



## Le bassin versant de l'oued El Kébir (Tunisie orientale) : du risque d'inondation au risque environnemental

### The catchment area of the wadi El Kebir (Eastern Tunisia): from the risk of flood to the environmental risk

Walid CHOUARI\*

**Abstract :** The experience gained at the time of the important pluviometric events showed that the floods in the catchment area of the wadi El Kebir were determined by the importance of precipitations, the concentration of the flows and the configuration of the catchment area. However, they can also be worsened by human activities. After work, of recalibration of the downstream sections of the wadi and of its principal tributaries which started in the middle of the 1990's, the banks of the principal waterway and its section became respectively a space of land speculation and uncontrolled discharge.

Also, in spite of the pouring rain which fell down on the region of "*Tunisian Sahel*" in September 2016 the wadi El Kebir functioned without risk of floods in its downstream part, formerly characterized by a high-risk of flood in its crossing of the town of Kalâa Kebira. On the other hand, the problems of the floods in Kalâa Kebira and Akouda, were recorded in the periphery of the urban areas in recently urbanized spaces. In these spaces we had multiplied development on the way of the flows. In addition, in the periphery of urban space, the sand pits took part in the widening of the notches of the wadis, and spoil of construction. The walls and the roadways did not always bear the effects of water flows. This uncontrolled density of development towards the peripheral zones was stopped by the extension of the risk of floods to new grounds which were not listed as the risky spaces during the floods of 1995.

This article is limited to analyzing the dynamics of the land use and the environmental changes in order to reach a better management of the risk of flood in the catchment area of the wadi El Kebir. The general tendency is characterized by an increase in built spaces and soil erosion or degradation, and a transfer of the risk of flood from the principal road of the wadi towards the tributaries in peripheral spaces.

Key-Words: wadi El Kebir, morphodynamic, land use, flood, environment.

**Résumé :** L'expérience acquise lors des événements pluviométriques importants a montré que les inondations dans le bassin versant de l'oued El Kébir étaient déterminées par l'importance des précipitations, par la concentration des écoulements et par la configuration du bassin versant, mais ils peuvent aussi être aggravés par les activités humaines. Après les travaux de recalibrage des sections à l'aval de l'oued et de ses principaux affluents ébauchés au milieu des années 1990, les rives du cours d'eau principal et sa section sont devenues respectivement un lieu de spéculation foncière et une décharge à ciel ouvert. Et, malgré les pluies diluviennes qui se sont abattues sur la région du « *Sahel tunisien* » en septembre 2016, le cours inférieur de l'oued El Kébir, jadis à haut risque d'inondation au niveau de sa traversée de la ville de Kalâa Kébira, a fonctionné sans accident. En revanche, les problèmes des inondations à Kalâa Kébira et Akouda, ont été enregistrés à la périphérie des agglomérations dans des espaces récemment urbanisés. Sur ces espaces, on avait multiplié les aménagements sur le chemin des écoulements. Par ailleurs, plus en amont dans l'espace périurbain, les sablières ont participé à l'élargissement des entailles des oueds, et les déblais de construction, les murs et les chaussées des voies de circulation n'ont pas toujours réussi à résister et ont cédé. Cette densification non contrôlée des aménagements vers les zones périphériques s'est soldée par l'extension du risque d'inondations à de nouveaux terrains qui n'étaient pas recensés à risque pendant les inondations de 1995.

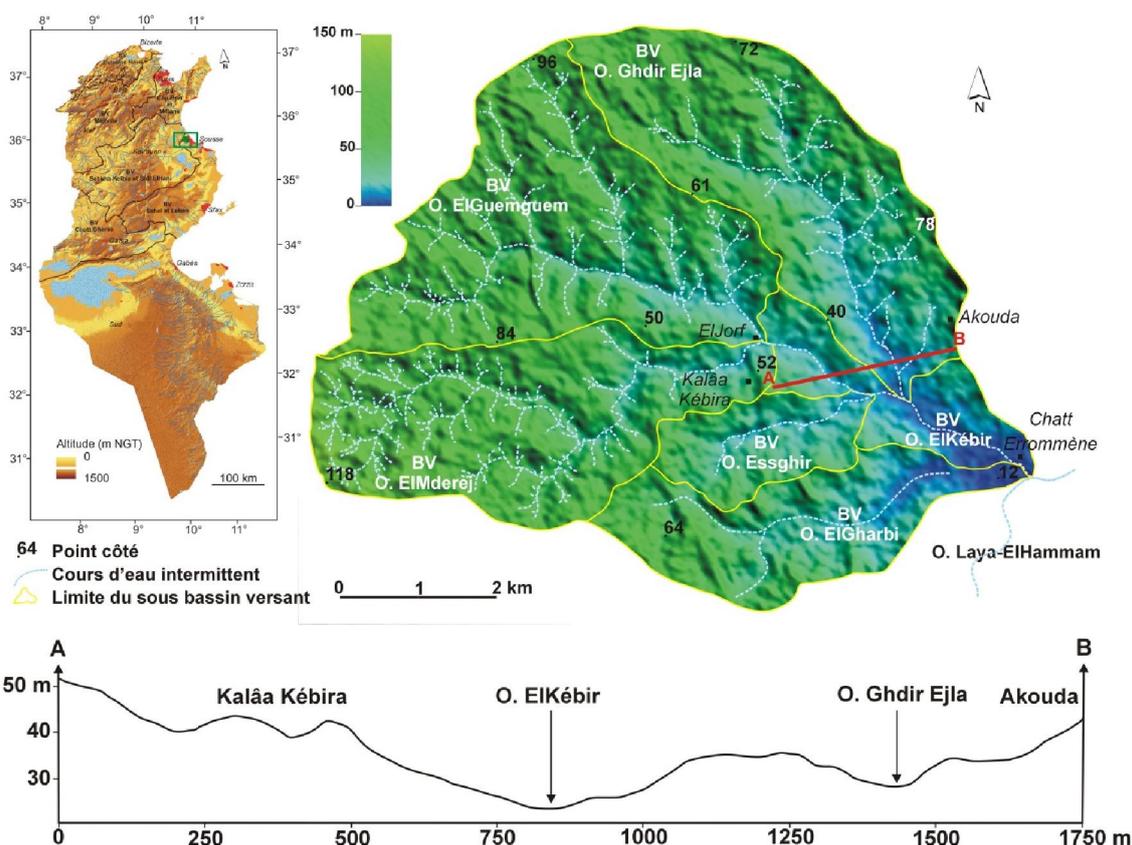
Cet article se borne à analyser la dynamique de l'occupation des sols et les changements environnementaux en vue de mieux gérer le risque d'inondation dans le bassin versant de l'oued El Kébir. La tendance générale se caractérise par une augmentation des espaces bâtis et des sols nus ou dégradés et un transfert du risque d'inondation de l'artère principale de l'oued vers les affluents dans les espaces périurbains.

Mots-clés: oued El Kébir, morphodynamique, occupation des sols, inondation, environnement.

\*Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax, laboratoire SYFACTE, route de l'Aéroport (km 4,5), SFAX, 3000, TUNISIE. Tél : (00216) 22803516 ; Courriel : [walidchouari@yahoo.fr](mailto:walidchouari@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Le bassin versant de l'oued El Kébir, sous-bassin versant de l'oued Laya El Hammam (219 km<sup>2</sup>) est d'une superficie de 48 km<sup>2</sup>. Ce bassin versant résulte de la confluence de cinq affluents principaux : oued El Mderej (10 km<sup>2</sup>), oued El Guemguem (12,8 km<sup>2</sup>), oued Ghdir Ejla (11,8 km<sup>2</sup>), oued Essghir (4 km<sup>2</sup>) et oued El Gharbi (7,1 km<sup>2</sup>). Ce dernier sous-bassin versant est aujourd'hui barré par le passage de la voie ferrée et de la route qui relie Akouda à Kalâa Sghira, et correspond à un système semi-endoréique et n'arrive à se déverser dans l'oued El Kébir que lors des crues exceptionnelles (Figure 1).



**Figure 1 :** Localisation du bassin versant de l'oued El Kébir en Tunisie (gauche), et détails de sa topographie et de son hydrologie (droite).

**Figure 1:** Localization of the catchment area of the wadi El Kebir in Tunisia (left), and details of its topography and its hydrology (right).

Sources : Une image ASTER (données d'altitude à couverture globale, résolution spatiale = 20 m) et des cartes topographiques type 1988 au 1/25 000 (feuille de Sousa n°57 « NO » ; feuille de Halq Al Minjil n°50 « SO » et feuille de Sabkhat Al Kalbiyya n° 56 « NE »).

Le bassin versant de l'oued El Kébir se situe au « Sahel » septentrional au nord-ouest de la ville de Sousse. Il est en majorité rural à l'amont et occupé par la ville de Kalâa Kébira et longe la limite sud de la ville d'Akouda à l'aval. L'oued sillonne la ville de Kalâa Kébira selon un axe nord-ouest sud-est, jusqu'à sa confluence avec l'oued Laya-El Hammam à Chatt Errommène. La pente du cours d'eau en amont ne dépasse pas 7% et décroît à 1% à l'aval où la section est devenue régulière, après des travaux de recalibrage, permettant d'évacuer un débit de 100 m<sup>3</sup>/s. La partie inférieure de ce bassin versant était soumise à des inondations qui résultent principalement de la formation rapide de crues de l'oued El Kébir. Les fortes précipitations qu'a connues le bassin versant de l'oued Laya-El Hammam en 1995 témoignent des conséquences que les inondations peuvent entraîner sur la sécurité des personnes, de même que sur la protection des biens et de l'environnement. Le bassin versant a connu, au milieu des années 1995, une protection à la fois éloignée et rapprochée contre les inondations, mais dès lors des risques environnementaux et d'inondation n'ont cessé de prendre de l'ampleur sur des espaces nouvellement urbanisés.

