



## Les grandes villes côtières d'Afrique du Nord face au changement climatique et aux risques naturels

Une étude a été menée entre 2009 et 2013 sur quatre grandes villes côtières d'Afrique du Nord : Alexandrie, Alger, Casablanca et Tunis. Destinée à sensibiliser les décideurs et les aménageurs sur les effets des aléas liés au changement climatique (érosion et submersion côtière, inondations urbaines, pénurie d'eau, vagues de chaleur), l'étude couvre également les aléas mouvements de terrain, séismes et tsunamis. Elle donne ainsi un panorama complet des risques naturels auxquels sont exposées les grandes aires urbaines et met en exergue les priorités d'intervention.

En 2010, les villes côtières d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient (qui appartiennent à la grande Région MENA « Middle East and North Africa ») accueillent plus de 60 millions de personnes. D'après les projections démographiques, elles pourraient en abriter environ 100 millions en 2030. Ces grandes agglomérations sont à la fois les lieux les plus productifs des pays concernés et les plus menacés par les impacts du changement climatique, notamment du fait de leur situation côtière. En outre, cette région est très exposée aux aléas géologiques tels que les séismes (*figure 1, encadré 1*), les inondations, et les mouvements de terrain. Selon la Banque mondiale, la moyenne des catastrophes naturelles dans la région MENA a quasiment triplé depuis les années 1980. Dans cette zone géographique, l'interaction entre les catastrophes naturelles, l'urbanisation rapide, la rareté de l'eau et le changement climatique est devenue un enjeu majeur, à la fois au plan politique et pour la planification du territoire.

### Une étude prospective de grande ampleur

Une étude en deux phases, sur financement de la Banque mondiale et du Groupe Caisse des Dépôts et Consignations, a été menée entre 2009 et 2013. Quatre ans d'investigations d'une équipe multidisciplinaire réunie par Egis, le BRGM et l'IAU-IDF ont permis d'évaluer les impacts du changement climatique et des catastrophes naturelles pour quatre grandes villes d'Afrique du Nord, dans leur contexte actuel et à l'horizon 2030 : Alexandrie, Alger, Casablanca et Tunis. Plusieurs types de menaces naturelles ont été considérés : élévation du niveau de la mer, érosion et submersion des zones côtières, inondations urbaines, pénurie d'eau, vagues de chaleur, mouvements de terrain, séismes et tsunamis. Dans cet article, nous nous

AUTEURS



**Yves ENNESSER**  
EGIS, Directeur de projet  
✉ [yves.ennesser@egis.fr](mailto:yves.ennesser@egis.fr)



**Monique TERRIER**  
Géologue, expert en Risques naturels  
Direction Risques et Prévention, BRGM  
✉ [m.terrier@brgm.fr](mailto:m.terrier@brgm.fr)



**Victor SAID**  
IAU-IDF, Architecte-urbaniste, spécialiste en  
planification stratégique et changement climatique  
✉ [victor.said@iau-idf.fr](mailto:victor.said@iau-idf.fr)

« Les aléas naturels évalués sur le terrain, calculés ou modélisés, ont été reportés sur des fonds cartographiques permettant de représenter les effets cumulatifs »

concentrerons essentiellement sur les risques d'inondation, de mouvements de terrain, de séismes et de tsunamis. Les projections du changement climatique à l'horizon 2030, réalisés à partir de « descentes d'échelle » (*downscaling*) de différents modèles-scénarios développés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ont été intégrées aux évaluations des risques naturels à cette échéance. À l'exception des vagues de chaleur et de la pénurie d'eau, les aléas naturels évalués sur le terrain, calculés ou modélisés, ont été reportés sur des fonds cartographiques réalisés sous SIG permettant de représenter les effets cumulatifs.

Parallèlement à l'analyse des aléas climatiques et naturels, on s'est attaché à identifier les éléments physiques vulnérables des aires urbaines, en situation actuelle et à l'horizon 2030. De façon générale, ces éléments de vulnérabilité sont constitués par les zones d'habitat dense, les équipements et installations indispensables au fonctionnement et à la sécurité de l'agglomération, ainsi que certaines composantes environnementales (milieux agricoles périurbains, milieux naturels sensibles...). Il s'agit aussi des zones d'habitat insalubre (bidonville), souvent localisées dans des secteurs à niveau d'aléa majeur tel que

l'inondation et dont la très mauvaise qualité de construction les rend encore plus vulnérables (notamment aux vibrations sismiques).

Les vulnérabilités futures ont été approchées à partir des schémas directeurs d'urbanisme disponibles. Le croisement entre aléas et vulnérabilités a permis de délimiter les zones à enjeux au regard des risques. Selon les sites et les pays, l'évaluation n'a pas été réalisée avec le même niveau de précision, essentiellement du fait de différences significatives dans la précision et la disponibilité des données de base.

En raison du niveau de détail d'analyse différent d'un site à l'autre, les incertitudes sur les risques de catastrophes naturelles et sur les conséquences du changement climatique sont considérées comme étant minimales pour Tunis, modérées pour Casablanca et Alger, et élevées pour Alexandrie, où des études plus approfondies sont absolument nécessaires. Cet état de fait appelle à la prudence dans l'interprétation de toute tentative de comparaison directe entre les quatre sites.



