhirija	5 %	5 %	10 %	67 %	14 %	0 %	0 %
Guercif	3 %	6 %	0 %	8 %	9 %	3 %	0 %
Moyenne	3 %	7 %	5 %	68 %	14 %	2 %	0 %

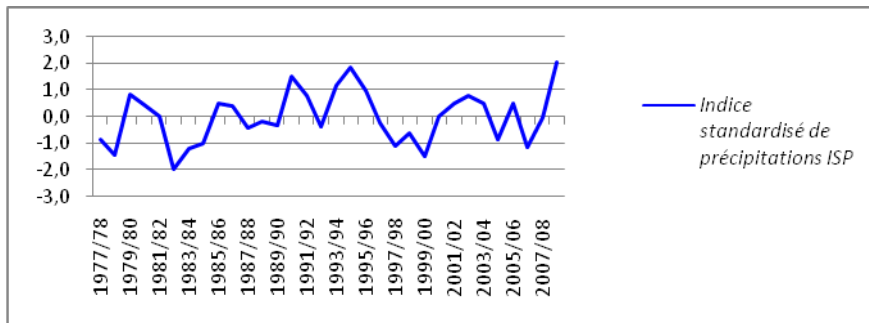


Figure 4 : Indice standardisé de précipitations (ISP) dans la station de Debdou.

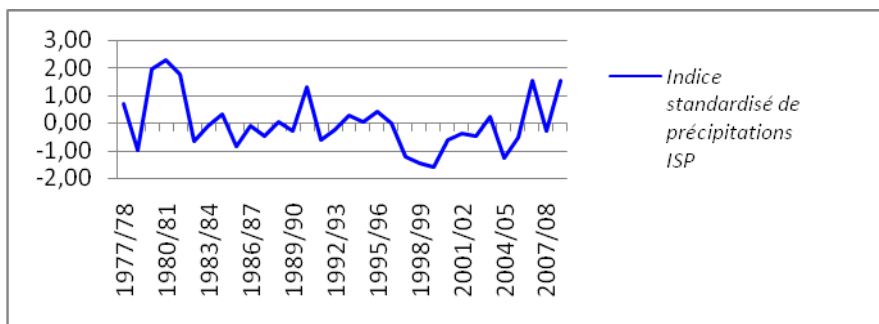


Figure 5 : Indice standardisé de précipitations (ISP) dans la station de Tafrata.

CONCLUSION

Au terme de cette brève présentation et en somme, notre zone d'étude se distingue par un topo climat particulier, leurs potentialités pluviométriques sont plus indigentes et pauvres en fonction des conditions géographiques locales et de sa position par rapport aux flux pluvieux de diverses origines.

Or, les précipitations dans cette région subissent aussi d'influence du facteur suivant :

Une distance importante par rapport à la mer quelle que soit la direction du flux considéré. Cette continentalité est d'autant plus accentuée que l'on passe de l'ouest à l'est. En conséquence, cette région se trouve dans une position d'abri orographique et aérologique par l'effet d'exposition et d'altitude.

Une orientation générale du relief nord-est / sud-ouest, entrecoupée par les reliefs voisins.