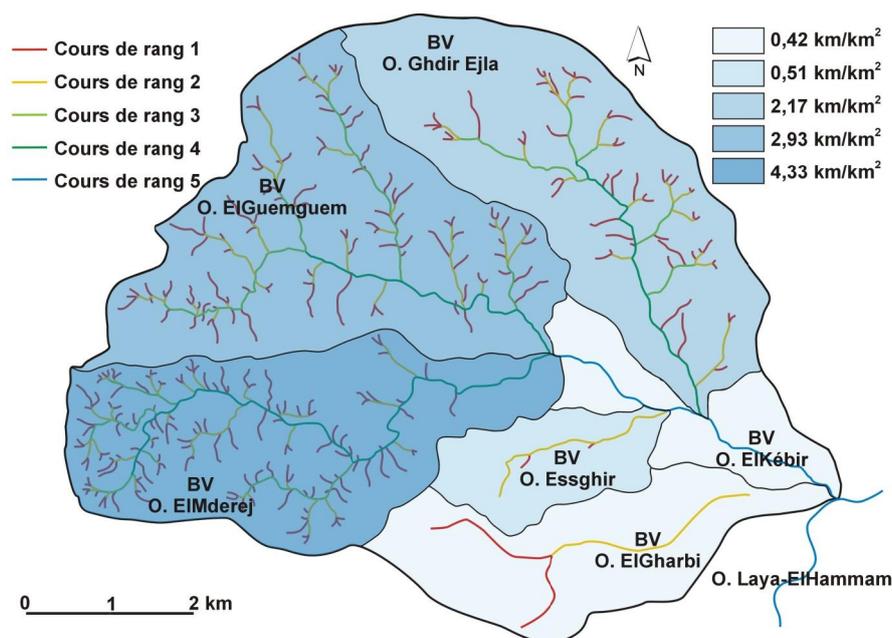
## HISTORIQUE DES CRUES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED EL KÉBIR

Les fortes et brusques précipitations du climat méditerranéen, auquel appartient le bassin versant de l'oued El Kébir, sont à l'origine de forts ruissellements sur les versants et des crues torrentielles le long des principaux talwegs et entailles souvent à sec, au cours de l'année. Les flux s'humidifient souvent par l'advection de l'air marin humide et donnent lieu à des précipitations intenses sur des durées de plusieurs heures occasionnant une érosion intense en amont et des inondations dans les secteurs urbanisés de Kalâa Kébira et Chatt Errommène en aval.

### Des conditions géomorphologiques, pluviométriques, hydrologiques et hydrauliques favorables à la concentration des eaux

Le bassin versant de l'oued El Kébir est marqué par un relief collinaire vallonné de basses altitudes (qui ne dépasse pas 125 m). Sa partie inférieure est constituée par une plaine alluviale d'une altitude moyenne de l'ordre de 13 m au niveau de la confluence avec l'oued Laya-El Hammam. La lecture du relief et la vision des vallées montrent que les versants collinaires sont cultivés et entrecoupés de vallées encaissées (Figure 1).

Les sous-bassins versant des oueds El Guemguem ( $K_c = 1,53$ ), El Mderej ( $K_c = 1,41$ ) et Ghdir Ejla ( $K_c = 1,45$ ) montrent un chevelu hydrographique ramifié, dense, hiérarchisé et bien encaissé. En adoptant la classification de Strahler, le chevelu hydrographique est marqué par une fréquence élevée des affluents d'ordre 1 et une très forte densité de drainage supérieure à  $2,17 \text{ km/km}^2$  dans la partie moyenne et amont du bassin versant. En aval, à El Jorf à Kalâa Kébira, le chevelu se réduit à un seul collecteur (oued El Kébir) ; (Figures 1 et 2).



**Figure 2.** Densité de drainage par sous-bassin versant et ordonnancement du chevelu hydrographique selon le principe de classification de Strahler

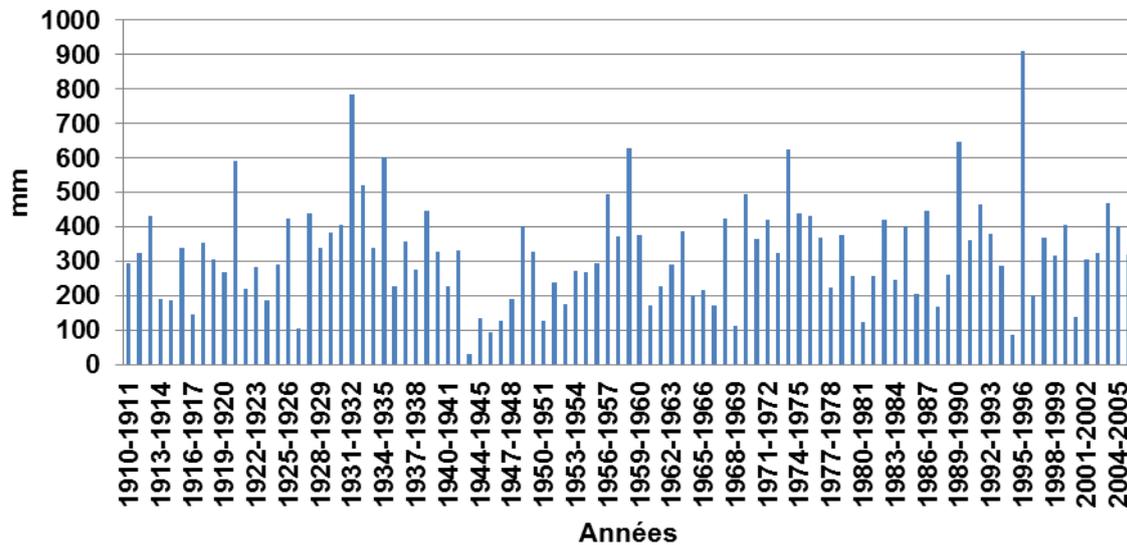
**Figure 2.** Density of drainage by under area catchment and classification of the waterways according to the principle of classification of Strahler

Sources : Une image ASTER (données d'altitude à couverture globale, résolution spatiale = 20 m) et des cartes topographiques type 1988 au 1/25 000 (feuille de Sousa n°57 « NO » ; feuille de Halq Al Minjil n°50 « SO » et feuille de Sabkhat Al Kalbiyya n° 56 « NE »).

En amont, les vallées ont été ouvertes aux dépens des affleurements géologiques tendres d'âge mio-pliocène accordant une place importante aux formations sableuses et argileuses à nodules calcaires. Ces formations sont souvent recouvertes au niveau des interfluves par des formations encroûtées du Pléistocène ancien à récent et au niveau des vallées par des colluvions ou alluvions de texture variable (sablo-argileuse, argilo-sableuse et silto-sableuses) ; (BOUJARRA *et al.*, 2003).

Selon la carte bioclimatique de la Tunisie au 1/1000000 de 1976 (Ministère de l'Agriculture), réalisée sur la base de la classification d'Emberger, le bassin versant est soumis à l'étage semi-aride inférieur à hiver doux,

avec une pluviométrie moyenne annuelle de 326 mm enregistrée à la station d'Akouda (1910 – 2006). Les pluies donnant lieu aux ruissellements importants sont à caractère orageux. Les orages, limités en superficie, sont souvent suivis d'une traîne qui peut intéresser une superficie beaucoup plus vaste. Les pluies automnales sont les plus abondantes et les plus intenses, bien que les moyennes pluviométriques cachent de grandes variations interannuelles puisque le coefficient de variation est de l'ordre de 0,38 entre 1901 et 2010 enregistré à la station principale la plus proche de Sousse (Figure 3).



**Figure 3.** Évolution des précipitations annuelles à la station d'Akouda entre 1910 et 2006

*Figure 3. Evolution of annual precipitations at the weather station of Akouda between 1910 and 2006*

Source des données brutes : INM

La figure ci-dessus montre que la station d'Akouda a enregistré pendant les années agricoles 1931-1932 et 1995-1996, respectivement des moyennes annuelles de 2,4 et 2,7 fois la moyenne annuelle (326,4 mm) calculée entre 1910 et 2006. En octobre 1969, la station principale de Sousse a reçu 431 mm, soit six fois la moyenne pluviométrique de ce mois. En décembre 1970, la même station a enregistré au bout de 24 heures près de 142 mm pour un total annuel qui n'a pas dépassé 433 mm. En décembre 1973, deux averses importantes ont été enregistrées à la station de Sousse, la première a donné 100 mm et la deuxième 117,7 mm en 24 h (MEHDOUANI, 2003). La même averse a donné 267 mm à la station pluviométrique de Kalâa Kébira. Le 23 septembre 2016 la station d'Akouda a enregistré 102 mm soit 2,3 fois la moyenne du mois. Le 29 septembre 2016, la station de Sousse Sud a enregistré 175 mm, la station de Kalaâ Sghira 164 mm et la station de Kalaâ Kébira 104 mm, soit respectivement quatre fois, 3,8 fois et 2,4 fois la moyenne du mois. Ces quantités pluviométriques engendrent souvent des lames d'eau de ruissellement importantes.

