

NOTE A L'ATTENTION DES AUTEURS

- Le comité de rédaction de la revue :
ANNALES DE L'EQUIPEMENT, n'accepte que les travaux originaux et inédits, ces travaux doivent parvenir à la revue imprimés et saisis sur CD.
- Les titres et sous titres doivent être en lettres majuscules et hiérarchiser selon une codification décimales: 1.
 - ◆ 1.1.
 - 1.1.1.
- Les articles doivent être accompagnés de résumés succincts (5 à 8 lignes) en arabe, français et anglais
- Les équations et formules comportant des caractères grecs et mathématiques doivent être présentées soigneusement.
- Les références bibliographiques doivent figurer à la fin de l'article.
- La correction se fait par l'auteur lui-même et confirmée par un « bon à tirer »
- La rédaction se réserve le droit d'apporter toutes modifications de forme qu'elle juge nécessaire.
- Les travaux une fois acceptés sous leur forme définitive, ne peuvent être modifiés.

PREFACE

Pour la relance de la revue

Initiée depuis...1972; la revue « **ANNALES DE L'EQUIPEMENT** », anciennement appelée « **Revue Tunisienne de l'Equipement** », se veut une revue scientifique et technique de haut niveau.

De périodicité semestrielle, éditée par le Ministère de l'Equipement et de l'Habitat, sous la houlette de la Direction Générale de la Planification, de la Coopération et de la Formation des Cadres, depuis plus d'un demi-siècle, est une référence, aussi bien dans le milieu universitaire, qu'auprès des gens du métier...

Par essence interdisciplinaire, cette publication, comme indique son titre, a constamment abordé des thèmes essentiellement liés aux ponts et chaussées, aux bâtiments, à l'aménagement du territoire, à l'urbanisme, à l'habitat, à la protection des villes contre les inondations et à la protection du littoral... Et se focalise notamment à l'innovation technique dans ces domaines ainsi qu'à des sujets annexes comme l'impact environnemental et social et l'évolution réglementaire et juridique, y afférents.

Elaborée à travers les contributions des ingénieurs spécialisés, des hauts cadres du Ministère de l'Equipement et de l'Habitat et des professeurs universitaires, cette revue est une tribune d'idées nouvelles, une vitrine d'initiatives innovantes et un lieu de réflexion structurée, autour des thèmes profondément ancrés dans les secteurs de l'équipement et de l'habitat, ainsi qu'une plateforme pour les expériences pratiques dans ce domaine.

Cette édition, conformément à la vocation de la revue, comporte des analyses permettant de décliner des diverses facettes du domaine. De nombreux sujets ont été développés. Les articles qui leur sont consacrés apportent aux lecteurs des informations dont ils apprécieront l'intérêt. Ils pourront être particulièrement utiles en suscitant réflexions, examens, discussions. Leurs acteurs, dans leurs spécialités, auront l'aubaine et la responsabilité de suggérer ou de recommander des formes d'interventions différentes.

Comme destiné aux experts du domaine, l'intégralité des collections imprimées de la revue, est numérisée et sera mise en ligne sur le site web du ministère.

Cette édition entre vos mains, se veut l'amorce pour la relance de la revue, avec des publications périodiques, sous un format attrayant, des articles bien recherchés et disponibles en ligne pour tous les lecteurs avertis.

Bonne lecture à toutes et à tous !



La Ministre de l'Equipement et de l'Habitat

Sarra Zaafrani Zenzri

ANNALES

DE L'ÉQUIPEMENT

Revue éditée par le Ministère de l'Équipement et de l'Habitat

Année 2023

SOMMAIRE

Aménagement- Urbanisme- Habitat

- ✦ **Intégration de la gestion des eaux pluviales dans la politique urbaine du Grand Tunis : des solutions adaptées aux changements climatiques**

Yousr CHTOUROU KOUBAA.....page05

Calcul et Modélisation d'Ouvrages

- ✦ **Dimensionnement et suivi d'une paroi clouée de 20 m de profondeur**

*Mounir BOUASSID / Foued KANOUN /
Slaheddine HAFFOUDHIpage27*

Innovations Techniques

- ✦ **Approche rationnelle pour le renforcement des chaussées aéronautiques par de nouveaux enrobés bitumineux (application au cas d'une piste à l'aéroport international de Monastir)**

Safa JLASSI.....page37

Equipements

- ✦ **Apport du système d'information géographique en l'intégrant dans Le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine : le cas de Réjich-Salakta**

Nehed KLAI et Rami MZOUGHIL.....page55

Environnement / Législation

- ✦ **استغلال المقاطع، التجاوزات واحترام البيئة**

75-03..... يسري خليل

**Directrice de la
publication**

Manana HAFNAOUI

Rédacteur en chef

Noureddine SLIM

Comité de rédaction

Ahmed ELKAMEL

Faten HENTATI

Mounir BEKKEY

Nejib SNOUSSI

Sihem BEN SOLTANE

**Coordination et
édition**

Leila GHRAIRI

INTEGRATION DE LA GESTION DES EAUX PLUVIALES DANS LA POLITIQUE URBAINE DU GRAND TUNIS

-Des solutions adaptées aux changements climatiques

Yousr CHTOUROU KOUBAA : Ingénieur en chef, directrice des études et des recherches, (Agence d'Urbanisme du Grand Tunis)

RESUME : Des techniques alternatives ont été développées, en complément ou en remplacement des réseaux existants, afin de gérer des eaux pluviales urbaines tout en réintroduisant le grand cycle de l'eau dans le milieu urbain. Ces nouvelles techniques demeurent rarement employées dans les villes et agglomérations Tunisiennes bien que le Grand Tunis (GT) ait connu plusieurs inondations durant ces dernières décennies dues à l'étalement urbain et aux changements climatiques.

Les risques que font peser les inondations par ruissellement sur GT induisent une réflexion sur la résilience de la ville et sur la nécessité d'une cogestion du système de gestion des eaux pluviales. L'intégration de La gestion des eaux pluviales dans la politique urbaine des grandes agglomérations et l'introduction de cette gestion en amont du projet urbain en associant les différentes parties prenantes débouchent sur des aménagements résilients et durables.

L'objectif principal du présent article est de montrer la faisabilité de l'utilisation des méthodes alternatives aux réseaux de gestion des eaux pluviales au GT. L'implantation des méthodes alternatives basées sur des objectifs précis de gestion intégrée et durable, est réalisable et même rentable. Une analyse technique poussée reste toutefois nécessaire dans l'objectif d'identifier les méthodes les plus efficaces susceptibles d'améliorer les conditions de drainage urbain au GT.

INTEGRATION OF RAINWATER MANAGEMENT IN THE URBAN POLICY OF GREATER TUNIS - Solutions adapted to climate changes-

ABSTRACT: Alternative techniques have been developed, in addition to or replacing existing networks, to manage urban rainwater while reintroducing the great water cycle in the urban environment. These new techniques are rarely used in Tunisian cities and towns, although Greater Tunis (GT) has experienced several floods in recent decades due to urban sprawl and climate change.

The risks posed by flooding by runoff on GT induce a reflection on the resilience of the city and on the need for co-management of the stormwater management system. The integration of stormwater management in the urban policy of large agglomerations and the introduction of this management upstream of the urban project by associating the various stakeholders leads to resilient and sustainable developments.

The main objective of this article is to demonstrate the feasibility of alternative methods to Storm water management system at the GT. The implementation of alternative methods of integrated and sustainable management with precise objectives is feasible and even profitable. However, a thorough technical analysis is still needed to identify the most effective methods for improving drainage conditions.

إدماج التصرف في مياه الأمطار في السياسة الحضرية لتونس الكبرى - حلول تتكيف مع التغيرات المناخية

ملخص : تم تطوير تقنيات بديلة لاستكمال الشبكات القائمة أو استبدالها، لإدارة سيلان مياه الأمطار في المناطق الحضرية مع إعادة إدخال دورة المياه الكبيرة في البيئة الحضرية. ويظل استخدام هذه التقنيات نادرا في المدن التونسية، على الرغم من أن تونس الكبرى شهدت عدة فيضانات في العقود الأخيرة بسبب الزحف الحضري وتغير المناخ.

للحد من مخاطر حدوث فيضانات بسبب الجريان السطحي لمياه الأمطار في تونس الكبرى وجب التفكير في تعزيز قدرة المدينة على الصمود، وجعلها أكثر أمناً، وذلك عن طريق تضافر جهود جميع الأطراف المكلفة

بالتصريف في مياه الأمطار. وكذلك إدماج التصريف في مياه الأمطار في السياسة الحضرية للمناطق الحضرية الكبيرة منذ بداية المشروع الحضري بإشراك مختلف أصحاب المصلحة من شأنه أن يؤدي إلى التنمية المستدامة.

إن الهدف الرئيسي من هذه المقالة هو إظهار جدوى استخدام طرق بديلة لشبكات تصريف مياه الأمطار في مجموعة العمل. إن تنفيذ طرق بديلة على أساس أهداف محددة للإدارة الصادقة والمستدامة أمر ممكن بل ومربح. ومع ذلك ، لا يزال من الضروري إجراء مزيد من التحليل الفني لتحديد أكثر الطرق فعالية التي من المحتمل أن تعمل على تحسين ظروف الصرف الحضري في تونس الكبرى .

INTRODUCTION

Le Grand Tunis est en forte extension : en 2014 il s'étalait sur une superficie de 34 935 Ha (32 443 en 2009, et 23 301 en 2002) (**Livre blanc de l'aménagement territorial et urbain du Grand Tunis phase1 ; AUGT 2019**). L'extension urbaine enregistrée dans le périmètre aggloméré du GT entre 2002 et 2009 s'étalait sur une surface totale de 6056 ha, ce qui représente une consommation additionnelle moyenne de près de 865 ha/an. Le bilan de l'occupation du sol (**Bilan de l'urbanisation du Grand Tunis 2002-2009, AUGT 2009**) mené sur le territoire du GT laisse apparaître la prédominance générale de l'habitat individuel dans toutes les communes, avec 46,6 % du total.

La croissance de la surface urbaine d'une grande agglomération peut produire des changements importants au cycle naturel de l'eau (figure 1). Le remplacement des sols perméables par des bâtiments et des routes, entraîne l'imperméabilisation du sol et l'augmentation de la quantité de ruissellement ainsi que la réduction de l'infiltration d'eau et de la végétation qui a pour rôle d'absorber et vaporiser une partie de l'eau pluviale. de même qu'une dégradation des milieux récepteurs.

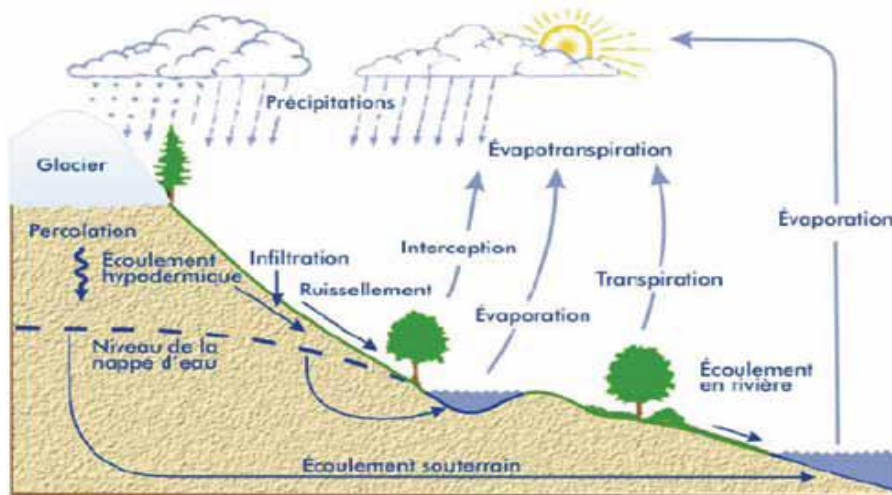


figure1 : Composantes du cycle hydrologique (Guide de gestion des eaux pluviales, Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain, Québec)

La densité de l'urbanisation cause une réduction de la quantité d'eau infiltrée aux nappes souterraines et la partie de la précipitation pouvant s'évaporer, ce qui influence de façon marquée les volumes de ruissellement. Il est constaté qu'il se produit avec l'urbanisation et la réduction de la végétation une augmentation des températures ambiantes due à la réduction de l'évapotranspiration de l'eau.

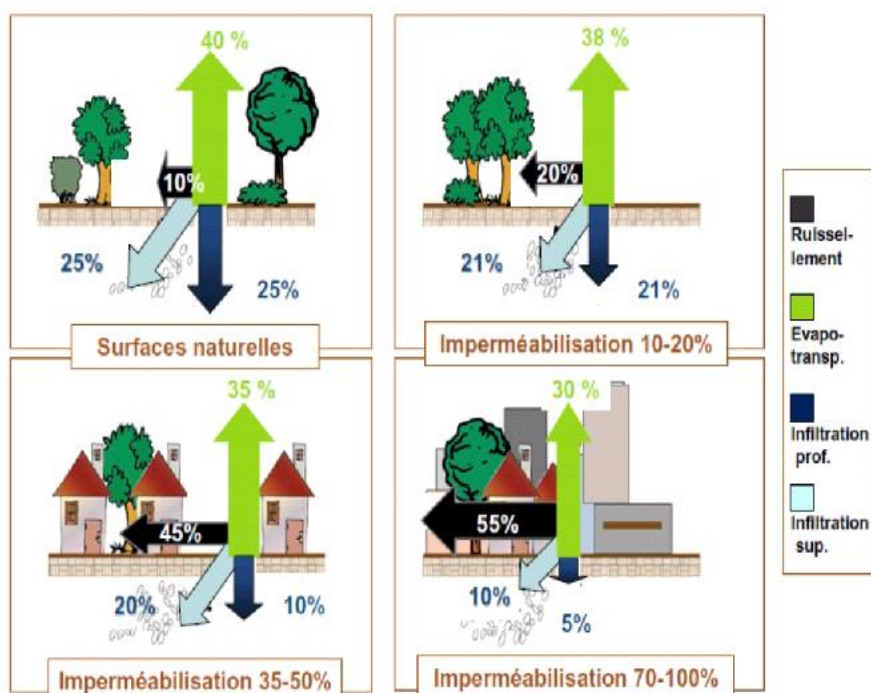


figure 2 : Modifications aux paramètres hydrologiques dues à l'urbanisation (adapté de FISRWG, 1998)

En effet, la situation climatique de la Tunisie est caractérisée, au cours des dernières décennies, par une augmentation des températures ambiantes et une diminution des précipitations. Elle est également caractérisée par une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les orages, les pluies torrentielles, les vagues de chaleur extrêmes et périodes de froid intense, et de sécheresse grave fréquentes. (Institut National de Météorologie (INM...)).



figure3 : inondation au plein centre-ville de Tunis submergent la ville le 18 octobre 2018.
Crédit photo : Fethi Belaid/AFP, (Inkyfada)

Les études menées sur les inondations enregistrées au début des années 2000 (source Bceom-Sirus – 2005, Egis Bceom International / IAU-IDF / BRGM, 31 janvier 2011), ont montré que les effets des crues importantes (période de retour 100 ans) sont conséquents de perte de vies humaines, destruction d'infrastructures, dysfonctionnement de la capitale sur plusieurs jours.

Le réseau d'eaux pluviales est incapable d'absorber l'eau provenant des pluies torrentielles fréquentes provoquant des inondations aux quartiers urbanisés. L'évacuation rapide et efficace des eaux pluviales par la mise en place de réseaux de drainage est devenue couteuse. Les canalisations des centres villes sont anciennes, leur capacité, comme celles des stations d'épuration, est limitée par rapport à la demande et aux nouvelles zones urbaines. Elles sont incapables de résoudre les problèmes des inondations en aval qui seront en cause d'une pollution accrue des milieux récepteurs.

Sur le plan institutionnel, la gestion des réseaux d'eaux pluviales reste problématique et dépendante de plusieurs organismes dont les champs d'intervention ne sont pas clairement définis. Les communes sont responsables de la gestion des réseaux en conduites, mais ne sont pas assez outillées pour le faire. La direction de l'hydraulique urbaine responsable des cours d'eau en milieu urbain alors que le ministère de l'agriculture garde la main sur les Oueds. Les ouvrages annexes aux infrastructures de transport continuent à être gérés par le ministère de l'équipement et l'ONAS de sa part gère un ensemble d'infrastructures.

Des circulaires de la présidence du gouvernement insistent périodiquement sur les travaux d'entretien des réseaux à entreprendre par différentes institutions et des programmes à l'échelle des gouvernorats sont lancés notamment à l'approche des périodes de crues automnales.

Les inondations des zones urbaines ces dernières décennies nous incitent à chercher des solutions et à voir les expériences des autres pays qui ont des connaissances sur ce type de problème. Les principes d'une gestion intégrée de l'eau dans la ville sont progressivement formalisés et largement diffusés aujourd'hui. Une approche globale par bassin versant est conseillée. Cette approche consiste dans la prise en compte de l'eau dans l'urbanisme, la déconnexion des eaux pluviales des réseaux d'assainissement et l'utilisation de techniques alternatives aux réseaux d'assainissement.

Les recherches récentes ont mis en évidence que les ouvrages d'infiltration sont un moyen très efficace pour tenir la pollution des eaux pluviales, composée essentiellement de particules, dans les premiers centimètres du sol. Des techniques de stockage sont proposées afin d'éviter les turbulences, ils participent efficacement à la dépollution. (Région Rhône-Alpes, 2006).

1. LA GESTION DE L'EAU EN SITES URBAINS

Les approches et tendances récentes en gestion des eaux pluviales optent pour les méthodes et techniques alternatives aux réseaux avec des principes simples pour mieux gérer l'eau de pluies. Ces approches visent conjointement trois objectifs : Limiter les risques d'inondation, Limiter les risques de pollution et Intégrer la gestion des eaux pluviales dans l'aménagement. Elles privilégient la réduction des volumes de ruissellement. Elles comprennent des techniques impliquant l'infiltration, l'évapotranspiration et la réutilisation des eaux pour différents usages, plutôt que de l'évacuer dans des stations d'épuration ou en milieu naturel avec la charge polluante qu'elle contient. Ces pratiques sont applicables au plus près possible de la source.

Une stratégie de gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain est nécessaire, basée sur les avancées technologiques et méthodologiques. La gestion des eaux pluviales est l'affaire du particulier, il s'agit de la gestion d'eau dans la parcelle ; l'aménageur, lors de la planification urbaine de la collectivité territoriale, participe à développer l'approche à adopter. L'état a pour rôle l'orientation.

L'intégration de la gestion des eaux dans les projets d'aménagement urbain améliore le cadre de vie, réduit la pollution du milieu naturel, lutte contre la saturation des réseaux d'assainissement, participe à la prévention et gestion des inondations, crée des espaces bio diverses, lutte contre les îlots de chaleur dans le cadre du réchauffement climatique, etc.

L'intégration des techniques alternatives dans la gestion des eaux pluviales dès le début d'un projet d'aménagement permet d'identifier les options les plus optimales pour enrichir le projet. Plusieurs acteurs mettent en place solutions multiples en place aux échelles les plus adaptées. Les

techniques interactives de la gestion de l'eau pluviale sont des solutions de gestion « à la source », ils diffèrent de la gestion d'eau traditionnelle où toute l'eau est conduite par des réseaux aux milieux récepteurs ; la gestion commence au plus près de là où la pluie tombe.

La gestion intégrée de la pluie permet de surcroît une meilleure maîtrise des coûts d'investissement et de fonctionnement par rapport aux équipements lourds de stockage et de réseaux souterrains.

1.1. LES ENJEUX DE LA GESTION A LA SOURCE DES EAUX PLUVIALES

Aménagement du territoire : l'un des enjeux d'une gestion intégrée des eaux pluviales est le développement de l'aménagement du territoire dans des secteurs où les réseaux de collecte ne le permettent pas.

Participer à l'amélioration du cadre de vie : les espaces aménagés pour la gestion de l'eau, jouent (ou peuvent jouer, si ce n'est pas le cas dans la vie actuelle) le rôle d'un espace de vie collectif (au fait il faut écrire ou « jouent un rôle dans l'espace » ou « jouent le rôle d'un espace) (jardins, terrains de sport, placettes). Ils peuvent aussi jouer le rôle d'un espace paysager

Maîtriser les risques d'inondation : la gestion d'eau pluviale « à la source » a pour principe de réduire les risques d'inondation :

- réduire l'imperméabilisation des zones urbaines afin de réduire le ruissellement d'eau vers les milieux naturels et le risque d'inondation en aval
- limiter les volumes d'eau transportée par les égouts pour éviter leur débordement en aval (déconnexion et infiltration ou régulation).

Maîtriser les risques environnementaux : les différentes techniques de la gestion d'eau à la source ont pour objectifs :

- alimenter les nappes souterraines par l'eau de pluie ;
- éviter le ruissellement de l'eau et préserver les milieux naturels ; (cours d'eau, oued, plage...) des polluants chargeant l'eau de pluie
- disposer d'une bonne qualité d'eau potable et protéger l'eau sur le littoral destinée pour la baignade

L'infiltration de l'eau de pluie le plus proche de l'endroit où elle tombe permet d'alimenter naturellement les nappes et petits cours d'eau amont, participant au maintien du cycle d'eau naturel. De plus, les eaux pluviales infiltrées au plus près du lieu où elles tombent sont moins chargées en polluant ; ainsi la pollution est limitée au niveau des milieux récepteurs.

Optimiser les coûts la plurifonctionnalité des équipements permet d'optimiser le coût global des opérations et les coûts d'entretien. Le recours

à des solutions qui remplacent les réseaux de collecte permet d'optimiser les investissements en station d'épuration et de réduire les dépenses dues aux dégâts liés aux débordements.

1.2. LES PRINCIPES D'UNE GESTION INTEGREE DE L'EAU

Les techniques alternatives de la gestion de l'eau sont diverses et à géométrie variable. Elles sont efficaces pour la maîtrise du ruissellement pluvial sur la zone aménagée et peuvent s'adapter au site. (APUR, 2018 ; Grand Lyon, 2012 ; DEAL RÉUNION, 2012 ; DEAL d'Île-de-France, 2019 ; François D., 2019 ; Métropole de Lyon, 2014 ; Région Rhône-Alpes, 2006 ; SIAVB, 2018 ; Québec, 2011)

Limiter le volume de ruissellement en amont est la solution la plus efficace, puisqu'elle permet de ne pas modifier le cycle naturel de l'eau. Dans une zone urbaine, l'infiltration est la première solution envisageable pour gérer les eaux à la source. La partie du sol restant perméable d'une parcelle construite doit recevoir. Les eaux issues de toute la parcelle y compris la partie imperméabilisée. L'avantage de cette technique c'est d'éviter la concentration des flux d'eau, de réduire la pollution entraînée par le ruissellement et de maintenir l'alimentation naturelle des eaux souterraines. (DEAL d'Île-de-France, 2019 ; SIAVB, 2018)

Collecter l'eau de pluie des toitures dans une citerne. Ces eaux sont généralement peu polluées et peuvent être réutilisées pour l'arrosage, ou, sous certaines conditions, pour la chasse d'eau, lavage des sols, lave-linge, etc.... Cette solution a l'avantage de permettre des économies d'eau et d'éviter la saturation de la station d'épuration, de limiter les débordements et les rejets directs par temps de pluie, et donc de réduire la pollution des milieux récepteurs.

Si la collecte de l'eau pluviale ne peut être évitée, et afin d'éviter la saturation du réseau par temps de pluie, il est nécessaire de ralentir l'écoulement d'eau ou stocker l'eau temporairement avant son déversement, à débit contrôlé, dans le réseau d'assainissement.

Certains espaces publics peuvent être aménagés en lieu de stockage temporaire des eaux pluviales, en plus de leur vocation urbaine : terrain de sport, cour d'école, parkings, parcs et placettes... Ces surfaces peuvent être inondées occasionnellement. Une utilisation multiple de l'espace permet une optimisation des aménagements publics.