Références bibliographiques

- ARRAJI, M., 1995 : le climat du versant méditerranéen du rif central. Maroc. une géographie de la pluie : mécanismes pluviogènes et temps pluvieux, thèse de doctorat, université Toulouse II-Le Mirail, 334 p.
- BIDAULT G et al., L'évolution du temps au Maroc, p 57.
- BIDAULT G et DEBRACH J., 1948: Physique du globe et météorologie au Maroc; état de nos connaissances en 1947. Soc. Sc. Nat. Maroc, volume jubilaire, p. 55-92.
- BIDAULT G., 1959 : Notes sur le climat du Maroc oriental. – Maroc médical, 342: 1135-1145.
- DE LANNOY Guy., 1975 : Aperçu de la climatologie du Sénégal. Novembre P ; 5
- DELANNOY H., 1988 : Précipitations saisonnières du Maroc cisatlantiques et téléconnexions dans la circulation atmosphérique, Bull. Assoc. Géogr. Franc., Paris, 1988-5, p.393-406.
- DEMRI Z., 1993: Variabilité Interannuelle de la sécheresse et de l'humidité au Maroc. Thèse de doctorat. Université de Rennes 2, 523 p.
- EL BAYE, A., 1993: A propos des perturbations au Maroc et leur structure aérologique, Série : colloques et séminaires, 63, Rabat, Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines.
- EL JANATI IDRISSE A., 2004: Impact de déficit pluviométrique sur les systèmes des ressources en eau de surface dans le bassin de Sebou en amont de Machrâa Belkssiri. Thèse de doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Fès Sais. P. 26
- EL JANATI IDRISSE A., 2010: Situations pluviométriques extrêmes et impacts engendrés au Maroc, cas de l'année 2008-2009. Geo-Maghreb 2010 ; n°6 P 107.
- NIAZI S., 2007: Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): vulnérabilité et adaptation. Thèse Doct. Géosciences de l'environnement. Université Mohammed V. Faculté des Sciences. Agdal Rabat. P. 53-54
- OLIVIER J E., 2006: Encyclopedia of world climatology, 85 p.
- SBAI A, MOUSSAOUI F & OUALIT N, 1992: Les régimes des vents au Maroc oriental. Méditerranée, tome 76, 3-4-1992. pp.45-52; doi : <https://doi.org/10.3406/medit.1992.2763> https://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_1992_num_76_3_2763

RISQUE HYDROLOGIQUE ET GENESE DES CRUES (MAROC) CAS DE LA CUVETTE INTRAMONTAGNARD (PLAINE DE GUIGOU)

MAZOZ El houssaine¹ et JANATI IDRISSE Abdelhamid²

Laboratoire D'Analyses Géo-environnementales, d'Aménagement et de développement durable

¹ chercheur en hydro-climatologie, LAGEA-DD, FLSH-Sais, Fès. m.lhoucine@gmail.com

²Enseignant chercheur, LAGEA-DD, FLSH-Sais, Fès abdelhamidjanati@yahoo.fr

Résumé : La plaine de Guigou est devenue un espace géographique très vulnérable et souvent affecté par des inondations violentes. L'analyse du comportement hydrologique extrême de l'oued Guigou est basée sur une approche statistique et fréquentielle (pluies-débits maximum, Loi Racine Gumbel et l'indice de l'agressivité des pluies) et une étude d'efficacité interannuelle des types de situations pluvieuses. Les résultats ont montré que la pluviométrie du bassin est spatialement très irrégulière à cause de la topographie des chaînes atlasiques et la situation d'abri et la direction des vents dominant d'Ouest. La cyclogenèse automnale se caractérise par d'importants contrastes entre les masses d'air maritimes et continentales, ce qui peut engendrer d'intenses précipitations à l'origine de crues volumineuses. En même temps, différents aménagements affectent l'ensemble du fonctionnement hydrologique multiples ouvrage de conservation des eaux et des sols. Les dommages grandissants émanant des évènements pluviométriques extrêmes constituent un défi pour l'état qui doit prendre en compte les risques hydroclimatiques dans les plans directeurs d'aménagement du territoire afin de minimiser leurs conséquences sur les populations exposées à ces risques.

Mots clés : événements climatiques extrêmes, inondation, sécheresse climatique, érosion hydrique, plaine de Guigou, Maroc.

HYDROLOGICAL RISK AND GENESIS OF THE FLOOD (MOROCCO) CASE OF THE INTRAMONTAGNARD BASIN (PLAIN OF GUIGOU)

ABSTRACT: The Guigou Plain has become a very vulnerable geographical area often affected by violent floods. The analysis of the extreme hydrological behavior of Oued Guigou is based on a statistical and frequential approach (maximum rainfall-flows, Loi Root Gumbel and the index of aggression of the rains) and a study of interannual efficiency of the types of rainy situations. The results showed that the rainfall of the basin is spatially very irregular due to the topography of the Atlas ranges and the shelter situation and the prevailing wind direction of West. Autumnal cyclogenesis is characterized by significant contrasts between marine and inland air masses, which can lead to intense precipitation at the source of large floods. At the same time, different developments affect the entire hydrological functioning of the water and soil conservation works. Increasing damage from extreme rainfall events is a challenge for the state to address hydroclimatic risks in land use plans to minimize their impact on populations at risk.

