

Extension urbaine et risque d'inondation autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine (Grand Tunis – Tunisie)

Noômène FEHRI

Résumé. Hammam-Lif et Ezzahra, deux parmi les principales communes de la banlieue sud de Tunis, ont connu tout au long de la deuxième moitié du siècle passé jusqu'à nos jours une remarquable extension urbaine qui s'est traduite par la création depuis 1991 de deux communes nouvelles : Hammam-Chatt et Bou M'hal-Bassatine. Mais, cette urbanisation s'est faite dans beaucoup de cas dans des zones inondables. En effet, les grands événements pluviométriques des dernières années (septembre 2003, octobre 2007, avril et septembre 2009) et les débordements plus ou moins gênants qu'ils ont engendrés ont fait surgir les nombreuses erreurs d'aménagement du territoire commises dans ces communes. Et l'on s'est aperçu, une fois de plus, que l'extension urbaine dans bon nombre de nos villes n'a pas toujours respecté les cours d'eau. Outre l'examen du cadre morpho-hydrologique contraignant dans lequel cette extension s'est faite, cette étude essaye de montrer que les erreurs d'aménagement et l'augmentation des enjeux en zones inondables jouent un rôle déterminant en termes d'aggravation du risque hydrologique.

Mots-Clés : Banlieue-sud, extension urbaine, forêt de Bou Garnine, vulnérabilité au risque d'inondation.

1. Introduction

Au pied du Jebel Bou Garnine, qui constitue l'extrémité nord-est de la Dorsale tunisienne, s'étendent quatre parmi les principales communes qui forment la banlieue sud du Grand Tunis (Fig. 1). A l'est et au nord-est de ce jebel, les communes de Hammam-Lif et Hammam-Chatt se sont étalées sur une étroite plaine littorale dont la largeur n'excède guère 1 à 1,5 km. L'habitat y est très dense et se poursuit de façon pratiquement ininterrompue jusqu'à Borj Cedria. Les sols y ont été alors presque totalement imperméabilisés favorisant ainsi le ruissellement. Lors des pluies intenses, une telle situation s'avère d'autant plus gênante que cette frange côtière est également traversée par deux axes de communication, parmi les plus stratégiques du pays. Il s'agit en l'occurrence de la GPI et de la voie ferrée qui part de Tunis vers le Sud. Les deux font barrage aux écoulements qui drainent les versants est dudit jebel provoquant ainsi des débordements de plus en plus fréquents qui ont, à maintes reprises, paralysé la circulation automobile et piétonne.

Au nord du Bou Garnine, la commune d'Ezzahra (ex-St. Germain) s'est élargie essentiellement vers l'ouest et le nord-ouest sur les terres basses et très

faiblement inclinées du Bas Miliane. Plusieurs quartiers appartenant à cette commune sont actuellement confrontés à de sérieux problèmes de drainage des eaux pluviales.

Forte de son importante réserve foncière, la jeune commune Bou M'hal-Bassatine est en train de s'étaler sur les piémonts nord-ouest de cet ensemble montagneux. Ainsi, entre 1994 et 2004, elle a plus que doublé son parc immobilier puisque le nombre de logements y a augmenté de plus de 127%. Là aussi, l'extension rapide du bâti et le développement du réseau routier sont en train de modifier le comportement hydrologique des cours d'eau comme l'attestent les nombreux débordements qui s'y sont produits au cours des dernières années.

La partie montagneuse de cette zone est caractérisée par un couvert végétal forestier relativement dense. Cependant, ses caractéristiques morpho-lithologiques sont plutôt favorables à la concentration rapide des écoulements. On s'attellera dans ce qui suit à démontrer que, dans un tel contexte, l'urbanisation à outrance des plaines environnantes et les multiples imprudences commises lors des opérations d'aménagement ont incontestablement accru la vulnérabilité de la zone face au risque d'inondation.

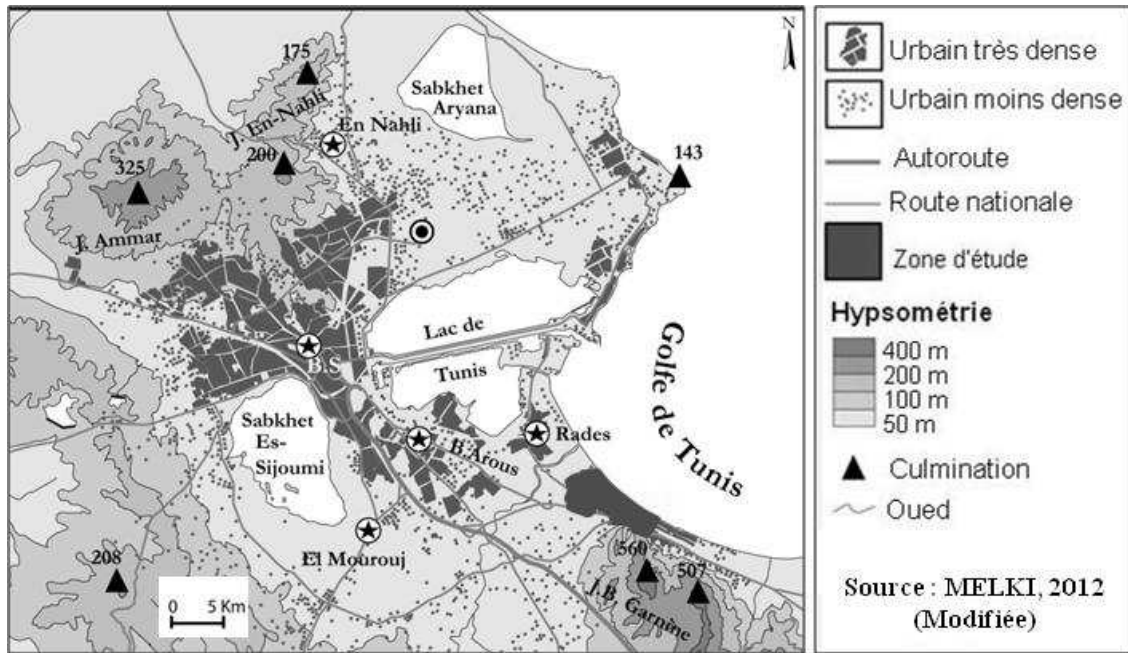


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2. Contraintes et atouts du milieu biophysique

2.1. Un cadre morphostructural plutôt contraignant

2.1.1. Un secteur dominé par des jebels aux versants raides avec une lithologie favorable au ruissellement

Le secteur étudié est prédominé par un relief montagneux aux pentes assez fortes (Fig. 2 et 3). Le Jebel Bou Garnine culmine à 576 m. Il correspond au dernier pointement résistant du grand anticlinorium El-Messela-Ressas-Bou Garnine (Karray, 1977). Il est formé essentiellement de

calcaires et de dolomies jurassiques qui ont un comportement extrusif car ils sont intercalés entre des couches plus ou moins plastiques : les dépôts gypseux du Trias à la base et les marnes calcaires du Crétacé au sommet. Bou Garnine serait donc un noyau perçant ayant giclé à travers les assises sus-jacentes suite à des mouvements verticaux du socle (Castany, 1955).

A l'ouest du Bou Garnine, des calcaires éocènes très résistants, souvent dressés à la verticale, forment une barre de direction méridienne qui constitue la retombée occidentale de l'anticlinorium. Topographiquement, cette barre correspond à Jebel Ghorof culminant à 225 m (Karray, 1977).