Le stockage temporaire est également possible en toiture selon des choix architecturaux différents : toitures végétalisées, toitures terrasses. (Région Rhône-Alpes, 2006 ; SIAVB, 2018 ; Québec, 2011).

1.2.1 Limiter le volume de ruissellement par infiltration

L'infiltration est une solution envisageable pour gérer les eaux à la source et permettant le respect du cycle hydrique naturel.

Un terrain naturel permet à une partie de l'eau de s'infiltrer naturellement sur place. Ceci peut être observé sur une partie du sol restant perméable d'une parcelle construite. Des aménagements simples permettent à la partie non construite du sol de recevoir et d'infiltrer les eaux issues de la partie imperméabilisée. Pour cette raison, il est généralement nécessaire de réaliser un volume de stockage permettant de retenir l'ensemble des eaux produites pour le temps nécessaire à les infiltrer dans le sol.

➤ **Les variables-clés de l'infiltration** (RÉUNION, 2012 ; SIAVB, 2018)

S'il n'y a pas de contraintes empêchant l'infiltration des eaux pluviales sur un projet, trois paramètres principaux permettent de dimensionner les ouvrages d'infiltration.

un sol saturé à une perméabilité (k_s), mesurée en m/s. Ce paramètre dépend de la granulométrie du sol (tableau en encadré) : un sol riche en particules très fines comme des argiles ou des limons présentera très peu de vides où l'eau peut s'écouler, et aura une faible perméabilité. A l'opposé, le gravier permettra un écoulement très rapide.

la surface effective de l'ouvrage d'infiltration (A_{inf}), mesurée en m^2

Tableau 1 : capacité d'infiltration d'un sol en fonction de sa granulométrie

Conductivité hydraulique K_s (m/s)	$10^{-1} - 10^{-3}$	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-6} - 10^{-7}$	$10^{-8} - 10^{-11}$
Types de sols	Gravier sans sable ni élément fin	Sable avec gravier, sable grossier à sable fin	Sable très fin, sable limon grossier à limon argileux	Argile limoneuse à argile homogène
Capacité d'infiltration	Excellente	Bonne	Moyenne à faible	Nulle

Les principaux dispositifs d'infiltration (APUR, 2018 ; Grand Lyon,

20011,2012 ; DEAL RÉUNION, 2012 ; DEAL d'Île-de-France, 2019 ; Métropole de Lyon, 2014 ; Région Rhône-Alpes, 2006 ; SIAVB, 2018)

Noues, tranchées et jardins de pluie sont des ouvrages qui réalisent l'infiltration sur des faibles profondeurs (moins de 1 m). Ce sont des solutions simples à mettre en œuvre, mais elles ont des emprises relativement importantes.

Les noues sont des fossés peu profonds, leurs bords sont en pente faible. Elles stockent les eaux de pluie et les infiltrent sur leur surface. Leur forme et leur aménagement paysager pouvant être très variables (gazon, plantes, enrochements, etc.), les noues s'adaptent aussi bien à des jardins de pavillon qu'aux immeubles collectifs. En outre, la faible pente des bords permet de les installer dans l'espace public sans risque pour les usagers. Les noues ont besoin d'un entretien comme tout espace vert (entretien des plantes, enlèvement des feuilles mortes, etc.).

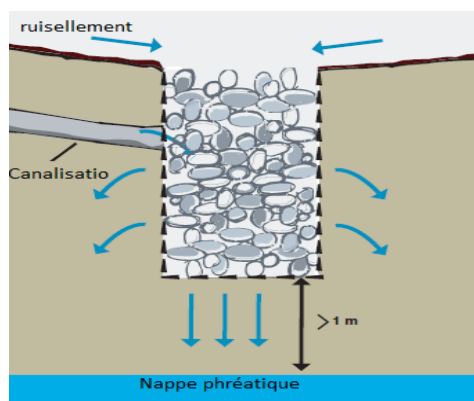
Les tranchées sont des ouvrages linéaires et peu profonds. Elles sont remplies de matériaux présentant un indice de vide important (gravier, etc.). Le volume disponible pour stocker l'eau est réduit par rapport aux noues, mais l'avantage est que la tranchée



figure4 : Noue de Palaiseau source siavb, règlement d'assainissement-2018)



figure5 : Jardin de pluie à Palaiseau source siavb, règlement d'assainissement-2018)



puits d'infiltration ; (Région Rhône-Alpes, 2006)

peut être enterrée (typiquement le long d'une allée ou d'une voie d'accès) en réduisant son emprise au sol.

Les jardins de pluie sont des espaces aménagés pour recevoir les eaux de pluie. Ils font partie des jardins ou des espaces publics, généralement en zones basses. Ils peuvent être remplis de matériaux drainant, afin d'avoir un volume important de stockage des eaux, les plantes choisies doivent être adaptées à un sol humide.



figure 7 : revêtement poreux Bruxelles
(Guide Bâtiment Durable .Brussels, 2018)

Lorsque la surface imperméable dont les eaux doivent être infiltrées est grande, il peut être nécessaire de recourir à **des bassins d'infiltration**. Il s'agit généralement d'ouvrages ayant une emprise au sol et/ou un volume importants. Les bassins d'infiltration sont à ciel ouvert.

Puits et puisards permettent de stocker et d'infiltrer les eaux de pluie plus en profondeur que les noues et tranchées, réduisant par conséquent le besoin de surface au sol. Ils permettent l'infiltration lorsque les sols sont peu perméables. Ils peuvent être comblés de matériaux poreux (cailloux, graviers) ou tout simplement sous forme de creux vide.

Les revêtements poreux

En complément des ouvrages d'infiltration, l'utilisation de matériaux de surface poreux au lieu de revêtements imperméables réduit le ruissellement pluvial. Ces solutions sont adaptées aux surfaces comme les parkings, les passages empruntés par les piétons, les entrées de garage ou les terrasses. On distingue trois types de revêtements poreux : Les dallages non jointifs, Les dallages poreux, Les dallages engazonnés ou surfaces engazonnées.

L'infiltration des eaux de voirie

Deux solutions principales existent pour stocker et infiltrer les eaux de voirie :

- infiltrer directement sous la chaussée avec une structure réservoir filtrante ;
- infiltrer au bord de la chaussée par des noues, fossés, ou tranchées.

La première solution :

Une chaussée à structure réservoir permet de stocker l'eau dans le corps de la chaussée. L'injection de l'eau se fait soit par infiltration au travers d'un revêtement de surface drainante (enrobé drainant ou pavé poreux), soit par l'intermédiaire d'un système de drains. L'évacuation d'eau est assurée par infiltration et/ou de manière régulée vers un exutoire. La chaussée doit donc être adaptée, avec l'introduction d'une structure réservoir remplie de matériaux poreux ou d'une structure alvéolaire. Le stockage est temporaire dans le corps de la chaussée

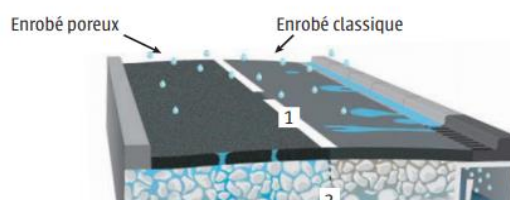


Figure 8 : Schéma de chaussée à structure réservoir source siavb, règlement d'assainissement-2018)

En général, l'infiltration via des chaussées à structure réservoir a l'avantage de ne pas demander d'emprise supplémentaire par rapport à la chaussée elle-même. L'inconvénient est que la structure de la chaussée doit être modifiée, ce qui limite souvent l'adoption de ce type de solution à des nouvelles voies ou à des interventions importantes sur des voies existantes.

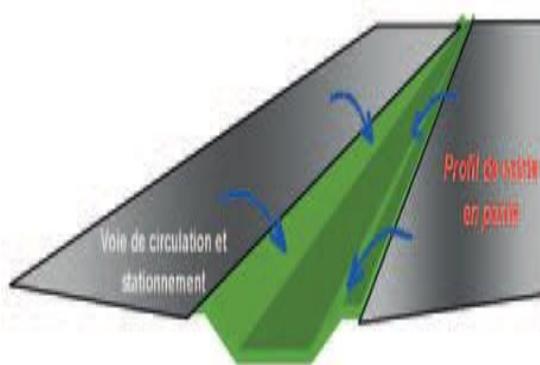


figure 9: Noue de terre-plein central : collecte, stockage et acheminement (guide eaux pluviales ; Reunion)

La deuxième solution consiste à border la chaussée par une structure linéaire d'infiltration comme une noue ou une tranchée. L'avantage de cette solution est de ne demander aucune modification de la chaussée en elle-même, et de pouvoir donc être appliquée indépendamment des contraintes éventuelles de trafic ou de structure



figure 10 : Noue plantée, rue Galien, Saint-Ouen (réf : pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole |APUR)

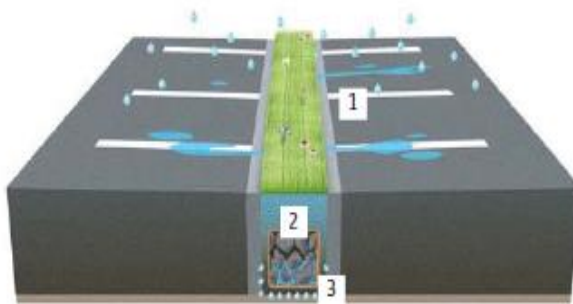


figure11 : Schéma de parking drainé par une noue ou un tranché. Source : ADOPTA, 2010

- 1) les eaux de pluie ruissellent sur l'enrobé étanche pour alimenter directement en surface la tranchée/noue.
- 2) Elles se stockent temporaire dans le massif drainant ;
- 3) Elles s'Infiltrent dans le sol.

L'ensemble des solutions proposées peut permettre, si le sol est suffisamment perméable, de gérer l'ensemble des eaux de voirie sur place et de satisfaire donc à la réglementation.

Dans certaines situations, les caractéristiques du sol ou du projet peuvent limiter la possibilité d'infiltrer :

1. **Niveau de la nappe.** le niveau hivernal (maximum) de la nappe doit se trouver au moins 1 m en dessous du radier de l'ouvrage d'infiltration.



figure 12 : Reprise des bordures des jardinières et des joints des pavés existants. Contre allée du cours de Vincennes, Paris 12e .
Photomontage Apur

2. **Présence d'aléas géologiques.** Certains sols ont des comportements mécaniques incompatibles avec l'infiltration telle que le gypse (risques de dissolution) et les couches d'argile (risques des gonflements).
3. **Proximité de bâtiments.** on évite la réalisation d'ouvrages d'infiltration qui concentrent des volumes d'eau importants à moins de 3 m des constructions.
4. **Risque de pollution de la nappe.** pour l'infiltration d'eaux issues de toitures, terrasses etc., un puisard de décantation peut être envisagé pour protéger l'ouvrage d'infiltration. pour les eaux de voirie ou de parkings des ouvrages de dépollutions appropriées doivent être mis en place avant l'infiltration (déshuileurs, etc.).

1.2.2. Limiter le volume de ruissellement par réutilisation des eaux pluviales

Récupérer et utiliser les eaux pluviales est une solution économique et durable qui permet de préserver la ressource.



L'utilisation de l'eau récupérée pour l'arrosage et d'autres usages extérieurs ne demande pas de précautions particulières, et une citerne hors-sol alimentée par les gouttières peut être facilement installée. Cette solution est fortement conseillée pour l'habitat pavillonnaire. Cependant, le volume d'eau qui est utilisé ne permet pas de gérer des pluies importantes. Par conséquent, cette solution ne peut pas remplacer complètement des ouvrages d'infiltration.

Les usages de l'eau à l'intérieur des bâtiments (chasse d'eau, lavage des sols, etc.) permettent de gérer des volumes d'eau significatifs, particulièrement dans des bâtiments collectifs ou publics lorsque le nombre d'utilisateurs est important. Un système de distribution séparé est nécessaire, cette solution se limite à des nouvelles constructions ou à des situations spécifiques.

Les citernes peuvent être enterrés et équipés d'un volume supplémentaire qui se vidange à débit limité, visant à garantir qu'à l'arrivée d'une pluie une capacité de stockage suffisante est toujours disponible.

1.2.1. Limiter le volume de ruissellement par évapotranspiration

Tout ouvrage végétalisé permet d'évacuer une partie des eaux pluviales vers l'atmosphère. Lorsqu'il n'est pas possible d'infiltrer, l'eau sera gardée en surface, sur un sol planté. Cette technique permet de gérer à la parcelle au moins 8 mm de précipitations en 24 heures.

Les solutions pour favoriser l'évapotranspiration à la parcelle sont nombreuses :

Les toitures végétalisées, qui permettent d'utiliser la surface des toits pour stocker et gérer l'eau ;

Les noues et les jardins de pluies. Lorsque l'infiltration n'est pas possible, ces ouvrages sont imperméabilisés au fond, souvent par un géotextile. Ils fournissent alors un volume de stockage dans le sol et en surface, et leur végétalisation permet de réduire le volume d'eau envoyé vers l'aval.



figure 14 : récupération à l'ancienne (Photo: E. Verdeil)(Ali B., Éric V., 2009)



figure15 : Toit végétale (1-centre urbain Nord, 2-la Marsa)

1.2.2.Limiter le débit de ruissellement

Lorsque l'infiltration ou les autres techniques de réduction des volumes ne permettent pas de gérer à la parcelle l'intégralité de la pluie, il est nécessaire de stocker et ralentir le ruissellement. L'objectif de la rétention à la parcelle est d'envoyer l'eau vers les réseaux d'assainissement et le milieu naturel Sabkha et oued selon le bassin versant à un débit limité, pour éviter de les saturer et de créer des inondations à l'aval.

Un règlement à l'échelle de l'agglomération est nécessairement préparé par le DHU ou à l'échelle intercommunale entre communes du même bassin versant et ce règlement fixe :

- La gestion sur place les pluies courantes
- la limite de débit envoyé vers l'aval par hectare pour une pluie de période de retour donné.
- La quantité d'eau à gérer par parcelle pour une durée donnée afin de réduire le débit envoyé vers l'aval.

La technique « classique » pour limiter le débit est la construction d'un bassin de rétention de l'eau de pluie qui stocke les eaux pluviales avant son rejet vers le milieu naturel ou le réseau d'assainissement. Ce procédé permet lors de forte pluie de réguler le débit de rejet et d'éviter les crues. C'est un dispositif de lutte contre les inondations.

Ces bassins de rétention peuvent remplir d'autres fonctionnalités que le simple stockage des eaux pluviales. Les bassins peuvent, en effet, avoir un rôle urbanistique ou paysager (par exemple, square ou terrain de sport « inondable », bassin en eau, etc.) (Région Rhône-Alpes, 2006 ; siavb, 2018).

En effet, ces ouvrages multifonction ont l'avantage que la surface foncière occupée par le bassin est utilisée pour d'autres fonctions et que les coûts de construction et d'entretien du bassin de rétention sont mutualisés avec les autres fonctions, produisant des économies dans le projet tout au long de sa vie.



figure 16 : Terrasse de rétention d'eau Beynost (Région Rhône-Alpes, 2006)

2. CADRE REGLEMENTAIRE ET ACTEURS RESPONSABILITES DE LA GESTION D'EAU DE PLUIE

Le développement des techniques de gestion des eaux pluviales nécessite une révision des cadres réglementaires au niveau du code de l'aménagement du territoire et d'Urbanisme « CATU ».

Le code de l'aménagement du territoire de l'urbanisme et de la construction est en cours de révision et remplace le CATU. IL prévoit que l'approche de l'aménagement du territoire repose sur les principes et concepts de la gestion durable des eaux ; il stipule que les schémas directeurs d'aménagement doivent définir les orientations nationales pour se protéger des risques des catastrophes naturelles dus aux changements climatiques. Il prévoit aussi la création des institutions sectorielles pour la protection contre les inondations et pour le raccordement des réseaux divers. La gestion d'eau pluviale peut trouver une traduction réglementaire dans la rédaction des PAU

Le code de l'aménagement du territoire de l'urbanisme et de la construction ne stipule pas le recours aux techniques de gestion d'eau à la source. Seuls un décret et un arrêté ministériel sont dans le règlement tunisien à la faveur de gestion d'eau à la source. Soit :

- Décret gouvernemental n° 2018-171 du 19 février 2018, portant promulgation de quelques règlements généraux de construction relatifs à l'équipement des constructions par des bâches de collecte et de stockage des eaux pluviales récupérées des terrasses des bâtiments non accessibles

- Arrêté du ministre de l'Équipement, de l'Habitat et de l'Aménagement de Territoire du 19 février 2018, complétant l'arrêté du 17 avril 2007, portant définition des pièces constitutives du dossier de permis de bâtir, des délais de validité et prorogation et des conditions de son renouvellement

Étant donné que la majorité de l'habitat est individuel, le décret et l'arrêté ministériel participe à l'amélioration de la gestion d'eau pluviale par

une méthode de gestion d'eau à la source. La gestion des eaux pluviales à la parcelle est jusqu'aujourd'hui la responsabilité des citoyens ou des promoteurs immobiliers. La gestion de l'eau sur voirie et espace public n'est pas encore développée même à l'échelle des textes.

Le code de collectivité locale prévoit que les collectivités locales soient responsables de la réalisation et l'entretien des réseaux d'eaux pluviales à l'exception des ouvrages de protection contre les inondations.

Le code stipule que l'entretien des équipements et ouvrages des cours d'eau et des eaux pluviales, leur réparation et leur mise en place ainsi que la maintenance des ouvrages destinés à la prévention contre les inondations, est une responsabilité partagée entre collectivité locale et pouvoir central.

La gestion des eaux pluviales interpelle de nombreux acteurs, de la planification urbaine à l'entretien des ouvrages. Les collectivités locales peuvent réaliser des aménagements de gestion d'eau pluviale alternative aux réseaux. Ces aménagements sont proposés et réfléchis dès le début du projet urbain, grâce à l'instauration des lois et des réglementations, aux orientations du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux, à la stratégie de gestion des risques d'inondation et d'adaptation au changement climatique. L'Etat prescrit des modalités de gestion des eaux .Il prépare une stratégie nationale et à l'échelle des grandes agglomérations telle que le Grand Tunis par le pouvoir central (ministères de l'Intérieur, de l'Environnement, de l'Agriculture, des collectivités locales, de l'Équipement...).

Dès les étapes de planification et d'urbanisme, les collectivités locales (élu et services techniques) ou structures intercommunales se doivent d'intégrer la gestion de l'eau dans les stratégies de développement économique et d'aménagement du territoire. En fixant les grandes orientations pour l'assainissement des eaux pluviales et en choisissant l'adoption des méthodes alternatives de gestion des eaux pluviales, avec des coûts maîtrisés, ils peuvent imposer des contraintes pour l'urbanisation et les aménagements futurs liées à la gestion des eaux pluviales. Les collectivités territoriales sont responsables de la gestion des eaux pluviales et du règlement l'aménagement des sols par son document d'urbanisme.

Lors de la mise en œuvre d'un projet d'aménagement, les concepteurs (aménageurs, architectes, paysagistes, hydrologues et ingénieurs VRD ou hydrauliciens) prennent le relais. Ils doivent concevoir le projet en tenant compte des principes de gestion de l'eau en cohérence avec le cadre défini précédemment. Une bonne concertation permet de combiner la gestion de l'eau avec l'aménagement paysager et le développement d'espaces de vie communs ou des espaces verts. Dans une approche territoriale plus large, une analyse hydrologique permet de resituer l'opération dans son bassin versant, et d'intégrer les relations amont-aval.

Afin de développer des méthodes de gestion d'eau pluviale et de choisir les méthodes adaptées pour la Tunisie une ouverture avec l'université et la recherche dans ce domaine des gestions hydraulique s'aviaire nécessaire. L'enjeu essentiel reste que les documents de planification

intègrent un emboîtement cohérent à des différentes échelles d'intervention du national au local.

CONCLUSION

Le développement du territoire impacte souvent la gestion des eaux pluviales. L'aménagement du territoire peut être dans plusieurs situations adapté afin de minimiser l'impact du développement du territoire sur la gestion de l'eau pluviale.

Cet article présente des principes d'aménagement permettant de réduire les impacts des eaux pluviales en planifiant adéquatement dès le début le développement d'un site. Il présente des techniques de gestion des eaux pluviales la source utilisée par d'autres pays que la Tunisie.

L'objectif de la rétention à la parcelle est de limiter le volume de ruissellement afin de préserver le cycle naturel de l'eau et de **limiter le débit de ruissellement**. Pour gérer les eaux à la source, l'infiltration est la première solution envisageable. L'avantage est d'éviter de concentrer la pollution entraînée par le ruissellement et de maintenir l'alimentation naturelle des eaux souterraines. Collecter l'eau de pluie des toitures dans une citerne est une solution qui a l'avantage de permettre des économies d'eau et d'éviter la saturation de la station d'épuration.

Si la collecte ne peut être évitée, les eaux doivent être ralenties ou stockées temporairement avant d'être envoyées vers le milieu récepteur à un débit limité, pour éviter de les saturer et de créer des inondations à l'aval.

Une mise en œuvre de stratégies pertinentes et durables de gestion des eaux pluviales est possible si les approches sont globales, cohérentes, concertées et intégrées. Une évolution des méthodes de travail, se traduit par 5 points :

- Considérer la gestion des eaux pluviales très en amont dans le processus d'étude du projet. L'utilisation de techniques alternatives contribue à la structuration de l'espace à aménager.
- Établir les objectifs du projet avec précision. Les ouvrages de gestion des eaux pluviales constituent souvent des espaces multi-usagers.
- Prendre en compte la durée de vie des ouvrages à partir de leur conception. Il faut étudier très en amont les moyens nécessaires à l'entretien des ouvrages. Les services concernés doivent être impliqués dans la conception,
- Organiser une concertation pluridisciplinaire. Dans cette démarche, de nombreuses compétences relatives à l'aménagement et au fonctionnement du territoire sont nécessaires : les urbanistes, aménageurs, paysagistes, hydrologues et écologues doivent travailler ensemble. Une concertation avec la collectivité, et ce le plus en amont possible, est indispensable
- Réduire les risques hydrologiques extrêmes. Les ouvrages sont dimensionnés pour assurer un certain niveau de protection.