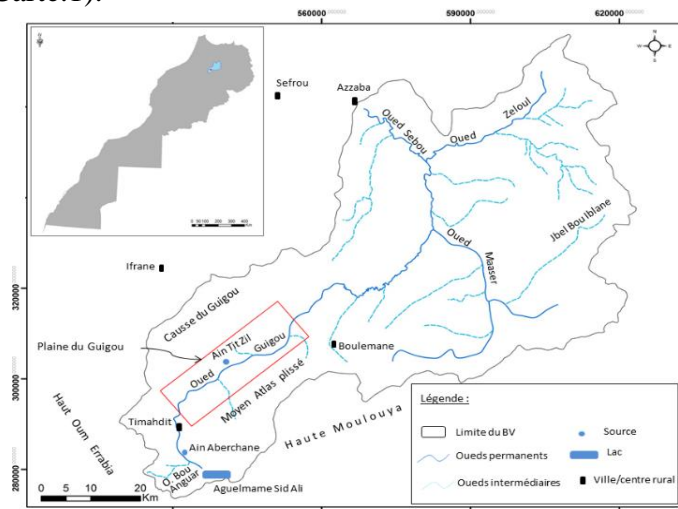
Keywords: extreme weather events, flood, climate drought, water erosion, Guigou plain, Morocco.

Introduction

Le bassin de Oued Guigou est fortement menacé par les inondations. Il constitue une zone fortement anthropisée, ce qui provoque des changements géomorphologiques importants au niveau du lit de l'Oued. L'exploitation croissante des ressources naturelles et l'extension non contrôlée de l'habitat développent le risque d'inondation qui devient de plus en plus dévastateur.

1 : Description de la zone d'étude

La plaine du Guigou est une plaine intra – montagnarde, située dans le Moyen Atlas central où elle couvre une superficie d'environ 175 km²; elle est limitée par le Moyen Atlas Plissé (8450 km²) au Sud-est et le Moyen Atlas tabulaire ou causeuse moyen-atlasique (4750 km²) au Nord-ouest (Carte.1).



Carte 1: Situation géographique de la plaine du Guigou

Les profils topographiques longitudinal et transversal montrent l'importance de la pente qui diminue de l'amont à l'aval de la plaine. Elle se trouve dans un endroit de passage entre deux unités structurellement différentes: le Moyen Atlas tabulaire et le Moyen Atlas plissé (fig.1).

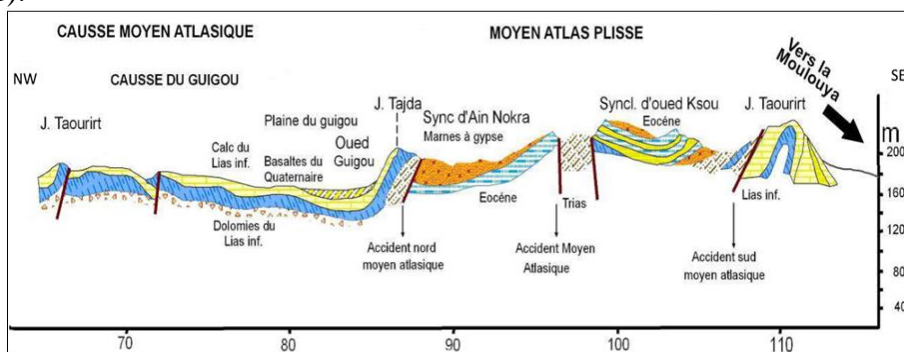


Fig. 1: Coupe Géologique Du Moyen Atlas Septentrional (Source : Atlas Du Bassin Du Sebou ; 1970)

Du point de vue géomorphologique, la plaine du Guigou constitue une cuvette allongée de direction SW-NE, entourée par des escarpements plus ou moins forts dont la structure est très complexe.