Dans le bassin versant de l'oued El Kébir le schéma de drainage et d'évacuation des eaux du bassin versant est imposé par le milieu physique, puisqu'il doit correspondre au mieux au réseau hydrographique naturel, mais aussi par les contraintes urbanistiques (routes, constructions, emprises...), et le système de collecte et d'évacuation des eaux pluviales adopté. Ainsi, dans sa partie inférieure, le bassin versant est en majorité occupé par des quartiers résidentiels appartenant aux agglomérations de Kalâa Kébira et Akouda et drainé essentiellement par un réseau de l'ONAS unitaire (Office National d'Assainissement). On distingue la quasi-absence d'un réseau d'évacuation des eaux pluviales. Ces conditions rendent difficile l'évacuation des eaux surtout dans les zones basses et anarchiquement urbanisées. En cas de gros apports des eaux pluviales, les égouts débordent souvent et la station d'épuration ne parvient pas à gérer l'ensemble de la masse d'eau qui l'atteint.

Ainsi, dans la partie inférieure du bassin versant, le cours d'eau principal et ses affluents étaient au moins de depuis les années 1970, le jeu d'une forte anthropisation et d'inondations par ruissellement en période orageuse. Des lames d'eau importantes se forment qui inondent les terrains et entraînent des pollutions, en particulier dans les sites urbains très imperméabilisés.

### L'évènement d'octobre 1995

Bien que l'écoulement soit intermittent, des inondations ont eu lieu dans la partie inférieure du bassin versant, essentiellement en septembre 1969, mars 1973, octobre 1995 et septembre 2016. Leur récurrence sur les

quartiers les plus bas de Kalâa Kébira et notamment à Chatt Errommène à Akouda, justifie l'intérêt d'étudier les crues passées de l'oued El Kébira et soulever la question de la gestion de ces phénomènes.

À l'automne 1995, de grandes quantités de pluies se sont abattues sur ce bassin versant pendant au moins trois épisodes pluvieux (du 20 au 24 septembre, le 16 et le 19 octobre et entre le 29 novembre et le 1<sup>er</sup> décembre) ; (DALLEL, 2002 ; STITA, 1995). En somme, à la fin de ces trois épisodes très pluvieux de la saison automnale de 1995, les totaux pluviométriques étaient assez importants soit 443,7 mm à Kalâa Kébira et 426 mm à Akouda (Tableau 1).

**Tableau 1.** Les totaux pluviométriques de différents épisodes pluvieux dans les stations du bassin versant de l'oued El Kébira en 1995

*Table 1. Pluviometric totals of various rainy episodes in the stations of the catchment area of the wadi El Kebir in 1995*

Station	Du 20 au 24 septembre 1995	Du 16 au 19 octobre 1995	Du 29 novembre au 1 décembre 1995	Total
Kalâa Kébira	109,3	208,1	126,3	443,7
Akouda	96,5	193,5	136	426

Source des données brutes : INM (Institut National de Météorologie) ; DALLEL, 2002

En rapportant ces totaux pluviométriques de différents épisodes aux moyennes des mois de septembre, d'octobre et de novembre (calculées pendant la période 1910-2006), nous constatons des rapports pluviométriques supérieurs à 2,45 fois la moyenne du mois (Tableau. 2).

**Tableau 2.** Rapports pluviométriques des différents épisodes pluvieux de 1995 à la moyenne mensuelle dans les stations du bassin versant de l'oued El Kébira

*Table 2. Pluviometric reports with the monthly average of the various rainy episodes of the year 1995 in the stations of the catchment area of the wadi El Kebir*

Station	Rapport de l'épisode pluvieux du 20-24/09/95 à la moyenne du mois de septembre	Rapport l'épisode pluvieux du 16-19/10/95 à la moyenne du mois d'octobre	Rapport l'épisode pluvieux du 29/11-01/12/95 à la moyenne du mois de novembre
Kalâa Kébira	2,55	3,64	2,45
Akouda	2,92	3,69	3,42

Source des données brutes : INM ; DALLEL, 2002

Les rapports pluviométriques ont été aussi supérieurs à la moyenne de l'automne. En effet, ils varient entre 2,93 fois à la station de Kalâa Kébira et 3,4 fois à la station d'Akouda. De même à l'échelle annuelle, ils ont oscillé entre 1,22 fois à la station de Kalâa Kébira et 1,27 fois à celle d'Akouda.

Sur base des données pluviométriques journalières de la station de Kalâa Kébira (1910-2006), nous avons établi des courbes d'Intensité-Durée-Fréquence obéissant à la loi de Montana suivante :

$$I(t) = a (T) t^b$$

Où :

I(t) : intensité de l'averse en mm/h ;

t : durée de l'averse en minutes ;

T : période de retour de l'averse en an ;

a : coefficient fonction de T et de la région ;

b : coefficient fonction de la région (b<0).

Les coefficients « a » et « b » ont été adaptés de façon à avoir l'intensité I en mm/min pour t exprimé en minutes (Tableau 3).

**Tableau 3.** Les coefficients « a » et « b » d'après l'Institut National de la Météorologie

*Table 3. The coefficients "a" and "b" according to the National Institute of Meteorology*

T	2	5	10	20	50
a	473	490	633	585	677
b	-0,77	-0,7	-0,71	-0,66	-0,65

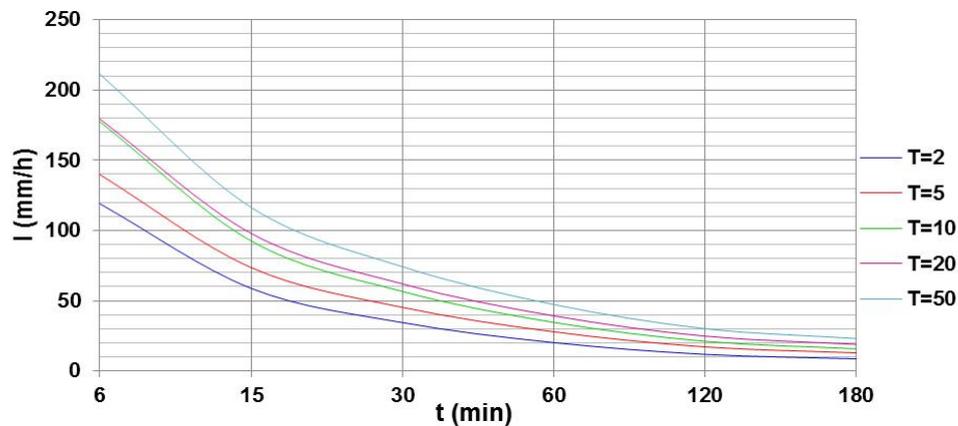
Le tableau 4 présente l'intensité de la pluie calculée en fonction de différentes périodes de retour.

**Tableau 4. Intensité de pluie (I en mm/h)**

**Table 4. Rain intensity (I in mm / h)**

t(min)	T(ans)	2	5	10	20	50
6		119,03	139,79	177,38	179,29	211,24
15		58,78	73,6	92,55	97,93	116,44
30		34,47	45,31	56,57	61,98	74,20
60		20,21	27,89	34,58	39,22	47,29
120		11,85	17,16	21,14	24,82	30,13
180		8,67	12,92	15,85	18,99	23,15

Le calcul de deux variables « I » et « t » nous a permis d'appliquer la formule de Montana et de dessiner les courbes d'Intensité-Durée-Fréquence (Figure 4).



**Figure 4.** Courbes d'Intensité-Durée-Fréquence de la station météorologique de Kalâa Kébira

*Figure 4. Intensity-Duration-Frequency curves of the Kalâa Kébira meteorological station*

Source des données brutes : INM

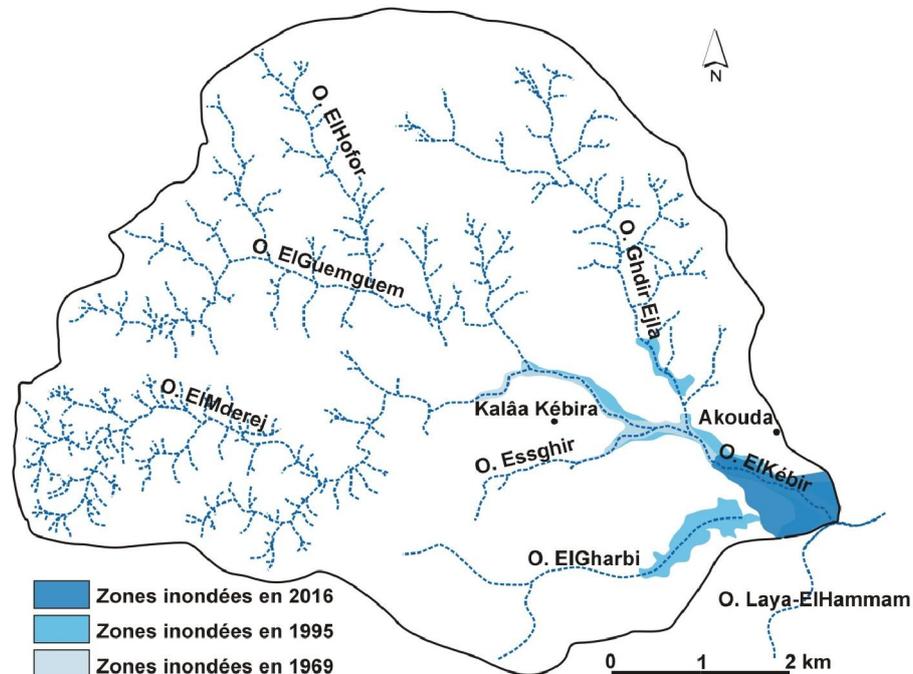
Les périodes de retour des intensités enregistrées pendant l'épisode d'octobre 1995 (71,1 mm/h) à la station de Kalâa Kébira dépassent de loin la période de retour cinquantennale qui est de 47,29 mm/h pour une durée d'une heure.