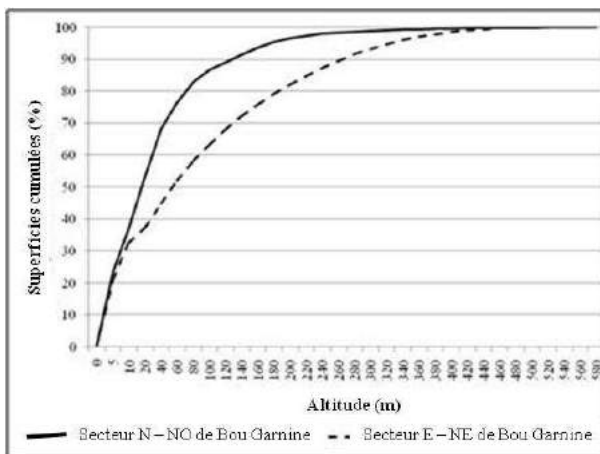


Fig. 2. Caractéristiques hypsométriques autour de l'extrémité nord du Jebel Bou Garnine

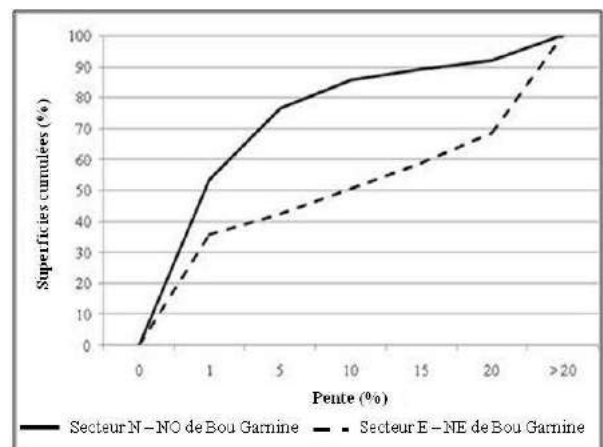


Fig. 3. Répartition fréquentielle des classes de pentes autour de l'extrémité nord du Bou Garnine

A l'est, une importante crête qui culmine à 496 m s'aligne sur plus de 8 kilomètres depuis l'Oued Chouchana au nord (Fig. 4) jusqu'à Khanguet El-Houjaj au sud. D'après M. R. Karray (1977) cet alignement correspond à un crêt majeur regardant vers l'ouest et qui est formé par des calcaires du Turonien-Campanien qui surmontent d'épaisses alternances marno-calcaires d'âge albo-cénomaniens. Le versant est de ce crêt correspond donc à un revers.

En somme, cette unité morphostructurale se distingue par des pentes fortes à très fortes, par des sols somme toute assez minces qui ont une faible capacité de stockage et par des affleurements géologiques à dominante marno-calcaire caractérisés par une faible perméabilité dans l'ensemble. Toutes ces caractéristiques sont à priori favorables à un ruissellement très actif.

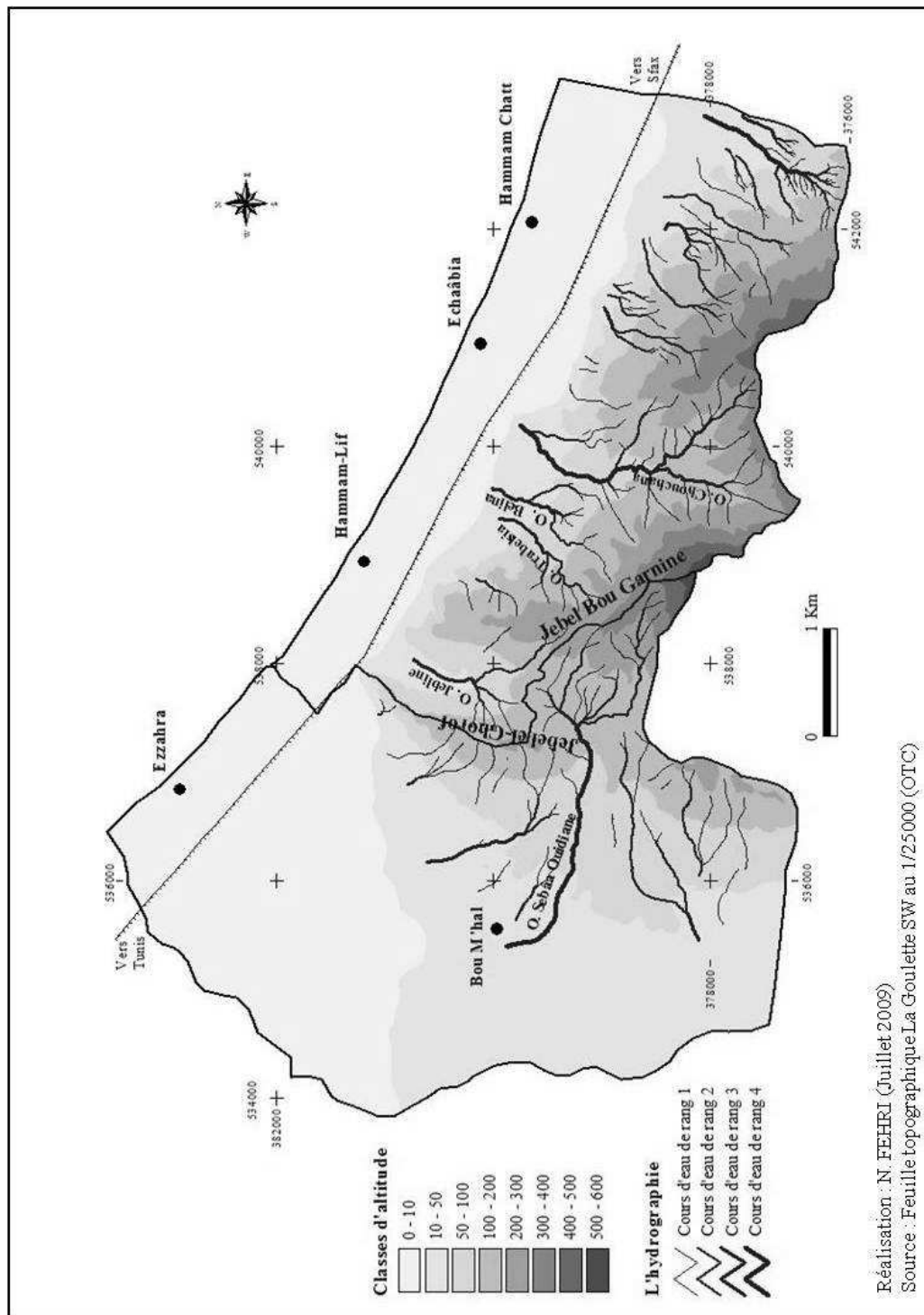


Fig. 4. L'hypsométrie et l'hydrographie autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine

2.1.2. Des plaines basses et exigües raccordées aux versants par des piémonts étroits

Au cours de la dernière glaciation (Würm), les oueds qui descendent les reliefs montagneux ont eu un fonctionnement torrentiel. Ils ont alors édifié des cônes de déjection souvent coalescents. Ces cônes sont constitués d'éléments très hétérométriques issus de la fragmentation de la roche mère, essentiellement marno-calcaire. Ils se caractérisent par un profil légèrement bombé et s'inclinent suivant une pente relativement importante (autour de 5%) en direction des plaines environnantes.

La plaine du Bas Miliane. Des côtés ouest et nord-ouest, le Jebel Bou Garnine se raccorde à une basse plaine sur laquelle s'étendent actuellement les communes d'Ezzahra et Bou M'hal Bassatine (Fig. 5). Il s'agit de la plaine synclinale subsidente du Mornag-Bas Miliane. Celle-ci est limitée à l'est par les jebels Ressass et Bou Garnine et à l'ouest par les collines de Megrine-Radès. Au nord, elle débouche sur le Golfe de Tunis. Les assises tertiaires de cette plaine sont souvent couvertes par

une accumulation sablo-argilo-tuffeuse d'âge Quaternaire pouvant faire 100 mètres d'épaisseur (Karray, 1977).

Ces épaisses accumulations sont pour l'essentiel l'œuvre de l'oued Miliane l'un des principaux cours d'eau de la Tunisie septentrionale. Actuellement, les crues de cet oued sont régularisées grâce à des barrages et des lacs collinaires construits dans son bassin amont (Barrage de Bir M'charga, Barrage El-Hama...).

La plaine littorale d'Hamam-Lif. D'une largeur qui n'excède guère les deux kilomètres, cette étroite plaine constitue le prolongement vers le nord-ouest de la plaine de Soliman-Grombalia. Cette dernière correspond structurellement à un vaste fossé d'effondrement (graben) décollé de la Dorsale par une multitude de flexures et de failles généralement orientées NO-SE (Karray, 1977).

Ces plaines basses et étroites se situent aux débouchés d'une série d'oueds, certes de petite taille, mais qui peuvent avoir un comportement torrentiel car ils descendent les pentes fortes du massif de Bou Garnine.