Un projet urbain qui tient compte de la gestion et de la valorisation des eaux pluviales se compose de 4 phases

PHASE 1 : De diagnostic qui comprend : les potentialités et les contraintes du site, caractéristiques physiques, hydrauliques et écologiques du site, caractéristiques humaines : contexte social, activités envisagées, densité, usages, traitement paysager souhaité ; contexte réglementaire en matière d'urbanisme et d'environnement

PHASE 2 : L'esquisse du «plan- masse» qui comprend les modifications engendrées par le projet et les réponses apportées aux contraintes identifiées en phase 1 ; Identification des espaces collectifs et privés mobilisés pour la gestion des eaux pluviales ; Étude hydraulique sommaire ; Évaluation des impacts qualitatifs sur les eaux superficielles et souterraines

PHASE 3 l'Avant projet ; Conception du projet ; Dimensionnement des ouvrages (mécanique, hydraulique, pollution) ; Optimisation de l'aménagement : coûts et fonctionnalités

PHASE 4 Le projet : Finaliser le projet ; qui doit comprendre une disposition précise du bâti et des éléments paysagers ; les procédures nécessaires pour l'entretien des ouvrages afin d'assurer leur pérennité ; un dispositif réglementaire au niveau du lotissement et du PAU de la commune

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Agence d'urbanisme du grand Tunis (AUGT); 2019; Livre blanc de l'aménagement territorial et urbain du Grand Tunis phase1
- 2) Agence d'urbanisme du grand Tunis (AUGT); 2009, Bilan de l'urbanisation du Grand Tunis 2002-2009
- 3) Ali Bennis, Éric Verdeil. Gestion publique de l'eau potable, développement urbain durable et majel-s (citernes pour l'eau de pluie) à Sfax (Tunisie). Flux - Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et territoires, Metropolis / Université Paris-Est Marne la Vallée 2009, pp.38-50. ffhshs-00424458f
- 4) Arrêté du ministre de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement de territoire du 19 février 2018, complétant l'arrêté du 17 avril 2007, portant définition des pièces constitutives du dossier de permis de bâtir, des délais de validité et prorogation et des conditions de son renouvellement.
- 5) Atelier Parisien d'Urbanisme APUR ; nov2018, référence pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole chainer2, comment gérer les eaux de pluie à la source, https://www.apur.org/sites/default/files/documents/publication/etudes/referentie_l_gestion_source_eaux_pluviales_metropole_cahier2.pdf
- 6) Bruxelles Environnement ; 2018 ; guide bâtiment durable
- 7) Décret gouvernemental n° 2018-171 du 19 février 2018, portant promulgation de quelques règlements généraux de construction relatifs à l'équipement des constructions par des bâches de collecte et de stockage des eaux pluviales récupérées des terrasses des bâtiments non accessibles.
- 8) Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement- DEAL RÉUNION, oct. 2012, Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_eaux_pluviales_reunion_cle575121.pdf
- 9) Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'Île-de-France DEAL d'Île-de-France , Fév. 2019, Bien gérer les eaux de pluie Principes et pratiques en Île-de-France http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plaquette_-_bien_gerer_les_eaux_de_pluies_-_driee_-_2019_vf_.pdf
- 10) Egis Bceom International / IAU-IDF / BRGM, 31 janvier 2011, Adaptation au changement climatique et aux désastres naturels des villes côtières d'Afrique du Nord Phase 1 : Évaluation des risques en situation actuelle et à l'horizon 2030 pour la ville de Tunis :
- 11) <http://www.egis-bceominternational.com/pbm/>
- 12) François de Dianous, sept. 2019, La Gestion intégrée des eaux pluviales – FdD /, IUAR Master FC 2018/2019 <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02389275/document>
- 13) Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998. Stream Corridor Restoration. Principles, Processes, and Practices.: FISRWG.
- 14) Grand Lyon , mars 2012, Aménagement et eaux pluviales Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/assainissement/20130530_gl_gestion-integree-eauxpluviales.pdf
- 15) GRAND LYON, nov.2011, - Préconisations relatives à la mise en place de toitures végétalisées

- https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/assainissement/20131018_gl_eauxpluviales_guidetoituresvegetalisees.pdf
- 16) Grand Lyon - Fiche n°02 : Fossés et noues
http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_02_fosses_noues.pdf
 - 17) Québec, 2011, Guide de gestion des eaux pluviales, Avec la participation de : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire
 - 18) <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>
 - 19) Loi organique n° 2018-29 du 9 mai 2018, relative au code des collectivités locales (1)
 - 20) <https://www.leaders.com.tn/article/31467-tunisie-le-majel-pour-surmonter-la-crise-de-l-eau-potable>
 - 21) Métropole de Lyon - Direction de l'eau, 2014, Aménagement et eaux pluviales Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon
 - 22) https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/assainissement/20150126_gl_eauxpluviales_guidepollution.pdf
 - 23) <https://inkyfada.com/fr/2020/09/29/causes-inondations-tunisie/>
 - 24) Ministère de l'Équipement, de l'Habitat, et de l'Infrastructure, fev.2020, Projet de Code d'aménagement et de développement du territoire et de l'urbanisme
 - 25) Région Rhône-Alpes, Novembre 2006, Pour la **gestion des eaux pluviales ;**
Stratégie et solutions techniques,
https://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/PlaqTA.pdf
 - 26) Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement de la Vallée de la Bièvre (SIAVB), 2018, La gestion des eaux pluviales sur le territoire du SIAVB
 - 27) https://www.siavb.fr/iso_album/siavb_reglement_d_assainissement_-_2018_annexe_5.pdf

DIMENSIONNEMENT ET SUIVI D'UNE PAROI CLOUEE DE 20 M. DE PROFONDEUR

Mounir BOUASSIDA : Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis.,
Foued KANOUN : Expert indépendant en géotechnique
Slaheddine HAFFOUDI: Directeur, Hydrosol-Fondations

RÉSUMÉ : La construction d'une clinique privée au gouvernorat de l'Ariana (cité Ennasr) composée de cinq étages, y compris trois sous-sols, a nécessité l'exécution d'une excavation de profondeur variant de 12 à 20 m de profondeur. Le profil géotechnique est composé d'une couche de marne fissurée, hors nappe d'eau, jusqu'à 30 m de profondeur. Pour assurer la stabilité de l'excavation, l'exécution d'une paroi clouée avec un parement en béton projeté, avec un treillis soudé, a été décidée. Un système de renforcement par des clous et tirants d'ancrage de longueur variable de 4 à 18 m a été exécuté. Le présent article traite du dimensionnement de la paroi clouée, conduit avec le logiciel Plaxis 2D, incorporant une exécution par étapes. Les mesures des déplacements horizontaux à l'aide d'inclinomètres sont avérés largement inférieures à ceux prédits par le logiciel Plaxis. Une analyse rétrograde a permis de conclure que le module de rigidité du sol en place est de l'ordre dix fois celui du module pressiométrique pour retrouver le déplacement de la paroi clouée.

MOTS CLES : paroi clouée, excavation, déplacement horizontal, clouage.

DIMENSIONING AND MONITORING OF A 20 M. DEEP NAILED WALL

ABSTRACT: A 12 to 20 m deep excavation in urban area revealed necessary to build a health care center having five floors including three basements at Ariana City (Tunisia). Geotechnical conditions mainly consisted in a very stiff fissured marl layer extending to 30 m deep with no presence of water table. A designed nailed wall with shot-crete facing and a double wire-mesh served as a lateral support of the excavation comprising the installation of nails with different length from 4m to 18 m. This paper presents the design of the nailed wall performed by Plaxis 2D software using Mohr-Coulomb model for the soil and taking into account the in-situ stage construction. Observed lateral wall movements from inclinometer measurements were significantly smaller to those predicted by the numerical analysis. Back analysis showed that a ratio equals to 10 of the soil deformation modulus to the pressure meter modulus would give comparable lateral displacements of the nailed wall.

KEYWORDS: nailed wall, excavation, horizontal displacement, nailing.

تصميم ومتابعة لبناء غطاء مثبتا بالمسامير لحفرية عميقة

ملخص. في إطار مشروع بناء مصحة متعددة الاختصاصات ذات خمسة طوابق في ولاية أريانة (حي النصر) تم اللجوء إلى إنجاز حفرة يتراوح عمقها بين 12 و 20 مترا لتشمل ثلاث طوابق تحتية للمبنى. و حيث يشمل القص الجيوتقني على تربة صلبة تتخللها إنشاقات بدون وجود مائدة مائية. و للتمكن من إنجاز الحفرية العميقة بدون دروع أفقية تم اللجوء إلى عملية تقوية التربة بمسامير حديدية يتراوح طولها من 4 إلى 18 مترا مثبتة على أطراف الحفرية بغطاء من الخرسانة المسلحة. ويتطرق هذا البحث إلى تصميم و حساب الغطاء المقوى بالمسامير « Paroi clouée » عن طريق المبرمج Plaxis الذي يشمل على كل المراحل التي تمر بها عملية البناء و قد تم التثبت من نجاعة هذا الغطاء المقوى بالمبرمج الرقمي بمتابعة التحرك الافقي لأطراف الحفرية بألة قياس « Inclinomètre » أثناء فترة الإنجاز. و من ثم استخلص أن الخصائص التي تم اعتمادها لنمذجة التربة كانت منخفضة جدا حيث أن التقدير الرقمي للتحرك الافقي كان عاليا.

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)

INTRODUCTION

Les travaux d'excavation à ciel ouvert nécessitent des solutions de soutènement accompagnées d'un suivi lors des travaux de l'évolution du déplacement horizontal qui ne doit pas dépasser une valeur admissible. Dans le cas d'une excavation profonde et de grandes dimensions en plan, notamment en milieu urbain, le renforcement par clouage impliquant une construction par étapes est souvent recommandé. C'est dans ce contexte que s'est déroulée la construction de la polyclinique Amilcar à la cité Ennasr (Gouvernorat Ariana) qui est composée de cinq étages dont trois niveaux sont enterrés.

Le terrain en pente de ce projet présente une dénivellée de 9m entre les limites Est et Ouest, alors que la construction du bâtiment nécessite une excavation de 12 m de profondeur du côté Ouest et atteignant 20,5 m de profondeur du côté Est.

Les bords de l'excavation sont entourés par des bâtiments d'habitation existants des côtés Nord et Sud à une distance de 7m, la route de Borj Turki du côté Ouest et un parking automobile du côté Est. Les bâtiments d'habitation existants sont fondés sur des semelles encastrées à la profondeur 2m par rapport aux niveaux de leurs sous-sols.

En raison de la grande profondeur et des dimensions en plan étendues de l'excavation un mode de soutènement latéral est exigé pour assurer à la fois la stabilité des bords et du parement de l'excavation et également pour contrôler les déplacements engendrés auprès des bâtiments environnants.

Le système de soutènement latéral adopté pour assurer l'exécution de l'excavation a consisté en une paroi clouée avec un parement constitué d'un béton projeté.

Le présent article traite du dimensionnement, du suivi et du contrôle de l'exécution par étapes de l'excavation de 12 m à 20m de profondeur et de l'exécution des clous du type passif. En outre, une synthèse des résultats de mesures inclinométriques et des essais d'arrachement de clous a permis de procéder à la validation de prédictions numériques obtenues avec le logiciel Plaxis 2D.

1. BREF APERÇU DU CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

La reconnaissance géotechnique du site a comporté l'exécution de deux sondages carottés et deux sondages pressiométriques menés jusqu'à 30m de profondeur. La lithologie du site est caractérisée par une couche de marne argileuse surmontée d'une formation de marne fracturée très épaisse avec des intercalations de couches graveleuses d'épaisseur variant de 0,6 à 1,3 m. La présence d'une nappe d'eau n'a pas relevée sur la profondeur des sondages exécutés.

La coupe géotechnique adoptée pour le dimensionnement est résumée dans le tableau 1. Un poids volumique total de 20 kN/m^3 a été adopté pour

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)

les couches d'argile marneuse et de marne fracturée, d'épaisseurs respectives 6 et 24 m.

Tableau 1. Paramètres géotechniques retenus pour les couches de sol

Couche	E (MPa)	E_M (MPa)	φ' (°)	c' (kPa)
Marne argileuse	160	67	21	25
Marne fracturée	230	110	26	65

E: module de Young (déformation)

E_M : module pressiométrique

c' & φ' : cohésion drainée et angle de frottement drainé (résistance du sol à long terme).

SOLUTION DE SOUTÈNEMENT

Elle consiste en une paroi clouée construite selon les étapes détaillées ci-après. Les quatre premiers mètres de profondeur de l'excavation sont renforcés avec 4 lits de clous de type HA32 de longueur 4m, cette longueur réduite est due à la présence des bâtiments d'habitation environnantes (Figure1). Les espacements, horizontal et vertical, entre les clous sont respectivement égaux à 2m et 1m.

Le clouage se poursuit avec trois lits de clous, du type GEWI 500/550 rebars de longueur 18m, poursuivis de six lits de clous de même type de longueur 12 m. Tous les clous (HA32 et GEWI) qui ont une limite élastique (contrainte seuil) égale à 500 MPa sont espacés de 2m et 1,5 m respectivement suivant l'horizontale et la verticale.

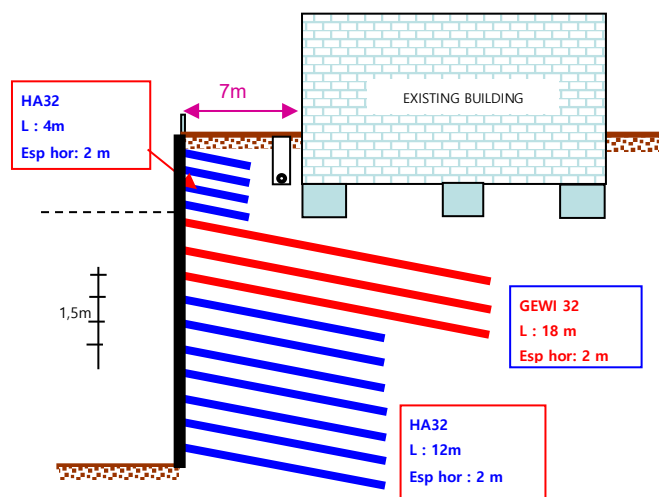


Figure 1. Coupe verticale de l'excavation sur le flanc gauche

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)

2. DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT PAR CLOUAGE

Le dimensionnement de la paroi clouée repose sur la considération de l'interaction sol-structure pour estimer les forces et déformations dans les éléments constitutifs du soutènement latéral et de vérifier la stabilité globale du système sol-paroi. Cette étude a été menée avec le logiciel Plaxis 2D qui permet de tenir compte de l'ensemble des phases de construction programmées pour l'exécution de la paroi clouée.

Le modèle de calcul adopté assimile, d'une part, le sol comme étant un milieu élastoplastique régi par la loi de comportement de Mohr-Coulomb, et, d'autre part, les clous sont assimilés à des éléments de poutre caractérisés par leur rigidité axiale EA, leur rigidité de flexion EI et un frottement latéral unitaire. Le parement des clous est assimilé à une plaque caractérisée également par une rigidité axiale et de flexion (Clouterre, 1992).

Le sol renforcé est décrit par un modèle de déformation plane construit avec le logiciel Plaxis 2D (version 9). L'option d'une construction par étapes comportant six étapes de calcul a été mise en oeuvre. Un dimensionnement du côté de la sécurité conduit à se restreindre à des prédictions numériques pour le cas plus défavorable correspondant à l'analyse du côté Est où la profondeur de l'excavation est maximale, soit de 20,5 m.

La construction par étapes adoptée consiste à activer, pour chaque phase de prédiction, deux rangées horizontales de clous et une profondeur d'excavation de 3m. Les phases de calcul sont les suivantes.

Phase initiale: remise à l'état initial des terres;

Phase 1 : excavation à 3 m de profondeur;

Phase 2 : activation de deux rangées de clous sur les 3 m de profondeur excavés, suivi d'une nouvelle excavation à 3 m de profondeur sous la phase précédente d'excavation;

Phase 3 : recommencer de nouveau la phase N° 2;

Phase finale: activation des clous exécutés durant la dernière rangée située à 2m au dessus.

La figure 2 montre les sorties du logiciel Plaxis en termes du déplacement total. La valeur maximale de ce déplacement est d'environ 4,68 cm autour de la tête du clou.

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)

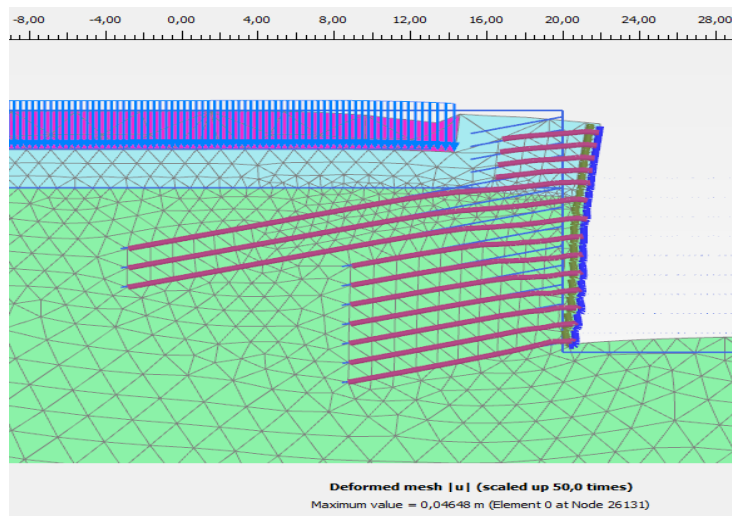


Figure 2. Prédiction du déplacement total à la fin de l'excavation (configuration du maillage déformé)

2. EXÉCUTION DE LA PAROI CLOUÉE

Les travaux d'excavation ont été précédés par la mise en place de trois tubes inclinométriques à mi-longueur et derrière le flanc Est, et les flancs Sud et Nord de l'excavation en vue de suivre les déplacements horizontaux lors de l'avancement des travaux. Pour chaque phase de l'excavation, de profondeur variant de 3 m à 4m, les positions des inclusions à exécuter sont repérées; les forages correspondants sont exécutés en conformité avec la longueur dictée par le dimensionnement qui varie de 4m à 18m et une inclinaison de 10° par rapport à l'horizontale. Ensuite, on procède à l'exécution des clous qui sont noyés dans un coulis d'injection à fort dosage en ciment.

L'exécution d'un treillis soudé d'épaisseur 20 cm est mise en oeuvre avec des panneaux préfabriqués. Les têtes des clous sont encastrés, à mi-épaisseur du treillis soudé, à l'aide d'une plaque métallique de dimensions $20 \times 20 \text{ cm}^2$.

Les Figures 3 et 4 illustrent les composantes du système de soutènement, à savoir:

- les clous exécutés dans les trous de forage inclinés;
- le maillage avec deux nappes d'acier assurant l'appui latéral des clous séparés par l' Enkadrain (matériau synthétique) servant pour le drainage;
- le mode de fixation du clou avec une plaque d'acier au treillis soudé.

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)



Figure 3. Vue d'ensemble de l'exécution du système de soutènement



Figure 4. Détails de fixation d'un clou avec une plaque métallique au milieu de la nappe en treillis soudé.

Il a été décidé de ne pas exécuter les clous lors de la dernière étape d'excavation dont le parement sera protégé, contre toute sorte d'altération, par le biais la couche de béton projeté. Après achèvement de la paroi clouée, sa stabilité sera assurée avec le voile en béton armé du bâtiment à construire.

L'excavation a été exécutée par étapes; lors de chaque étape le sol est excavé sur une épaisseur de 3 m et deux rangées de clous sont mises en place.

Des nappes de géosynthétique de drainage de largeur 1m, disposées entre les clous sur toute la profondeur excavée, ont été fixées au parement (Figures 5 et 6).

Cette étape est poursuivie avec l'exécution du parement composé d'un panneau de treillis soudé, des plaques de fixation en acier et achevée par l'exécution du béton projeté. Les détails d'exécution du béton projeté ont été

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)

présentés dans le rapport délivré après l'approbation finale de la conformité des travaux du système de soutènement "paroi clouée" (Simpro, 2016).

EXÉCUTION DES CLOUS

L'avancement de l'excavation et la mise en place des clous s'est produit par étapes tous les 2 à 3 m de profondeur. La mise en oeuvre de l'excavation et le mode de soutènement s'est faite conformément au dimensionnement prévu initialement (avant les travaux). Toutefois, quelques modifications mineures ont été apportées à ce dimensionnement notamment en présence des réseaux divers existants auprès du parement.

Les clous de renforcement ont été exécutés, en fonction de la profondeur, avec un espacement horizontal variable de 1,5 à 2,5 m. Alors que l'espacement vertical des clous était fixe, soit de 1,5 m, sur trois côtés de l'excavation. Excepté pour le côté Sud où, sur les 4 premiers mètres de profondeur, les clous de renforcement étaient courts (de longueur 4 m) et d'espacement vertical égal à 1m. Cette situation est due à la présence des bâtiments d'habitation distants de 7 m du parement de la paroi clouée (Fig. 2).

Lors de l'avancement des travaux d'excavation, des essais d'arrachement de clous de longueur 4 m, 11 m et 18 m ont été réalisés pour mesurer la résistance au frottement latéral mobilisée par ces clous. En particulier, à partir des résultats d'essais d'arrachement d'un clou de longueur 18 m le frottement latéral unitaire a été estimé à 150 kPa.

3. VALIDATION DU DIMENSIONNEMENT

Quatre essais d'arrachement ont été exécutés sur des clous d'essais à différentes étapes de l'excavation. Deux types de chargement, l'un à vitesse de déplacement imposée, et l'autre à un niveau de contrainte imposé, ont été exécutés tel que détaillés dans le rapport d'interprétation présenté par Hydrosol Fondations (2015). Les résultats d'essais d'arrachement ont permis de vérifier que le frottement latéral unitaire est d'environ 150 kPa dans la couche d'argile marneuse supérieure, et d'environ 250 kPa dans la couche de marne fracturée sous-jacente. Ces deux caractéristiques sont nettement supérieures à la résistance de frottement adoptée pour le dimensionnement, soit 120 kPa.

La Figure 5 montre l'équipement utilisé lors du suivi de l'essai d'arrachement en vraie grandeur exécuté sur un clou de type HA32 de longueur 12 m testé sur le côté Ouest de l'excavation.

La Figure 6 illustre la courbe "chargement-déplacement" enregistrée lors des mesures de l'essai d'arrachement. A partir de cette courbe on voit que le chargement à la rupture du clou testé correspond à une force de 400 kN.

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)



Figure 5. Equipement utilisé lors du suivi de l'essai d'arrachement sur un clou HA32

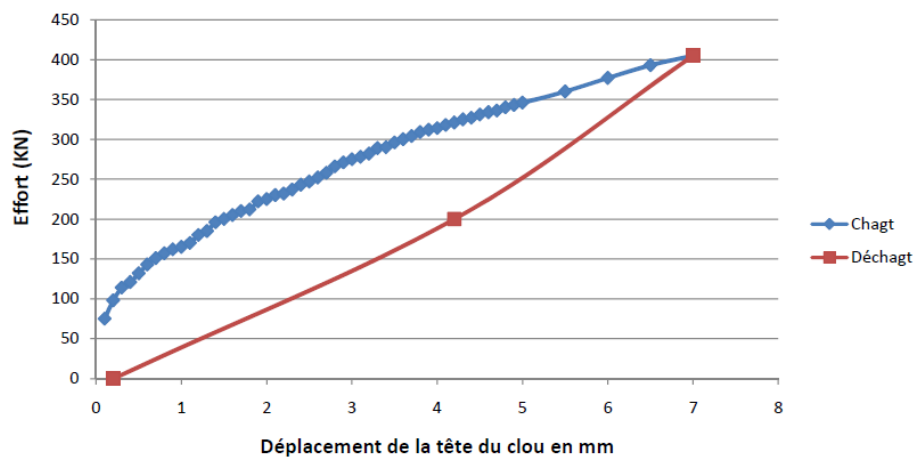


Figure 6. Courbe de chargement obtenue à partir de l'essai d'arrachement d'un clou HA 32 de longueur 12m

4 SUIVI ET CONTRÔLE DU COMPORTEMENT DE L'EXCAVATION

L'évolution du déplacement horizontal de la paroi clouée est fournie par des mesures à l'inclinomètre effectués à la fin de chaque étape de l'excavation. L'ensemble des mesures inclinométriques indique que le déplacement horizontal maximum est de 2 à 3 mm au niveau supérieur de l'excavation, c.à.d. une valeur très faible. En date du 20 novembre 2015, au cours de la sixième étape de l'excavation, qui correspond à la profondeur de 5m avant d'atteindre le fond, les mesures à l'inclinomètre ont fourni un déplacement horizontal de l'ordre de quelques millimètres.

(*) Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)

A l'aide d'une analyse rétrograde, un tel déplacement correspond à des valeurs du module de Young égal à dix fois à celle adoptée pour les prédictions numériques.

Étant donnée la valeur très faible du déplacement horizontal, qui est de l'ordre de la précision des mesures à l'inclinomètre, on en conclut que le pressiomètre n'est pas recommandé pour mesurer les caractéristiques élastiques de sols raides. En effet, pour de tels sols, le module de déformation élastique très élevé correspond à la marge de déformation très faible. Ainsi, pour la caractérisation de la couche marneuse il aurait été préférable de recourir à des essais au dilatomètre, un appareil qui demeure mieux adapté à cette catégorie de sols.

Par ailleurs, la verticalité du parement de l'excavation lors de la progression en profondeur n'était pas facile à respecter, notamment à cause du module de rigidité très élevé de la couche de marne. Une telle situation a été maîtrisée par l'usage d'un matériel de levés topographiques à haute précision pour vérifier la verticalité à la fin de chaque étape de l'excavation.