Sur l'oued El Kébir, la crue de référence est celle de 1995, même s'il est difficile d'affirmer que ce niveau soit centennal ou supérieur vu l'étroitesse et la discontinuité des séries des mesures pluviométriques et l'absence des mesures limnimétriques. La crue de 1995 a eu lieu à la fin de travaux de recalibrage et d'endiguement de l'oued. Les pluies de l'automne 1995 ont donné lieu à un écoulement à ras bord des oueds et des inondations du côté de la ville de Kalâa Kébira et de Chatt Errommène à Akouda. Pendant la journée du 30 novembre 1995, de grandes superficies ont été inondées. Selon les observations de l'équipe du CRDA de Sousse (Commissariat Régional de Développement Agricole), les débordements et les inondations les plus importants sont observés tout au long du lit principal de l'oued El Kébir et surtout au niveau de la confluence de l'oued El Kébir avec l'oued Laya-El Hammam à Chatt Errommène (Figure 5).

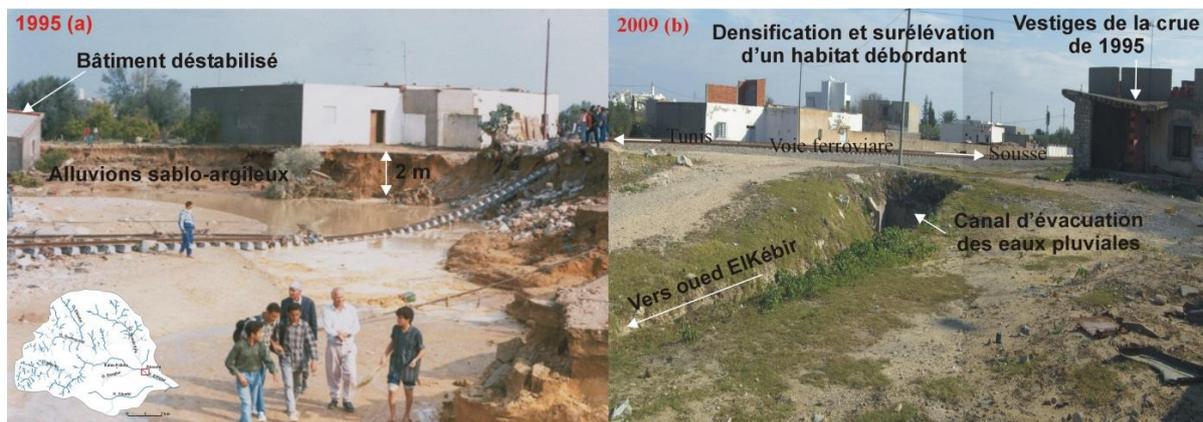
Les dégâts enregistrés en 1995 au niveau de l'infrastructure reflètent des facteurs de vulnérabilité dont les effets sont directs. Il s'agit des courants d'eau et du temps de la submersion. La crue débordante est le résultat du débit issu du bassin versant à l'amont des confluences. Les terrains en amont des ponts se sont retrouvés entièrement inondés jusqu'à ras de bord des digues et il y a eu de surverse. Les archives photographiques et les observations directes des traces de la crue font ressortir que les habitations et les vergers côtoyant le lit ont été submergés par les eaux courantes, une stagnation de grandes quantités d'eau au niveau des routes et une destruction des chaussées et de la voie ferroviaire. Les ponts nouvellement construits ont subi des dommages importants. La crue emporta aussi plusieurs ponts qui dataient de l'époque coloniale. Les quartiers d'El Jorf à Kalâa Kébira et Chatt Errommène à Akouda ont été les plus touchés. À Kalâa Kébira les buses de la route MC48 et de la voie ferroviaire, à l'aval de la confluence de l'oued El Kébir et Essghir, n'étaient pas à la hauteur de faire transiter les quantités d'eau déferlantes, ce qui a entraîné un étalement des eaux à l'amont et un rehaussement du niveau de l'eau provoquant des inondations dans les zones avoisinantes et l'ouverture d'un deuxième passage à quelques dizaines de mètres au sud du pont de la voie ferroviaire (Figures 6 a et b). Au niveau des zones

agricoles, par endroits, des oliviers et des arbres fruitiers ont été totalement arrachés et d'autres partiellement cassés.

En revanche, la crue de 1995 a réveillé les mémoires et ravivé les inquiétudes des responsables contre ce fléau. Il s'est avéré que les dégâts étaient dus essentiellement à l'absence d'adaptation des aménagements de conservation des eaux et des sols et de protection contre les inondations aussi bien dans les zones agricoles que dans les zones urbaines.



**Figure 5.** La superposition des zones inondées pendant les crues de 1969, 1995 et 2016  
**Figure 5.** The superposition of the zones flooded during risings the 1969, 1995 and 2016  
 Sources : observations directes, archives photographiques et JICA, 1994



**Figure 6 a.** À Kalâa Kébira, la voie ferroviaire a été particulièrement touchée, subissant aussi la coupure de la route MC 48. Cette dernière a joué le rôle de barrage à l'écoulement ce qui a provoqué une élévation de l'eau (DALLEL, 2002). In Kalâa Kébira, the railway way was particularly damaged, also undergoing the cut of the road MC 48. This road played the part of stopping to the flow what caused a rise the height of water (DALLEL, 2002).

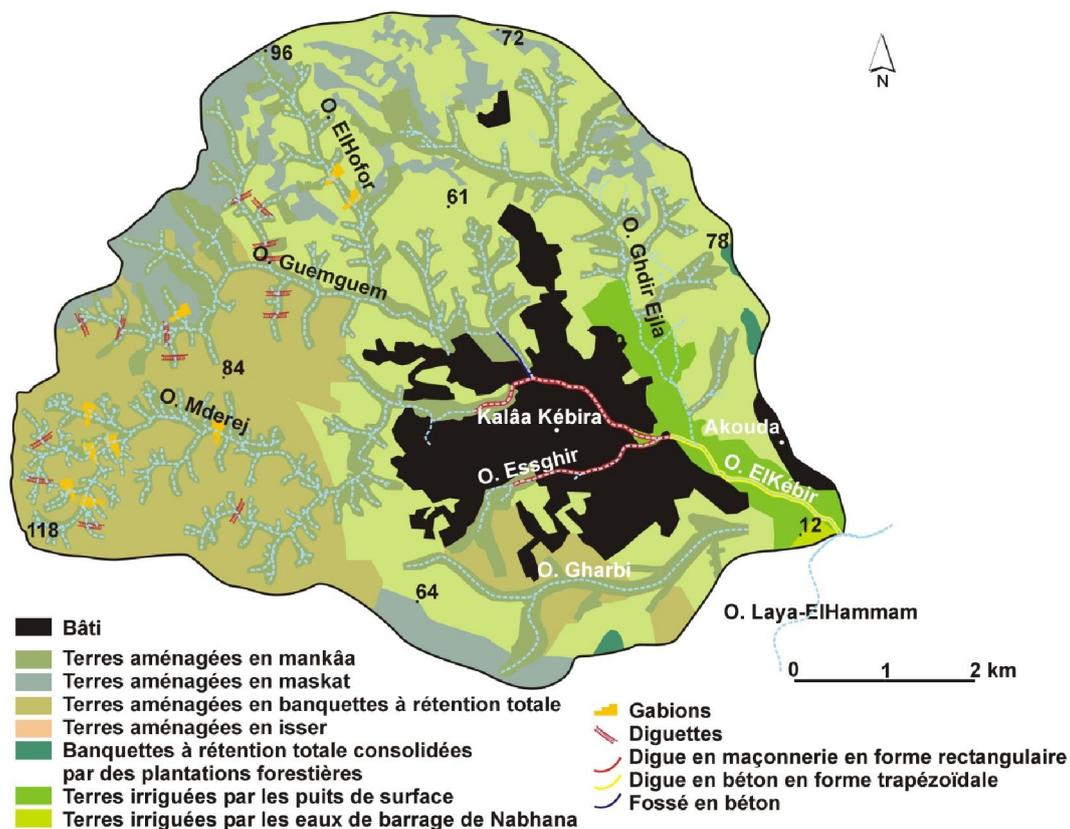
**Figure 6 b.** Les traces des inondations de 1995 sont toujours là pour témoigner des dégâts dont l'écoulement est capable lors de certaines circonstances météorologiques (CHOUARI, 2009). The traces of the floods of 1995 are always existing to testify the damage of which the flow was able at the time of certain weather circumstances (CHOUARI, 2009).