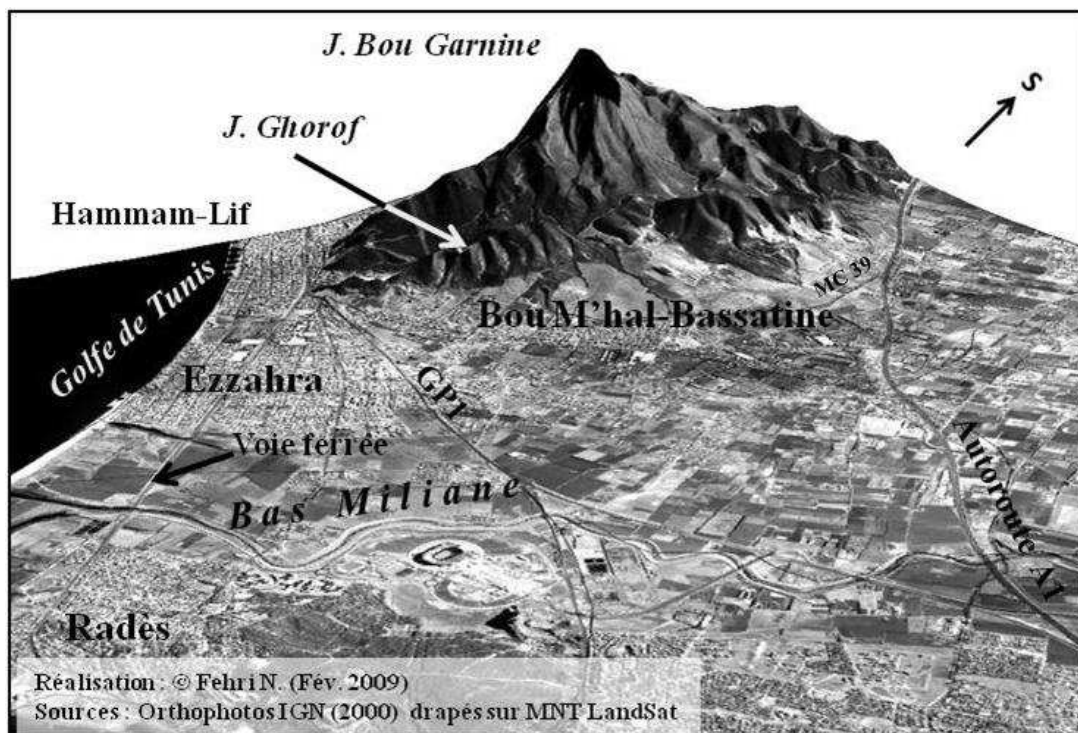


Fig. 5. Principaux éléments du paysage autour de l'extrémité de la Dorsale tunisienne (Jebel Bou Garnine et ses environs)

2.2. Les écoulements : des cours d'eau courts mais pouvant avoir un fonctionnement torrentiel

Autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine les écoulements se font suivant deux directions majeures :

- A l'est et au nord du jebel, ils ont une direction sommaire SSO-NNE. Ici, le réseau hydrographique est organisé sous forme de petits cours d'eau souvent et qui sont tous presque parallèles les uns aux autres. Nous en citons surtout Oued Jebline, Oued Trabelsia, Oued Belini, Oued Chouchana... (Fig. 4).

- A l'ouest du Bou Garnine, les oueds coulent en gros d'est en ouest. La plupart d'entre eux prennent source au niveau de la barre calcaire éocène qui correspond au Jebel El-Ghorof. Seul l'oued Sebâa Ouidane présente un bassin-versant un peu plus vaste puisqu'il transperce cette barre et prend sa source directement sur le versant occidental du Bou Garnine (Fig. 4). Du côté aval, ces oueds abordent la plaine du Bas-Miliane et se déversent dans l'oued Fagoussa qui se jette dans le Golfe de Tunis juste au nord de la ville d'Ezzahra.

En somme, cette zone est caractérisée par de petits cours d'eau dont la longueur n'excède guère les 4 à 5 km pour les plus longs. Toutefois, en cas de grandes pluies, le relief assez escarpé, qu'ils entaillent, leur confère un caractère torrentiel matérialisé par les importantes quantités de sédiments qu'ils peuvent charrier jusqu'en aval où s'étendent les quartiers (Photo 1). Ceci est d'autant plus vrai que la zone étudiée (qui appartient à l'étage bio-climatique semi-aride supérieur) se distingue par un régime pluviométrique méditerranéen caractérisé par des précipitations très irrégulières aussi bien à l'échelle interannuelle que saisonnière. Les précipitations automnales, tout particulièrement, se font souvent sous forme d'averses de forte intensité et surviennent après une longue sécheresse estivale au cours de laquelle le sol est ameubli. Elles génèrent ainsi des écoulements importants et fortement chargés.



Photo 1. Laisses de crue de l'oued Chouchana suite aux inondations de septembre 2009 (Echaâbia)
(cliché : N. FEHRI, Septembre 2009)

2.3. Un atout majeur pour la zone : la callitriaie du Jebel Bou Garnine

L'actuel Parc National de Bou Garnine, dominé par une couverture forestière à base de thuya de Berbérie (*Callitris articulata*), constitue un véritable sanctuaire de la nature situé à deux pas d'une zone

très anthropisée. Outre sa grande valeur écologique et récréative, la végétation de ce parc assure une véritable protection des versants contre les méfaits de l'érosion hydrique et contribue aussi à protéger contre le risque d'inondation les installations humaines situées en aval.

Dans le détail, la répartition spatiale ainsi que l'importance des formations végétales de ce jebel (du point de vue densité et hauteur) dépendent du jeu combiné de plusieurs facteurs majeurs dont on cite surtout la position sur les versants, la nature du sol et du substratum, la pente et l'exposition (Gammar, 1975).

D'une manière générale les formations élevées (matorral haut et forêt) s'observent dans la partie centrale du jebel, au bas des versants, ainsi qu'au fond des vallons qui le dissèquent. En effet, par leur position en aval, ces endroits sont périodiquement alimentés en eau, en matière organique et minérale en provenance des parties amont. Ceci leur permet d'avoir un sol relativement épais et assez évolué propice au développement de la végétation. Cette constatation est surtout valable au bas des versants ubacs exposés nord et nord-ouest car ils sont nettement plus arrosés que ceux qui regardent vers l'est, le sud-est et le sud. D'après O.M. Gammar (1975), ces écarts de précipitations dépasseraient les 100 mm/an en moyenne. Ainsi pour la période 1958-1964, l'auteur signale que la moyenne pluviométrique annuelle enregistrée à la station de Crétéville (située à 4 km au SE de Sabbalet Mornag), qui est relativement bien exposée aux vents pluvieux de l'ouest et du nord-ouest, s'élève à 507 mm contre 394 mm/an seulement à la station de Borj Cédria en position d'abri par rapport à ces vents.

Ces formations végétales de bas de versants sont constituées d'une strate supérieure arborescente dominée par des thuyas de Berbérie hauts de 7 à 12 mètres et qui sont assez couvrants (>80%) et une strate arbustive moyenne, haute de 2 à 5 mètres. Cette dernière est nettement moins dense que la strate supérieure et est faite surtout d'arbustes isolés de lentisque, d'oléastre, de jeunes thuyas et de filaire.

En revanche, le haut des versants constitue une zone de départ et de transit des matières minérale et organique car la pente y est généralement très forte et le ruissellement très actif. Les sols y sont alors très squelettiques voire complètement décapés et ne soutiennent, par conséquent, qu'une végétation basse faite d'un matorral bas à moyen avec de nombreuses trouées qui correspondent aux affleurements de la roche mère calcaire ou marneuse. Sur cette partie de la montagne, la

dégradation de la végétation est souvent très rapide notamment sur les versants exposés aux vents dominants forts du NO. Ici la strate ligneuse supérieure est constituée de petits arbustes de thuya de 1 à 2 mètres de hauteur avec un taux de recouvrement de 20 à 30% alors que la strate inférieure se compose de quelques touffes très basses de romarin (*Rosmarinus officinalis*), de globulaire (*Globularia vulgaris*), de cistes (*Cistus*

monspeliensis) et de bruyère (*Erica multiflora*), dont l'élévation n'excède guère les 30 cm avec un taux de recouvrement généralement inférieur à 25%. La strate herbacée se réduit à une pelouse très clairsemée prédominée par le brachypode rameux (*Brachypodium retusum*), quelques touffes d'alfa (*Stipa tenacissima*), le cyclamen (*Cyclamen percicum*)... (Gammar, 1975).