PHOTO 1  
Alexandrie, l'exutoire du lac Mariout.

© EGIS - Y. ENNESSER

PHOTO 2  
Vue de la baie d'Alger.

© BRGM

## Une exposition aux risques naturels variable selon les sites

### > L'agglomération de Tunis

Parmi les quatre sites étudiés et en gardant à l'esprit les limites exprimées précédemment, la zone urbaine de Tunis est clairement la plus exposée aux catastrophes

FIGURE 1 / Localisation des quatre villes étudiées sur la carte des séismes du bassin méditerranéen. © BRGM

▲ Localisation des 4 villes étudiées

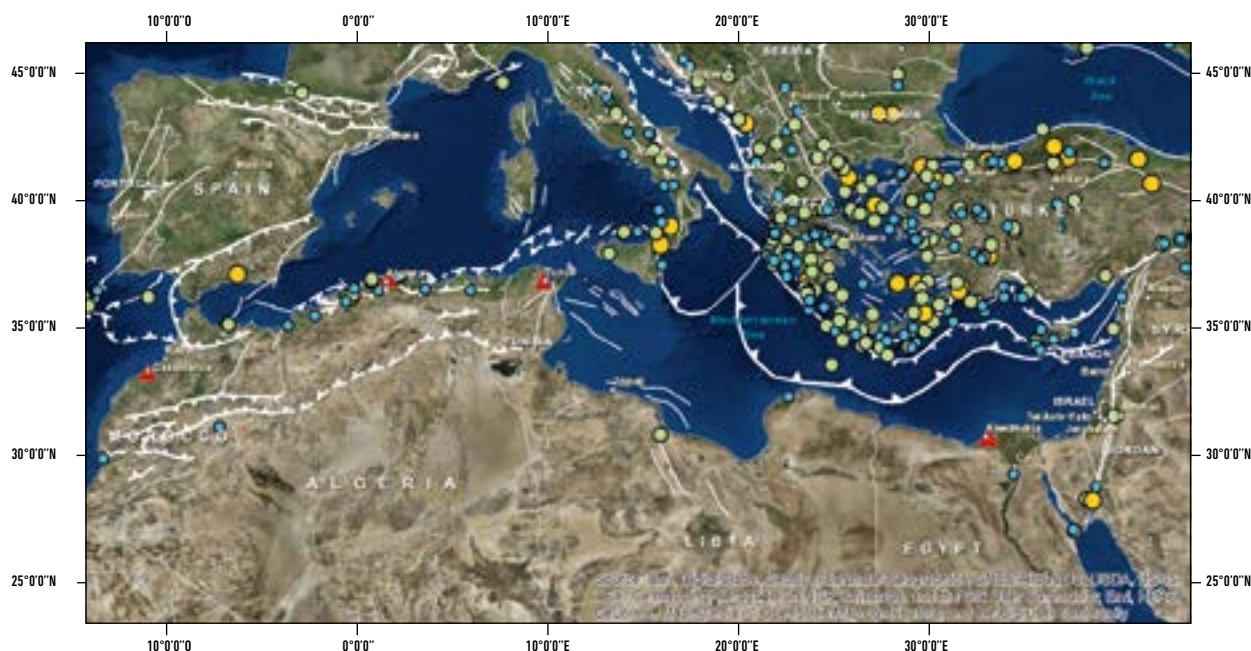
Épicentres de séismes

- 5,0 ≤ Mw < 6,0
- 6,0 ≤ Mw < 7,0
- Mw ≥ 7,0

Failles majeures

- faille indifférenciée
- ▲ front de déformation (subduction)
- ▲▲ chevauchement
- ▲▲▲ chevauchement masqué

Sismicité extraite de l'ISC database, période 1900-2009





## ► VULNÉRABILITÉ DU BÂTI DE LA VILLE DE CHLEF (ALGÉRIE) : LEÇONS TIRÉES DU SÉISME DE 1980\*

La ville de Chlef (ex-El-Asnam) est située à 200 km à l'ouest d'Alger. En 1980, elle abritait environ 35 000 habitants. Il y en a plus de 195 000 aujourd'hui, avec un taux de croissance annuel de 2,1 %. Chlef a subi deux tremblements de terre majeurs, le 9 septembre 1954 (magnitude 6,7) et le 10 octobre 1980 (magnitude 7,3). Ce dernier, d'intensité épicentrale de IX, a fait plus de 2 700 morts. Il a détruit la ville à plus de 70 % (photo). La région de Chlef est aujourd'hui classée en zone III (haute sismicité) par le règlement parasismique algérien.

Afin d'évaluer l'évolution de la vulnérabilité des éléments physiques de la ville aux séismes, une simulation de dommages a été réalisée en prenant les caractéristiques du séisme de 1980 comme référence et en considérant deux scénarios : le contexte urbain de 1980, puis le contexte urbain actuel. Ce travail de recherche, réalisé en 2014-2015, a appliqué la méthode RISK\_UE pour l'analyse de la vulnérabilité des bâtiments. Les simulations ont été faites avec le logiciel Armagedom®, créé et développé par le BRGM.