La figure 7 montre une vue générale de la paroi clouée à la fin de la dernière étape d'excavation. Il est à souligner qu'au fond de l'excavation le renforcement par clouage n'a pas été exécuté. Cette recommandation découle d'une étude de stabilité mise à jour du système de soutènement qui a permis de tenir compte des résultats des essais d'arrachement de clous effectués. L'exécution du soutènement avec une paroi clouée de surface totale 3900 m² a nécessité une durée de neuf mois.



Figure 7. Vue de la paroi clouée à la fin de l'excavation de profondeur 20

5 CONCLUSION

Le présent article était consacré au dimensionnement et à l'exécution d'une paroi clouée de grandes dimensions atteignant la profondeur 20,5 m, en guise de soutènement latéral, en vue de construire une polyclinique privée dans une zone urbaine.

() Le présent article est extrait de la publication en anglais présentée par les auteurs lors du 19^{ème} Congrès International de la mécanique des sols et de géotechnique (Seoul, Corée du Sud, 2017)*

Le dimensionnement de la paroi clouée a été fait sur la base d'une étude d'interaction sol-structure conduite avec le logiciel Plaxis 2D. Lors du suivi d'exécution, les déplacements horizontaux déduits des mesures à l'inclinomètre étaient très faibles (d'environ quelques millimètres). Alors que les prédictions numériques ont fourni un déplacement horizontal maximal, au niveau supérieur de la paroi clouée, égal à 4,5 cm. Une analyse rétrograde a montré que le module de déformation élastique du sol devrait être égal à dix fois celui adopté à partir des essais pressiométriques. Les auteurs sont convaincus que le recours à l'essai pressiométrique était inadéquat pour mesurer le module de déformation de la couche marneuse. Le module d'un tel sol raide est très grand même dans une marge de déformation très faible.

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs sont reconnaissants pour le staff de la polyclinique Amilcar qui a bien fourni l'aide et l'accord pour publier des données et les résultats relatifs au cas d'étude présenté dans cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Clouterre. (1993). Soil nailing recommendations (English recommendations "Recommandations Clouterre, 1991. FHWA-SA-93-026.
- 2) Hydrosol-Fondations (2014). Rapport de reconnaissance géotechnique du projet de construction de la polyclinique Amilcar. Tunisie.
- 3) Hydrosol-Fondations. (2015). Note technique d'exécution des essais sur clous d'essai. Tunisie.
- 4) Kanoun, F., Haffoudhi, S. & Bouassida M. (2017). Design and Follow up of 25 m Depth Nailed Diaphragm Wall. Proceedings of the 19th ICSMGE, Seoul 2017, vol ?? 1999-2002.
- 5) Simpro (2016). Rapport de fin des travaux de la paroi clouée de la polyclinique Amilcar. Tunisie.

APPROCHE RATIONNELLE POUR LE RENFORCEMENT DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES PAR DES NOUVEAUX ENROBES BITUMINEUX

-Application au cas d'une piste à l'aéroport international de Monastir

Safa JLASSI : Ingénieur Principal : Chef de Service ; à la Direction Générale des Ponts et Chaussées, Ministère de l'Équipement et de l'Habitat

RESUME : Les chaussées aéronautiques en Tunisie sont généralement de types souples. Constituées classiquement de matériaux traités aux liants hydrocarbonés : les enrobés bitumineux. Ces matériaux à comportement complexe, connaissent une grande évolution dans leurs compositions et leurs techniques, ou plusieurs gammes d'enrobés ont vu le jour : les enrobés coulés à froid, les bétons bitumineux très minces, les enrobés à module élevé. Etc. Ils présentent généralement des caractéristiques mécaniques différentes des enrobés courants, ce qui rend l'utilisation de la méthode française classique de dimensionnement des chaussées aéronautiques suboptimale. En effet cette approche essentiellement empirique, qui s'appuie sur la méthode CBR trouve aujourd'hui ses limites face à ces nouvelles situations. Il est nécessaire de s'orienter vers une approche de type « rationnelle » basée sur un modèle élastique linéaire, permettant d'intégrer les performances des matériaux. Cette approche, récemment proposée par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC France), reste limitée au dimensionnement des chaussées aéronautiques neuves.

Le but de ce travail est de proposer une extension de la méthode rationnelle au cas de renforcement des chaussées aéronautiques existantes. Le principe consiste à déterminer les caractéristiques mécaniques dûment connues. Cette approche a été appliquée au cas de renforcement de la piste de l'Aéroport International de Monastir. Les résultats trouvés montrent que l'ancienne méthode (méthode CBR) sous dimensionne la chaussée, dû principalement au fait que les coefficients d'équivalence globaux de la méthode empirique manquent de rigueur la nouvelle approche permet de tenir compte non seulement des caractéristiques mécaniques des matériaux mais également des silhouettes réelles de chargement des avions.

RATIONAL APPROACH FOR THE REINFORCEMENT OF AÉRONAUTICAL PAVEMENTS BY NEW BITUMINOUS MIXES -Application in the case of a runway at the international airport of Monastir

ABSTRACT : Aeronautical pavements in Tunisia are generally of flexible types. Conventionally made of materials treated with hydrocarbon binders : bituminous mixes. These materials with complex behavior have recently undergone a great evolution in their compositions and techniques, several ranges of mixes have emerged : cold-case mixes. Very thin bituminous concrete, high modulus mixes, etc. They usually have different mechanical characteristics from common asphalt, which makes the use of the classic French method of dimensioning aeronautical pavement suboptimal. Indeed, this mainly empirical approach, which is based on the CBR method, now finds its limits in the front of these new situations.

Thus, it is necessary to orient rather towards a 'rational' type approach, based on a linear elastic model allowing to integrate the performance of materials. This approach recently proposed by the Technical Service of Civil Aviation (STAC France), remains however limited to the sizing of new aeronautical pavements. The principle consists of first determining the mechanical characteristics of the old pavement through deflection measurements, then secondly dimensioning the reinforcement of the track by considering the old pavement as an underlay whose mechanical characteristics are duly known. This approach was applied to the case of reinforcement of the runways at Monastir International Airport. The results found show that the old method (CBR method) under-sizes

the pavement mainly because the global equivalence coefficients of the empirical method lack rigor. The new approach makes it possible to take into account not only the mechanical characteristics of the materials but also the actual silhouettes of aircraft loading.

منهجية عقلانية لتقوية أرصفة الطيران عن طريق الخلطات البيتومينية الجديدة

-التطبيق بمطار الهنستير الدولي-

ملخص : تتميز مدارج الطيران في تونس بأنها مرنة بشكل عام، وهي مصنوعة تقليدياً من مواد معالجة عبارة على مواد رابطة هيدروكربونية: الخرسانة الاسفلتية. خضعت هذه المواد ذات السلوك المتغير مؤخراً لتطور كبير في تكويناتها وتقنياتها، حيث ظهرت عدة أنواع من الخرسانة الإسفلتية: الخرسانة المصبوبة على البارد، والخرسانة الرقيقة جداً، والخرسانة عالية المعامل، إلخ. هذه الأنواع لديها عموماً خصائص ميكانيكية مختلفة عن الإسفلت الشائع، مما يجعل استخدام الطريقة الفرنسية الكلاسيكية غير ناجح. حيث أنّ هذا المنهج التجريبي الذي يعتمد بشكل أساسي على طريقة CBR، لم يعد قادر على مواجهة الصعوبات الجديدة. وبالتالي، أصبح من الضروري التوجه نحو منهج متطور، يعتمد على نموذج مرن، مما يجعل من الممكن دمج أداء المواد. هذه المنهجية، التي تم اقتراحها مؤخراً من قبل الإدارة الفنية للطيران المدني (STAC France)، بقيت مقتصرة على دراسة طرق الطيران الجديدة. لذا، فإن الهدف من هذا العمل هو اقتراح إمكانية استعمال الطريقة العقلانية في حالة تقوية مدارج الطيران القديمة. يتكون المبدأ أولاً من تحديد الخصائص الميكانيكية للمدرج القديم من خلال قياسات الانحراف، ثم ثانياً تحديد تقوية المسار باعتبار المدرج القديم بمثابة طبقة أساسية ذات خصائص ميكانيكية معروفة بدقة.

1. INTRODUCTION

Les méthodes empiriques de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples ont été bâties sur la base d'essais permettant d'intégrer par interpolation l'effet de nombreux facteurs mis en jeu : épaisseurs des couches de matériaux, géométrie et charge des atterrisseurs, conditions climatiques, etc.

Toutefois, elles trouvent aujourd'hui leurs limites aussi bien vis-à-vis de l'évolution de la flotte aéronautique, faisant apparaître de nouvelles configurations d'atterrisseurs et de nouveaux niveaux de charges, que vis-à-vis de l'évolution de l'offre en matériaux avec des niveaux de performance toujours en croissance, face à ces constats, il est apparu nécessaire de réviser la méthode française de dimensionnement des chaussées aéronautiques, en l'orientant vers une approche de type « rationnelle » qui prends en compte des situations réelles et nouvelles, adaptable au renforcement des chaussées existantes. Cette amélioration passe par l'utilisation d'une méthode plus explicite basée sur un modèle élastique linéaire qui permet de mieux intégrer les performances des matériaux et la silhouette des trains d'atterrissage des aéronefs constitutifs du trafic reçu, cependant, la méthode rationnelle proposée est actuellement limitée au dimensionnement des chaussées aéronautiques souples et neuves.

Ce travail présente un aperçu sur les nouveaux enrobés utilisés pour le dimensionnement des chaussées aéronautiques souples, et ceci dans le cadre de la nouvelle approche rationnelle. Ensuite, une extension de cette méthode au cas de renforcement de pistes anciennes a été proposée, puis appliquée sur un exemple réel, celui de l'Aéroport International Monastir Habib BOUGUIBA (AIMHB). Les résultats seront ainsi présentés et interprétés en faisant une comparaison avec ceux de l'ancienne approche empirique.

2. LES NOUVEAUX ENROBES

Les normes utilisées en Tunisie concernant les enrobés hydrocarbonés (les enrobés coulés à froid, les bétons bitumineux très minces, les enrobés module élevé, etc.), sont issues de la normalisation européenne. Elles spécifient les exigences relatives aux mélanges appartenant à la même famille d'enrobés qui sont utilisés pour les chaussées aéronautiques (et autres zones de circulation) que ce soit en couche de roulement, de liaison ou d'assise.

Récemment, compte tenu de la spécificité des chaussées aéronautiques et de la diversité des produits hydrocarbonés existants sur le marché, il s'avère nécessaire de réviser la composition des enrobés bitumineux, afin d'aider les maîtres d'œuvre

Citons l'exemple des enrobés percolées, qui sont des produits offrant une forte résistance au poinçonnement statique et aux contraintes provoquées par les charges roulantes. Ils sont utilisés depuis de nombreuses années sur les plateformes industrielles à fortes sollicitations mécaniques. Ils pourraient ainsi être une solution adaptée pour les chaussées des aires de trafic qui subissent de fortes sollicitations mécaniques et des agressions chimiques [1].

Aussi les enrobés coulés à froid (ECF), qui répondent à la fois aux contraintes économique et environnementale et qui présentent une solution incontournable dans l'entretien pour la construction des chaussées aéronautiques. Ils sont extrêmement productifs puisqu'ils regroupent à la fois la fabrication in situ du produit final et l'épandage des matériaux [2].

Les enrobés à module élevé soulignent également d'amples avantages. Ils présentent une moindre susceptibilité thermique que les enrobés classiques. Ils ont une rigidité plus grande aux températures élevées et une moindre fragilité aux basses températures que les enrobés classiques [3], et.

Le guide d'application des normes « enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques [1] illustre les produits actuellement utilisés pour la construction et la rénovation des chaussées aéronautiques.

3. LA METHODE RATIONNELLE

Dans le cas des chaussées aéronautiques souples et neuves, la démarche rationnelle s'applique au dimensionnement structurel des couches d'assises. Elle s'opère vis-à-vis du mécanisme d'endommagement par déformations permanentes des couches en matériaux granulaires y compris la plate-forme support de chaussée. Le dimensionnement consiste alors à déterminer les épaisseurs des couches ainsi que leurs matériaux, et à vérifier la tenue de la structure au gel-dégel.

En revanche, la méthode reprend les bases de dimensionnement des chaussées routières et autoroutières. Elle est décrite dans le guide technique publié en janvier 2014 par le service Technique de l'Aviation Civile, STAC France, sous le nom « Méthode rationnelle de dimensionnement des

chaussées aéronautiques souples » [4], en s'appuyant sur le guide d'application des normes « Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques » [1].

- La méthode comporte deux étapes, la première porte sur le dimensionnement mécanique de la structure et la seconde présente la vérification au gel-dégel. On se limitera dans ce document à la description du dimensionnement mécanique de la chaussée. Ceci consiste à vérifier que la structure choisie peut supporter le trafic d'aéronefs prévu pendant la période de calcul préalablement fixée. Il repose sur le calcul :- des sollicitations produites dans la structure par les différents aéronefs, en utilisant le modèle élastique linéaire isotrope multicouche :
 - - de l'endommagement « individuel » généré, dans chaque matériau, par le passage de de chacun des aéronefs où la loi d'endommagement est calée à partir d'essais de fatigue en laboratoire pour les matériaux bitumineux (entre autres) ou de façon empirique pour les matériaux granulaires non traités et les plates-formes support, en effet, dans les couches bitumineuses, l'endommagement est créé par le phénomène de fatigue alors que dans les sols et matériaux granulaires non traités, il est dû aux déformations permanentes :
 - - de l'endommagement « total », obtenu par sommation de ces endommagements individuels sur toute la période de calcul, compte tenu du trafic considéré et des lois de probabilité de balayage.
 - L'endommagement de la chaussée est alors défini comme la valeur maximale des endommagements totaux calculés pour chacune des couches [4], l'application de la démarche de dimensionnement commence par un recueil de l'ensemble des données du projet (trafic des aéronefs, période de calcul, etc.) et par le choix de paramètres de dimensionnement, notamment les caractéristiques de portance de la plate-forme et la nature des matériaux envisagés dans le cadre du projet ainsi que leur niveau de performance, en solution de base, les matériaux devront être sélectionnés parmi ceux faisant l'objet de la série des normes nf en 13-108 [5] pour les matériaux bitumineux et la norme nf en 13-285 [6] pour les graves non traitées. La suite de la démarche consiste à appliquer la méthodologie décrite précédemment, en itérant sur les épaisseurs de différentes couches, ou de certaines de ces couches , afin d'obtenir un endommagement total de la chaussée aussi proche que possible de par la valeur inférieure, l'ajustement des épaisseurs doit être fait de façon à :
- ✚ tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseurs minimale et maximale des couches pour atteindre les objectifs de compacité et d'uni, qui dépendent de la nature des matériaux :
 - ✚ limiter le nombre d'interfaces et ainsi réduire les risques de défaut de liaison à ces niveaux :

- ✚ tenir compte des autres critères du projet (technico-économiques, environnementaux, etc.)[4].3.

4. EXTENSION DE LA NOUVELLE APPROCHE RATIONNELLE AU CAS DE RENFORCEMENT DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES SOUPLES

Le principe d'extension de cette nouvelle approche rationnelle est de considérer la structure de chaussée existante comme une couche demi-infinie, avec un module d'Young équivalent E_{eq} lié à la valeur de la déflexion, pour les chaussées aéronautiques souples, par la relation suivante :

Avec :

W_0 : la valeur de déflexion ;

ν : coefficient de poisson ;

q : la pression appliquée de la plaque ;

a : rayon de la plaque ;

E_{eq} : module d'Young équivalent de la structure de chaussée existante et qui peut être également déterminé par le modèle multicouche, et ceci par un rétro calcul ou calcul inverse [7].

Par ailleurs, les valeurs de déflexions sont déterminées par le Heavy Weight Deflectometer (HWD) (figure1), qui est un appareil d'auscultation structurelle non destructif utilisé pour l'évaluation d'une chaussée aéronautique et conçu pour simuler le passage d'une charge roulante à l'aide d'une masse tombante. Cette masse engendre à la surface de la chaussée, par l'intermédiaire d'une plaque souple et d'un système d'amortissement, une charge de type impulsif. La réponse de la chaussée à cette sollicitation est sous la forme des déformations de surface appelées déflexions et mesurée en continu pendant la période de chargement, au moyen de géophones placés le long d'une poutre à distances normalisées. Un capteur de force intégré à la plaque de chargement permet de suivre l'effort appliqué sur la chaussée au cours de l'essai [7].

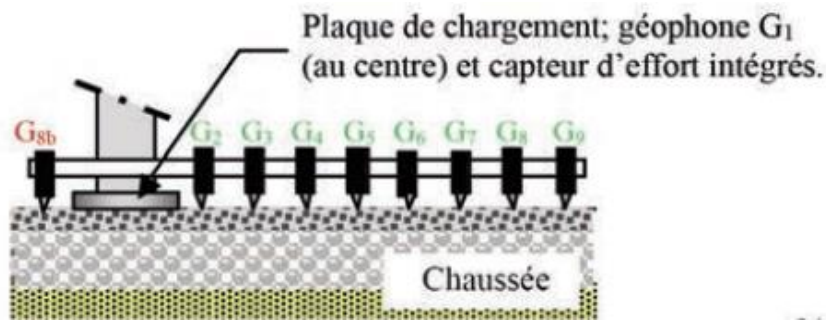


Fig1 Principe de fonctionnement de HWD, exemple d'un HWD à 9 géophones en configuration «chaussée souple » [7]

Le but est donc d'assurer un certain nombre d'itérations pour le dimensionnement au cas de renforcement de la structure, tout en considérant que l'ancienne chaussée est comme une sous-couche dont les caractéristiques mécaniques sont dûment connues, et ceci afin d'aboutir aux valeurs d'endommagements cumulés liés au nouveau trafic prévisionnel attendu les plus proches de 1 en valeur inférieure.

4.1. CALCULS DE SOLLICITATIONS INDUITES PAR LES AERONEFS DANS LA STRUCTURE DE CHAUSSEE RENFORCEE

Les calculs de sollicitations induites au sein de la structure de chaussée renforcée par les charges aéronautiques sont réalisés à l'aide d'un modèle élastique linéaire isotrope multicouche semi-infini (figure2).

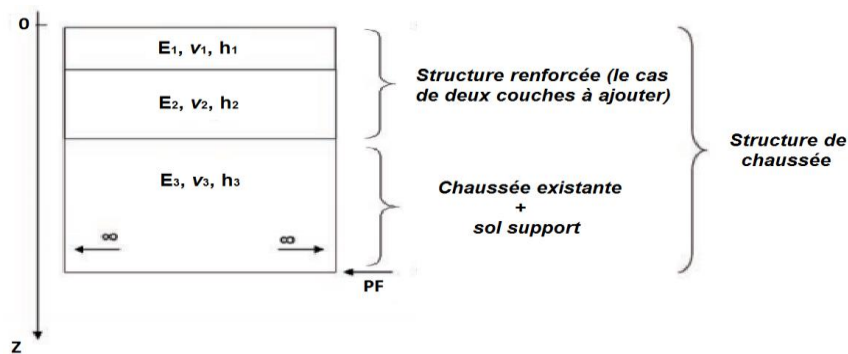


Fig 2. Modélisation de la structure de chaussée[4]

Ce modèle décrit la structure de chaussée par une succession de couches, d'épaisseur finie et homogène. La chaussée existante **AVEC LE SOL SUPPORT** sont, quant à eux, représentés par une couche d'épaisseur infinie en profondeur, sauf contexte géologique particulier.

Pour chaque couche, le matériau est supposé élastique linéaire isotrope d'extension infinie dans le plan horizontal, caractérisé par un

module d'Young E et un coefficient de Poisson ν ,. Pour le dimensionnement des structures renforcées de type souple, les interfaces entre couches sont supposées collées ; Le calcul est effectué sous chargement statique. Ainsi, le trafic est usuellement décrit par les différents types d'aéronefs prévus sur la chaussée aéronautique et par leur fréquence de passage, avec distinction des décollages et des atterrissages. Les aéronefs sont décrits par la géométrie de leur train d'atterrissage et l'empreinte au sol de chaque roue qui est assimilée par défaut à un disque circulaire. Le rayon des empreintes, les charges et les valeurs de pression à considérer sont celles qui figurent dans la base de données d'avions « Ficav » [8].

4.2. LOIS ET CALCULS DES ENDOMMAGEMENTS

Les calculs d'endommagements s'appuient, comme préconisé par la méthode rationnelle, sur l'évaluation au sein de la structure de chaussée des sollicitations et des lois d'endommagement. Ces lois étant ramenées pour tous les matériaux à un même formalisme de type Wöhler-Miner.

Deux types d'endommagement sont considérés (figure3) :

-par fatigue, pour les matériaux bitumineux, conduisant à la fissuration progressive du matériau. Le calcul s'appuie alors sur les valeurs de déformations horizontales calculées à la base de la couche inférieure de matériaux granulaires non liés. Le calcul s'appuie sur les valeurs de déformations verticales calculées au sommet de la plate-forme [4].

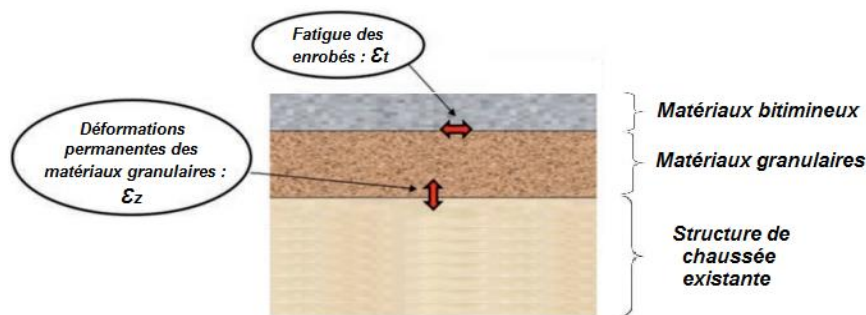


Fig3. Les deux modes d'endommagement considérés pour une structure de chaussée aéronautique souple [4]

La loi de Wöhler relié le nombre de cycles de sollicitation $N(S_{max})$ conduisant dans ces consitions la « rupture », sou la forme :

$$N(S_{max}) = \left(\frac{K}{S_{max}}\right)^\beta \text{ ou encore } S_{max} = K \cdot N^b \quad (2)$$

S_{max} : amplitude de sollicitation maximale (déformation ou contrainte) :
 K : constante
 b = -1/B : scalaire négatif supérieur à -1, égal à la pente de la droite de fatigue
 d'équation $\log(sMaw) = a + b \log(N)$ [4]

-Dans le cas des matériaux bitumineux : La variable S_{max} est prise égale à l'amplitude maximale*** de la déformation d'extension calculée à la base de la couche structurelle, la loi de Wöhler devint ainsi :

$$N(\varepsilon_{i \max}) = \left(\frac{K}{\varepsilon_{i \max}}\right)^\beta \text{ et } K = k_{\theta f} \cdot k_s \cdot k_r \cdot k_c \cdot 10^{\frac{6}{\beta}} \cdot \varepsilon_6 \quad (3)$$

Avec :

** (enudef) est la valeur de la déformation à 1 million de cycles déterminée expérimentalement en laboratoire à 10°C et 25 Hz :

* = -1/b est déterminé à partir de l'essai de fatigue, avec b est la pente de l'essai de fatigue pour le matériau considéré :

Le coefficient ** permet de transposer les résultats d'essais de fatigue sur enrobés bitumineux réalisés à 10°C et 25 Hz, vers le comportement à la température équivalente du site géographique considéré et à la fréquence f :

Le coefficient K* est un coefficient égal à 1 ou minuteur de la déformation admissible dans les enrobés bitumineux, fonction de la rigidité de la couche sous-jacente non liée :

Le coefficient k* tient compte à la fois de la dispersion des essais de fatigue et de la variation de l'épaisseur de la couche de base en matériaux bitumineux :

Le coefficient de calage k* est fonction de la nature des matériaux bitumineux. Il permet de rendre compte des écarts observés entre les calculs et l'endommagement de chaussées réelles. Le concept d'endommagement ici permet de définir une approche plus rationnelle pour caractériser l'agressivité d'un trafic. Cette approche repose sur la notion de la « Roue Simple Equivalente Rationnelle » (RseR) (figure 4) dont la définition est la suivante : la RseR associée à un trafic d'aéronefs et à une structure de

chaussée est la charge simple (en tonnes) appliquée 10 000 fois sur la structure avec une empreinte au sol de rayon égal à 0.20m. qui donne la même valeur d'endommagement par fatigue des enrobés que l'ensemble du trafic [4].