Tableau 1. Evolution surfacique des différents types d'occupation des sols autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine (1950-2007)

	Versants et piémonts N – NO						Versants et piémonts E - NE					
	1950		1982		2007		1950		1982		2007	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Espaces bâtis + routes	100,5	5,3	285,7	15,2	502,4	26,7	85,5	5,1	211,4	12,6	446,4	26,7
Carrière	0	0	4,5	0,2	4,5	0,2	0,0	0,0	8,5	0,5	17,8	1,1
Oliveraie	585,6	31	296,15	15,8	190,5	10,1	49	2,9	44,4	2,7	3,0	0,2
Vergers	69,2	3,7	174,5	9,3	80,375	4,3	19,7	1,2	66,4	4,0	0,0	0,0
Vignoble	259,9	13,8	36,7	2	20,62	1,1	193,7	11,6	5,4	0,3	0,0	0,0
Cultures annuelles ou friches post-culture	873,7	46,3	834,5	44,4	754	40,1	500,2	29,9	476,5	28,5	256,9	15,4
Callitraie	0	0,0	246,6	13,1	326,3	17,4	824,1	49,3	859,5	51,4	947,9	56,7
Total	1888,9	100	1878,7	100	1878,7	100	1672	100	1672	100,0	1672	100

3. Evolution de l'occupation des sols depuis les années 1950 et dynamique récente de la végétation naturelle

Pour retracer l'évolution de l'occupation du sol au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, nous disposons essentiellement de quatre sources d'informations à savoir :

- la feuille topographique au 1/50 000 La Goulette (révisée en 1950) ;
- les feuilles topographiques au 1/25 000 La Goulette SO et La Goulette NO, publiées par l'OTC¹ en 1983 et qui sont réalisées à partir des levés photogrammétriques de 1974 complétés en 1982 ;
- une couverture d'orthophotos de l'IGN² au 1/10 000 datant de 2000 ;
- les données tirées à partir de cette mission de photographies aériennes ont été extraites par simple photo-interprétation et ont été mises à jour grâce à des extraits Google Earth datant de l'an 2007.

L'ensemble de ces données ont été intégrées dans un système d'information géographique (ArcView) ce qui nous a permis d'élaborer des cartes et des tableaux statistiques qui synthétisent les résultats de cette analyse multi-dates de l'occupation du sol (1950, 1982 et 2007).

3.1. Déclin de l'activité agricole face à une urbanisation de plus en plus accélérée

Au bout de 57 ans, la superficie des espaces bâtis autour de l'extrémité nord du Bou Garnine a plus que quintuplé, passant de 186 ha en 1950 à environ 950 ha en 2007 (Tableau 1).

Cette rapide extension urbaine s'explique surtout par l'importante croissance démographique enregistrée dans les communes de la zone (Bounouh, 2008). Elle s'est faite essentiellement à partir de Hammam-Lif vers le sud, c'est-à-dire sur la très étroite bande qui sépare Jebel Bou Garnine de la côte. Elle s'est faite aussi autour de la ville d'Ezzahra (ex-St. Germain) sur les plaines du Bas Miliane et surtout sur le piémont nord-ouest de Jebel El-Ghorof surtout le long de la route MC39 qui bifurque vers Bou M'hal en sortant de Hammam-Lif par la GP1 (Fig. 5).

Parmi les quatre communes de la région, Bou M'hal-Bassatine est celle qui a connu le plus fort taux d'évolution du nombre de logements au cours de la décennie 1994-2004 (127,2%). Vient ensuite la commune de Hammam-Chatt (72,47%), suivie par Ezzahra (37%).

Ayant déjà largement épuisé ses réserves foncières constructibles et ce dès le début des années 1990, la commune de Hammam-Lif arrive en dernière position puisqu'elle n'a augmenté son parc immobilier que de 22,2% entre 1994 et 2004 (Tableau 2).

¹ Office de la Topographie et de la Cartographie (Tunisie).

² Institut Géographique National (France).

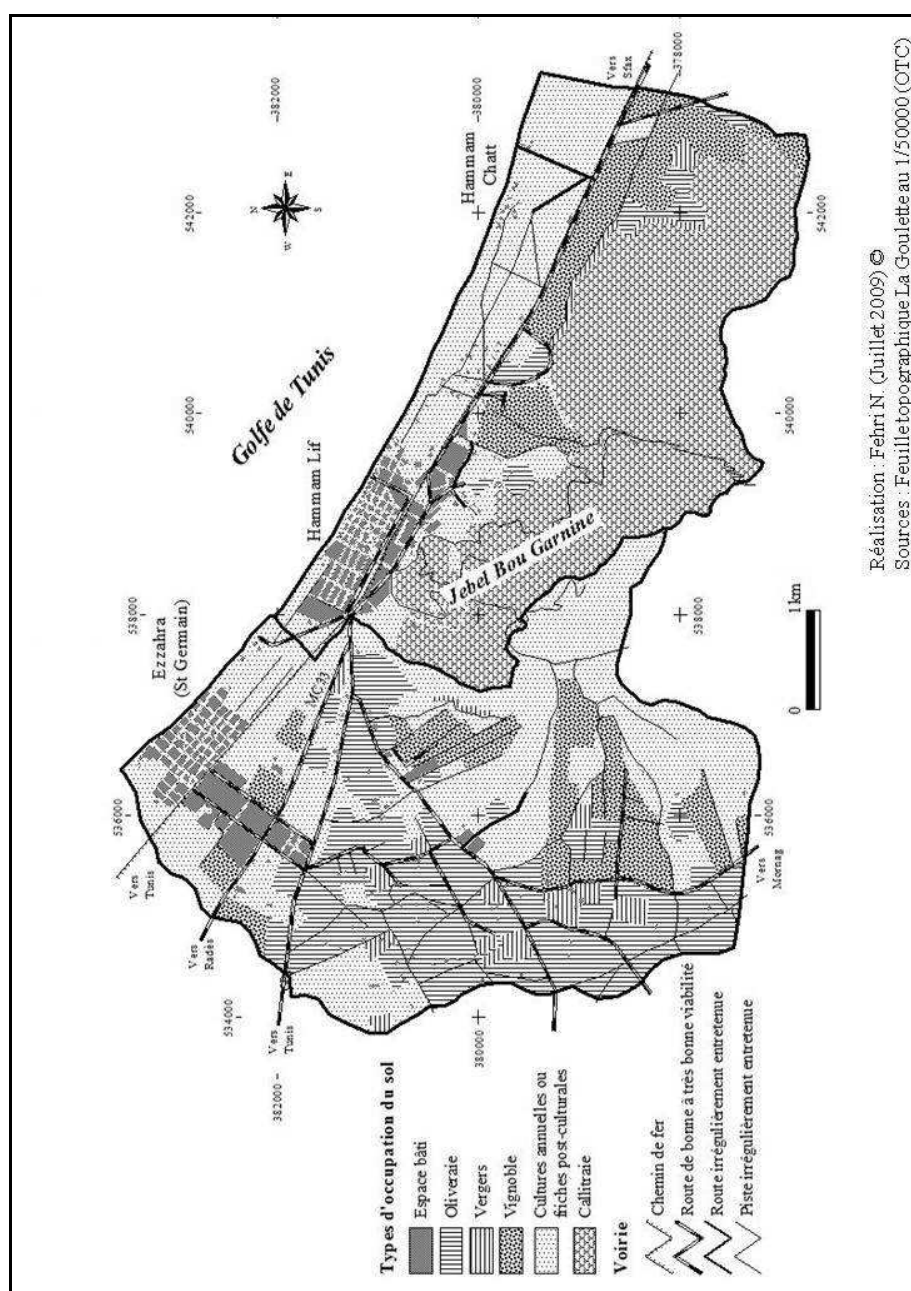
Tableau 2. Evolution de la population et de l'habitat dans les communes de Bou M'hal-Bassatine, Ezzahra, Hammam-Lif et Hammam-Chatt (1994-2004)

Commune	Date de création	Population		Nombre de logements		Densité de population (2004)
		1994	2004	1994	2004	
Bou M'hal-Bassatine	31/05/1991	16037	31792	3447	7831	2420.16
Ezzahra	11/09/1909	25940	27977	7143	9783	1887.89
Hammam-Lif	09/03/1899	37494	38401	9449	11549	3077
Hammam-Chatt	31/05/1991	16429	24847	4156	7168	1054.63