## La conservation des eaux et des sols et la protection contre les inondations dans le bassin versant

L'entreprise de protection organisée contre les inondations dans le bassin versant remonte aux années 1994 avec une initiative tuniso-japonaise qui s'est focalisée sur un programme de protection contre les inondations du Grand Tunis et du Grand Sousse (JICA, 1994). L'étude prévoyait, en plus de la sauvegarde des ouvrages hydro-agricoles traditionnels existants (système *Meskat-Mankâa*<sup>1</sup>), l'aménagement intégré de tout le bassin versant de l'oued Laya-El Hammam (protéger les infrastructures contre les inondations et utiliser d'une façon optimale les ressources hydrauliques).

Les efforts déployés depuis 1994 ont été surpris par les inondations de 1995. Ainsi, il est apparu nécessaire, le lendemain de cet événement catastrophique, de raisonner sur l'ensemble du linéaire de l'oued El Kébir et de prendre en compte l'ensemble des apports du bassin versant au cours d'eau et de tester les éventuels reports de l'amont sur l'aval.

La partie amont du bassin versant est une zone d'oliveraie traitée par des travaux de terrassement en banquettes mécaniques et en *Meskats* traditionnels dans un objectif de mobilisation des eaux de ruissellement pour l'olivier. Les travaux ont insisté sur le maintien et la consolidation du système de casiers individuels, qui découle du système de *Meskats*. La surface retenue pour l'aménagement en plantation d'oliviers était de l'ordre de 3700 h (SMAOUI *et al.*, 1996).



**Figure 7.** Carte des aménagements de conservation des eaux et des sols et de protection contre les inondations dans le bassin versant de l'oued El Kébir.

**Figure 7.** Map of the adjustments of conservation of water and the grounds and of protection against the floods in the catchment area of the wadi El Kébir.

Sources : Carte agricole (gouvernorat de Sousse ; 2002) et interprétation des extraits de Google Earth, 2016

<sup>1</sup> Les aménagements *meskat* (le *meskat* est un système hydraulique qui consiste à augmenter la quantité d'eau reçue par les oliviers en récoltant les eaux de ruissellement grâce à l'utilisation d'impluviums) *mankâa*, (casiers plantés d'olivier), ont permis la création de milieux favorables au développement de l'oléiculture dans la région du *Sahel tunisien*. Ils se distinguent comme une manière efficace de gestion du milieu (maîtrise des eaux de ruissellement et des contraintes du sol) ; (HOUIMLI, 2008).

Le programme de mobilisation des eaux pour l'olivier a été appuyé par un programme de lutte contre l'érosion. La maîtrise des eaux de ruissellement a concerné une superficie de 15500 ha répartis dans les sous-bassins versants des oueds El Mederej, El Guemguem, El Hofor, Esseghir et El Kébir (SMAOUI *et al.*, 1996). Dans ce programme, trois composantes ont été prises en compte (une composante de CES « Conservation des Eaux et des Sols » ; une composante agro-pastorale avec une extension des plantations et enfin une composante de correction et de recalibrage des cours d'eau). Par ailleurs, et afin de limiter les écoulements et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol ont été programmés des ouvrages hydrauliques (seuils en gabions, digues en terres, lac et barrage collinaire) sur tous les affluents des oueds Ghedir Ejla, El Guemguem et El Mederej. Les berges et lits des oueds ont été, par endroits, végétalisés.

Ainsi, l'aménagement du sous-bassin versant de l'oued El Mederej est considéré comme une opération pilote. Les travaux d'entretien de l'oued et ses affluents, comme le curage, l'entretien de la végétation de berges et la réfection d'ouvrages de franchissement et l'entretien des banquettes, sont poursuivis. Les responsables de la CRDA de Sousse (Commissariat Régional de Développement Agricole) affirment qu'après la construction de la série d'aménagements, l'écoulement s'est ralenti et nous n'avons pas enregistré de débordement (Figure 7).

Dans la partie aval du bassin versant et, dans le cadre d'une politique de prévention et de protection contre les inondations plusieurs ouvrages ont été mis en place. L'état actuel des travaux fait ressortir que les principaux tronçons aval du réseau hydrographique ont été aménagés et recalibrés. Le projet a visé la protection contre les inondations des villes de Kalaâ Kébira et Akouda qui connaissent une expansion urbaine spectaculaire. Les ouvrages avaient pour objectif de stabiliser les lits et les berges du cours d'eau et régulariser l'écoulement des eaux de surface. L'observation attentive du terrain montre que les actions de protection réalisées ont assuré, le long du cours d'eau principal, l'évacuation naturelle des eaux. La canalisation forcée de l'oued El Kébir a supprimé la possibilité d'inondations périodiques du lit majeur et elles ont permis d'éviter les débordements des eaux qui occasionnent en cas de crue rare une érosion du sol et un désordre général.

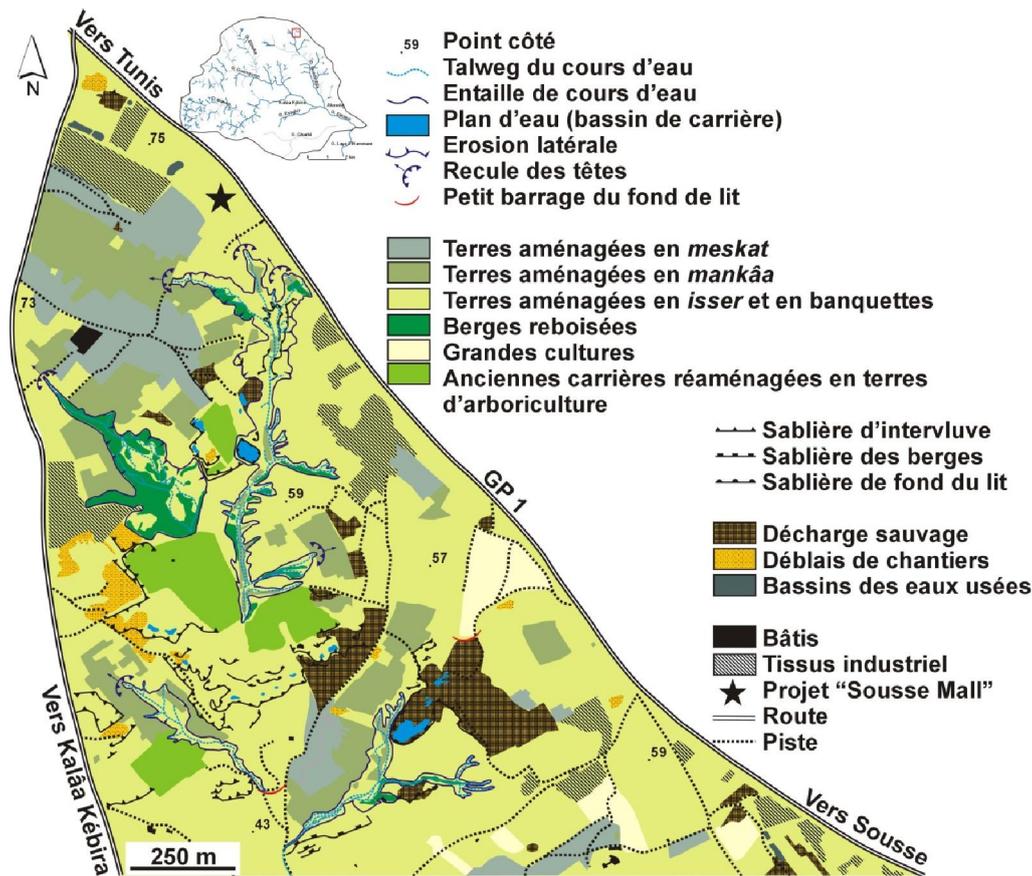
## UN BASSIN VERSANT DE PLUS EN PLUS SOUMIS À DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

Bien que les mesures prises, depuis une vingtaine d'années, en vue de lutter contre l'érosion des sols et la protection contre les inondations soient variées, il est important de signaler que le milieu naturel dans le bassin versant présente, aujourd'hui encore, plusieurs signes de fragilité surtout qu'il est de plus en plus soumis à une intervention anthropique désorganisée et malvoyante.

### Des ouvrages hydro-agricoles et d'évacuation des eaux usées et pluviales soumis à des sérieux problèmes de fonctionnement

Nos visites simultanées et attentives du terrain, nous ont permis de signaler que les problèmes actuels du bassin versant sont multiples. En amont et dans la partie moyenne du bassin versant, notamment sur les branches des oueds El Guemguem et El Mderej, on a pu constater une prolifération de sablières ouvertes aux dépens des berges et une accélération de l'érosion hydrique. Les matériaux sablo-argileux constituant les lits et les berges des oueds se caractérisent par une faible cohésion. Les sables des oueds sont facilement arrachés et entraînés par les cours d'eau. Le sapement des berges et l'extension des excavations par les eaux courantes dans les zones exploitées en sablières sont les deux processus qui commandent l'évolution du lit des oueds. Les sablières détruisent la couverture végétale, favorisent morphologiquement le ravinement et l'élargissement des cours d'eau, et contribuent à l'aggravation des problèmes de drainage par la décharge de matériaux d'une façon anarchique dans les lits des ravins. L'exploitation des fonds des lits, des berges et des talus d'érosion dégagés dans les sables des carrières rendent parfois difficile la distinction du lit naturel du lit artificiel (BOUJARRA *et al.*, 2002 ; MEHDOUANI, 2003). BOUJARRA *et al.*, (2002) soulignent que le rythme de recul des berges au niveau de l'oued El Mderej coïncide avec les rives concaves où sont localisées les carrières (Figure 8).