En ce qui concerne le premier scénario (situation de 1980), les estimations donnent 23,39 % de dommages de niveau élevé à très élevé (classes D4 et D5 suivant la classification EMS98 ; figure). Le second scénario (situation actuelle) aboutit à des niveaux

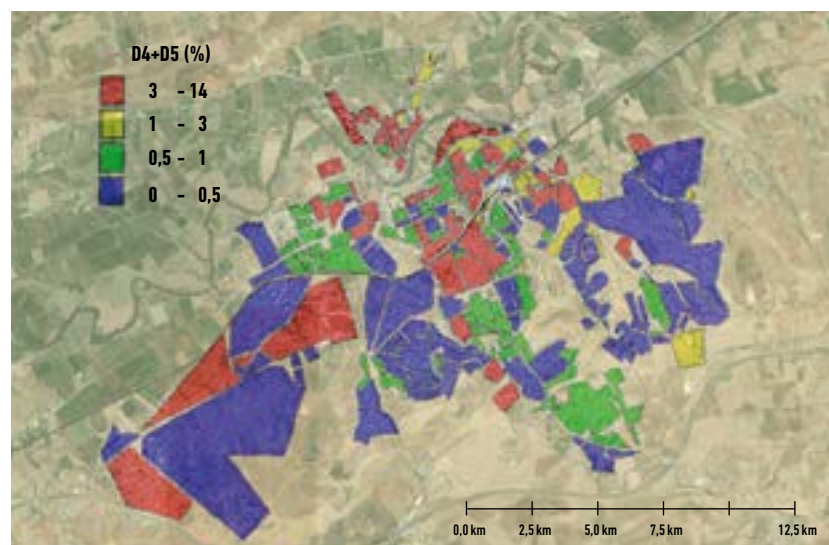


de dommages plus faibles : 2,24 % des bâtiments sont classés D4 et D5. Les résultats de l'étude témoignent de la prise de conscience du risque sismique de la part des autorités. Celle-ci se traduit, entre autres, par une amélioration notable de la résistance aux secousses sismiques des bâtiments récents.

Au-delà du cas particulier de la ville de Chlef, l'approche méthodologique présentée

peut être adoptée et élargie à la détection des typologies urbaines les plus vulnérables et servir d'outil d'aide à la décision pour la prise en compte du risque sismique dans l'urbanisation et l'aménagement urbain.

Au niveau national, en plus des travaux scientifiques consacrés à une meilleure évaluation de l'aléa sismique en Algérie, le séisme de 1980 a fait très vite émerger la nécessité d'élaborer une stratégie nationale de gestion des risques de catastrophes. Ceci s'est matérialisé en 1985 par deux décrets, n° 85-231, portant sur la gestion de crise (mise en œuvre de plans Orsec), et n° 85-232, relatif à la prévention des risques. Suite au séisme de Boumerdès de 2003, l'arrêté du 4 janvier 2004 concerne quant à lui les règles de construction parasismique. —



Pourcentage de bâtiments avec des dommages de degrés D4 ou D5 pour un scénario « Séisme de 1980 » en condition urbaine actuelle.

  
Sauveteurs à la recherche de survivants dans les ruines d'El-Asnam, 1980.

© PETER MARLOW /  
MAGNUM PHOTOS

\* D'après Boutaraa Z., Negulescu C., Sedan O., Arab A. (2015) - Analyse de la vulnérabilité sismique à l'échelle urbaine : application à la ville de Chlef - 7<sup>e</sup> Symposium sur la construction en zone sismique (SYCZS'2015), Chlef, octobre 2015.

1/ Laboratoire des Sciences des Matériaux et de l'Environnement, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie. 2/ BRGM, Orléans, France



FIGURE 2  
Carte des secteurs de la basse ville de Tunis exposés aux risques naturels, à l'horizon 2030.

© CONSORTIUM EGIS - BRGM - IAU-IDF

**Aléa inondation**

Aléa inondation (100 ans)  
Modélisation sous Infoworks RS

**Aléa submersion**

Aléa submersion (100 ans)

**Subsidence**

Évolution moyenne de la subsidence entre 2003 et 2009 par analyse de données ENVISAT (TRE, 2010)

- de 0 à 2,5 mm/an
- de 2,5 à 10 mm/an
- plus de 10 mm/an



naturelles et aux effets du changement climatique (figure 2). L'explication repose sur un environnement physique sensible : événements pluvieux extrêmes, vastes étendues de plages sableuses exposées à l'érosion et à la submersion marine, zones de bas-fonds (sebkhas de la basse ville) aggravant les possibilités d'inondation terrestre et marine. L'agglomération est essentiellement bâtie sur des formations géologiques quaternaires de nature vaso-argileuse à sableuse qui conditionnent l'instabilité des sols (tassement, liquéfaction), induisant des phénomènes de subsidence pouvant atteindre jusqu'à 3 cm/an par endroit et de possibles élévations du niveau d'aléa sismique (amplification de la vibration sismique ou liquéfaction des sols). La basse ville, qui constitue un enjeu majeur de par sa valeur sociale, historique et économique, concentre ainsi tous les types de risques, à l'exception du risque d'érosion côtière et de tsunami.