Sources : INS – RGPH 1994, 2004

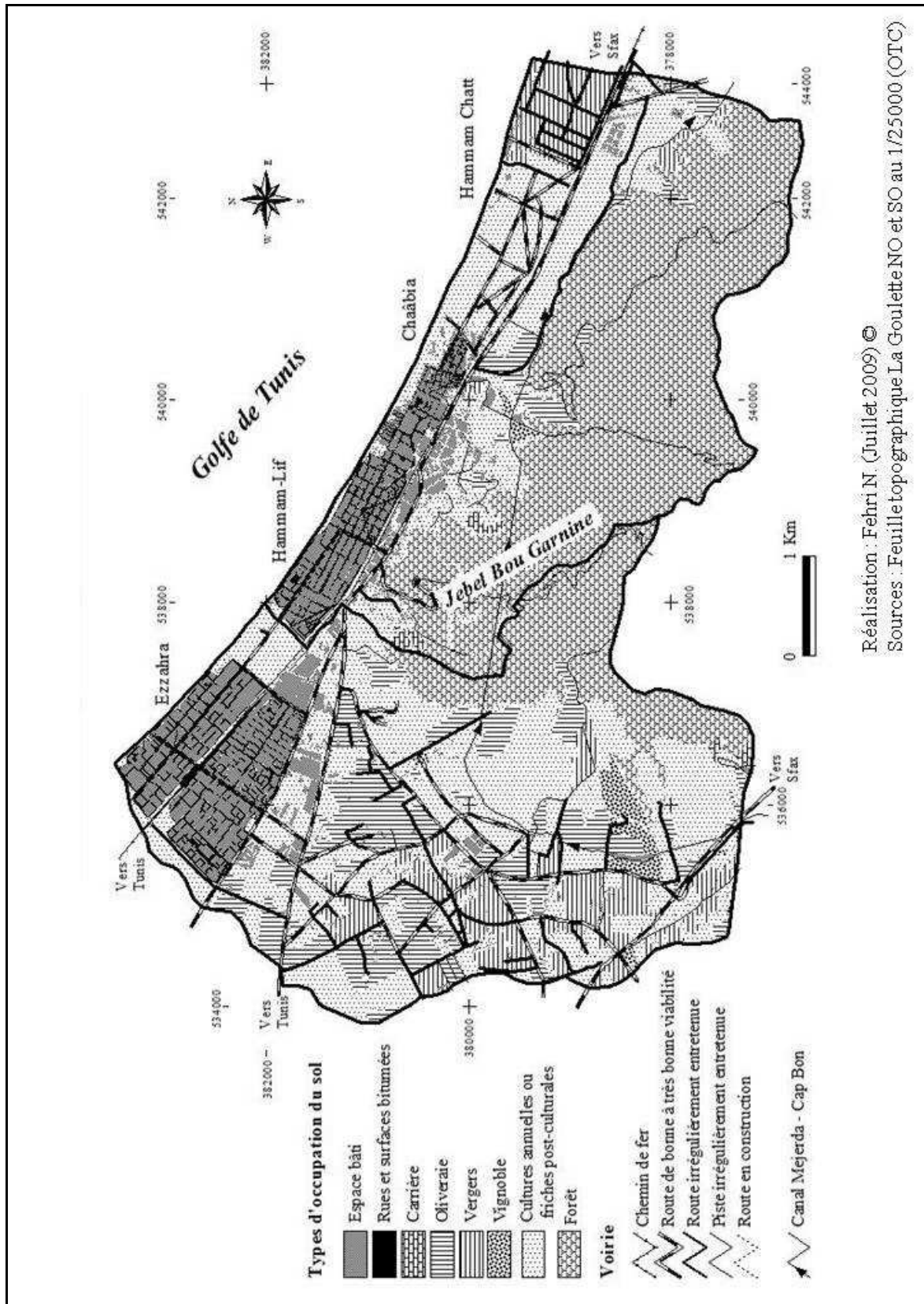
Cet étalement du bâti s'est fait surtout aux dépens des terres agricoles. L'examen des figures 6, 7 et 8 révèle un net rétrécissement des surfaces arboricoles qui s'est échelonné sur toute la deuxième moitié du siècle passé et qui se poursuit jusqu'à nos jours. Cette tendance concerne surtout les surfaces

oléicoles (Fig. 9 et 10). La viticulture a décliné aussi. Aujourd'hui, elle a quasiment disparu. Ceci s'explique, sans doute, par la crise que ce secteur a connue après l'indépendance du pays (Sethom et Kassab, 1981).



Réalisation : Fehri N. (Juillet 2005) ©
Sources : Feuille topographique La Goulette au 1/50000 (OTC)

Fig. 6. L'occupation du sol autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine : situation en 1950



Réalisation : Fehri N. (Juillet 2009) ©
Sources : Feuille topographique La Goulette NO et SO au 1/25000 (OTC)

Fig. 7. L'occupation du sol autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine : situation en 1982

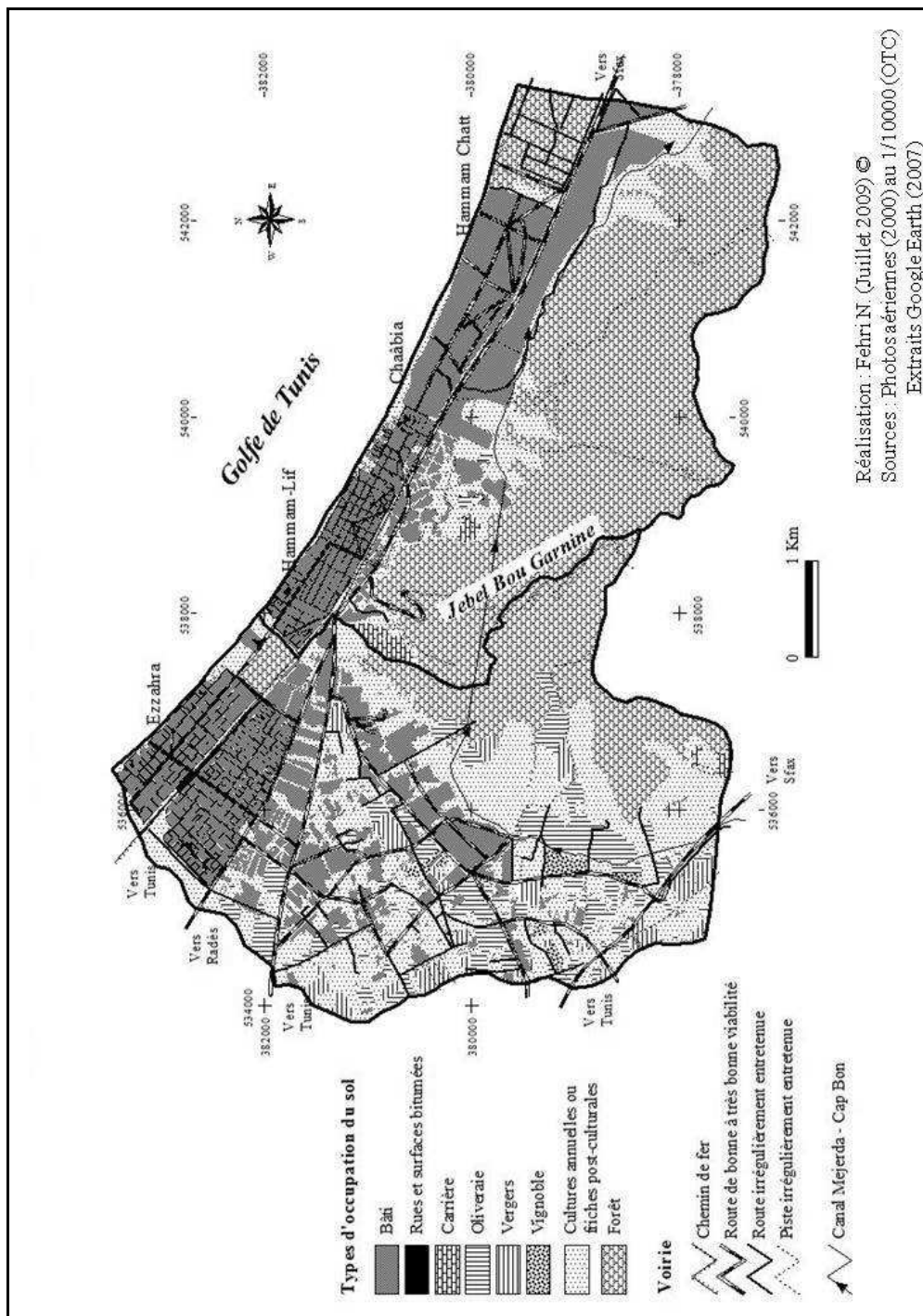


Fig. 8. L'occupation du sol autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine : situation en 2007

Entre 1950 et le début des années 1980, une grande partie de l'oliveraie qui s'étendait au nord et au nord-ouest de Jebel Bou Garnine (Bou M'hal) a été transformée en vergers, c'est-à-dire en parcelles de petite taille (généralement moins de 1 ha) clôturées par des haies en brise-vents et où l'on pratiquait essentiellement une arboriculture fruitière. Mais, à vrai dire, il ne s'agissait ici que d'une phase transitoire. Petit-à-petit de nombreuses demeures individuelles ont vu le jour au milieu de ces parcelles dès lors converties en jardins de plus

en plus émiettés annonçant ainsi un processus rapide de « gaspillage » de terres agricoles généralement fertiles au profit de la ville.