La comparaison de l'assemblage de cartes topographiques 1/25 000 de 1988 et un extrait de Google Earth de 2016 montre qu'en amont de l'oued Ghedir Ejla, au niveau des têtes de source dans le secteur d'Echraqui au nord-est de Kalâa Kébira, la section a connu de nombreuses modifications (Figure 8). La carte topographique (1988) montre un lit large de 80 m, alors que l'extrait de Google Earth 2016 montre une section spectaculairement élargie de 120 m. Les entailles ravinées ont été très démantelées et souvent séparées par des sablières. En comparant les superficies ravinées à partir de la carte topographique 1/25 000 de 1988 et de l'extrait de Google Earth de 2016, on voit que la tendance est vers une extension progressive des aires ravinées, malgré les opérations de reboisement des berges, les petits barrages et les banquettes installées pour réparer les rives et capter l'eau. La durée de vie, généralement courte, de différents ouvrages réalisés (15 ans pour les banquettes mécaniques et les digues en terre) oblige un entretien permanent. Par ailleurs, en amont, la situation pourrait s'aggraver avec les travaux qui accompagnent la construction d'un nouveau centre commercial « Sousse mall ». Alors que, plus en aval, avec la prolifération des carrières, un talweg bien tracé du cours d'eau n'existe pas.



**Figure 8.** Défiguration du paysage morphohydrologique par l'exploitation d'une sablière de fond du lit en amont du sous-bassin versant de l'oued Ghdir Ejla (les sablières d'Echraoui à Kalâa Kébira).

**Figure 8.** Disfiguration of the morphohydrologic landscape by the exploitation of a basic sand pit of the bed upstream of under catchment area of the wadi Ghdir Ejla (sand pits of Echraoui in Kalâa Kébira).

Sources : des extraits de Google Earth 2016 et cartes topographiques type 1988 au 1/25 000 (feuille de Sousa n°57 « NO » et feuille de Halq Al Minjil n°50 « SO »)

Par ailleurs, dans la zone périurbaine de Kalâa Kébira et d'Akouda, le système *Meskat-Menkâa* dont l'efficacité est signalée par plusieurs chercheurs (DEPOIS, J 1955 ; HOUIMLI, E 2008) est aujourd'hui compromis. Une déprise rurale a été relevée sur les terres d'oléiculture traditionnelle. Le besoin accru en terres cultivables et en terres d'extension urbaines, depuis les années 1970, a fait que d'importantes superficies de *Meskat* (impluvium) ont été envahies par les jeunes oliviers et le bâti. En Tunisie, les différentes lois et règles de protection des oliviers ne prennent pas en considération les particularités des méthodes agricoles de la région du « *Sahel tunisien* » et protègent l'arbre et pas les terrains nus, excluant ainsi les impluviums des *meskats*. De plus, les lois de protection des terres agricoles (loi de protection des terres agricoles de 1983, révisée et modifiée par la loi de 1996 ; loi n° 83-87 du 11 novembre 1983) se sont montrées incapables de contrôler efficacement les transactions foncières en vue de préserver les espaces agricoles périurbains. Ainsi, les nouveaux aménagements se sont étendus aussi aux dépens de tout un héritage d'aménagements hydro-agricoles (des *tabias* ou *isser*<sup>2</sup> et de casiers (*mankâa*) entaillés de *manfes*<sup>3</sup>) qui a pu résister aux aléas climatiques grâce à une attention particulière de la part des agriculteurs (HOUIMLI, 2008).

Ainsi, en situation actuelle, l'apparition de la friche est un processus émergent de l'espace agricole dans la plaine alluviale de l'oued El Kébir. Cela concerne surtout les vergers maraîchers de Chatt Errommène en amont de la confluence de l'oued El Kébir avec celui d'El Hammam et les vergers maraîchers de part et d'autre de l'oued Ghdir Ejla à l'est de Kalâa Kébira.

<sup>2</sup> Des petites diguettes en terre tassée ou banquettes ayant pour but essentiel le piégeage des eaux de ruissellement et les sédiments.

<sup>3</sup> Le *manfes* est une entaille effectuée sur la *tabia* permettant le déversement des eaux de ruissellement excédentaires de casier en casier (appelé *mankâa*) ; (HOUIMLI, 2008).

En outre, dans les zones urbaines de Kalâa Kébira et dans la partie ouest d'Akouda, les travaux de curage des réseaux de drainage de l'ONAS et de la voirie primaire sont insuffisants. Il s'agit d'une action programmée pour la saison pluvieuse, entamée chaque année vers le mois de septembre et d'octobre tout en négligeant les irrégularités du climat méditerranéen qui peuvent survenir à tout moment. On souligne aussi un problème d'entretien et de choix stratégique qui se manifeste par l'insuffisance, parfois l'absence ou le dysfonctionnement du réseau séparatif de l'ONAS, surtout dans les zones basses et d'habitat dense. La plupart des réseaux d'assainissement ont été conçus initialement pour faire face à des pluies de fréquence décennale mais les orages récents de septembre 2016 ont produit localement des lames d'eaux cumulées et des intensités beaucoup plus rares dont la période de retour atteignait localement 100 ans.

La consultation de « l'étude d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued El Hammam (1996) », a permis de constater que l'étude n'a pas proposé de conserver et de restaurer les champs d'inondation et dissuader le développement urbain en zone inondable. Ce projet n'a pas maîtrisé aussi totalement les rejets polluants sur l'ensemble du bassin versant et l'ouverture des nouvelles sablières.

### La dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols dans le bassin versant de l'oued El Kébir

Sur base des cartes topographiques de Sousse (feuille n° 57) et de Sebokra Kelbia au 1/50 000 de 1942 (feuille n° 56), des cartes topographiques de Sousa (feuille n°57, NO), de Halq Al Minjil (feuille n°50, SO) au 1/25 000 de 1988 et des extraits de Google Earth de 2016, nous avons établi une carte d'occupation des sols, en distinguant les zones urbaines, les zones rurales et les artères des cours d'eau.

Les cartes topographiques au 1/50 000 de 1942 montrent que Kâlâa Kébira et Akouda se réduisaient à deux bourgades rurales. La comparaison de la tache urbaine en 1988 et en 2016 montre que ces agglomérations ont continué de s'urbaniser dépassant les limites de leurs vieux centres urbains. La carte topographique de Sousse au 1/50 000 de 1942 (feuille n° 57) montre que Kâlâa Kébira et Akouda sont entourées d'une ceinture de vergers (appelés localement « *senias* » quand ils sont équipés d'un puits et « *jnains* » quand ils sont généralement privés de puits) à cultures maraîchères et à arboriculture conduites le plus souvent en semi irrigué de part et d'autre des lits d'oueds dans la zone périurbaine.



**Figure 9.** La photo illustre les risques auxquels sont exposées certaines constructions situées à proximité du lit mineur des différents oueds qui traversent Kalâa Kébira (ici l'oued Bir Hlewa). Théoriquement, les rives des oueds ne devraient pas être urbanisées, mais leur situation sur un front d'extension urbaine en fait des zones très prisées.

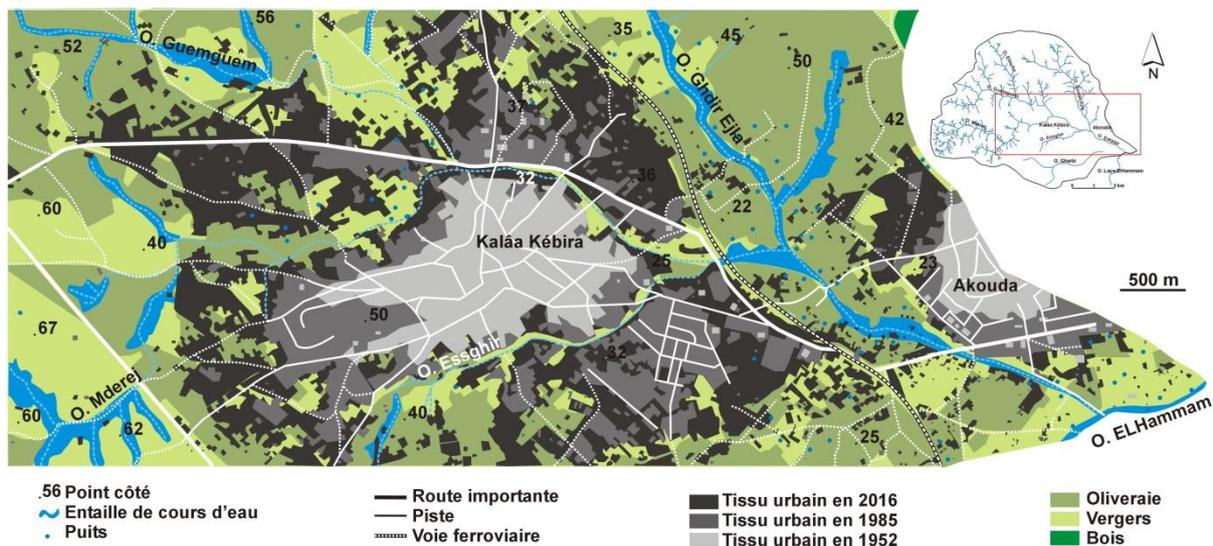
**Figure 9.** The photograph illustrates the risks to which certain constructions, located near the bed of the various wadis which cross Kalâa Kébira (here the wadi Bir Hlewa), are exposed. Theoretically, the banks of the wadis should not be urbanized, but their situation on a face of urban extension makes them of zones very appraisals.