2- Matériel et méthodes

La méthode adoptée est une approche statistique qui s'appuie sur l'étude fréquentielle des débits et des quantités des précipitations extrêmes; l'étude du facteur de l'agressivité des pluies

se base sur l'indice de Fournier. Nous avons également travaillé sur des situations atmosphériques perturbées qu'a connues le bassin du Haut Sebou à travers la détermination de l'indice des flux météorologiques qui dépasse 10 mm/j, et qui peut porvoquer des crues inondables.

3-Résultats et discussion

La plaine du Guigou se caractérise par un climat sub-tropical. L'hiver est relativement humide et très froid avec des précipitations neigeuses et un été chaud et sec. Les températures de l'hiver peuvent aller jusqu'à -10°C et jusqu'à 38°C pour les températures de l'été. Les précipitations ont les mêmes caractéristiques, elles sont de l'ordre de 96,2 mm en hiver et de 63,7 mm en été avec des orages accompagnés des averses plus concentrées dans le plan spatio-temporel, avec une grande amplitude diurne-nocturne.

L'évolution du débit de l'Oued Guigou à la station hydrométrique d'Ait Khabbache, montre que les années 70, ainsi que la première décennie du 21ème siècle, enregistrent des débits plus élevés que ceux des années 80 et 90. Dans la chronique étudiée (1969 – 2014), le débit maximum enregistré atteint 2,85 m³/s en 2008/2009, et le minimum a été enregistré à 0,03 m³/s en 2013/2014. Le module annuel moyen ne dépasse pas 0,8 m³/s, ce qui signifie la fragilité des ressources en eau dans la zone étudiée. (fig.2 et 3)

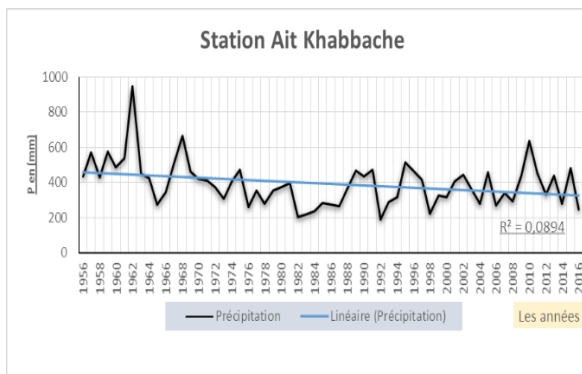


Fig. 2 : Séries chronologiques des pluies annuels

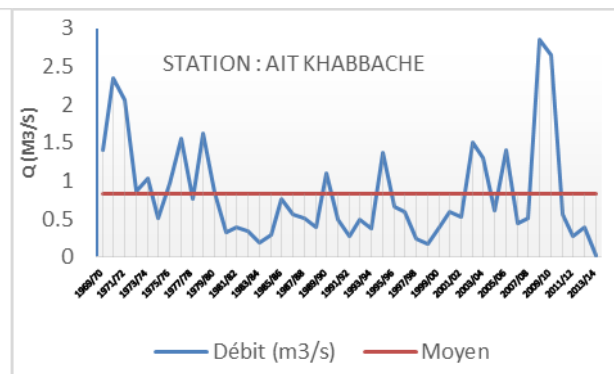


Fig. 3: Débit Hydrométrique moyenne annuel

Le facteur de l'agressivité des pluies est exprimé par l'indice de Fournier. Cet indice, mis au point pour approcher l'agressivité climatique dans les pays méditerranéens, est fonction de la précipitation moyenne du mois le plus pluvieux et de la précipitation moyenne annuelle. Il est exprimé par la relation :

$$(1) \quad I.F = P_i^2/P$$

Où - I.F : Indice de Fournier

- P_i : Précipitation moyenne du mois le plus pluvieux en mm
- P : Précipitation moyenne annuelle en mm

Les valeurs de cet indice varient entre 5,53 et 22,66 et correspondent, respectivement, aux stations pluviométriques d'Aït Khabbache et d'Ifrane.