Les superficies réservées aux cultures annuelles ont connu également une baisse sensible notamment dans les secteurs est et nord-est du Bou Garnine. N'empêche que sur ses versants et piémonts N – NO en particulier, on leur consacre encore plus de 750 ha soit une vaste réserve foncière alléchante vers laquelle les promoteurs immobiliers ne tarderont pas à se tourner dans les années à venir.

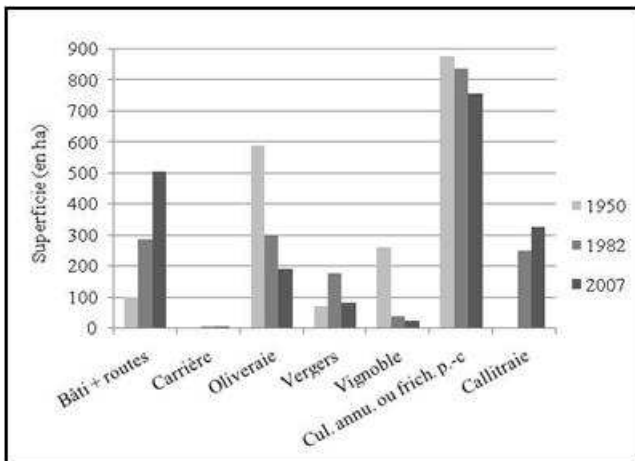


Fig. 9. Evolution de l'occupation du sol sur les versants et les piémonts N – NO de Bou Garnine

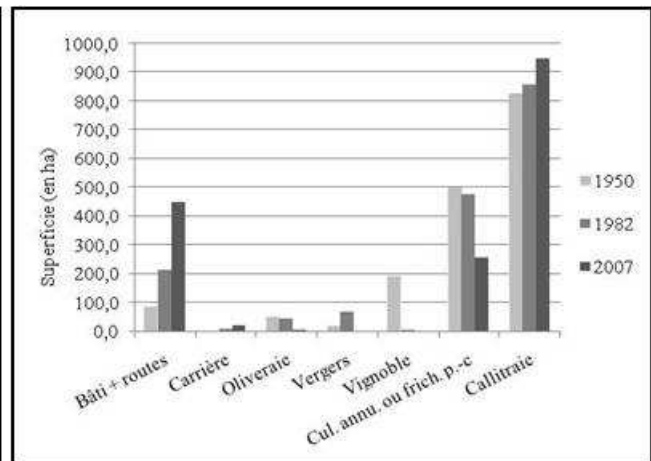


Fig. 10. Evolution de l'occupation du sol sur les versants et les piémonts E - NE de Bou Garnine

3.2. Une dynamique progressive de la callitraie du Jebel Bou Garnine

Depuis la fin du XIX^{ème} siècle, la callitraie du Jebel Bou Garnine connaît une dynamique somme toute progressive et ce grâce à des travaux de reboisement. Ce constat est corroboré par les données du tableau 1 qui laissent voir un net élargissement de l'espace forestier.

Les premiers travaux engagés dans ce jebel ont été effectués au lendemain de la colonisation en 1884. Cependant, ces travaux ont été rapidement bloqués à cause des problèmes fonciers et surtout parce qu'ils étaient en contradiction avec la politique économique coloniale surtout après la découverte des gisements de zinc (mine d'Ain Zarga). C'est à la faveur de la crise économique de 1929 qu'on a commencé les travaux de mise en défens réelle cette montagne notamment après l'abandon total de l'exploitation minière en 1932. En 1947, toute la partie centrale du jebel passe définitivement sous le contrôle direct du Service Forestier.

Le gouvernement de l'indépendance a consolidé ces acquis en généralisant la mise en défens à toute la callitraie du Bou Garnine et en annexant les anciennes terres coloniales à vocation forestière au régime forestier (Gammar, 1975).

De nos jours, les résultats de ces opérations de mise en défens et de reboisement ont entraîné une nette évolution progressive de la callitraie notamment sur les versants ubacs et dans les fonds de vallons. Cela se traduit par une remarquable densification du couvert végétal suite au développement d'un matorral bas fermé qui est constitué de plantes buissonnantes et d'espèces herbacées ligneuses ainsi que par la formation d'une

strate supérieure haute constituée essentiellement de thuyas de Berbérie. On y observe aussi le pin d'Alep, le pin pignon, l'acacia et l'eucalyptus plantés dès l'époque coloniale pour les plus anciens.

Toutefois, sur les versants sud qui sont des adrets, cette évolution progressive est beaucoup moins importante et les années de protection n'ont pas suffi à apporter une nette amélioration de la couverture végétale et ce malgré un faible développement vertical des thuyas (Gammar, 1975). C'est le cas aussi au niveau des affleurements marneux lacérés par le ruissellement concentré. Sur ces affleurements, le couvert végétal se réduit à un matorral bas et clairsemé. Ici, il est clair que la protection passive (par simple mise en défens) ne suffit pas à elle seule à freiner la dégradation alarmante de ces étendues.

Quoiqu'il en soit, nous pouvons dire que d'une manière générale les travaux de mise en défens et de reboisement du Jebel Bou Garnine ont déclenché dans beaucoup de cas une dynamique d'amélioration du couvert végétal. Ajoutons que cette amélioration ne s'est pas réduite à une densification de la couverture végétale ; elle se traduit aussi par une nette augmentation de la superficie forestière. En effet, entre 1950 et 2007 la callitraie de l'ensemble de la zone étudiée s'est élargi d'environ 415 ha.

4. Les conséquences de ces évolutions sur l'inondabilité de la zone

4.1. Impact sur les coefficients de ruissellement

Il s'agit ici d'appréhender l'évolution des coefficients de ruissellement (Kr) en fonction de

l'évolution de l'occupation des sols depuis 1950 jusqu'en 2007 avec une date intermédiaire : 1982. L'approche suivie consiste à appliquer empiriquement des coefficients élémentaires à chaque type d'occupation du sol⁴ (Fehri, 2011). Ces Kr élémentaires sont par la suite pondérés par la part relative de chaque type d'occupation dans la superficie totale du secteur étudié. La somme de ces pondérations nous a permis d'aboutir à un Kr global exprimé en pourcentage (Tableau 3).

La comparaison des résultats obtenus dans la zone étudiée avec ceux observés dans d'autres secteurs du Grand Tunis permet de constater qu'en dépit d'une augmentation sensible des Kr autour de l'extrémité septentrionale du Bou Garnine, celle-ci reste assez modérée si on la compare, par exemple, avec celle enregistrée dans le bassin-versant très densément urbanisé des oueds El-Ghrich et El-Greb⁵ au nord de la ville de Tunis (Fehri et al., 2007 et Fehri, 2011).

Il va sans dire que dans les parties aval lorsque les cours d'eau abordent les secteurs urbanisés, l'imperméabilisation des sols atteint souvent des seuils très élevés et les écoulements s'y font presque à saturation. Lorsque la pente s'annule ou presque, c'est-à-dire dans les parties de la ville construites dans la plaine, le drainage devient difficile. Alors les écoulements venant de l'amont stagnent et inondent les rues, perturbant ainsi la circulation, situation assez fréquente surtout à Ezzahra (Fig. 11).