Tunis est une métropole particulièrement exposée aux inondations. Lors de l'inondation de septembre 2003 (photos ci-contre), estimée de fréquence centennale, des hauteurs d'eau de l'ordre de 0,5 m à plus de 1 m ont été observées en de nombreux endroits. La surface totale inondée a été estimée à plus de 4500 hectares. À l'horizon 2030, selon l'hypothèse de changement climatique retenue, la fréquence des précipitations exceptionnelles devrait s'accroître : la pluie de période de retour 20 ans en situation actuelle deviendrait décennale, la pluie centennale

en situation actuelle passerait à une période de retour de 50 ans. Le taux d'imperméabilisation des sols, en raison de l'urbanisation, passerait de 31 % en 2010 à 47 % en 2030. L'incidence de l'urbanisation est souvent du même ordre de grandeur que celle du changement climatique, parfois supérieure sur les bassins-versants pour lesquels le taux d'imperméabilisation croît de manière importante. On obtient, par modélisation, des débordements importants des branches principales des réseaux d'évacuation des eaux pluviales, des cours d'eau et des bassins écrêteurs, déjà insuffisants en cas de crue décennale.

L'aire urbaine de Tunis est soumise à un aléa sismique modéré, avec une intensité (MSK<sup>1</sup>) au rocher évaluée de l'ordre de 6 pour une fréquence cinquantennale et de l'ordre de 7 pour une période de retour de 475 ans. Mais, en raison de la mauvaise qualité géotechnique des sols



PHOTO 3  
Inondations de septembre 2003 à Tunis.

© TUNIVISON.NET / DIRECTINFO



<sup>1/</sup> Échelle d'intensité sismique graduée de 1 à 12 dont le nom provient de ses inventeurs Medvedev, Sponheuer et Kamik en 1964.



de Tunis, une majoration d'un degré d'intensité peut être considérée sur une grande partie de l'aire urbaine. Rappelons le séisme de l'année 856 (épicentre localisé dans la rade de Tunis), qui aurait causé la mort de 45 000 personnes. Le risque de dommage par tsunami est quant à lui considéré comme négligeable, les différentes études réalisées concluant en une hauteur de vague maximale de 60 cm dans le golfe de Tunis.