L'analyse fréquentielle d'une longue série de débits ou pluies permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Il s'agit d'une méthode statistique de la loi Gumbel.

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-a)/b)) \quad (1)$$

Avec la variable réduite suivante: $U = (x-a)/b$ (2)
Où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

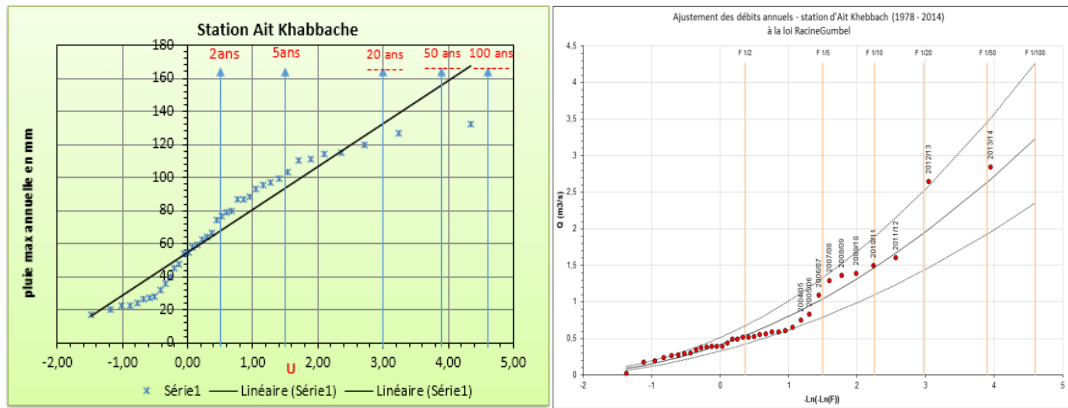


Fig. 4: Ajustement des pluies journalières maximales Fig.5: Ajustement des débits annuels

Les résultats obtenus nous permettent de suivre, à différents niveaux de probabilité, l'évolution de la pluie maximale annuelle de l'amont vers son aval. La station Ait Khabbache montre selon les données qu'il y a des fortes averses dans les hautes montagnes (tab.1).

Tab. 1 : Les pluies maximales journalières et leurs temps de retour (St Ait Khabbache)

Fréquence	1/2	1/5	1/20	1/50	1/100
Période de retour	2ans	5ans	20ans	50ans	100ans
T= P _{max} (mm)	46,0	107,6	187,5	238,1	276,1

D'après l'ajustement des débits annuels, on constate qu'il y a une grande variation des apports annuels, ainsi que le grand contraste qu'on peut voir entre les extrêmes secs (basses eaux) et humides (hautes eaux). (fig.4 et 5)

Tab. 2 : Fréquences des débits annuels et leurs temps de retour (St° Ait Khabbache)

Fréquence	1/2	1/5	1/20	1/50	1/100
Période de retour	2ans	5ans	20ans	50ans	100ans
Q (m³/s)	0,72	1,26	1,77	2,03	2,12

Dans l'analyse des cartes météorologiques relatives aux types de circulations pluvieuses affectant la zone d'étude, nous avons trouvé judicieux d'étudier leurs fréquences interannuelles tout en montrant leurs parts respectives au sein des années. Une démarche peut aider à justifier les irrégularités des quantités interannuelles de la pluviométrie. Nous avons également essayé d'examiner leur régime d'efficacité, une approche très utile pour expliquer les caractéristiques des régimes pluviométriques : la fréquence de passage des différentes situations pluvieuses en retenant les jours ayant dépassé 10mm de pluie tombée quelque part dans le bassin. Au total, nous avons consulté (1105) situations synoptiques entre 1978/79 et 2010/11 en se référant aux cartes météorologiques fournies par le site allemand (www.wetter3.de).