En revanche, après l'endiguement de l'oued El Kébir au milieu des années 1990, la plaine alluviale de l'oued El Kébir a connu des transformations géographiques importantes. La carte d'occupation des sols n° 5 montre que la plaine alluviale de l'oued El Kébir se caractérise en 2016 par une mosaïque paysagère soit des parcelles boisées, des terres en labours, des friches sociales et des zones construites, qui s'enchevêtrent dans un espace peu étendu.

Le périmètre public irrigué de Chatt Errommène constituait, à sa création durant les années 1970, un espace tampon entre les villes d'Akouda et Hammam Sousse. Mais la proximité de la ville et l'émiettement de la propriété foncière qui le distingue l'ont rendu fragile face à la pression urbaine. La plupart des vergers périurbains sont aujourd'hui désormais inclus dans le nouveau Plan d'Aménagement Urbain (PAU) de la ville d'Akouda. La confluence de l'oued Ghdir Ejla et de l'oued El Kébir et la rive droite de l'oued Ghdir Ejla, jadis réservées à des vergers irrigués de type « *senias* », se trouvent également inclus dans le Plan d'Aménagement Urbain de Kalâa Kébira. Les vestiges des puits de surface témoignent encore aujourd'hui de la décadence de l'agriculture périurbaine dans les zones basses du bassin versant (Figure 9).

En fait, l'extension urbaine et les besoins corrélatifs de mise en valeur de l'ensemble des terres disponibles ont poussé les acteurs locaux (citoyens et municipalités) à drainer les zones humides et inondables afin d'étendre des aménagements urbains. Certains spéculateurs fonciers et même des agriculteurs qui se convertissent eux-mêmes en lotisseurs, bien informés sur les premières études du Plan d'Aménagement Urbain non encore approuvé, se sont engagés à jouer le rôle d'intermédiaire en vendant des lots et à des prix variables, selon l'emplacement du lot par rapport à la voirie projetée (HOUMLI, 2008).

Sur les interfluvies périurbains domine une arboriculture essentiellement constituée par des parcelles d'amandiers, des pêchers et des oliviers (appelées localement *ghars*). La rapide urbanisation a entraîné également une forte demande de terrains à bâtir en zones périphériques. Le sol périurbain à Kalâa Kébira et à Akouda Ouest, à caractère privé et faiblement contrôlé par les outils de sauvegarde, d'interdiction et de planification, a connu une spéculation foncière qui était à l'origine d'une extension urbaine. L'analyse des évolutions actuelles de l'espace communal de Kalâa Kébira conjuguée aux prévisions du Plan d'Aménagement Urbain (PAU) de 1993 montre que ce territoire se transforme rapidement, depuis 1990. Et, rien ne semble freiner l'expansion urbaine aux dépens des terres agricoles. D'ailleurs, les nouveaux PAU classent les oliveraies périurbaines comme zone sensible à l'urbanisation et non pas comme zone de sauvegarde, tel est le cas des autres oliveraies de l'arrière-pays. Cette nouvelle classification est une étape qui ouvre la voie à un changement futur du statut de ces terres (de l'agriculture à l'urbanisation), sans les contraintes réglementaires (Figure 10).



**Figure 10.** La dynamique de l'occupation des sols dans la basse vallée de l'oued El Kébir.

**Figure 10.** The dynamics of the occupation of the grounds in the low valley of the wadi El Kebir.

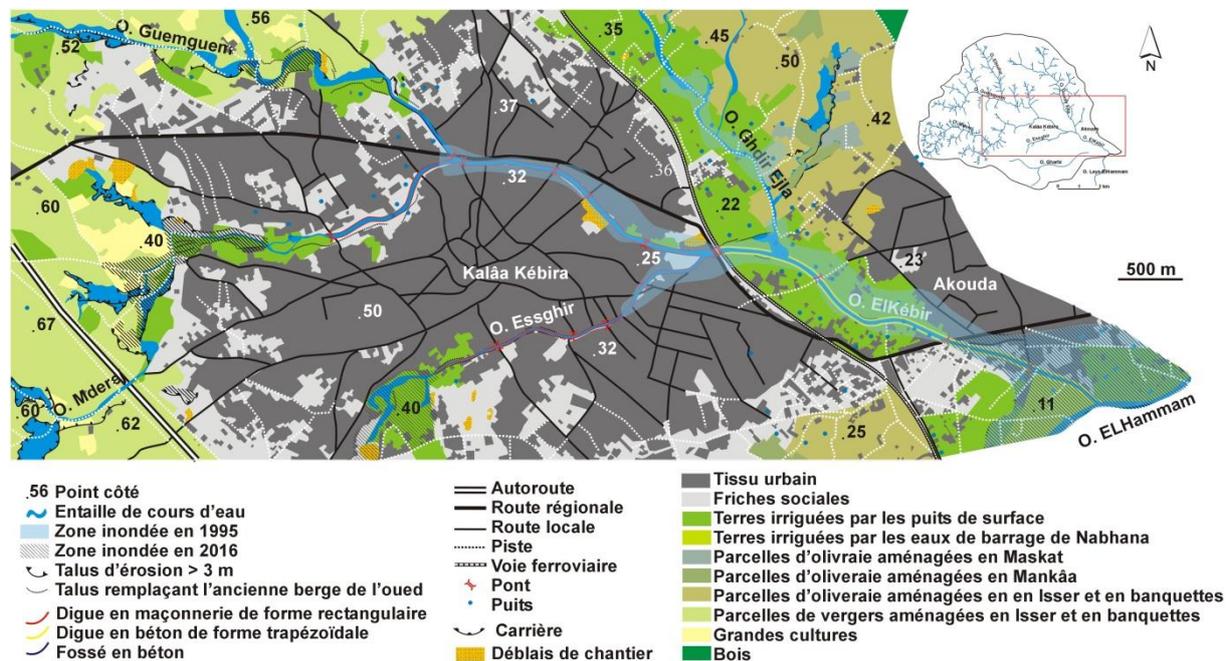
Sources : cartes topographiques 1/50 000 de type 1952 (feuilles de Sousse et Sebkhâ Kelbia) et 1/25 000 de type 1985 (feuille de Sousa n°57 « NO » et feuille de Sabkhat Al Kalbiyya n° 56 « NE »), et des extraits de Google Earth (2016).

Si le foncier agricole périurbain n'a pas été suffisamment sauvegardé par la réglementation en vigueur, c'est parce que l'attention des pouvoirs publics s'est également concentrée particulièrement sur la protection des ressources naturelles (eau et sol) notamment en amont du bassin versant. Or, sur les interfluvies et dans les vallées périurbaines, les *Meskat-Mankâa* continuent à perdre leurs *tabias* en terre au profit des clôtures en maçonnerie. Celles-ci sont parfois construites sur des terrains qui appartiennent à l'aire d'influence du ruissellement.

## Une extension urbaine aux dépens des champs d'inondations et une réappropriation du Domaine Public Hydraulique

La carte des zones inondées en 1995 a été confrontée à la carte d'occupation des sols de 2016 afin de dégager des zones de vulnérabilité. Parmi les surfaces inondées en 1995 on ne distingue aujourd'hui que 52% de zones habitées et 48% de zones agricoles ou non construites. La même carte montre qu'aujourd'hui, que les zones les plus vulnérables aux inondations sont, les tronçons non endigués des cours d'eau traversant les zones périurbaines. Ainsi, la partie occidentale de la ville de Kalâa Kébira est exposée aux inondations provoquées par les oueds El Mderej et Bir Hlewa. Alors que, la périphérie sud-ouest de la ville d'Akouda est exposée aux inondations résultant des crues du cours inférieur de l'oued El Kébir et sa confluence avec l'oued El Hammam.

Dans les zones périurbaines, la vulnérabilité de l'agglomération de Kalâa Kébira s'est beaucoup amplifiée par les effets directs et indirects d'une urbanisation le plus souvent spontanée. Les visites de terrain ont permis de détecter des perturbations et des modifications au niveau de la section d'écoulement dans certains tronçons du cours d'eau, ce qui accentue l'effet des crues et perturbe l'écoulement des eaux de ruissellement. Ainsi, en amont du quartier Bir Hlewa au nord-ouest de Kalâa Kébira, des habitations viennent d'être construites et d'autres sont encore en chantier sur les berges de l'oued du même nom, pourtant taillées dans des alluvions tendres et qui peuvent reculer rapidement sous l'effet du sapement par les eaux turbulentes des crues. En amont de l'oued Essghir au sud-ouest de Kalâa Kébira les murs de clôture des nouvelles constructions, ayant remplacé les dédales de *tabias* et les routes asphaltées, ayant remplacé les lits naturels de l'oued. Lorsque des orages intenses se déclenchent, un fort ruissellement se produit sur les sols agricoles et périurbains non protégés et les eaux boueuses souvent polluées par les déchets urbains se dirigent vers les quartiers les plus bas. La plupart des pistes convergeant vers l'agglomération ou dirigées perpendiculairement par rapport aux oueds collecteurs fonctionnent souvent en oued. Parfois, l'évacuation des eaux et des dépôts solides bien évidemment, est assurée par des petits passages de quelques décimètres de largeur, réservés entre les constructions et qui assurent la chasse des eaux vers les zones agricoles ou l'évacuation directe dans une voirie primaire mal entretenue et mal drainée. Les obstacles sur les chemins des écoulements sont nombreux. Les voitures constituent dans les voiries les plus étroites, des embâcles entraînant la montée des eaux, et dont les ruptures soudaines, ont, en outre aggravé les dégâts aux personnes et aux biens (Figure 11).