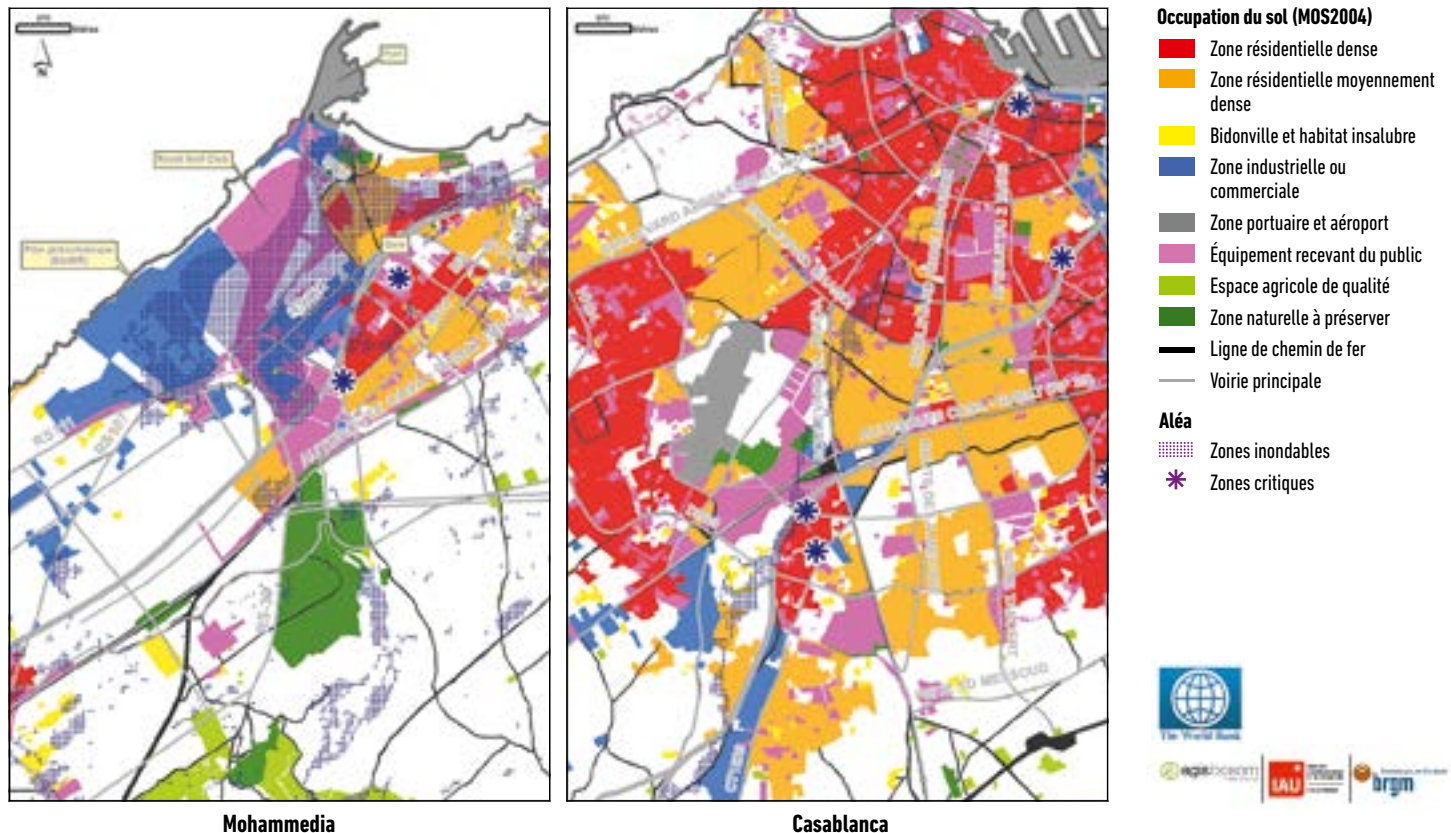
## > La wilaya d'Alger

Le territoire de la wilaya (subdivision administrative) d'Alger est couvert d'un réseau hydrographique assez dense avec des cours d'eau permanents. Ces derniers sont souvent à l'origine d'inondations, comme, notamment, les oueds Koriche (responsable des inondations de Bab-El-Oued en novembre 2001), El Harrach, El Hamiz et Reghaia. En outre, six zones sensibles ont été identifiées au sein du réseau d'assainissement pluvial. À l'horizon 2030, les hypothèses de changement climatique retenues sont globalement les mêmes que pour Tunis en ce qui concerne les précipitations exceptionnelles. Sur cette

base, il a été possible d'estimer les secteurs qui seront soumis à des débordements induits par les changements climatiques, en tenant compte des aménagements de lutte contre les inondations programmés d'ici 2030. Ainsi, le niveau de protection des aménagements prévus sur les grands oueds passerait de 100 à 50 ans. Pour la crue centennale, l'écoulement se ferait « à pleins bords » compte tenu des revanches<sup>2</sup> prévues. Par contre, ce type d'écoulement générerait pour les oueds El Harrach et Reghaia des risques de débordements et de ruptures de digues non contrôlés dans des zones très vulnérables. Les projets d'aménagement de ces grands oueds mettent en avant des difficultés techniques et économiques pour redimensionner certains ouvrages de franchissement (au niveau des rocade, des voies ferrées), pour lesquels le niveau de protection resterait inférieur à 50 ans dans l'attente de meilleures solutions. Le réseau d'assainissement pluvial, pour lequel le schéma directeur prévoit un niveau de protection minimal de 10 ans et jusqu'à 50 ans pour certains secteurs plus vulnérables, verrait également son niveau de protection diminuer.

FIGURE 3 / Cartographie des principales zones inondables du Grand Casablanca.

© CONSORTIUM EGIS - BRGM - IAU-IDF



En plus des aléas climatiques, la région algéroise présente des reliefs prononcés exposés aux instabilités de pente. L'aléa mouvements de terrain est particulièrement élevé dans le massif de Bouzaréah et à l'extrémité ouest du chaînon du Sahel. En période de fortes pluies, certains types de glissements de terrain peuvent se transformer très rapidement en coulées de boue, augmentant de façon considérable le caractère déjà très destructeur des inondations. Ainsi, le 10 novembre 2001, en plein cœur de l'agglomération d'Alger, la commune de Bab-el-Oued a été traversée par une coulée de boue qui a provoqué la mort de plus de 800 personnes et des pertes matérielles considérables.

La zone côtière algérienne est, en outre, marquée par un niveau d'aléa sismique élevé. Plusieurs séismes dévastateurs s'y sont produits. L'ampleur des dégâts est due non seulement au niveau de magnitude et au caractère superficiel des foyers des séismes, mais également au fait que la majeure partie de la population algérienne y réside. L'étude montre que des séismes pouvant atteindre jusqu'à 6,9 ( $\pm 0.2$ ) de magnitude ( $M_w$ ), avec une période de retour inférieure à 475 ans, peuvent être générés à partir de failles actives proches de la wilaya d'Alger. Le phénomène sismique peut générer également des tsunamis. D'après les événements historiques connus (datés notamment de 1365, 1773 et 2003), on peut imaginer un scénario correspondant à une hauteur d'eau au rivage de 2 m, pour une probabilité de survenance de quelques décennies à 100 ans.

Les inondations de Bab-El-Oued en novembre 2001 et le tremblement de terre de Boumerdès en 2003 (*photo 4*) sont encore dans les esprits. Les autorités algériennes ont pris la mesure du problème et ont, depuis, beaucoup progressé dans la prise en compte et la préparation aux catastrophes naturelles.