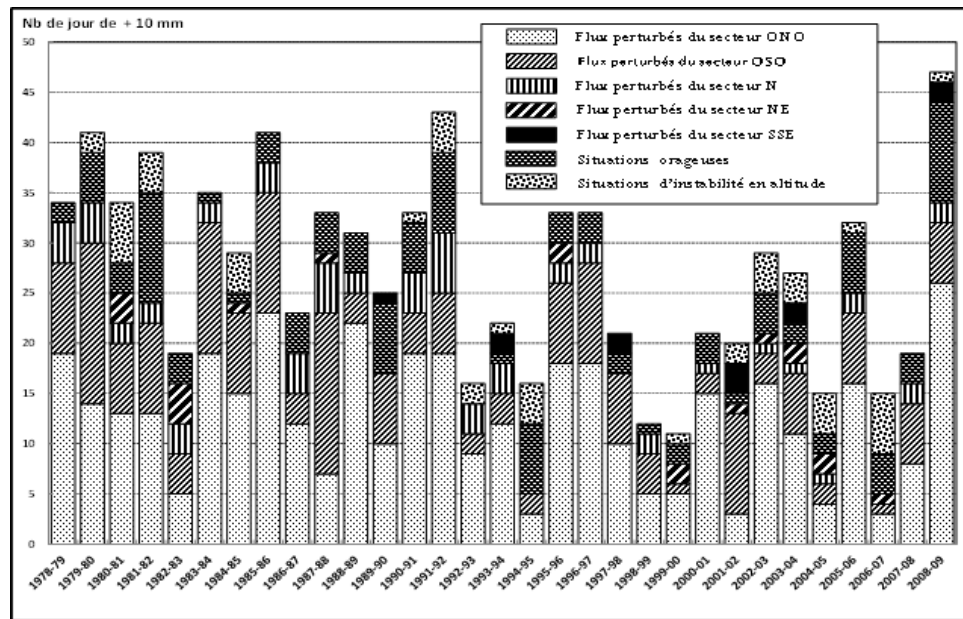
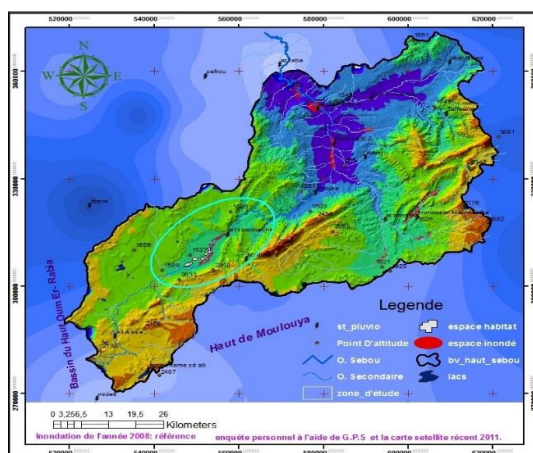


Fig.6. Efficacité annuelle des situations perturbées dans le Haut Sebou

Dans la plupart des années, les perturbations du secteur WNW paraissent plus efficaces puisqu'elles ont contribué à (46.2%) du total pluviométrique. En certaines années, elles ont apporté plus de 50% en particulier en 1978/79, 1985/86, 2008/09 et 1988/89 où elles ont atteints 71%. Les pluies issues du secteur WSW ont contribué au total annuel efficacement en 1979/80 et en 1987/88 et surtout en 2001/02 où la moitié des apports pluviométriques ont été originaires de ces types de flux.