**Figure 11.** La dynamique de l'occupation des sols et le risque d'inondations dans la basse vallée de l'oued El Kébir.

**Figure 11.** The dynamics of the occupation of the grounds and the risk of floods in the downstream of the wadi El Kebir. Sources : cartes topographiques 1/50 000 de type 1952 (feuilles de Soussé et Sebkhâ Kelbia) et 1/25 000 de type 1985 (feuille de Soussâ n°57 « NO » et feuille de Sabkhat Al Kalbiyya n° 56 « NE »), et des extraits de Google Earth (2016).

En aval, pendant l'évènement de 23 et 29 septembre 2016 la section de l'oued El Kébir a fonctionné en plein bord. Mais les routes transversales se sont transformées en torrents et les égouts ont été engorgés. Au niveau des tronçons des cours d'eau canalisés, aux problèmes d'inondations, s'ajoutent des problèmes de morphologie du lit. C'est le cas du cours inférieur de l'oued Essghir à Kalâa Kébira où une stagnation permanente des eaux a été remarquée par endroits. L'envasement des cours d'eau recalibrés restreint leur capacité d'écoulement, altère leur qualité et génère des troubles des usages (des dépenses d'entretien, des investissements supplémentaires en aval, et porte atteinte à la qualité des eaux littorales). Les pentes faibles des tronçons en aval des cours d'eau endigués permettent une décantation des matières en suspension. De ce fait ces tronçons sont souvent recouverts d'une couche de matière solide qui s'épaissit de plus en plus. À force, cette couche atteint le niveau des buses, les obstrue et gêne la vidange de l'eau retenue. Une conséquence prévisible de l'engraissement du lit est l'augmentation de la fréquence des inondations (Figure 12).



**Figure 12.** Des dépôts solides urbains sont encore rejetés dans le lit mineur de l'oued El Kébir. En aucun cas, ces dépôts ne doivent pas rester dans le lit de l'oued, sinon ils seront acheminés en aval et enfin vers la mer. On trouve aussi, et c'est une des caractéristiques de la basse vallée de l'oued El Kébir, de vastes espaces appartenant au champ d'inondation où s'entremêlent cultures, vaches, chèvres et poules vivent en liberté. Les animaux en liberté, qu'on trouve dans le cours d'eau, s'y abreuvent de temps en temps.

**Figure 12.** Urban waste is still rejected into the bed of the wadi El Kébir. These deposits should not remain in the bed of the wadi, if not they will be forwarded downstream and finally to the sea. We find also vast spaces belonging to the field of flood, where intermingle cultures, cows, goats and hens, which lives in freedom.

Par ailleurs, les lits des oueds à l'entrée de l'agglomération de Kalâa Kébira se trouvent souvent colmatés par des déchets de tous types. Il est fréquent de voir lors de la coulée d'eau des charriages d'ordures à partir des décharges non contrôlées. En amont du quartier Bir Hlewa dans la partie ouest de Kalâa Kébira, le débordement de l'oued Bir Hlewa, dont le lit est colmaté par des déblais des chantiers, est atteint pour des débits de plus en plus faibles, or ceux-ci sont occasionnés par des événements de période de retour bien moindre que ceux qui provoquaient les inondations par le passé.

La négligence et l'irresponsabilité humaine accentuent les inondations avec l'urbanisation incontrôlée qui s'étale jusqu'au lit d'oued et la défaillance des réseaux d'évacuation des eaux usées domestiques et le gonflement d'oueds par les débris des décharges informelles (pollution solide et hydrique, domestique, agricole et industrielle). Les ouvrages de lutte contre les inondations manquent parfois d'entretien et sont encombrés d'ordures d'origines diverses et occupés par une végétation hygrophile où se multiplient les insectes. De plus, les rejets urbains par temps de pluie véhiculent une pollution spécifique toxique et métallique non négligeable qui peut contribuer à la dégradation d'une côte à vocation de plus en plus touristique. Il paraît clair que les problèmes des inondations sont de plus en plus en rapport avec l'occupation anthropique du milieu plus qu'en rapport avec les phénomènes météorologiques.

## CONCLUSION

La cartographie de l'occupation des sols montre que les enjeux, dans la basse vallée du bassin versant de l'oued El Kébir et ses affluents, sont considérables, dans la mesure où ils sont très concentrés et la vulnérabilité est forte. La tendance observée dans ce bassin versant, à l'image de la grande majorité des bassins versants périurbains et inondables de Tunisie, est celle d'une volonté de conquête des espaces submersibles.

La permanence, jusqu'aux années 1980 voire plus tard, des cultures maraîchères sur les rives de l'oued El Kébir et de ses affluents est sans doute due à l'entretien des ouvrages hydro-agricoles, notamment, du type *Meskat-Mankâa* et des particularités « sahéliennes » des pratiques culturales de terres. La destruction de ces aménagements et l'abandon du savoir-faire hydro-agricole ont favorisé l'accélération de l'urbanisation dans les zones naturelles d'expansion des crues et a fortement réduit la capacité de stockage de ces zones. Par ailleurs, une réduction, à un rythme de plus en plus élevé, de terres agricoles et d'espaces verts dans les zones périurbaines participent également à augmenter les flux d'eau vers la vallée principale. Au niveau du cours aval de l'artère principale de l'oued El Kébir, et même si depuis 1995 nous n'avons pas enregistré dans le bassin versant des pluies exceptionnelles, les pluies de 23 et 29 septembre 2016 viennent confirmer qu'à l'occasion des crues importantes, il peut arriver que les eaux courantes remplissent l'entaille et débordent sur des espaces larges surtout au niveau de la confluence avec l'oued El Hammam et dans des espaces nouvellement urbanisés.

L'expérience acquise depuis quelques années, les événements pluviométriques catastrophiques répétitifs en Tunisie ou ailleurs et l'état actuel de l'occupation des sols dans le bassin versant font ressortir que les stratégies trop spécialisées sont vouées à l'échec. Ainsi, endiguer de façon systématique les cours d'eau aggrave la situation en aval et peut augmenter le niveau des dégâts en cas de crue importante. En outre, proposer uniquement des actions en temps réel n'est pas toujours efficace (délai très court en cas d'une crue éclair) et n'entraîne pas de réduction à long terme de la vulnérabilité en zone inondable. Par ailleurs, on est dans l'obligation d'endiguer les tronçons des oueds nouvellement urbanisés et il est recommandé de raisonner à l'échelle globale du bassin versant, pour éviter de reporter les problèmes de l'amont vers l'aval et pour la recherche de solidarités entre les zones urbaines et rurales.

## RÉFÉRENCES

- BOUJARRA A., A. BOUJELBEN A., M. ABID M. & I. BEN AMOR (2002). étude de quantification de l'érosion linéaire et des facteurs qui les contrôlent dans les bassins versants du Sahel septentrional tunisien par les nouveaux outils, in *Actes des deuxièmes journées d'études du CGMED : « risques naturels et environnement »*, Tunis : 37-52.
- CHOUARI W. (2009). Environnement et risques naturels dans le Grand Tunis, approche cartographique, Thèse de doctorat, Univ. Paris VII, 408 p.
- DALLEL J. (2002). Note sur la variabilité des pluies dans le bassin versant de l'oued Laya El Hammam, communication présentée dans le séminaire international du laboratoire LRAE de Sfax ; novembre 2002 ; 20 p.
- DEPOIS J. (1955). La Tunisie orientale : Sahel et la basse steppe. *Études géographiques*, PUF, Paris, 554 p.
- HOUIMLI E. (2008). Les facteurs de résistance et de fragilité de l'agriculture littorale face à l'urbanisation : le cas de la région de la région de Sousse Nord en Tunisie, Thèse, ISIVE, Paris, 418 p.
- INSTITUT NATIONAL DE MÉTÉOROLOGIE (INM). (2006). Données numériques (brutes).
- JICA (1994). Étude sur le programme de protection contre les inondations pour le Grand Tunis et le Grand Sousse. Japan International Cooperation Agency, rapport final au Ministère de l'Équipement et de l'Habitat, Tunis, 376 p.
- MEHDOUANI (2003). Les collines des environs de Sousse : étude et cartographie des formes liées à l'érosion hydrique, DEA, Univ. Tunis, 101 p.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE (1976). Carte bioclimatique de la Tunisie ; étages et variantes, selon la classification d'Emberger.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE (2002). Carte agricole nationale, gouvernorat de Sousse.
- SMAOUI A., ZIADI Kh., MANSOURI F., BEN HABA N., ANATAR I. & GHEDOU S. (1996). Étude d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued El Hammam, Tunis, 24 p + annexes.
- STITA M. (1995). Les crues des mois de septembre et octobre 1995 observées au gouvernorat de Sousse. CRDA et DGRE, 24 pages.