### › La région du Grand Casablanca

Dans l'ensemble, l'aire métropolitaine du Grand Casablanca est moins exposée que celles de Tunis et d'Alger, les risques naturels étant davantage concentrés sur quelques sites sensibles, comme le centre-ville le long de l'ancien lit de l'oued Bouskoura et la zone portuaire et industrielle de Mohammedia (*figure 3*). Cependant, l'analyse économique indique que les coûts potentiels des catastrophes naturelles et des conséquences du changement climatique y sont plus élevés, du fait de l'importance pour l'économie nationale des zones menacées. Notons qu'en dépit d'une augmentation des débits de crue pouvant atteindre 15 à 20 %, le programme d'assainissement pluvial et, en particulier, le super collecteur ouest de l'oued Bouskoura devraient significativement améliorer



▲  PHOTO 4  
Séisme du  
21 mai 2003  
à Boumerdès  
(Algérie).  
© BRGM - P. MOURROUX

la situation. Cela suppose néanmoins la prise en compte de l'écoulement aval dans la planification urbaine et la gestion de l'occupation des sols des zones inondables. Des dispositifs de protection sont également programmés pour réduire les débordements possibles de l'oued El Maleh (deux nouveaux barrages en amont, de nouvelles digues et de nouveaux canaux en aval).

Sur le plan géologique, le site de Casablanca appartient à la partie côtière du domaine de la Meseta marocaine, un massif ancien très peu sismique aujourd'hui. Toutefois, l'analyse des événements de sismicité historique et du contexte sismotectonique indique une exposition relativement importante de la côte occidentale marocaine aux tsunamis. Pour un événement tel que le séisme de Lisbonne de 1755 (magnitude 8,5), la période de retour évaluée est de 1 000 à 3 000 ans. Ce type d'événement produirait des hauteurs de vagues atteignant 2 m au niveau de la côte ouest du Maroc. Pour un événement de type séisme de 1969 (magnitude 7,5), situé lui aussi au large des côtes entre le Maroc et le Portugal, la période de retour est inférieure à 1 000 ans. La hauteur des vagues sur la côte ouest marocaine est estimée d'environ 1 m.

### › L'aire urbaine d'Alexandrie

L'aire urbaine d'Alexandrie est construite sur une plaine côtière composée de dépôts limoneux, lagunaires ou deltaïques récents (d'âge holocène à pléistocène), recouvrant un substratum néogène. Le relief est de type collinaire, avec des altitudes jusqu'à 40 mètres au-dessus du niveau de la mer, mais aussi des zones situées en dessous, telles que la dépression naturelle d'Abu Quir (une ancienne lagune), la lagune de Maryut, au sud d'Alexandrie, et les bassins d'aquaculture qui bordent les limites méridionales de la lagune côtière. Des instabilités de terrain, principalement liées à des phénomènes de subsidence, se produisent aujourd'hui au bord du lac Maryut. Les données interférométriques indiquent localement une tendance au tassement, avec, selon une estimation sommaire, un taux annuel millimétrique à plurimillimétrique.

Géologiquement, la partie nord de l'Égypte est constituée d'une zone de convergence tectonique active entre la plaque européenne et la plaque africaine (*figure 1*). La zone urbaine d'Alexandrie est soumise à un niveau d'aléa

2/ Altitude du niveau d'eau retenue dans les aménagements de débordement.

sismique modéré, correspondant à une intensité d'environ 5-6 MSK sur une période de retour de 100 ans et d'environ 6 sur une période de retour de 475 ans. Cependant, l'intensité de ces séismes peut être majorée (d'au moins 1 degré) en raison de la mauvaise qualité géotechnique des sols dans la majeure partie de la zone urbaine.

Dans ce secteur géographique, la principale source génératrice de tsunamis est l'arc hellénique. Les deux tsunamis connus comme ayant été les plus destructeurs pour Alexandrie sont dus aux séismes du 21 juillet 365 et du 8 août 1303, situés sur la zone de subduction au large de la côte crétoise ; ils ont atteint une magnitude proche de 8,0. Le tsunami de 1303 a entraîné la destruction du fameux phare d'Alexandrie (lequel dominait la ville d'une hauteur de 138 m), ainsi qu'une modification radicale de la ligne côtière. La période de retour de ces très forts tsunamis serait de l'ordre de 800 à 1 000 ans, soit une probabilité de 6 % de survenance pour une période de 50 ans.

L'aire urbaine d'Alexandrie (*figure 4*) s'avère similaire à celle de Tunis en de nombreux points : vastes étendues de plages sableuses exposées à l'érosion et à la submersion marine, dépressions (lac Maryut, ancien lagon d'Abu Quir) aggravant les risques d'inondations terrestre et marine, phénomènes de subsidence, zones sismiques à effets de site en raison de la nature des terrains. Néanmoins, les aléas naturels sont jugés significativement plus faibles qu'à Tunis. La situation pourrait cependant se détériorer avec l'élévation du taux d'habitats informels et de bidonvilles dans les zones exposées aux aléas, comme les bas-fonds entre le lac Maryut et Abu Quir.