- **Situation de la crue 10 octobre 2008 :**

Le 10 octobre, une goutte froide (- 20°) s'est installée (fig.7) créant ainsi une instabilité orageuse en zone montagneuse sous l'effet orographique. Au sol, le Maroc se trouvait sous l'effet de la dépression thermique saharienne qui semble plus dynamique car, les vents d'Est soufflaient fortement, ce qui montre le caractère très instable du temps. (Où la goutte froide est installée + la dépression T S absorbe et ne souffle pas)



Carte. 2: Zone inondée le 10 Octobre 2008 le 10/ 10/ 2008 à 6h UTC

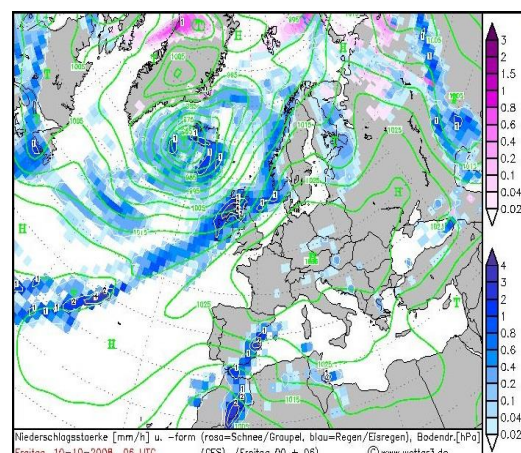


Fig.7. Situation atmosphérique ou champ isobarique à 500 hPa

Ces crues sont le résultat d'intenses pluies parfois à caractère orageux surtout en automne ou en fin d'été, responsables des inondations qui ont touché le bassin ces dernières années. Etant donné que la plupart des surfaces agricoles ne sont pas assurées, de nombreuses communes

sont sinistrées par les inondations de 2001, 2002, 2003, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011. Les dégâts enregistrés dans le bassin en amont de Ait Khabbache sont la submersion de 50 foyers situés à Ait Almis en aval dont 4 ont été détruits et apparition des fissures dans les murs de la majorité de ces logements, 10 au douar d'Iaouine et 1 à Ait Besri, ainsi que quelques établissements administratifs (CR, Maison des jeunes, centre agricole...).



Planche photos 1 ; 2: Submersion des deux Douars (Ait Saïd ou Haddou « à gauche » et Beni Oulid « à droite » date : 10 Octobre 2008

4. Conclusion et recommandations

Plusieurs facteurs et mécanismes concourent pour donner l'aspect « normal » au risques climatiques dans la zone d'étude. En effet, l'analyse des données disponibles montre que dans notre région le risque climatique n'est pas une exception, et que le climat connaît une grande variabilité à la fois spatiale et temporelle à toutes les échelles (mensuelles, saisonnières, annuelle, décennales, etc.).

Malgré la complexité des mécanismes induisant le risque climatique dans la région, sa prévention et sa gestion sont un grand atout pour réduire les effets néfastes de ce phénomène. Comme principales recommandations nous pouvons citer :

- La disponibilité des informations pertinentes et essentielles ;
- Le renforcement du développement et de la recherche appliquée ;
- La mise en place d'un système d'information ;
- L'Organisation des programmes de sensibilisation et de vulgarisation.

Références

- BENJELLOUL M., 2000 : La rivière et les établissements humains dans la plaine du Guigou. Publication de la FLSH, Dhar El Mehraz. Fès.
- EL KHALKI. Y, (2000) : Contribution à l'étude hydrologique de quelques sources karstiques du Moyen Atlas : Ain Timadraine - Ouamender, MOSELLA, Tome XXV – n° 3 – 4.
- IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change- (2007). The Physical Science Basis. Accessible at : <http://www.ipcc.un.org>.
- JANATI, I. A. (2010) - Situations pluviométriques extrêmes en 2008-2009 et impacts engendrés au Maroc. Revue Géomagheb n° 6.
- MAZOZ E. 2015. Régimes pluvio-hydrologiques du Haut Sebou (Maroc) et incidences des situations climatiques à risques dans le bassin. Thèse de doctorat. Université Sidi Mohamed ben Abdellah. FLSH. Fès-Sais.
- MINISTERE de L'AGRICULTURE, du DEVELOPPEMENT RURAL et DES EAUX et FORETS. Projet de développement intégré des zones prioritaires du bassin versant Allal el Fassi. Février 2002.
- SARY M., AKDIM B. 2000. La sécheresse hydrologique récente dans le bassin du haut Sebou.