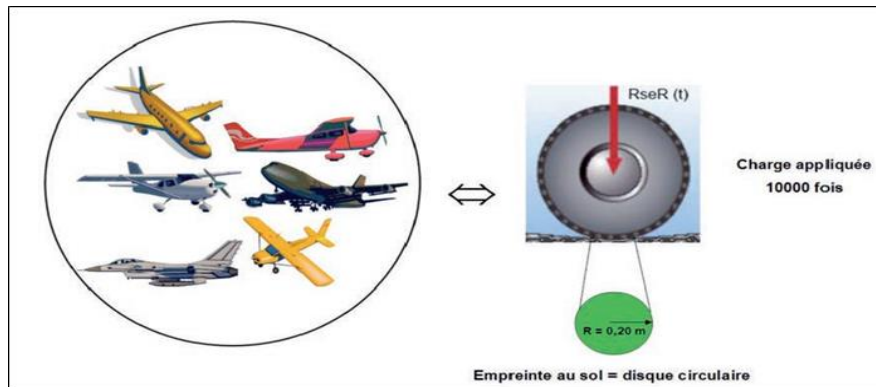


Fig4. Représentation schématique de la RseR[4]

-Dans le cas des matériaux granulaires non liés : La variable S^{**} et prise égale à l'amplitude maximale (spatiale et temporelle) $^{**}max$ de la déformation verticale réversible au sommet de la plate-forme, la loi de Wöhler devient ainsi :

$$N(\epsilon_{zz \max}) = \left(\frac{K}{\epsilon_{zz \max}}\right)^\beta \quad (4)$$

Les valeurs de K et B* sont considérées indépendantes du type de matériau et son état hydrique, de la température et de la vitesse de sollicitation [4].

Par ailleurs, la loi de Wöhler-Miner permet de généraliser la loi de Wöhler au cas de sollicitations en grand nombre d'intensités variable, et se succédant de manière aléatoire ; Elle repose sur la notion d'endommagement élémentaire ** dont la définition qui est présentée dans la relation (5) et créée par un cycle de sollicitation d'amplitude ** , le postulat d'additivité de ces endommagements est critère de rupture pour endommagement cumulé égal à 1.

$$\Delta D = \frac{1}{N(\epsilon_{\max})} = \left(\frac{\epsilon_{\max}}{K}\right)^\beta \quad (5)$$

$\epsilon_{\max} = \epsilon_{t \max}$ pour les matériaux bitumineux, ou $\epsilon_{\max} = \epsilon_{zz \max}$ pour les matériaux granulaires.

Dans le cas de sollicitations d'amplitude variable, se succédant de façon

aléatoire, les endommagements élémentaires créés par chacune d'entre elles donnent :

$$D = \sum_i n_i \Delta D_i = \sum_i \frac{n_i}{N(\epsilon_{\max i})} = \sum_i n_i \left(\frac{\epsilon_{\max i}}{K} \right)^\beta \quad (6)$$

n_i = nombre de chargements d'amplitude $\epsilon_{\max i}$;

D = endommagement atteint à l'issue de l'application des $N = \sum n_i$ cycles de sollicitation.

Par la suite et après étudier plusieurs cas, la structure de chaussée choisie est celle la proche de 1 par valeur inférieur. Outre la prévision de la rupture, il est à noter que la valeur de l'endommagement D peut être utilisée dans certaines applications comme un indicateur théorique, continu, de l'état de santé d'un matériau ou d'une structure en fonction de l'historique de chargement, pouvant être mis en comparaison d'observations in situ [4].

5. RENFORCEMENT DE LA PISTE 07/25 DE L'AIMHB PAR LA METHODE RATIONNELLE

L'Aéroport International Monastir Habib BOURGUIBA (AIMHB) dessert Monastir et plus généralement toute la région du Sahel Tunisien. Il est situé à huit kilomètres de l'ouest de Monastir sur le territoire de la station balnéaire de Skanès. Cet aéroport qui balaye une superficie d'environ 200 hectares est mis en exploitation depuis 1968 [9].

Pour le renforcement de la piste 07/25 de l'AIMHB, il est nécessaire de déterminer les sollicitations dans les différentes couches de la chaussée et du sol support, ainsi que les différents paramètres de calcul de dommage, et en particulier quelques notions propres à cette méthode et aux chaussées aéronautiques, tels que le type de chargement à appliquer sur la structure de la piste, l'emplacement des dommages maximaux etc. En se basant sur le guide technique « Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples » [4] et le guide d'application des normes « Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques » [1], nous avons obtenu les résultats présentés dans ce qui suit.

5.1 CARACTERISTIQUES DU TRAFIC

Afin de simplifier et d'alléger l'opération de recueil des données, on peut réduire le nombre d'aéronefs pris en compte dans cette méthode, par le ratio** qui néglige les aéronefs les moins agressifs. Les aéronefs choisis (tableau1), sont appelées les aéronefs dimensionnant où $r_j \geq 1\%$ [4].

Type d'aéronefs	Masse max au roulage (t)	Centrage atterrisseur max (%)	r_j (%)
A320	68,4	47,1	7,7
B738	79,2	46,77	6,9
B736	65,8	45,83	2,1
A321	93,4	47,34	5,9
A319	75,9	45,85	1,7

Tableau 1. Détermination des aéronefs considérés comme dimensionnant

5.2. CHAMPS DE DEFORMATION A LA BASE DES COUCHES EN MATERIAUX BITUMINEUX

L'évaluation du dommage en fatigue dans les couches bitumineuses dépend de la valeur de déformation maximale. L'objectif est donc de déterminer l'emplacement de cette déformation.

La figure 5 présente la configuration des atterrisseurs de l'Airbus A320-100 centré sur l'axe de la piste, ainsi que l'atterrisseur considéré pour le calcul.

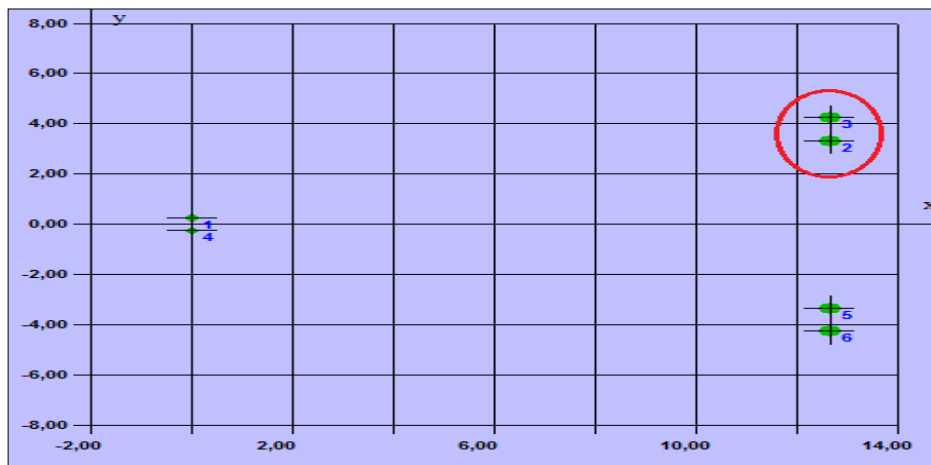
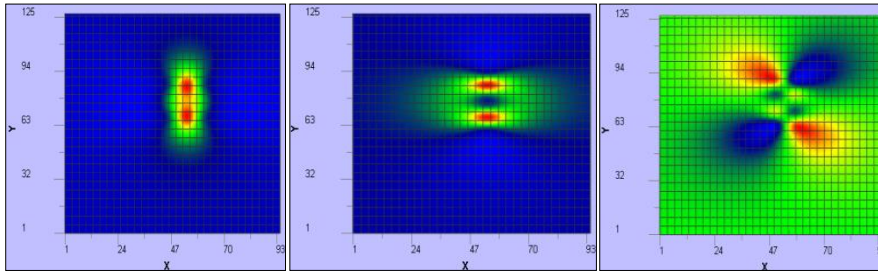


Fig5. Configuration des atterrisseurs de l'Airbus A320-100 selon la base « Ficav » [8]

Les cartes de déformation ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy} obtenues à la base des couches bitumineuses, et qui montrent que la déformation est maximale sous l'axe des roues dans ce cas, sont présentées dans la figure 6 :



a) Carte de déformation ϵ_{xx} b) Carte de déformation ϵ_{yy} c) Carte de déformation ϵ_{xy}

Fig 6. Cartes de déformation dans le plan horizontale

5.3. RESULTATS DE L'ESSAI DE DEFLEXION SUR LA PISTE 07/25

Le graphique (figure7) représente les déflexions à la surface de la piste 07/025 sous une charge dynamique circulaire de diamètre égale à 0.20 m :

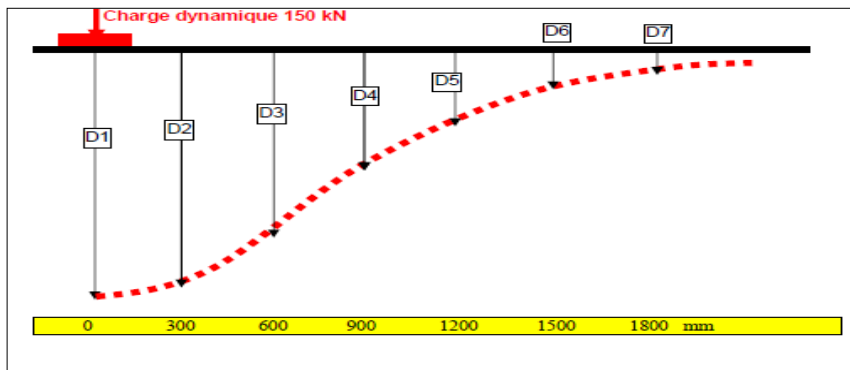


Fig 7. Présentation graphique des déflexions des 7 géophones réalisée à l'appareil HWD [10]

Les résultats obtenus en déflexions caractéristiques suite à cet essai sont récapitulés dans la figure 8 :
 Déflexions caractéristiques D1, (D1-D4) à D6 Profil long

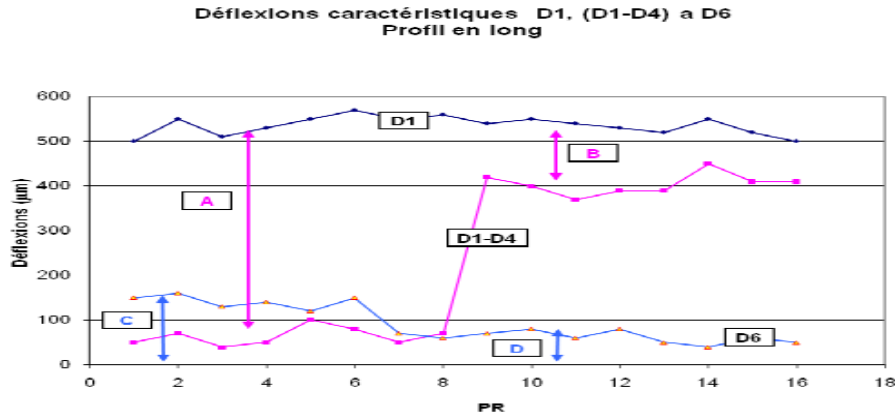


Fig 8. Déflexions caractéristiques [10]

Par ailleurs, les déflexions caractéristiques sont : D1 : La déflexion de l'ensemble de la structure : (D1-D4) : Caractéristiques de la qualité des couches de base : D6 : La déflexion de la surface du sol.

5.4. DIMENSIONNEMENT MECANIQUE DE LA STRUCTURE

Le travail commence par déterminer le module d'Young équivalent E_{eq} de la structure existante, qui est formée par une couche de roulement de 24 cm en béton bitumineux et une couche de base de 16 cm en grave non traité, avec un sol support de module d'Young égale à 50 MPa.

Par projection sur la figure 10, la valeur en moyenne prise en compte de la déflexion est égale à 570µm.

Le but alors est de déterminer E_{eq} de la structure existante par Alizé [11] et ceci dans le cadre d'un rétro calcul. Le logiciel a affiché, comme indique la figure9, une valeur égale à 735MPa.

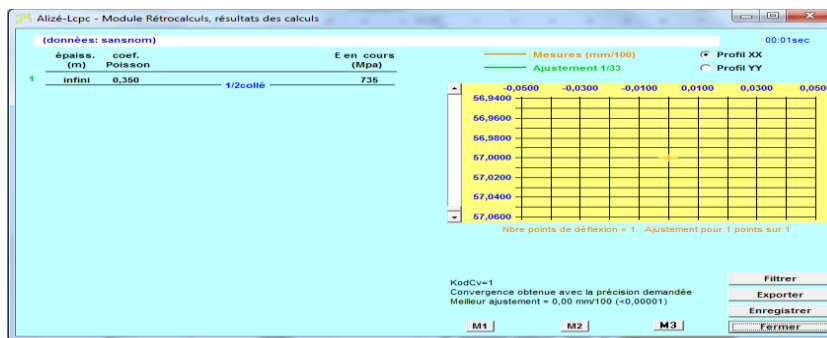


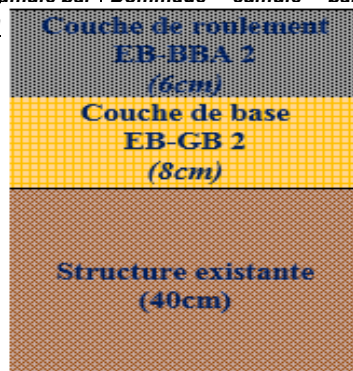
Fig9. Le module d'Young équivalent E_{eq} de la structure existante par un rétrocalcul – Alizé

ϵ_z ($\mu\text{m/m}$)	ΔD	Trafic cumulé par type d'a	Dommaae cumulé par
----------------------------------	------------	----------------------------	--------------------

Pour vérifier ce travail analytiquement et en se basant sur la relation (1), le module d'Young équivalent E_{eq} égale à 735 MPa. Il est le même que celui donné par le rétro calcul-Alizé. Cette valeur est alors adoptée dans le calcul du renforcement de la piste existante.

Par valeur inférieure, qui tient en compte le nouveau trafic prévisionnel attendu.

Après un calcul itératif, la structure obtenue est celle indiquée dans la figure 10, avec un endommagement cumulé à la base de la couche EB-GB égale à 0.836 et un endommagement cumulé au sommet de la structure support égale à 0.197, ainsi qu'une valeur de la RseR égale à 29t. Tous les résultats



	ϵ_t ($\mu\text{m/m}$)	β	$10^{(6/\beta)}$	$K_{\theta f}$	k_s	k_r	k_c	ϵ_s	K	ΔD	Trafic cumulé par type d'aéronef	Dommaae cumulé par type d'aéronef
A319-100	233,2	5	15,8	1,23	1	0,787	2	80	2454,71	7,74E-06	9789	0,076
A320-100	203,6	5	15,8	1,23	1	0,787	2	80	2454,71	3,93E-06	66444	0,261
A321-200	253,7	5	15,8	1,23	1	0,787	2	80	2454,71	1,18E-05	10493	0,124
B 736	220,2	5	15,8	1,23	1	0,787	2	80	2454,71	5,81E-06	25023	0,145
B738	233,4	5	15,8	1,23	1	0,787	2	80	2454,71	7,77E-06	29673	0,231
											Dommaae cumulé	0,836

obtenus sont récapitulés dans les tableaux 2.3 et 4 :

Tableau 2. Endommagement à la base de la couche EB-GB

A319-100	835,2	1,70E-06	9789	0,017
A320-100	741,5	9,93E-07	66444	0,066
A321-200	947,3	2,99E-06	10493	0,031
B 736	769,5	1,17E-06	25023	0,029
B738	845,6	1,79E-06	29673	0,053
Dommmage cumulé				0,197

Tableau 3. Endommagement au sommet de la structure support
Fig 10. La structure renforcée de la piste

ϵ_t ($\mu\text{m/m}$)	β	$10^{(6/\beta)}$	K_{0f}	k_s	k_r	k_c	ϵ_6	K	ΔD	Trafic cumulé	Dommmage cumulé
375,2	5	15,8	1,23	1	0,787	2	80,0	2454,71	8,3429E-05	10000	0,834

Tableau4. Endommagement cumulé à la base de la couche EB-GB pour une RseR=29 t

5.5. COMPARAISON AVEC L'ANCIENNE APPROCHE EMPIRIQUE

Le dimensionnement au cas de renforcement de la piste 07/25 par la méthode empirique a montré que seulement l'ajout d'une couche de 6 cm en béton bitumineux est suffisant, et ceci en respectant les mêmes données d'entrée que la méthode rationnelle. Cette méthode sous-estime par conséquent le renforcement de la piste en comparaison avec la nouvelle approche rationnelle.

En effet, le dimensionnement des chaussées aéronautiques par l'ancienne approche devient impuissant face à l'évolution du contexte d'exploitation des chaussées, la diversité croissante des matériaux et les techniques offerts à la construction. Cependant, cette méthode ne permet pas de tenir compte des caractéristiques mécaniques exactes des différents matériaux puisqu'elle utilise des coefficients d'équivalence globaux qui manquent de précision. Ainsi l'orientation vers des approches de type rationnel est aujourd'hui la voie suivie par plusieurs pays pour répondre à ce défi.

6. CONCLUSION

Une extension de la méthode rationnelle dans le cas du renforcement des chaussées aéronautiques existantes a été proposée dans le cadre de ce travail, et ceci en se basant sur les mesures de déflexions réalisées sur l'ancienne structure de chaussée.

Le cas du renforcement des chaussées aéronautiques par l'approche rationnelle est basé sur un modèle linéaire élastique isotrope multicouche, alimenté par des paramètres de comportement mécanique, dont les résultats définissent les épaisseurs des différentes couches, après un choix préalable de la nature des matériaux qui les constituent. Les conclusions suivantes peuvent être formulées :

-Le renforcement des pistes aéronautiques anciennes par la méthode rationnelle passe tout d'abord par la caractérisation de l'ancienne structure à travers un rétro calcul. Pour ce faire, il est indispensable de disposer de mesures de déflexions et d'une coupe de l'ancienne chaussée. Le rétrocalcul permet ainsi de déterminer les caractéristiques mécaniques de l'ancienne structure : module de Young équivalent et coefficient de poisson, indispensables pour le dimensionnement du renforcement par la méthode rationnelle.

-L'application de l'approche proposée au dimensionnement du renforcement bitumineux et d'une couche de base de 8 cm de grave bitume est suffisant pour que la structure existante soit prête à accueillir des nouveaux avions dans le cadre du climat propre à la zone de Monastir.

-Le dimensionnement du renforcement par l'ancienne approche empirique de la même piste a donné une seule couche de 6 cm de béton bitumineux.

- Les deux méthodes ne convergent pas vers un même résultat. L'approche empirique sous estime le renforcement, ce qui confirme qu'elle trouve aujourd'hui ses limites suite à l'évolution de la flotte aéronautique et le progrès des matériaux de construction. L'orientation vers l'approche rationnelle est par la suite nécessaire et obligatoire.

- de la piste 07/25 de l'AIMHB a montré que l'ajout d'une couche de roulement de 6 cm de béton.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques Guide d'Application des Normes, STAC, France 2009.
- 2) Enrobés coulés à Froid : Maintenance et équipement. Guide Technique, BREINING, France, 2012.
- 3) Les Enrobés à Module Elevé adaptés aux climats froids : Bulletin technique. Techno-Bitume. Québec. Août 2014.
- 4) Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples. Guide technique, STAC, France, 2014.
- 5) NF EN 13-108, Maitrise de la production explications et recommandations pour son application. Technical report. AFNOR, Juin 2007.
- 6) NF EN 13-285.Graves non traitées-Spécifications. Technical report, AFNOR, 2010.
- 7) Auscultation des chaussées souples aéronautiques au HWD. Guide technique, STAC, France, 2014.

- 8) Ficav, OACA, Tunisie, 2016.
- 9) Aéroport International Monastir Habib BOURGUIBA, AIMHB. OACA. Tunisie 2014.
- 10) Rapport de déflexions HWD de l'AIMHB, OACA, Tunisie 2014.
- 11) Alizé 1.3.0. Logiciel, LCPC, France. Disponible sur :
- 12) <https://ww.itech-soft.com/alize/index.php?id=30123&lang=fr>

APPORT DU SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE EN L'INTEGRANT DANS LE PROCESSUS DE LA PROTECTION DU LITTORAL CONTRE L'EROSION MARINE- LE CAS DE REJICH-SALAKTA

Klai Nehed : *Ingénieur en chef à la Direction Générale des Services Aérien et Maritimes*

Rami Mzoughi : *Technicien principal à la Direction de l'Urbanisme*

RESUME : Le littoral tunisien se caractérise par une importante diversité géomorphologique sur 1300km dont 250 Km présentent des signes d'érosion marine de différents degrés de dégradation.

L'un des causes majeures de l'érosion marine c'est « les changements climatiques » qui ont rendu le littoral tunisien vulnérable en générale, vu sa morphologie (côtes basses, lagunes,...) et par la suite le risque de l'érosion marine est un risque majeur qu'il faut traiter en urgence.

En appliquant le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine on remarque :

- lors du diagnostic initial relié à la programmation et la priorisation des opérations d'intervention pour la protection du littoral contre l'érosion marine : une absence d'évaluation de l'évolution du trait de côte.
- Lors de la réalisation des études de la protection du littoral contre l'érosion marine : un manque de précision lors du traçage de l'évolution du trait de côte (l'erreur peut atteindre 3m) faute de non utilisation des moyens de la télédétection et le système d'information géographique (SIG).

Et par la suite l'approche SIG a été introduite dans ce travail dans le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine par le biais d'un cas d'étude : Etude de protection du littoral de Réjich –Salakta contre l'érosion marine afin de :

- Elaborer une cartographie détaillée
- Quantifier des changements au niveau des paysages littoraux jugés très vulnérable et très sensible par les actions anthropiques.
- Définir une nouvelle méthodologie dans ce processus de la protection du littoral contre l'érosion marine en intégrant l'approche SIG
- Mettre en valeur l'application de la démarche SIG dans le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine et recommander l'approche SIG comme outil d'aide à la décision.

CONTRIBUTION OF THE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM BY INTEGRATING IT INTO THE COASTAL PROTECTION PROCESS AGAINST MARINE EROSION - the case of rejich-salakta

ABSTRACT : The Tunisian coast is characterized by an important geomorphologic diversity over 1300 km of which 250 km show signs of marine erosion of different degrees of degradation.

One of the major causes of marine erosion is "climate change" which has made the Tunisian coast vulnerable in general, given its morphology (low coasts, lagoons, etc.) and subsequently the risk of erosion marine is a major risk that must be dealt with urgently.

By applying the process of coastal protection against marine erosion, we notice:

- during the initial diagnosis related to the programming and prioritization of intervention operations for the protection of the coastline against marine erosion: a lack of evaluation of the evolution of the shoreline.
- During the realization of the studies of the protection of the littoral against the marine erosion: a lack of precision during the tracing of the evolution of the coastline (the error can reach 3m) for lack of use of the means of remote sensing and Geographic Information System (GIS).