4.2. Des cours d'eau perturbés par de nombreux obstacles et augmentation des enjeux dans les zones inondables

Le secteur étudié est traversé par deux grandes artères de communication d'envergure nationale. Ces artères relient la capitale au Cap-Bon, au Sahel et au Sud. Il s'agit de la GP1 et de l'axe ferroviaire qui va de Tunis jusqu'à Gabès et Gafsa en passant par Sousse et Sfax. Leur tracé NO-SE est obséquent par rapport à tous les oueds qui drainent les versants est et nord-est du Bou Garnine. Ils sont alors à l'origine de débordements répétés (Nasrallah, 2013). Seulement, au moment où ces axes furent aménagés il y'a plus d'un siècle⁶, l'urbanisation de

la zone étaient assez limitée et le trafic automobile sur la GP1 aussi.

Les inondations observées ces dernières années, ont montré la limite des ouvrages perçant ces deux voies et qui servent à évacuer les eaux pluviales vers la mer. Bien entendu, cela s'explique en grande partie par le caractère assez intense de ces épisodes pluviométriques. Mais il est également opportun de rappeler qu'à pluviométrie égale, les écoulements en ville ont augmenté suite à la modification des coefficients de ruissellement par imperméabilisation des sols. Dans beaucoup de cas, les ouvrages en question sont de nos jours sous-dimensionnés par rapport aux volumes d'eau susceptibles de s'écouler. Ceci est d'autant plus vrai qu'ils sont souvent obstrués et que les travaux de curage tardent à venir à temps, c'est-à-dire avant les premières pluies automnales. Or, de part et d'autre de ces deux artères, les enjeux ont augmenté. Les constructions à vocations diverses sont de plus en plus nombreuses et denses. Il en est de même du trafic routier qui ne cesse de se multiplier comme en témoignent les embouteillages continus à longueur de journée dans le « goulot » de Hammam-Lif. Que l'on soit résident ou bien usager de la route de façon régulière, on est aujourd'hui de plus en plus exposé au risque d'inondation le long d'un tronçon qui va de Hammam-Lif à Hammam-Chatt (Fig. 11 et Photo 2).

Le même constat s'applique aussi au secteur N – NO de Bou Garnine. Ici, la GP1 ainsi que la MC39 barrent également les cours d'eau qui drainent les versants occidentaux de la montagne (Fig. 11). Par ailleurs, l'habitat est ici en train d'empiéter sur les lits des cours d'eau aggravant ainsi le risque d'inondation (Photo 3).

4.3. A propos du rôle protecteur de la forêt : un acquis à préserver

La callitriaie de Bou Garnine constitue un écran qui protège efficacement le sol contre l'érosion pluviale et contre l'action du ruissellement. Grâce à leur système racinaire les arbres fixent la terre freinant ainsi la migration des matériaux vers le bas des versants et amorçant, suite à la restitution de la matière organique, une activité pédogénique qui favorise à son tour le développement de la callitriaie. Pour étayer l'ensemble de ces constatations, il suffit de faire une simple comparaison entre les états de surface sous couvert végétal et puis juste à côté au niveau des pare-feux ou encore sur les versants exposés au sud (adret) où la végétation est généralement très dégradée notamment si la pente est raide (Photo 7).

⁴ Les coefficients de ruissellement adoptés ici sont ceux utilisés par la Direction de l'Hydraulique Urbaine.

⁵ Dans ce bassin-versant situé au nord de la ville de Tunis, le Kr est passé de 50.7% en 1950 à 69.7% en 1983 puis à 74.2% en 2007.

⁶ A la fin du XIX^{ème} siècle, la Compagnie des Phosphates et des Chemins de Fer de Sfax-Gafsa avait obtenu la concession d'une voie ferrée entre Tunis et Sousse (la section Tunis-Hammam-Lif étant achevée depuis 1882) qu'elle avait construit entre 1895 et 1899.

Tableau 3. Evolution des coefficients de ruissellement autour de l'extrémité septentrionale de Bou Garnine

Occupation du sol	Kr élémentaires	Kr pondérés (en %) dans le secteur N – NO du jebel			Kr pondérés (en %) dans le secteur E du jebel		
		1950	1982	2007	1950	1982	2007
Espaces bâtis + routes	0,8	4,3	12,2	21,4	4,1	10,1	21,4
Carrière	0,6	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0,6
Oliveraie	0,5	15,5	7,9	5,1	1,5	1,3	0,1
Vergers	0,4	1,5	3,7	1,7	0,5	1,6	0,0
Vignoble	0,4	5,5	0,8	0,4	4,6	0,1	0,0
Cultures annuelles ou friches post-culturelles	0,5	23,1	22,2	20,1	15,0	14,2	7,7
Callitraie	0,3	0,0	3,9	5,2	14,8	15,4	17,0
Σ des Kr pondérés (%)	-	49,9	50,8	54,0	40,4	43,1	46,8



Cliché Fehri N. (Av. 2009)

Photo 2. Les écoulements qui descendent les versants et les quartiers construits sur les piémonts sont barrés par la clôture qui longe la voie ferrée inondant ainsi la GP1 (Hammam-Chatt)



Cliché Fehri N. (Av. 2009)

Photo 3. Oued Sebâa Ouidiane inondant une route qui le barre. A remarquer aussi la prolifération des constructions en zones inondables (Bou M'hal)

Comme on vient de le signaler, dans le premier cas on a affaire à une dynamique de piégeage et de fixation des matériaux en transit sur le versant. Ceci est attesté par l'accumulation d'une couche d'éléments fins qui ensevelissent une matière grossière assez abondante. Si squelettique soit-elle, cette couche témoigne d'une relative amélioration des conditions édaphiques qui ne peut être que bénéfique pour la végétation. De son côté, cette végétation recouvre le sol par une litière souvent assez abondante qui le protège contre l'érosion pluviale et hydrique (Photo 4). En revanche, au niveau des pare-feux, larges couloirs qui sont régulièrement débroussaillés afin d'éviter la propagation du feu en cas d'incendie, ou encore sur les versants nus, le « sol » est directement exposé à l'action de la pluie et du ruissellement diffus. La matière fine étant transportée, il ne reste en surface qu'un pavage grossier issu du démantèlement de la roche mère calcaire (Photo 5).

A cause de leur forte imperméabilité, ces espaces constituent des aires fortement contributives au ruissellement. Lorsque celui-ci arrive à se

concentrer, il y cisèle des ravins parfois assez profonds. Au fil du temps, ces ravins peuvent dans certains cas prendre des dimensions alarmantes notamment si les écoulements viennent, au passage, ébrécher une banquette de conservation des eaux et des sols (CES) qui n'aura pas été réparée (Photo 6). Ces entailles constituent une menace pour les infrastructures et les équipements situés en aval car elles réduisent le temps de concentration des eaux de ruissellement et les drainent rapidement vers le bas des versants où elles risquent d'inonder.

De toute évidence, la callitraie de Bou Garnine joue un rôle majeur en termes de protection des versants contre l'érosion hydrique. Elle contribue aussi à protéger la ville contre les inondations. En effet, et par rapport à d'autres secteurs du Grand Tunis, l'augmentation des coefficients de ruissellement dans cette zone a été, comme déjà signalé, assez modérée. Cela s'expliquerait par l'amélioration de la couverture forestière qui aurait, en quelque sorte, contrebalancé la forte augmentation des Kr due à l'extension du bâti.