## Un plan d'actions institutionnel, urbanistique et technique

À la suite de la première phase consacrée au diagnostic de la situation actuelle et de son évolution à l'horizon 2030, la seconde phase de l'étude a eu pour objet de mettre en place un plan d'actions de résilience aux désastres naturels et d'adaptation au changement climatique. Les objectifs et axes d'intervention du plan d'actions ont été présentés de façon thématique, par catégorie de risque. Néanmoins, au-delà des recommandations propres à une thématique particulière de risques naturels, la gestion de ces risques et la prise en compte du changement climatique relèvent largement d'une réflexion globale et transversale, en raison des liens évidents qui s'établissent entre certaines thématiques (par exemple, inondation terrestre et submersion marine), d'une approche générale commune des risques (mêmes logiques de prévention et de gestion) et des synergies en matière de préparation et d'intervention des pouvoirs publics (*encadré 2*).

C'est notamment dans le domaine institutionnel que ces synergies sont potentiellement les plus importantes. En effet, si la gestion des risques en amont (connaissance,

### ENCADRÉ 2

#### ► MISE EN PLACE D'UN PLAN D'ACTION POUR LA RÉDUCTION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES CATASTROPHES NATURELLES

#### RÈGLES D'OR

Renforcer la capacité institutionnelle pour la mise en œuvre du plan d'actions.

Se concentrer sur les mesures évitant les situations d'irréversibilité vis-à-vis du changement climatique, notamment en relation avec la planification urbaine.

Établir des synergies entre les actions de réduction des risques et d'adaptation au changement climatique et les investissements et politiques de développement économique répondant aux besoins urgents et immédiats de la population.

Bien différencier les mesures de court terme et les mesures de long terme. Jusqu'en 2030, les mesures d'adaptation les plus souhaitables sont celles qui maximisent les synergies avec les autres objectifs politiques, tels que la réduction de la pauvreté, la compétitivité ou la préservation des espaces naturels.

Conserver une certaine souplesse par rapport aux autres priorités d'intervention, de façon à tenir compte des financements disponibles.

Explorer de nouvelles formes de financement (assurances, subventions, taxes...), et mettre en place un régime d'aides incitatif vis-à-vis des particuliers et des entreprises.

Communiquer sur la problématique des désastres naturels et du changement climatique, dans un souci de transparence et de sensibilisation du grand public.

prévention, surveillance, alerte montante) est essentiellement l'affaire de spécialistes des différents types de risques naturels, du moment que le risque est identifié, l'alerte descendante (information des populations), la gestion de crise et le retour à la normale sont sous la responsabilité des mêmes corps d'État et organismes publics (notamment l'autorité de protection civile). Toute faiblesse structurelle et/ou fonctionnelle du système de gestion des risques naturels peut donc avoir d'importantes répercussions, et ce quelle que soit la nature du risque. Les plus importantes, car les plus transversales, sont sans doute : le renforcement de la coordination institutionnelle, le renforcement du



système de surveillance et d'alerte, et l'autoprotection des populations face aux désastres naturels.

La planification urbaine doit se faire par une approche transversale des risques. Elle permet ainsi de « prévenir », voire d'éviter, l'exposition aux risques des populations, dans les zones d'urbanisation futures. À cet égard, la première mesure à prendre est la mise en œuvre effective et le respect des règlements de construction et d'urbanisme. La planification urbaine est aussi le principal levier d'action pour les problématiques de submersion côtière ou d'inondation. Pour aller plus loin dans l'intégration des problématiques de catastrophes naturelles et de changement climatique dans la planification urbaine, il convient d'élaborer et d'appliquer des plans de prévention des risques (PPR), se traduisant par une réglementation fondée sur des cartes de zonage.

L'approche thématique des risques (sismicité, érosion et submersion marine, inondation, pénurie d'eau) est plus technique. Elle vise essentiellement à réduire les niveaux d'aléa (par exemple, construction de barrages ou de digues) et/ou à réduire la vulnérabilité des populations et des activités exposées (par exemple, mode de construction adapté des habitations et des infrastructures). Coûteuses, ces mesures de protection sont, par ailleurs, d'une efficacité beaucoup plus incertaine que les actions de planification urbaine. En effet, elles ne peuvent protéger des événements dommageables au-delà de certains seuils de récurrence. Dans le cas présent, la définition de ces mesures visait essentiellement à compenser l'impact potentiel du changement climatique, tout en restant dans les mêmes objectifs de protection que ceux actuellement définis par les autorités locales.

## Enseignements

Hormis pour la wilaya d'Alger, dans les trois autres aires urbaines étudiées, le principal risque naturel identifié est celui d'inondation. C'est aussi le principal risque susceptible d'être significativement aggravé par les effets du changement climatique. La submersion marine arrive généralement en deuxième position ; le risque est également aggravé par le changement climatique, via l'élévation du niveau marin. L'érosion côtière est une problématique partagée par les quatre villes côtières, avec une élévation plus forte du niveau marin, ce risque peut devenir crucial. Enfin, le risque sismique constitue le risque majeur pour la wilaya d'Alger.