And subsequently the GIS approach was introduced in this work in the process of coastal protection against marine erosion through a case study: Study of the protection of the Réjich-Salakta coastline against marine erosion in order to:

- Elaborate a detailed cartography

- Quantify changes in coastal landscapes considered very vulnerable and very sensitive to human actions.
- Define a new methodology in this process of coastal protection against marine erosion by integrating the GIS approach
- Highlight the application of the GIS approach in the process of coastal protection against marine erosion and recommend the GIS approach as a decision-making tool.

مساهمة نظام المعلومات الجغرافية بدمجه في عملية حماية الساحل ضد التعرية البحرية.. حالة "الرجيش - سلقطة"

ملخص: يتميز الشريط الساحلي التونسي بتنوع جيومورفولوجي مهم حيث يمتد على طول أكثر من 1300 كم، منها 250 كم تشهد مظاهر انجراف بحري بدرجات متفاوتة من التدهور.

ويكمن أهم أسباب الانجراف البحري في "تغير المناخ" الذي جعل الشريط الساحلي التونسي هشاً وعرضة لخطر الانجراف البحري باعتبار تضاريسه المنخفضة (السواحل المنخفضة والبحيرات الضحلة، وما إلى ذلك) وبالتالي فإن الانجراف البحري يمثل خطراً كبيراً يجب أن يكون التعامل معه بشكل عاجل. ومن خلال تطبيق سيروورة حماية الشريط الساحلي من الانجراف البحري نلاحظ:

• خلال التشخيص الأولي المتعلق بالبرمجة وتحديد أولويات عمليات التدخل للحماية من الانجراف البحري: نقص في تقييم تطور خط الساحل.

• أثناء إنجاز دراسات الحماية من الانجراف البحري: نقص الدقة أثناء تقييم تطور الخط الساحلي (يمكن أن يصل الخطأ إلى 3 أمتار) لعدم استخدام وسائل الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية (GIS).

وبالتالي تم إدراج مقارنة نظم المعلومات الجغرافية في هذا العمل ضمن سيروورة حماية الشريط الساحلي من الانجراف البحري من خلال دراسة: حماية الشريط الساحلي بالرجيش - سلقطة من الانجراف البحري بهدف:

- وضع خريطة مفصلة

- تحديد التغيرات في المشاهد الطبيعية الساحلية التي تعتبر شديدة التأثير والحساسية للغاية للأنشطة البشرية.

- تحديد منهجية جديدة في عملية الحماية من الانجراف البحري من خلال إدراج مقارنة نظم المعلومات الجغرافية

- تسليط الضوء على تطبيق مقارنة نظم المعلومات الجغرافية في عملية الحماية من الانجراف البحري والتوصية بإدراج نظم المعلومات الجغرافية كأداة للمساعدة على اتخاذ القرار

1. MISE EN CONTEXTE DU PROJET :

Le littoral tunisien qui se caractérise par une importante diversité géomorphologique, est constitué de :

- Environ 1283 km des côtes continentales
- 450 km des îles et d'archipels,
- 113 km de bande côtière artificielle (Marina, ports ...),

La bande côtière est divisée en:

- 650 km de plages sablonneuses,
- 588 km de plages rocheuses et de falaises,
- Et le reste, d'autres formations géologiques

Environ 250 Km du littoral tunisien présentent des signes d'érosion marine de différents degrés de dégradation.

En effet le niveau de la mer est déterminant pour :

- Établir le trait de côte
- délimiter et réviser le DPM et sa servitude
- Dimensionner les ouvrages maritimes.

Ainsi les changements climatiques ont accentué le phénomène de l'érosion marine, d'une part suite à l'augmentation moyenne annuelle de la température sur l'ensemble du pays qui est de +1.1° C à l'horizon 2030 et de +2.1° C à l'horizon 2050, et d'autre part suite à l'augmentation totale moyenne du niveau de la mer qui est de 50 cm, à l'horizon 2050, soit près de 30cm à l'horizon 2030).

Le littoral tunisien est vulnérable face à l'élévation du niveau de la mer vu sa morphologie (côtes basses, lagunes,...) et par la suite le risque de l'érosion marine est un risque majeur qu'il faut traiter en urgence.

LA PROBLEMATIQUE :

Lors du diagnostic initial relié à la programmation et la priorisation des opérations de protection du littoral contre l'érosion marine, on remarque :

- lors du diagnostic préalable nécessaire à la programmation et la priorisation des opérations d'intervention pour la protection du littoral contre l'érosion marine : une absence d'évaluation de l'évolution du trait de cote.
- Lors de la réalisation des études de la protection du littoral contre l'érosion marine : un manque de précision lors du traçage de l'évolution du trait de cote (l'erreur peut atteindre 3m) faute de non utilisation des moyens de la télédétection et le système d'information géographique (SIG).

Quels sont les processus qui permettent de produire une cartographie de l'évolution et de la lustration du changement de ligne de côte à partir d'images satellites ?

Comment peut-on utiliser les outils de la géomatique pour étudier le littoral et ses évolutions afin de le protéger contre l'érosion marine

OBJECTIFS :

- La mise en place d'une base de données géospatiales
- L'élaboration d'une cartographie détaillée
- La quantification des changements au niveau des paysages cotiers jugés très vulnérable et très sensible aux actions anthropiques.
- Définition d'une nouvelle méthodologie pour la réalisation de l'étude de la protection du littoral contre l'érosion marine en intégrant l'approche SIG
- Mise en valeur de l'application de la démarche SIG dans le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine et recommandation de l'approche SIG comme outil d'aide à la décision.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE- MILIEU PHYSIQUE

La zone d'étude s'étend sur environ 10km : depuis l'entrée Sud de Ben Ghayadha jusqu'au port de pêche de Salakta. Elle est située sur la côte Est de la Tunisie est une partie intégrante de la façade maritime du gouvernorat de Mahdia dont la superficie totale est de 2966km², soit 1,8% de la superficie du pays.

La zone d'étude présente des qualités paysagères et des atouts patrimoniaux importants dominés par un climat doux méditerranéen.

L'emplacement géographique de la zone d'étude ainsi que la bonne qualité des eaux marines devant belles ses plages sablonneuses lui confèrent une importante attractivité soit en tant que site résidentiel, touristique ou d'excursion diversifiée spécialement pour le tourisme interne. En effet grâce à tous ces atouts, Cette partie du littoral Tunisien est d'une forte fréquentation par les estivants de plusieurs endroits de la Tunisie. Il s'agit des plages de Ben Njima, Mnakkaa, Douira et Rejjich.

2. METHODOLOGIE D'INTEGRATION DE L'APPROCHE SIG DANS LE PROCESSUS DE LA PROTECTION DU LITTORAL CONTRE L'EROSION MARINE

2.1 DEFINITION DU PROCESSUS CLASSIQUE DE PROTECTION DU LITTORAL CONTRE L'EROSION MARINE SANS INTEGRATION DE LA DEMARCHE SIG

Le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine est scindé en 3 étapes :

PROGRAMMATION

Pour la programmation, il s'agit de définir les zones menacées par l'érosion marine ou présentant des signes d'érosion marine afin de programmer des actions d'intervention.

Et pour définir les zones d'intervention et la priorisation des interventions, on procède généralement comme suit :

- Collecte des demandes des autorités régionales en la matière ; collectivités locales ou directions régionales de l'équipement et de l'habitat.
- diagnostic sommaire des régions concernées à travers des visites de terrain et enquête comparative sur la base des documents disponibles (anciens levés topo bathymétriques, photos aériennes, études....)
- priorisation et programmation des interventions selon le degré de gravité de l'état de l'érosion constaté pour chaque région,
- Préparation des TDRs selon l'état et les besoins de la zone d'intervention (linéaire, localisation, infrastructures existantes, installations,...)

✓ Réalisation des Etudes

La réalisation de l'étude de la protection du littoral contre l'érosion marine est détaillée comme suit :

- Recueil, analyse et actualisation des données techniques disponibles/
Enquête sociologique et Reconnaissance du littoral
Il s'agit de procéder à :

1. la collecte, l'actualisation et l'analyse de toutes les données existantes (les données hydrographiques et climatiques, les conditions géomorphologiques et géotechniques du site, la dynamique Hydro-sédimentaire, Historique du site, Etc...). Des visites du site sont nécessaires pour établir un diagnostic de l'état actuel du site ainsi qu'un descriptif détaillé du problème d'érosion.
2. une concertation à travers une enquête sociologique auprès de la population du littoral concerné par l'étude dans le but d'avoir une idée claire : Sur l'état de dégradation du littoral et les changements subits au cours de ces années précédentes et sur les priorités et modes de protection, souhaités.)

Au vu de l'analyse des données obtenues, il est procédé à une reconnaissance sédimentologique du littoral concerné en se basant sur les visites des sites, les photos aériennes ainsi que la comparaison des levés topo bathymétriques réalisés à des périodes différentes. .

- Diagnostic détaillé des différents tronçons du littoral concerné
- Détermination des zones les plus sensibles à l'érosion marine et identification des zones prioritaires : Suite aux résultats des activités précédentes, selon les degrés de manifestation de l'érosion marines.

- Travaux de terrain et diagnostic détaillé de l'état actuel du littoral objet de l'étude (Levé topo-bathymétrique, prélèvement d'échantillons des sédiments).
- Etudes hydrauliques : Etude de réfraction / Détermination du climat de houle
- Etude sédimentologique : Une analyse du mécanisme hydro-sédimentaire au niveau des zones prioritaires avec évaluation des valeurs des transits, évaluation d'efficacité des solutions proposées.
- Proposition des variantes de protection. Evaluation multicritère des variantes et recommandation de la variante optimale
- Etude techniques de la variante retenue.
- ✓ Réalisation des travaux de protection selon les procédures et règles en vigueur.

2.2-METHODOLOGIE DE L'APPROCHE SIG

Dans l'étude de la protection du littoral de Réjich –Salakta contre l'érosion marine, il a été adopté la démarche sans intégration du SIG la détermination de l'évolution du trait de cote a été déduite à partir de la superposition des images satellitaires de dates différentes : ce qui induit une précision de +/- 3m. Et par la suite, il a été introduit la démarche SIG afin de d'améliorer la précision de la détermination de l'évolution du trait de côte ce qui permettrait de mieux apprécier le degré et la gravité de dégradation des zones dans le but de déterminer les priorités d'intervention lors de la programmation.

L'approche adoptée dans ce travail accorde une place importante à la dimension cartographique. En fait, l'approche méthodologique adoptée dans cette étude (afin de mesurer la mobilité du trait de côtes) s'inspire de la démarche suivie dans les études de la cinématique littorale en Tunisie ou ailleurs utilisant des données multi-sources, traitées, intégrées dans une base d'informations géographiques et exploitées par un SIG. Elle s'articule, pour l'essentiel, autour de l'analyse des documents cartographiques et photographiques ainsi que des images satellitaires. L'analyse de la cinématique du trait de côte est établie sur une période de 20 ans par le biais du programme DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*). Il s'agit d'une extension conçue par Thieler et al (2009).

=>La méthodologie adoptée pour la cartographie de l'évolution du trait de côte est basée sur la combinaison de différentes couches des données à l'aide de logiciels ARC GIS et L'outil DSAS.

2.3.LES LOGICIELS UTILISES

Le système de projection est très important pour le géoréférencement des documents. On a utilisé le système géodésique mondial WGS 1984 selon la projection UTM, la Tunisie se trouve dans la zone 32 Nord.

Le tableau ci-dessous présente tous les logiciels utilisés au cours de ce projet :

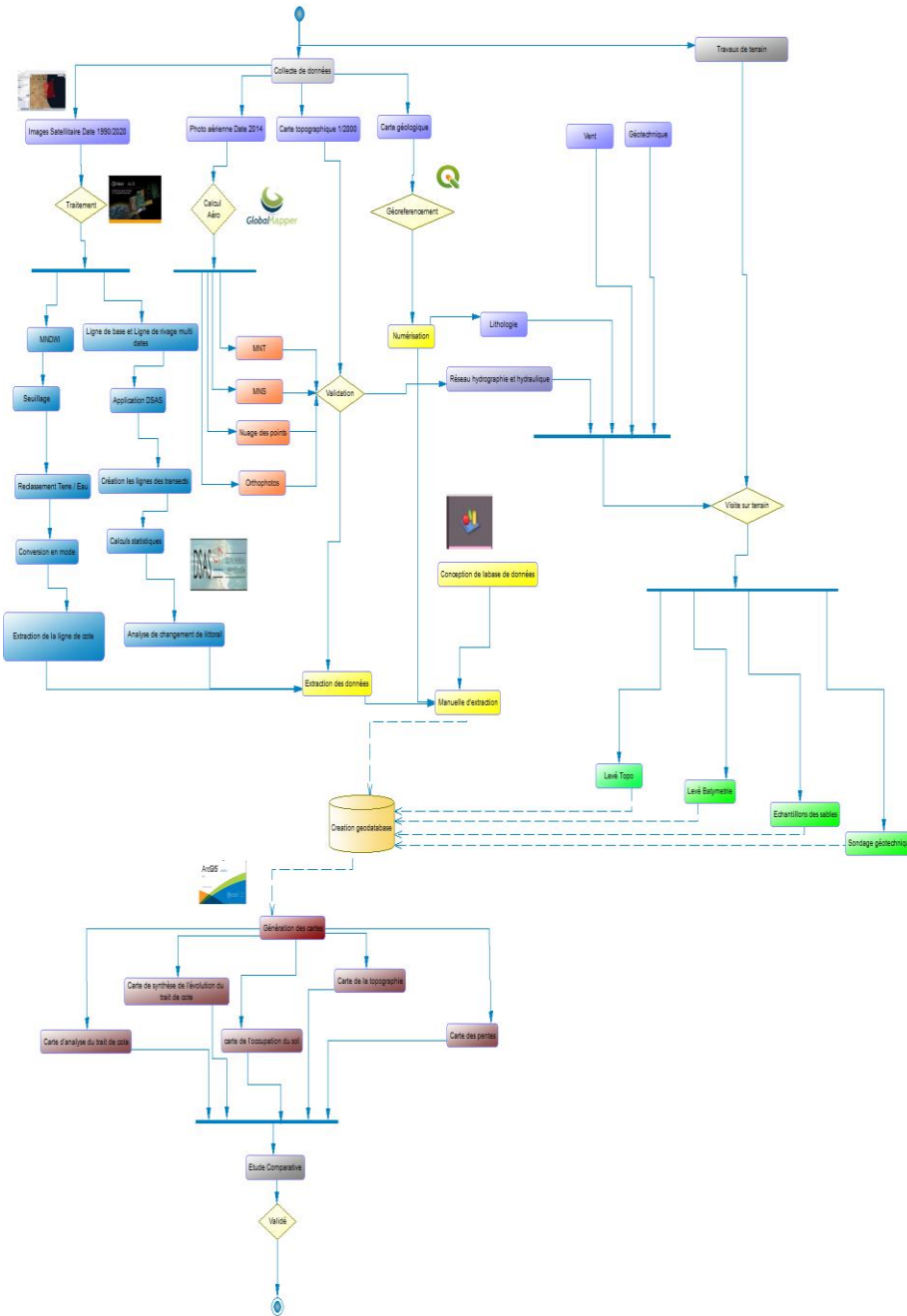
Tableau 2 : Les logiciels utilisés

Nom	Logo	Utilisé
ArcGis 10.8		-Extraction de la zone d'étude - Calcul du MNDWI - Classification
DSAS		-Extraction du trait de côte -Gestion des statistiques temporelles du trait de côte
ENVI 4.5		- Classification supervisée et non supervisées à partir des images satellitaires (occupation du sol)
Global Mapper 22		- Géoréférencement - Extraction du SRTM - Carte des pentes - Carte des altitudes
Qgis 3.16		-Géoréférencement - Mise en page
Microsoft Excel 2019		-Création des tableaux et les graphiques.
CorelDraw 2020		-Mise en page des cartes.

2.4.LA METHODOLOGIE ADOPTEE POUR INTEGRER L'APPROCHE SIG DANS LE PROCESSUS DE LA PROTECTION DU LITTORAL CONTRE

Méthodologie du Projet : Apport de la géomatique à la cartographie des zones à risque d'érosion marine : le cas de Rejich-Salakta

Réalisé Par
Nehel Khilil El Rami Mansour



l'érosion marine (Le schéma suivra)

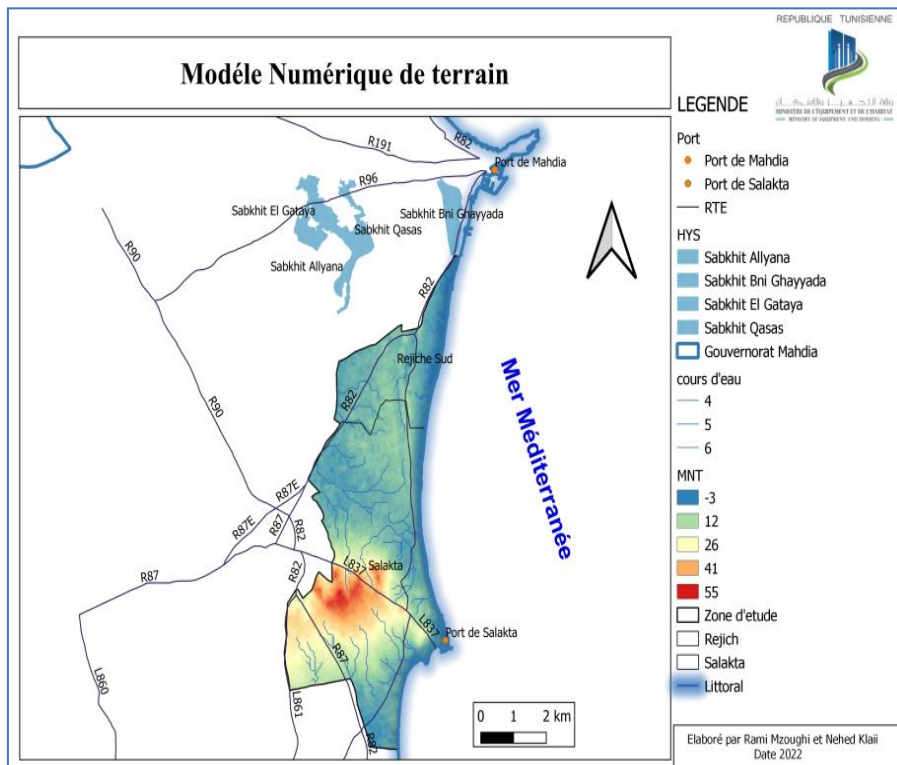
3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

A partir des données disponibles et des traitements des images satellitaires, et en appliquant l'approche SIG, une base des données a été préparé afin d'évaluer l'évolution du trait de cote de la zone d'étude sous ArcGis DSAS. En effet cette phase pourrait être faite lors de la programmation et la priorisation des zones d'intervention en absence d'un plan d'action.

3.1.LE MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

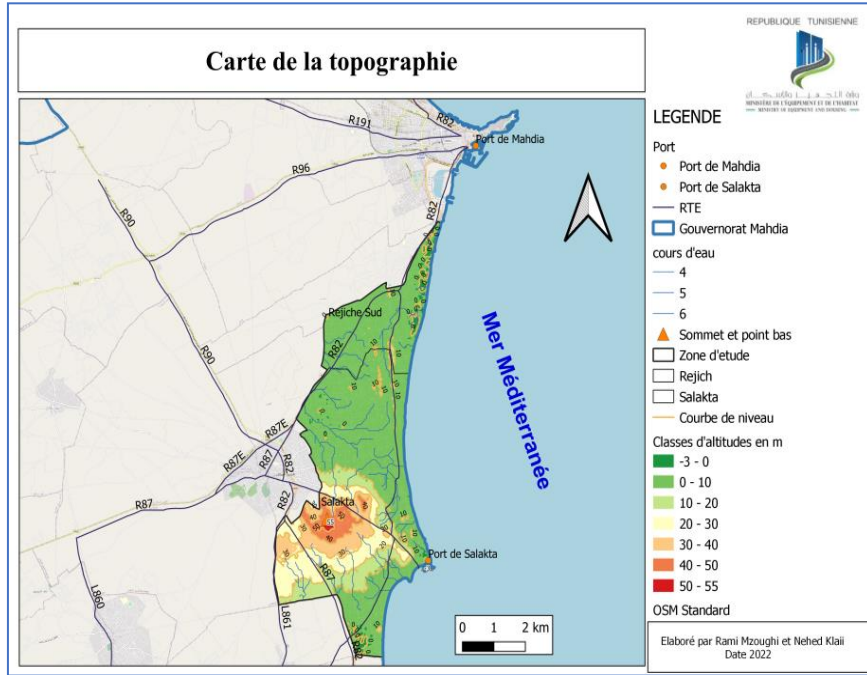
Un Modèle numérique de terrain (MNT) correspond à une représentation sous forme numérique du relief d'une zone géographique. En effet, l'observation de la carte topographique montre que les altitudes sont généralement inférieures à 55 m.

Des courbes de niveau dont les valeurs peuvent atteindre parfois 50 m.

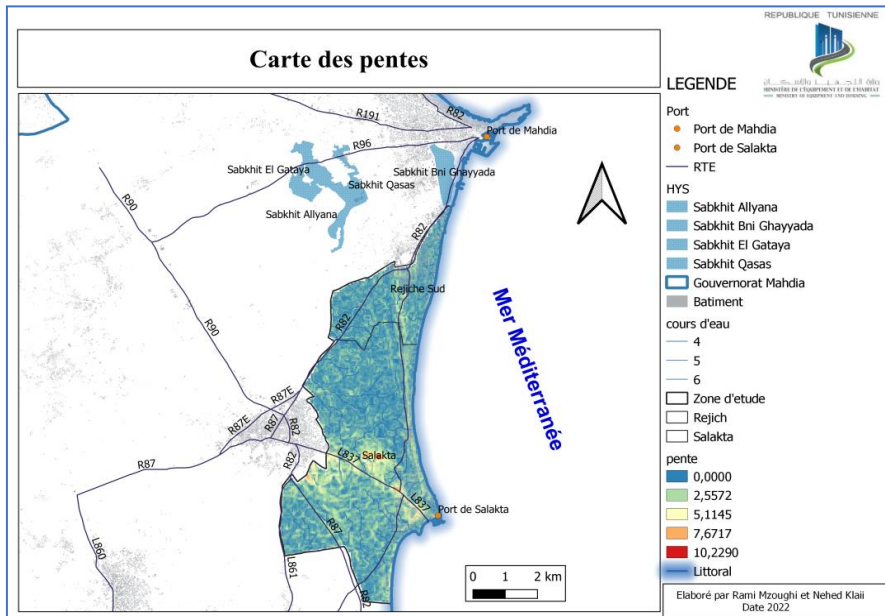


3.2.LA PENTE

A partir de la carte des pentes, on peut distinguer plusieurs classes des pentes.



La frange côtière Rejich-Salakta présente la zone transition entre le Golfe de Hammamet au Nord et le Golfe de Gabès au sud. La pente est généralement raide. Un profil pentu favorise d'avantage le déferlement de la houle et expose les plages à un transport sédimentaire cross-shore. C'est un paramètre majeur contrôlant l'équilibre du milieu littoral.