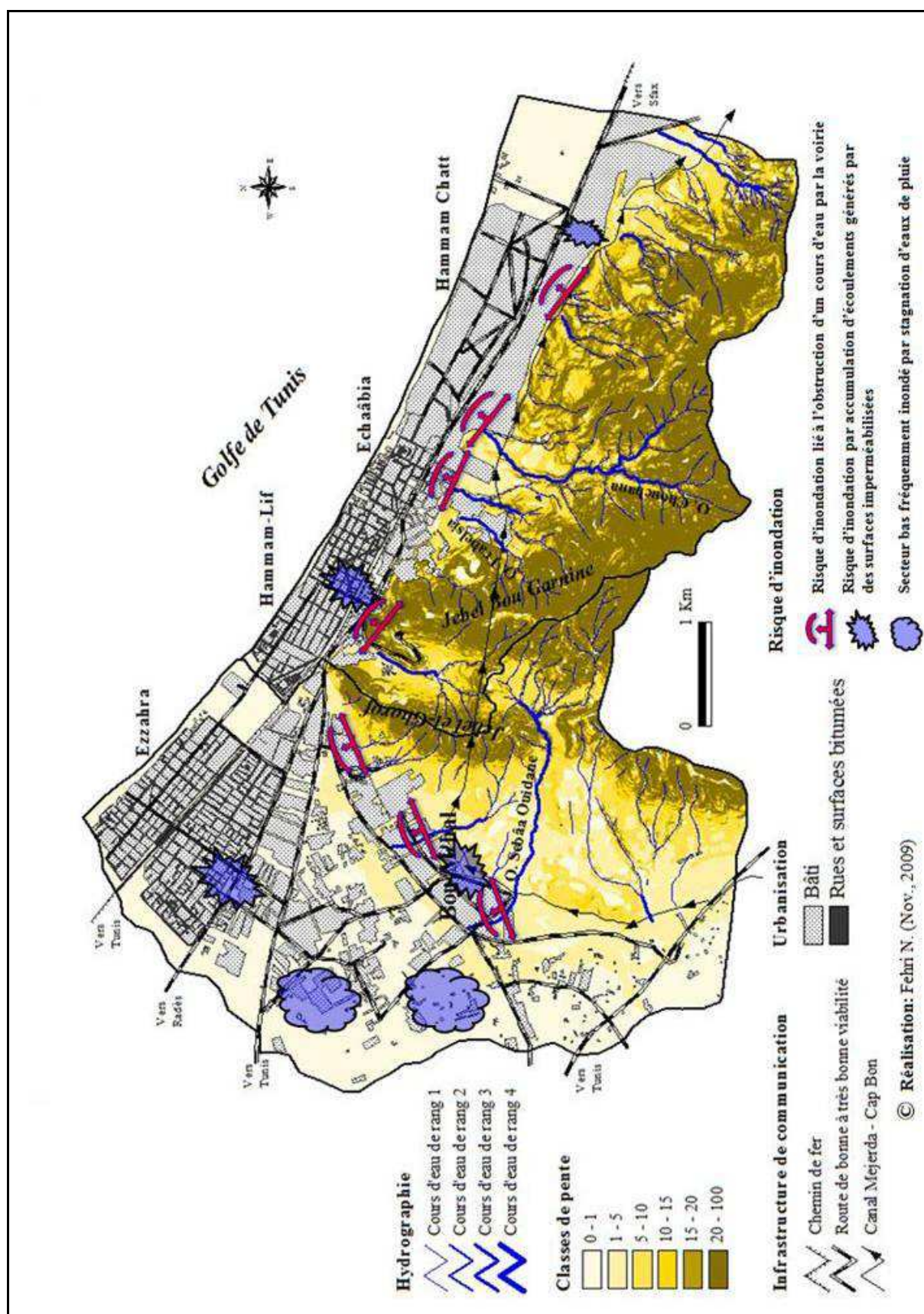


Fig. 11. Vulnérabilité au risque inondation autour de l'extrémité septentrionale du Jebel Bou Garnine



Photos 4 (à gauche) et 5 (à droite). Détail des états de surface observés sous la callitriche (sol protégé par une litière à gauche) et sur les versants dénudés (pavage grossier hétérométrique à droite)
(clichés N. FEHRI, Octobre 2009)



Photo 6. Ravin formé parallèlement à une bande aménagée en pare-feu (versant de la montagne à la hauteur de Hammam-Chatt)
(cliché N. FEHRI, Octobre 2009)



Photo 7. Etat de la couverture végétale sur un versant adret et en pente raide (versant de la montagne à la hauteur de Hammam-Chatt)
(cliché N. FEHRI, Octobre 2009)

5. Conclusion

Les plaines qui bordent l'extrémité nord du Jebel Bou Garnine constituent presque le seul passage facile d'accès entre la capitale Tunis et les autres villes du littoral oriental tunisien. Dès la fin du XIX^{ème} siècle, on y a aménagé le plus important axe ferroviaire de la Tunisie. Ces plaines sont aussi traversées par la GP1, principal axe routier du pays dont le nombre d'utilisateurs n'a cessé d'augmenter tout au long du siècle passé. Toutefois, ces infrastructures barrent les petits cours d'eau qui drainent les versants raides de la montagne et qui peuvent avoir un comportement torrentiel en cas de grandes pluies. Entre Hammam-Lif et Hammam-Chatt les eaux pluviales s'accumulent alors derrière le mur qui longe le chemin de fer inondant la GP1 et les équipements riverains.

Depuis plus d'un demi-siècle, ces plaines sont aussi le siège d'une extension urbaine effrénée qui

s'est faite au détriment des terres agricoles. La généralisation des surfaces bitumées est alors de règle dans les quatre communes de la zone. Cette imperméabilisation des sols a provoqué une sensible augmentation des coefficients de ruissellement et par voie de conséquence une aggravation du risque d'inondation.

Mais cette zone présente un atout majeur : la callitriche de Bou Garnine. Située à l'amont de ces espaces urbains, elle constitue un énorme écran protecteur qui augmente le temps de concentration des écoulements et améliore la capacité de stockage des sols si minces soient-ils. La maîtrise du risque d'inondation passe donc d'abord par la protection de cette forêt notamment contre le risque d'incendie (Chabaane-Lili et al., 2005). Toujours en amont, il faudrait prévoir des cordons en pierre sèche notamment à l'intérieur des bandes de pare-feu et penser à entretenir les banquettes présentant des brèches car elles provoquent une suralimentation des écoulements.

Outre ce volet de protection douce, il serait judicieux d'envisager des études en vue d'examiner la possibilité d'aménager des lacs collinaires sur les principaux cours d'eau qui drainent ce relief montagneux en particulier sur les oueds Chaâbia, Jebline et Sabâa Ouidane.

Remerciements :

Cette recherche a été réalisée avec l'appui financier de l'Association des Géographes Tunisiens. Nous tenons à lui adresser nos vifs remerciements.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUNOUH, A., (2008), « Protection, requalification et valorisation d'une plage dégradée dans le sud du Golfe de Tunis : la plage de Hammam-Lif », *Actes du colloque international pluridisciplinaire « Le littoral : subir, dire, agir »*, 15 p.
- CASTANY, G., (1955), *Les extrusions jurassiques en Tunisie. Annales des Mines et de la Géologie*, **14**, 71 p.
- CHABAANE-LILI, Z., BOUAFIF, H., KHALDI, A., CHAKROUN, H., CALOZ, R., 2005, « Télédétection et analyse spatiale de la régénération forestière post-incendie dans le massif de Boukornine au sud de Tunis », *Télédétection*, **5**, 1-2-3, 61-181.
- FEHRI, N., MATHLOUTHI, S., ZAHAR Y., (2007), *L'extension urbaine et ses conséquences sur le fonctionnement hydrogéomorphologique du bassin-versant des oueds El-Ghrich et El-Greb (Ariana – versant sud de Jebel Ennahli)*, *Actes du XX^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 252-258.
- FEHRI, N., (2011), « Etude des facteurs de vulnérabilité hydrogéomorphologique dans le Grand Tunis : approche comparative entre trois bassins versants », *Revue Tunisienne de Géographie*, **41**, 131-160.
- GAMMAR, O.M., (1975), *Etude et carte à grande échelle des structures physiologiques de la végétation du Jebel Bou Kournine*, Mém. de Certificat d'Aptitude à la Recherche Tunis, 130 p.
- KARRAY, M.R., (1977), *L'extrémité nord-est de la Dorsale tunisienne : recherches géomorphologiques*, Thèse de doctorat, Université de Tunis, 166 p.
- NASRALLAH, W., (2013), *Impacts de l'urbanisation et des aménagements sur le ruissellement et les écoulements dans la banlieue sud du Grand Tunis : cas des bassins-versants exoréiques entre Hammam-Lif et Borj Cédria.*, Mém. de Mastère. Faculté des Lettres, des Arts et Humanités de la Manouba, 99 p.
- SETHOM, H., KASSAB, A., (1981), « Les régions géographiques de la Tunisie », Publications Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, Série : *Géographie*, 460 p.

**Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de Manouba, UR Biogéographie,
Climatologie Appliquée et Dynamique Erosive,
Campus Universitaire de la Manouba, 2010 Manouba, Tunisie.
fehri_n@yahoo.fr**