La pénurie d'eau ne constitue pas, aujourd'hui, un risque pour les quatre aires urbaines et il est difficile de se prononcer sur ce point à l'horizon 2030, compte tenu des importantes incertitudes sur le changement climatique et la gestion des ressources en eau à cette date. Cependant, on peut estimer qu'Alexandrie (et l'Égypte dans son ensemble) pourrait avoir à faire face à de sérieux

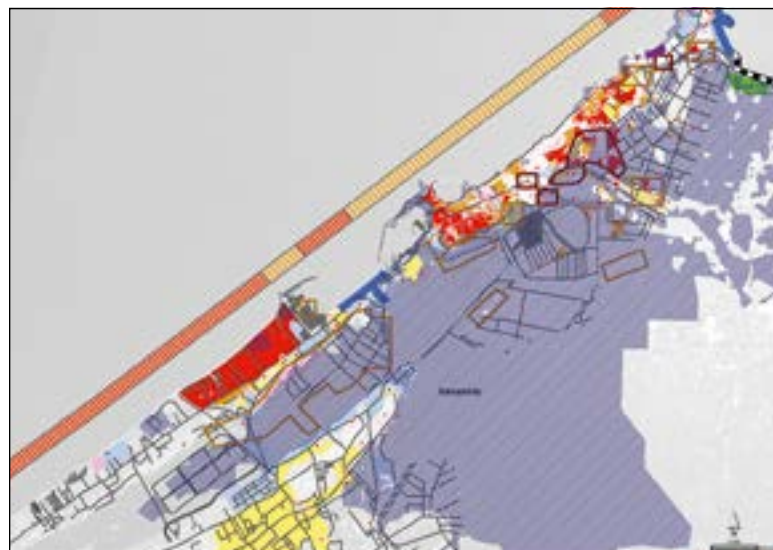


FIGURE 4 / Cartographie de la vulnérabilité et des risques des zones principales d'Alexandrie. © CONSORTIUM EGIS - BRGM - IAU-IDF

### Vulnérabilités

- Zones résidentielles très denses
- Zones résidentielles denses
- Habitat informel et bidonvilles
- Aéroports et ports
- Grands équipements
- Zones industrielles et commerciales
- Expansion urbaine planifiée d'ici 2030

- Stations de pompage
- Voies ferrées
- Routes
- Digue d'Aboukir

### Risques

- Subsidence sur une longue période (1992-2009)
- Subsidence sur une courte période (2003-2009)
- Risque d'érosion fort en 2030
- Risque d'érosion moyen en 2030
- Zones inondables (< niveau moyen de la mer)
- Fort risque de submersion marine
- Risque moyen de submersion marine



problèmes d'approvisionnement en eau sur le long terme, car elle dépend d'une source unique : le Nil.

L'évaluation économique des désastres naturels et du changement climatique, au travers de l'analyse coût-bénéfice des mesures d'adaptation proposées, montre que la plupart des recommandations, si ce n'est l'ensemble, auraient une certaine efficacité.

L'approche économique tend à prouver que la vulnérabilité plutôt que les aléas reste le principal paramètre déterminant du niveau de risque. D'une certaine manière, c'est une bonne nouvelle puisque les planificateurs peuvent avoir une influence sur celle-ci, ce qui n'est évidemment pas le cas pour les aléas. ●

## BIBLIOGRAPHIE

**Consortium Egis-BRGM-IAU-IDF (2011)** - Adaptation au changement climatique et aux désastres naturels des villes côtières d'Afrique du Nord, rapport final. Banque mondiale, Centre de Marseille pour l'Intégration en Méditerranée (CMI), 143 p.

**Consortium Egis-BRGM-IAU-IDF (mars 2013)** - Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels, Phase 1 - Évaluation et représentation des sources de vulnérabilité, Caisse des Dépôts et Consignations (CDC), CMI, 516 p.

**Consortium Egis-BRGM-IAU-IDF (août 2013)** - Étude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels, Phase 2 - Élaboration de plan d'actions, Caisse des Dépôts et Consignations (CDC), CMI, 307 p.



## COOPÉRATION

PANAFGEO : UNE COOPÉRATION  
RENFORCÉE ENTRE SERVICES GÉOLOGIQUES  
AFRICAINS ET EUROPÉENS

## ORIGINES

À LA RECHERCHE D'UNE NOUVELLE  
PIÈCE DU BERCEAU DE L'HUMANITÉ  
EN AFRIQUE AUSTRALE

## EAU

LES RESSOURCES EN EAU  
DU CONTINENT AFRICAÏN :  
RARETÉ ET ABONDANCE

SEPTEMBRE 2016 / 12 €

# géosciences

LA REVUE DU BRGM POUR UNE TERRE DURABLE

# N°21



# L'AFRIQUE, TERRE DE CONNAISSANCES



Géosciences pour une Terre durable

# brgm