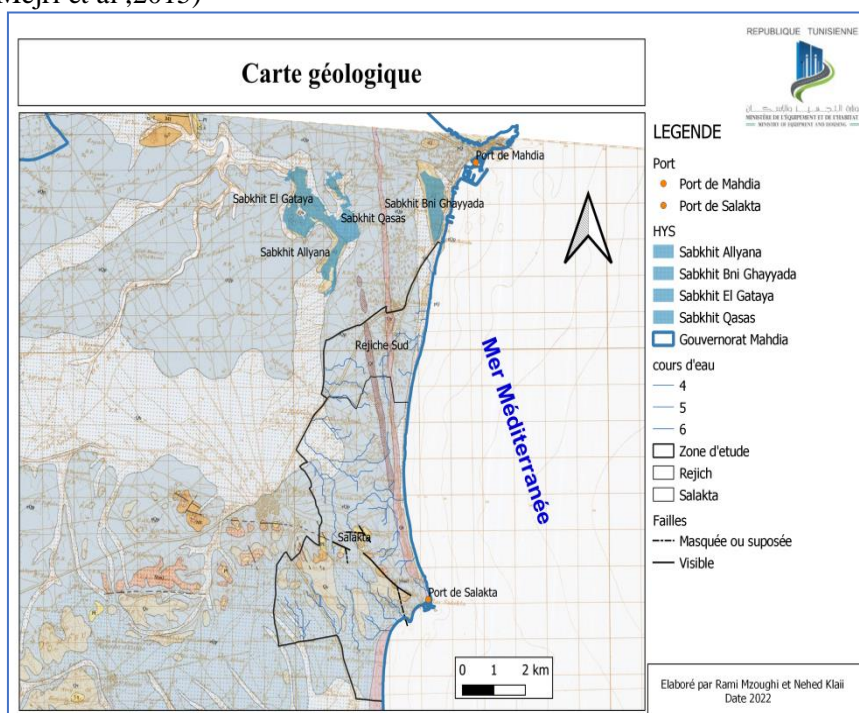
3.3. LE CADRE GÉOLOGIQUE

Le sahel de Mahdia se situe dans la zone de jonction comprise entre les bassins d'Hammamet au nord et celui de Gabès au sud (Ellouze, 1984)

La côte tunisienne est jalonnée par de nombreux dépôts pléistocènes témoins de hauts niveaux marins interglaciaires. Ces dépôts se présentent sous forme de cordons littoraux qui renseignent sur les variations glacio-eustatiques de la Méditerranée (Mejri et al 2015)

L'alternance de périodes glaciaires et des périodes chaudes interglaciaires au cours du Pléistocène supérieur est à l'origine de mise en place de ces cordons littoraux (Mahmoudi, 1986)

L'affleurement de la série côtière, l'âge quaternaire, a fait l'objet de plusieurs études (Paskoff et Sanlaville, 1983, Mahmoudi, 1985) en effet, le secteur de Réjich-Mahdia représente la plus vaste région où affleurent les dépôts tyrrhéniens en Tunisie orientale ; ils s'y alignent sous forme de bourrelets de direction N/S. Trois formations marines furent identifiées par Paskoff et Sanlaville sur le littoral du Sahel tunisien : la formation Douira, la plus ancienne, la formation Réjiche et la formation Chebba, la plus récente (Mejri et al, 2015)

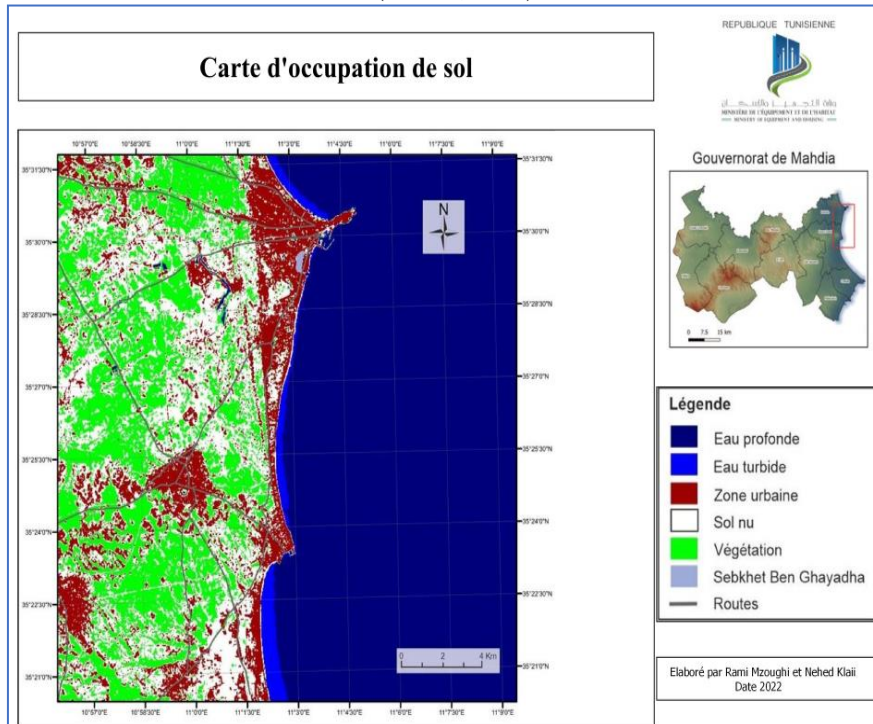


3.4. L'OCCUPATION DU SOL

Pour mieux étudier la zone, avoir une idée sur les différentes composantes du sol, une classification supervisée a été effectuée sous le logiciel Envi à partir d'une image Sentinel téléchargée gratuitement du site « Earth Explorer » de date 28/08/2020.

La carte obtenue est composée de 7 classes : Eau profonde, Eau turbide, Sebkhet Ben Ghayadha, végétation, sol nu, routes et la zone urbaine qui est le composant dominant dans la zone d'étude.

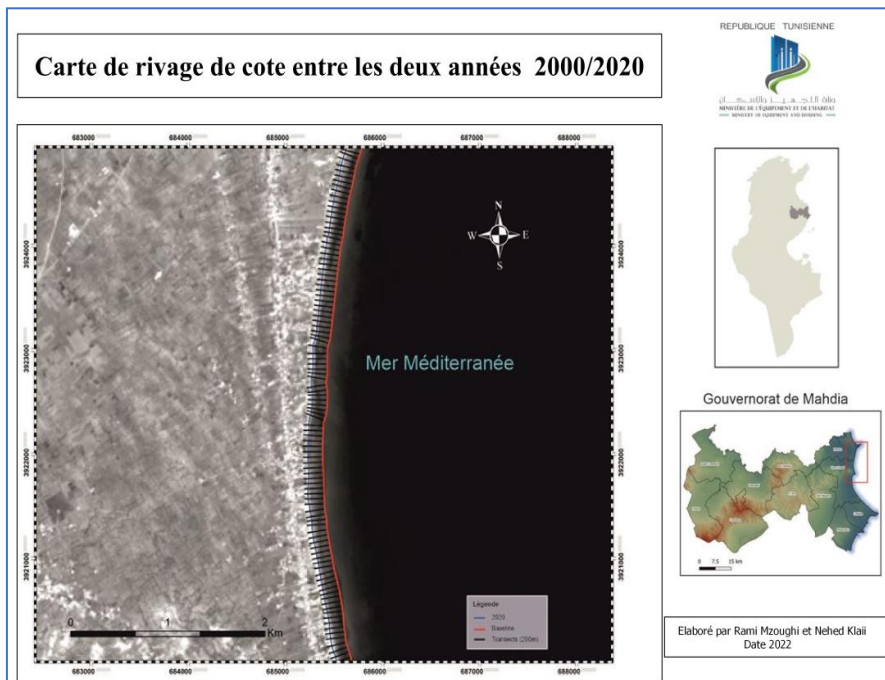
La bande littorale s'est transformée, en un demi-siècle, en un espace fortement anthropisé en raison de la multiplication rapide des constructions et la tendance à occuper le front de mer. C'est surtout au niveau du littoral sableux entre Mahdia et Salakta (APAL,2018)



3.5.EVOLUTION DU TRAIT DE COTE :

L'évolution récente du littoral qui s'étend de Rejich à Salakta a été étudiée en s'appuyant sur l'utilisation de deux images satellitaires qui datent de : 01/09/2000 24/08/2020

Le retrait/avancé du rivage a été quantifié au niveau d'une série de profils orthogonaux à la côte équidistants de 200 m dans le but de déterminer la variation du trait de côte sur les 20 dernières années.



Au cours de cette période, la carte d'évolution du trait de côte montre une zonalité remarquable qui indique de multiples changements.



Rappelons ici que la zone étudiée est dominée par des sebkhas notamment dans sa partie septentrionale (sebkhetRejich, sebkhet Ben Ghayadha) qui alternent des ossatures anticlinales. Pendant la saison pluvieuse, ces dépressions évoluent en lagune côtière ; les eaux marines propulsées par les vents de l'Est débordent le cordon actuel à travers les brèches (Oueslati,2004).

Dans ce même paysage, de nouvelles zones urbaines littorales devant accueillir de nouveaux projets touristiques et d'habitat. Ils sont jugés comme submersibles et vulnérables plus particulièrement, le projet urbain de Mahdia autour de SebkhathBen Ghadhaya sur 140 hectares.

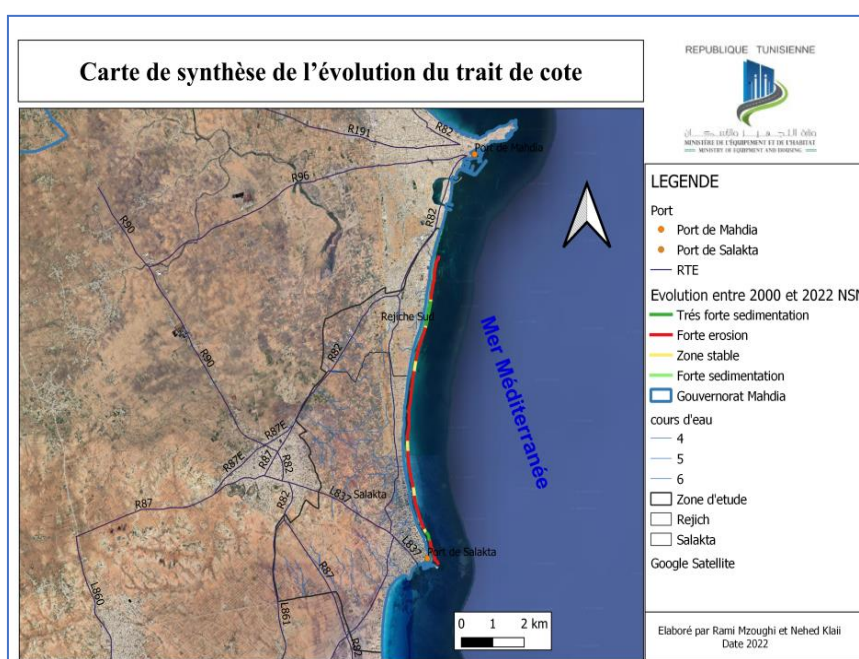


Photo 1 : Illustration de la plage de Douira (Source : Maritec)



Photo 2 : Une mince couverture sédimentaire au pied d'un mur de soutènement au niveau du mosquée de Douira (Source : Maritec)

L'examen à la carte de synthèse qui présente l'évolution du trait de côte au cours de la période étudiée, fait ressortir une forte dominance des zones d'érosion marine avec des intensités fortes à très fortes. Ce premier type caractérise près de 80 % du littoral étudié un taux variable de recul du trait de côte sur presque 8 km. En effet ces zones d'érosion n'est autre que représentent les secteurs de Rejich, Hajeb, Douira (photo 1) et Mnakaa.

Les dépôts alluvionnaires sont fortement occupés par les surfaces bâties à l'image de la Mosquée de Douira. Les clôtures de la mosquée sont fortifiées par des murs peu inclinés qui absorbent l'énergie de la houle et réduisent la réflexion de l'onde, murs adoptés par les résidents.

C'est au niveau de Rejich que l'érosion est la plus prononcée avec un taux de recul moyen de 65 cm/an engendrant un recul moyen de presque 13 m sur 20 ans. En revanche, le trait de côte au niveau de Salakta enregistre une avancée sur les 20 dernières années.

Une concentration importante d'habitations est observée le long de cette plage. Quelle plage ? Certaines constructions dans la zone sont en infraction empiètent dans plusieurs endroits les limites domaine public maritime.

Cette érosion affecte aussi bien la route que les maisons en front de mer. Cette situation est plus grave lors des tempêtes en hiver engendrant l'inondation de la route et des maisons. Dans d'autres secteurs, à Rejiche et à Salakta, c'est la dune bordière qui a disparu ou a été oblitérée par l'empiètement des constructions ou l'aménagement des promenades de front de mer.

Le deuxième type présente les zones relativement stables (zones modérées). Ils touchent à trois secteurs du profil littoral étudié, qui s'étend sur les plages de Hajeb, Douira et Mnakaa soit 12% du littoral étudié.

Le troisième type touche aux zones de sédimentation (soit 8% du littoral étudié). Par conséquent, on peut dire que ces tendances érosives s'inversent au niveau de Salakta et nous assistons plutôt à une séquence d'engraissement sur presque 2 km. Localement, au niveau de Diar Mkam Sidi à Rejich, la plage connaît une légère avancée de quelques mètres. Par ailleurs, la plage de Salakta s'engraisse de 17 m.

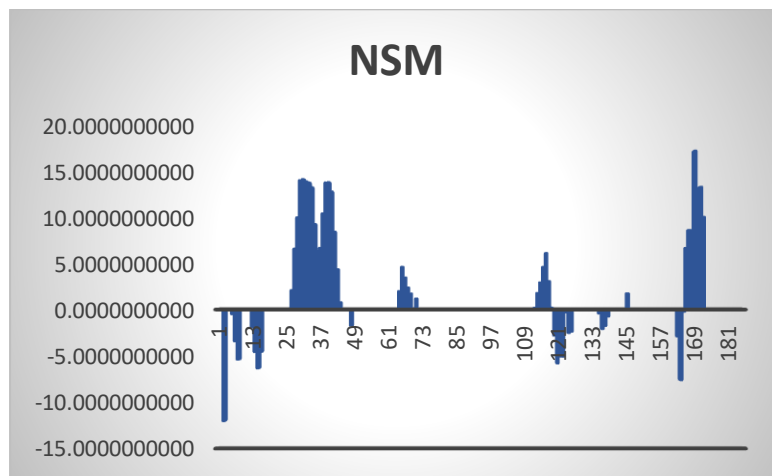


Diagramme du mouvement du littoral

La plage de Salakta est fortement convoitée par les investisseurs à travers l'activité balnéaire notamment les cafés de front de mer, les résidences et la route côtière qui est érigée en partie sur la dune.



Photo 3 : une image montre la plage de SALAKTA plage fragilisée par les occupation de front de mer (source : Maritec)

Une extension urbaine excessive est en train de s'observer sur tout le littoral de la zone d'étude et plus particulièrement à Salakta. La même tendance a été observée à Rejich avec des immeubles imposants qui ont été bâtis directement à quelques mètres de la plage et du DPM.

Le littoral de la zone d'étude Rejich-Salakta, est un site très fréquenté caractérisé par un bon état naturel bien qu'il ait perdu beaucoup de ses qualités à cause du phénomène de l'érosion observée sur presque toute la côte. La fréquentation de la plage se fait toujours le long du littoral avec plus de concentration à Salakta. La question qui se pose, quel avenir pour ces plages sableuses fragilisées et assez vulnérable dans un contexte de conflit d'exploitation intensifié de l'espace côtier ou dans un contexte de changement globaux.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le présent travail porte sur l'apport de la télédétection et du système d'information géographique dans l'évaluation et la cartographie de l'évolution du trait de côte et l'intégration de la démarche SIG dans le processus de la protection du littoral contre l'érosion marine.

En effet l'utilisation de l'approche SIG pourrait être intégrée dans les différentes étapes du processus notamment :

- Lors de l'évaluation des priorités d'intervention par la détermination des zones en fonction de la gravité de l'érosion. Cette étape sert à la programmation des interventions de protection des zones érodées du littoral que ce soit lors de l'établissement du plan quinquennale et surtout en absence d'une stratégie nationale de la protection du littoral que la télédétection et le système d'information géographique évalue avec une grande précision et cartographie l'évolution du trait de côte sur la base des images satellitaires et des données existantes.
- Lors de la réalisation des études techniques du littoral érodé afin de définir les zones d'intervention et les degrés d'érosion marine de chaque tronçon avec une grande précision avant la réalisation des modélisations numériques hydro-sédimentaires.

Ainsi l'approche SIG pourrait être considérée comme Outil d'Aide à la Décision de la programmation et la priorisation des projets de la protection du littoral contre l'érosion marine en l'intégrant dans les différentes étapes du processus de la protection du littoral.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Oueslati, A., & Elamri, T. (2015). LE LITTORAL TUNISIEN-CHIFFRES CLES.
- 2) <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/TUN/Livret%20chiffres%20littoral-FINAL.pdf>.
- 3) Moriconi F. (2012) - Grandes tendances d'urbanisation sur le territoire tunisien
- 4) Oueslati A., 2004, Littoral et aménagement en Tunisie, Orbis presses, 534 p.
- 5) INS (2014) « Institut national des statistiques » Données démographiques.
- 6) Ameer **Oueslati**, Omar Labidi, Tharouet **Elamri** 2015 Atlas de la vulnérabilité du littoral tunisien à l'élévation du niveau marin 67 p
- 7) Boak, E.H. and Turner, I.L. (2005) Shoreline definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research, 21 p 688-703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- 8) Paskoff R. et Sanlaville P. (1983) - Les côtes de la Tunisie ; variations du niveau marin depuis le Tyrrhénien ; Maison Orient Médit. ; 192 p.
- 9) Paskoff, Roland (1985) : Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution, Paris, Masson, 188 p.,
- 10) Mejri et al ,2015 : Nouvelles données chronostratigraphiques des dépôts pléistocènes de la falaise de Hergla (golfe de Hammamet, Tunisie orientale) 12 p
- 11) (Mahmoudi 1986) : Hajer Mejri, Ameer Oueslati, 2015 : Datation IRSL des dépôts lagunaires pléistocènes de la côte orientale de la Tunisie p 27-37 Open edition.org
- 12) Datation IRSL des dépôts lagunaires pléistocènes de la côte orientale de la Tunisie (openedition.org)
- 13) Oueslati, Paskoff. (1988) Acquisitions récentes à propos du quaternaire supérieur des côtes de la Tunisie Année 1988 pp. 79-84
- 14) Carter et Al 1988 95, 1181-1190 **Regulation** of P2, - purinoceptor-mediated prostacyclin release from human endothelial cells by cytoplasmic calcium concentration
- 15) Carter et Al 1988 | Tom Carter - Academia.edu

- 16) Observatoire du littoral (2018). Carte Geomorphologique n°74 :(Mahdia), 28P.
- 17) Paskoff 1984, L'érosion des côtes, Année 1984, p 276.

LISTE DES ACRONYMES

- **DGSAM** : Direction Générale des Services Aériens et Maritimes
- **INS** : Institut National des Statistiques
- **SIG** : Système d'Information Géographique
- **WGS** : World Geodetic System
- **UTM** : Universal Transverse Mercator
- **DPM** : Domaine Public Maritime
- **MNT** : Modèle Numérique du Terrain
- **MNDWI** : Modified Normalized Difference Water Index
- **DSAS** : Digital Shoreline Analysis System
- **NSM** : Net Shoreline Mov

إستغلال المقاطع: التجاوزات واحترام البيئة

يسري خليل : كاهية مدير بالإدارة العامة للجسور والطرق (إدارة المقاطع والمتفجرات)

ملخص : منذ صدور القانون عدد 20 لسنة 1989 بتاريخ 22 فيفري 1989 المتعلق بتنظيم استغلال المقاطع، تمّ إسناد 720 رخصة استغلال مقاطع صناعية منها 378 مقطع ناشط حاليا يوفر ويزود السوق بالمنتجات المختلفة. 18% من هذه المقاطع تستخدم المتفجرات في استخراج المواد و15% تستخدم وحدات التكسير والغزيلة.

يعتبر استغلال المحاجر نشاطا حساسا نظرا لترابطه بالمجالات التالية:

- السلم الاجتماعي، توفير عشرات الآلاف من مواطن الشغل بصفة مباشرة وغير مباشرة
 - الأمن العام، استخدام أكثر من 5100 طن من المتفجرات سنويا.
 - البيئة، مصدر تلوث مثل الاهتزازات والضوضاء والغبار ... الخ.
 - الاقتصاد الوطني، المساهمة في تطوير قطاع البناء والتشييد والتنمية الاقتصادية للبلاد
- رغم تأثيراته السلبية على البيئة، يبقى استغلال المقاطع قطاعا هاما لا يمكن الاستغناء عنه. وبالتالي، فهو من الضروري إعداد ونشر إطار ترتيبي خصوصي مع تطوير آليات مراقبة ومعالجة التأثيرات البيئية لهذا النشاط الحيوي على المحيط مع الحرص على تطبيقه من أجل ضمان حسن إستغلال المقاطع التي تحترم البيئة.

EXPLOITATION DES CARRIERES - abus et respect de l'environnement

RESUME : Depuis la publication de la loi N°89-20 du 22 Février 1989 relative à la réglementation de l'exploitation de carrières, il a été accordé 720 autorisations d'exploitation de carrières industrielles dont 378 sont actuellement en activité fournissant différents produits. L'exploitation de 18 % de ces carrières se fait en utilisant l'explosif et 15% par les unités de concassage criblage.

L'exploitation des carrières est une activité sensible du fait de son interrelation avec les domaines suivants :

- Le domaine social, création de dizaines de milliers de postes d'emploi direct et indirect
- La sécurité publique, utilisant plus de 5100 Tonnes d'explosif par an.
- L'environnement (source de pollution à cause de la vibration, bruit, poussières...)
- L'économie, contribue au développement du secteur de travaux publics et de bâtiments, et à la croissance économique du pays.

Malgré ses impacts négatifs sur l'environnement, l'exploitation des carrières constitue un secteur important et incontournable. Ainsi, il est nécessaire de procéder à l'établissement d'un cadre réglementaire spécifique et de veiller à son application dans le but d'assurer une bonne exploitation des carrières respectueuse de l'environnement tout en permettant de mieux contrôler et réduire les impacts négatifs de cette activité sur l'environnement.

QUARRY EXPLOITATION: INFRACTIONS AND RESPECT OF THE ENVIRONMENT

Abstract: Since the publication of Law No. 89-20 of February 22, 1989, related to the regulation of quarrying, 720 industrial quarrying authorizations have been granted, 378 of which are currently in operation, providing different products. The exploitation of 18% of these quarries is done using explosives and 15% by crushing and screening units.

Quarrying is a sensitive activity due to its interrelationship with the following sectors:

- The social peace, providing tens of thousands direct and indirect jobs.
- General security, using over 5100 Tons of explosives per year.
- The environment, a source of pollution due to vibration, noise, dust, etc...
- The economy, contributing to the development of public works and building sector, and to the economic growth of the country.

Despite its negative impacts, quarrying is very important and must be preserved. That is why, it is essential to develop and implement a legal framework that helps to develop environmentally friendly quarry operating processes while allowing better control and mitigation of its negative impacts on the environment.

إن قطاع المقاطع يعتبر قطاعا حيويا ومحوريا منتجا يندرج ضمن منظومة القطاعات الاقتصادية ذات الإنتاجية الحسنة التي يركز عليها تطوير البنية الأساسية والتجهيزات الأساسية من خلال إنجاز مشاريع الجسور والطرق والمنشآت المائية والموانئ الجوية والبحرية والمباني المعدة للسكن ومقرات مختلف المنشآت الاقتصادية العمومية والخاصة.

ويجب أن تتمحور مجهودات الحكومة في تطوير وتحسين واقع قطاع استغلال المقاطع من خلال جملة من التدخلات التي يجب أن تقوم بها في جل المجالات التي تهتم القطاع من استكمال تأطيره تشريعا وتربيبيا توازيا مع احترام المنظومة البيئية.

يستهلك قطاع البناء والأشغال العمومية لوحده ما لا يقل عن 80 % من جملة إنتاج مواد المقاطع بينما تستعمل 20 % الباقية في المجالات الصناعية.

لذا ونظرا للمكانة الاقتصادية التي يحتلها هذا القطاع والدور الذي يلعبه في تطوير قطاع البناء والأشغال العمومية يجب المحافظة عليها واستغلالها على أحسن وجه لأنها ثروة طبيعية غير متجددة.

كما يعتبر إستغلال المقاطع نشاطا ذا حساسية لإتصاله بالمجالات التالية:

- السلم الاجتماعي، حيث أنه يوفر قرابة 35.000 مواطن شغل بصفة مباشرة وعشرات الألف بصورة غير مباشرة.
 - الأمن العام وذلك باستعماله ما يفوق 5100 طن من المتفجرات سنويا.
 - البيئة، باعتباره مصدر تلوث (غبار وضجيج وارتجاج ...)
 - الاقتصاد، وذلك لارتباطه بالنمو الاقتصادي العام للبلاد حيث تمثل المقاطع نسبة 50 % من المؤسسات العاملة في قطاع البناء.
- والجدير بالذكر أن ارتفاع نسبة استهلاك المواد المقطعية أصبح يعدّ مؤشرا للنمو الاقتصادي والاجتماعي للدول (فعلى سبيل المثال يستهلك الشخص الواحد في تونس يوميا قرابة 6 كغ مقارنة مع فرنسا حوالي 8 كغ وألمانيا 13 كغ).

1. المخالفات المرتكبة من طرف أصحاب المقاطع

الاستغلال بدون صفة قانونية

- الاستغلال بدون تراخيص قانونية في الغرض
- الاستغلال غير المرخص فيه باستعمال كراس شروط رفع عينات من المواد المقطعية (القانون 97 لسنة 2000)
- مواصلة الاستغلال بترخيص منتهية الصلوحية

2. التأثيرات على البيئة المتأتية من استغلال المقاطع

التأثيرات على التربة:

ترجع التأثيرات على التربة خاصة من خلال عمليات التجريد والكشط خلال إعداد مواقع المقاطع، وأثناء استغلالها حيث تحدث عدة تغييرات طوبوغرافية، جيومرفولوجية وخاصة بمناطق المدخرات ومسار المسالك المؤدية وظاهرة الانجراف وعمليات الرص للمساحات السطحية والعميقة جزاء المرور المتكرر للشاحنات ووسائل النقل الثقيلة ومعدات الحفر.

كما يمكن أن تتأثر التربة بالعديد من عوامل التلوث الأخرى، كالمواد السائلة المتسربة من الآليات المعتمدة من مواد بترولية وزيوت المحركات والمواد الصلبة الراجعة لتدخل الإنسان.

التأثيرات على المياه السطحية:

إن عملية ضخ وشفط المياه السطحية (كمية المياه) وتصريف المياه المتعفنة والملوثة أو مياه المناجم يؤدي إلى تغيير الشبكة الهيدرولوجية (يمكن أن يصبح المجرى المائي راكدا جثما)

التأثيرات على المياه الجوفية:

انخفاض مستوى المياه بالآبار وتجفيف المنابع وبروز انهيارات بمناطق الأحجار الجيرية ذات مجار جوفية وهبوط مستوى الأرض، مما ينتج عنه تغير اتجاهات مجاري المياه الجوفية وتلوث المائدة المائية نتيجة تسرب المياه المستعملة والراكدة.

تأثيرات مرتبطة بالفضلات:

وقد رصد عديد من الفضلات على مواقع استغلال المقاطع والتي تكون عادة فضلات صناعية كالعجلات المطاطية وزيت محترقة وبطاريات مستعملة وفضلات غير فعالة وخامد بقايا المعدات الحديدية والركام المعدني (خردة) وكذلك فضلات ناجمة عن المعلبات الغذائية وفواضل الأكل.

التأثيرات على نوعية الهواء:

- الغبار، يتأثر الهواء من الغبار المتأني من:
- أشغال استخراج المدخرات (الحفريات، الانفجار، عصف التفجير، قطع الحجارة المتواجدة بالطرف السفلي لواجهة المقطع...)
- وحدات التكسير والغرلة في مختلف مراحلها (التكسير، الغرلة، سحق وهرس الحجر، الرحي، القص...)
- تنقل المعدات الثقيلة المستعملة لتكسير ورفع المنتج سواء على موقع الاستغلال أو على المسالك والطرق.
- غازات المحروقات
- نفث المعدات الثقيلة ووسائل النقل للغازات المحترقة...
- الروائح، انبعاث روائح كريهة متأنية عادة من المجموعات الصحية وبقايا المواد الغذائية...

التأثيرات على الغطاء النباتي:

إن مشاريع فتح المقاطع لها تأثير سلبي على الغطاء النباتي وذلك عن طريق جرف الموقع قبل استغلاله. كما تتأثر المساحات المجاورة عن طريق تناثر الغبار والأتربة المتساقطة على أوراق الشجر والنباتات.


تأثيرات ومخاطر منبثقة عن الضجيج والإرتجاج:

المصادر الهامة لانبعاث الضجيج والإرتجاج هي عمليات التفجير ومرافق المعالجة (الكسارات، الغرايل، ...) ومحركات الآلات الثقيلة والمعدات (مولدات كهربائية، آلات ثقب الصخور...) صفارات الإنذار عند بدء اشتغال المنشآت....

تأثيرات على المحيط الطبيعي:

إزالة الغابات وتركيز المنشآت وأماكن وضع المنتج تسبب في تناقضات في الشكل والألوان وتؤثر سلبا على المظهر العام. شكل الحفر وتترك واجهات الاستغلال آثارا كبيرة لا رجعة فيها.

	
<p>التأثيرات على المياه السطحية (ركود المجرى المائي)</p>	
	
<p>تلوث المائدة المائية</p>	<p>علو الواجهات يشكل خطرا على سلامة رواد المقطع والمحيط المجاور</p>

	
التأثير السلبي على الغطاء النباتي	الإستغلال بدون تقسيم الواجهات
	
تأثيرات على المحيط الطبيعي	

	
<p>التأثيرات على نوعية الهواء المتأتية من وحدات التكسير والغربلة والمعدات الثقيلة</p>	
	
<p>التأثيرات على نوعية الهواء المتأتية من وضع المخزون ووحدات التكسير والغربلة كما تساهم هذه الأخيرة في إنبعاث الضجيج والإرتجاج</p>	

	
<p>تأثر المساحات المجاورة عن طريق تناثر الغبار والأتربة المتساقطة</p>	<p>عدم صيانة المسالك المستغلة وعدم القيام بالرش الدوري مما يساهم في تناثر الغبار والأتربة</p>
	
<p>تأثر أوراق الشجر والنباتات من تناثر الغبار ووضع المواد العقيمة (نفايات)</p>	<p>التأثيرات على المسالك والطرق المتأتية من تنقل المعدات الثقيلة لتكسير ونقل المنتج.</p>

	
<p>الفضلات على مواقع إستغلال المقاطع (فضلات صناعية وزيوت محترقة وبطاريات مستعملة وفضلات غير فعالة وخامد بقايا المعدات الحديدية والركام المعدني (خردة))</p>	<p>تناقضات في الشكل والألوان تؤثر سلبا على المظهر العام وواجهات الإستغلال تترك آثار كبيرة لا رجعة فيها</p>
	
<p>أشغل إستخراج المدخرات (الحفريات، الإنفجار، عصف التفجير) هي عمليات تساهم في الضجيج والإرتجاج</p>	<p>تناقضات في الشكل والألوان تؤثر سلبا على المظهر العام، شكل الحفر تترك آثار كبيرة</p>

3. عقوبات مخالفات الاستغلال وتهينة المقاطع الواردة بالقانون عدد 20 لسنة 1989 المتعلق بتنظيم استغلال المقاطع كما تم تنقيحه بالقانون عدد 95 لسنة 1998 المؤرخ في 23 نوفمبر 1998 وبالقانون عدد 97 لسنة 2000 المؤرخ في 20 نوفمبر 2000.

الفصل عدد 13: في صورة مخالفة الترتيب الجاري بها العمل أو الإلتزامات الخاصة المنصوص عليها بكراس الشروط وقبل سحب الرخصة تتولى السلطة الإدارية ذات النظر توجيه تنبيه إلى المستغل قصد تسوية وضعه في أجل أقصاه ثلاثة أشهر. وإذا انقضى هذا الأجل دون نتيجة تقرر السلطة الإدارية ذات النظر بعد الاستماع إلى رأي اللجنة الاستشارية للمقاطع توقيف الرخصة وإحالة المستغل على السلطة القضائية المختصة. على أن المستغل يظل بعد توقيف الرخصة أو سحبها خاضعا للإلتزامات المشار إليها بالفصل 25 من هذا القانون.

الفصل عدد 14: يجوز للسلطة الإدارية ذات النظر أن توقف في أي وقت استغلال مقطع لأسباب خطيرة تتعلق خاصة بحماية البيئة أو الأراضي الفلاحية أو نظام المياه، أو المواقع والمعالم التاريخية أو المناجم أو المنجزات الكبرى أو المشاريع العمومية، أو بالنظافة والصحة العامة أو بأسباب أمنية إلى حد انتهاء هذه الأسباب على أن لا تتعدى مدة التوقيف الشهر الواحد. يمكن للسلطة الإدارية ذات النظر بعد أخذ رأي اللجنة الاستشارية للمقاطع المختصة أن تأمر باتخاذ إجراءات الحماية التي يجب على المستغل القيام بها وتحديد آجال تنفيذها.

الفصل عدد 25: ينبغي على كل مستغل بعد انتهاء الأشغال لأي سبب ما، تعويض كل ضرر حصل للبيئة أو قد يلحق بالسلامة العامة وإصلاح الموقع المتضرر وفقا للتشريع الجاري به العمل وللالتزامات الخاصة المنصوص عليها بكراس الشروط. وإذا لم يكن باستطاعة المستغل أو إذا رفض الامتثال لتعليمات الإدارة تتولى السلطة ذات النظر وجوبا تنفيذ التدابير الضرورية عوضا عن المستغل وعلى نفقته.

الفصل عدد 30: كل استغلال غير مرخص فيه، وكل إخلال بواجب التصريح وفقا لما ينص عليه الفصلان 20 و 21 من هذا القانون وكذلك كل استخراج للخامات من تحت واجهة المقطع أفقيا يعاقب عليه بالسجن لمدة تتراوح بين شهرين وخمس سنوات وبخطية مقدارها من خمسين (50) إلى 10 آلاف (10.000) دينار أو بإحدى العقوبتين فقط.

الفصل عدد 31: تعاقب بخطية مقدارها خمسين (50) إلى عشرة آلاف (10.000) دينار كل إحالة أو تسوية أو مناولة لرخصة استغلال مقطع وكل تغافل عن تجديدها وكذلك كل نيل من صحة الأجراء وسلامتهم وفقا لما ينص عليه الفصل 19 من هذا القانون.

الفصل عدد 32: كل مخالفة لأحكام الفصل 16 من هذا القانون تعرض مرتكبيها إلى عقوبة السجن من شهر إلى عام وإلى خطية أقصاها ألفا (2000) دينار أو إلى إحدى العقوبتين فقط وذلك مع مراعاة العقوبات المنصوص عليها بالمجلة الجنائية.

الفصل عدد 33: كل مخالفة لوجوب الاستغلال بما يحافظ على المظهر العام وفقا لما ينص عليه الفصل 18 من هذا القانون يعاقب عليها بخطية تتراوح بين ألفي (2000) دينار وعشرة (10.000) آلاف دينار.

الفصل عدد 34: كل إخلال بواجب المسك المستمر للوثائق الضرورية للمتابعة والمراقبة وفقا لما هو منصوص عليه بالفصل 22 من هذا القانون وكذلك كل امتناع عن إبلاغ الوثائق والمعلومات المشار إليها بالفصلين 23 و 24 من هذا القانون يعاقب عليه بخطية أقصاها ألفا (2000) دينار.

الفصل عدد 35: كل من يعترض على تنفيذ الأشغال المقررة تلقائيا من قبل السلط الإدارية لعدم احترام كراس الشروط يعاقب بالسجن لمدة تتراوح بين ثلاثة أشهر و عام وبخطية أقصاها ألفا (2000) دينار أو بإحدى العقوبتين فقط.

الفصل عدد 36: يمكن للمحاكم ذات النظر المتعده عملا بالفصل 38 من هذا القانون أن تقرر غلق المقاطع المستغلة بصورة غير شرعية أو مخالفة لأحكام هذا القانون أو الترتيب التطبيقية الصادرة في شأنه. ويكون الغلق مؤقتا أو نهائيا.

الفصل عدد 37: تنطبق الأحكام العامة للمجلة الجنائية على العقوبات المنصوص عليها بهذا القانون.

الفصل عدد 38: الأعوان المحلفون والمكلفون بمراقبة استغلال المقاطع يتولون البحث والمعاينة بواسطة محاضر في شأن مخالفات هذا القانون ونصوصه التطبيقية وكراس الشروط وذلك فضلا عن أعوان الضابطة العدلية المشار إليهم بالفقرات الأولى والثانية والثالثة والرابعة من الفصل العاشر من مجلة الإجراءات الجزائية. وتوجه المحاضر إلى الوزير الراجع له بالنظر النشاط المقطعي الذي يتولى إحالتها إلى السلطة القضائية ذات النظر. وللوزير المكلف بالنشاط المقطعي أن يعقد صلحا ويأذن بحفظ الملف تبعا لذلك فيما عدا المخالفات المنصوص عليها بالفصلين 30 و 32 من هذا القانون.

4. ضرورة مراجعة التشريع الجاري به العمل

في إطار ملائمة التشريع الوطني مع واقع البلاد وتعزيزا لقدرتها على مواجهة متطلبات التنمية المستدامة وتحقيق نتائج إيجابية في مجالات الإصلاح الاقتصادي والتنموي التي بفضلها قطعت تونس أشواطاً هامة على درب تحرير اقتصادها ودفع الاستثمار في العديد من الميادين وذلك بإصدار ومراجعة العديد من القوانين المتعلقة بالتجارة والصناعات التحويلية والمنافسة والأسعار. وبعد مرور أكثر من ثلاثين سنة على إصدار القانون عدد 20 لسنة 1989 المؤرخ في 22 فيفري 1989 والوقوف على العديد من النقائص لهذا النص القانوني، يجب التدخل لتطوير وتحسين واقع القطاع من خلال جملة من الإجراءات التي تهم القطاع من استكمال تأطيره تشريعيا وترتيبيا توازيا مع احترام المنظومة البيئية.

1.4 تهيئة المقاطع:

توضيح التدابير الجزرية المتخذة ضد المخالفين للترتيب الجاري بها العمل في ميدان الاستغلال أو الالتزامات المنصوص عليها بكراس شروط الاستغلال وإقرار مبدأ تدرجها (الفصل 13).

ينص الفصل 13 من القانون المتعلق باستغلال المقاطع في صيغته الحالية على أن اجراءات تتبع المخالفين تتم حسب التمشي التالي: توجيه تنبيه الى المستغل لتسوية وضعه في أجل اقصاه ثلاثة أشهر. إذا انتهى هذا الأجل دون نتيجة تقرّر السلطة الإدارية ذات النظر بعد الاستماع الى رأي اللجنة الاستشارية للمقاطع توقيف الرخصة وإحالة المستغل على السلطة القضائية المختصة او سحب الرخصة. غير أن هذه الإجراءات كما وردت في هذا الفصل تبدو متداخلة وغير واضحة وخالية من كل تسلسل بالرغم من خطورتها، وعلى هذا الأساس فهي تستدعي مراجعة في اتجاه توضيحها وإقرار تدرجها بكيفية تمكن الإدارة من التدخل عند الحاجة لردع المخالفين وفي نفس الوقت تمكن هؤلاء من إمكانية تدارك مخالفاتهم وتسوية وضعياتهم.

وبالتالي فالمقترح أن يتم اجراءات تتبع المخالفين حسب التالي:

- توجيه تنبيه للمخالف لتسوية وضعه في أجل أقصاه شهرا،
- في صورة عدم امتثال المخالف تقرّر الإدارة إيقاف النشاط لمدة شهرين،

- وبانقضاء هذا الأجل دون نتيجة يتم عرض الملف على أنظار اللجنة الوطنية الاستشارية للمقاطع لسحب الرخصة الى أن تتم تسوية الحالة المادية للمقطع.

2.4 التمديد في أجل توقيف استغلال المقطع في الوضعيات الاستثنائية والخطيرة (الفصل 14)

نصّ الفصل 14 من القانون المتعلق باستغلال المقاطع في صياغته الحالية على أن مدة توقيف استغلال المقطع المبرّر بأسباب خطيرة لا يجب أن تتعدى شهر، غير أن الممارسة اثبتت ان هذه المدة غير كافية للإدارة للقيام بإصلاح الضرر الحاصل، خاصة إذا ما أخذنا بعين الاعتبار ما يتطلبه اتخاذ هذه التدابير من اجراءات إذ يتم في مثل هذه الحالات اشعار الإدارة العامة للحرس الوطني وإدارة التراب عند استعمال المواد المتفجرة لسحب ورقة الطريق وإيقاف نشاط المقطع (...). لذا يجب التخلي عن ذكر المدة وذلك لترك المجال للإدارة للقيام بالإجراءات اللازمة وتحديد المدة حسب خطورة المخالفة.

3.4 فتح المجال أمام إمكانية المناولة في قطاع استغلال المقاطع (الفصل 15)

يهدف الإسهام في تشجيع استقطاب الاستثمارات الخارجية خاصة تماشياً مع متطلبات المرحلة التي يمرّ بها الاقتصاد الوطني، أضحي من الضروري فتح المجال أمام المرخص له للالتجاء للخبرات الوطنية والأجنبية عند الاستغلال، خاصة في بعض المجالات التي تعجز فيها القدرات الذاتية للمستثمر على الاستغلال الأمثل لما هو متاح ونذكر على سبيل الذكر لا الحصر قطاع الإسمنت الذي يشهد تدخل عدّة شركات أجنبية والتي تميل بدورها لمناولة بعض الجوانب من عملية الاستغلال لشركات مختصة واستعمال المتفجرات عن طريق عقود المساعدة والمرافقة "contrat d'assistance" مع الشركات المختصة في هذا المجال والذي تحتوي على القيام بأشغال الشحن والتفجير. غير أن إقرار مبدأ المناولة لا يعني استبعاد الطابع الشخصي للترخيص كقاعدة عامة وذلك بتنفيذ امكانية اللجوء الى المناولة شريطة الحصول على الموافقة المسبقة من الإدارة المكلفة بالقطاع.

ملانمة لسياسة الدولة في مجال حماية البيئة والمحيط، ونظرا لعدم برمجة ورصد اعتمادات خاصة لعمليات التهيئة مما يحول دون تطبيق الفقرة الثانية من الفصل 25 من القانون عدد 20 لسنة 1989 والقاضي بـ " ينبغي على كل مستغل بعد انتهاء الأشغال لأي سبب ما، تعويض كل ضرر حصل للبيئة أو قد يلحق بالسلامة العامة وإصلاح الموقع المتضرر وفقا للتشريع الجاري به العمل وللالتزامات الخاصة المنصوص عليها بكراس الشروط، وإذا لم يكن باستطاعة المستغل أو إذا رفض الامتثال لتعليمات الإدارة تتولى السلطة ذات النظر وجوبا تنفيذ التدابير الضرورية عوضا عن المستغل وعلى نفقته"، لذا فالمقترح إرساء مبدأ الضمان البنكي عند فتح واستغلال مقطع على غرار ما هو معمول به في البلدان الأخرى وذلك لوضع الإطار القانوني والإمكانات المالية اللازمة لتدخل الإدارة في صورة عدم قيام أصحاب المقاطع بتهيئة المواقع المستغلة بعد انتهاء الأشغال لأي سبب ما.

كراس شروط رفع عينات من المواد المقطعية (القانون 97 لسنة 2000)

تصدية للاستغلال غير المرخص فيه باستعمال كراس الشروط المذكور ونظرا الى أن عملية رفع العينات يجب أن تكون طبقا لطرق فنية وعلمية تضمن صحة نتائجها وهو ما يفتقر إليه أغلبية المستثمرين في القطاع، فإن رفع العينات قصد القيام بالتجارب ستكون عن طريق هيكل مختص مصادق عليه وليس من قبل صاحب المطالب.

حول الحد من التلوث الهوائي بالمقاطع

ينتج عن استغلال المقاطع تغييرا في المشهد الطبيعي للمواقع المجاورة وتأثيرات سلبية راجعة بالأساس إلى انتشار الغبار سواء من المسالك الداخلية للمقطع أو من مواقع خزن المنتج والنفائات والمصدر الثالث والمهم هو وحدات التكسير والغربلة. وقد سعت إدارة المقاطع والمتفجرات لإيجاد الحلول الكفيلة بالتقليل من هذه السلبات وذلك في مرحلة أولى بتحسيس

أصحاب المقاطع بضرورة الحد من التلوث الهوائي واحترام المقترضات والاجراءات المدرجة بكراس الشروط والملزمين بتطبيقها.

شروط الحد من الغبار

- تتضمن كراس الشروط الفنية المرفقة لقرارات الترخيص جملة من الإجراءات التي تنص في مجملها على: (الفصل السادس من كراس شروط استغلال مقطع حجارة)
- رش المسالك والمساحات المخصصة لتخزين النفايات والمنتوج،
 - تغطية حمولة الشاحنات قبل خروجها من المقطع،
 - تركيز نظام للحد من تصاعد الغبار بوحدة التكسير والغربلة والقيام بتغطية كاملة للأسيرة الناقلة (Bande Transporteuse).
 - الحد من ارتفاع ناقلات المنتوج وذلك بإضافة مصبات تحت كل ناقلة.

إن أهم التقنيات الممكن إستعمالها في قطاع المقاطع على مستوى وحدات التكسير والغربلة للحد من التلوث الهوائي أو التقليل منه تتمثل في تجهيز هذه الوحدات بالوسائل التالية:

تقنيات الحد من الغبار

Capotage de trémie de réception	تغطية مسقط الاستقبال	1
Scalpeur	غربلة أولية	2
Capotage des cribles	تغطية الغرابيل	3
Capotage des bandes transporteuses	تغطية الأسيرة الناقلة	4
Equipement des bandes transporteuses par des manches	تجهيز الأسيرة الناقلة بمصبات	5
L'unité de concassage est muni d'un système de pulvérisation	الوحدة مجهزة بنظام رش	6
les pistes à l'intérieur de la carrière sont pulvérisées par des points d'eau fixe.	رش دوري منظم للمسالك الموجودة داخل المقطع وذلك بتوفير نقاط مياه قارة	7

وقد تمكنت الإدارة سنة 2005 بإيجاد حل للكسارات المركزة بولاية المهدية ذات طاقة لا تتعدى 50طن/س وذلك بتغطيتها وتشجير حدود المساحة المرخص فيها للحد من إنتشار الغبار على المحيط الفلاحي المجاور. وقد تم تعميم هذه التجربة على الكسارات الصغيرة الحجم المركزة بالجهة. غير أن هذه التجربة لا يمكن تعميمها على كل الكسارات المركزة بالبلاد نظرا لكبر حجمها (من 150 إلى 650 ط/س)

ملاحظات:

إن غياب مصادر المياه في أغلبية المواقع المستغلة كمقاطع حال دون تطبيق هذه الإجراءات وتحرص الإدارة على إيجاد حلول فنية بديلة ونخص بالذكر منها القيام بتغطية كاملة لوحدة التكسير والغربلة.

إن من أهم سلبيات إستغلال مقاطع الحجارة المنتجة للحصى هو ما تفرزه من كميات كبيرة من الفواضل والتي تمثل مصدرا للتلوث البيئي وعبئا على المستغل نظرا لما تتطلبه من مساحات كبيرة لخزنها. ولإيجاد حل لهذا الإشكال، شرعت الوزارة بإعداد دراسة حول تهمين الرمال الكلسية بمنطقة الجنوب التونسي لتحديد مواصفاتها الجيوتقنية ومجالات استعمالها. وتعتزم الوزارة تعميم هذه الدراسة على بقية الجهات.



ومواكبة لدعم الإنجازات في ميادين البنية التحتية والتجهيزات الأساسية وكذلك اعتبارا لوضع القطاع الحساس وخصائصه وسعيا إلى مزيد إحكام تنظيمه وإدماجه في مسيرة التنمية المستدامة يجب إرساء المبادئ التالية:

- (1) مبدأ الضمان البنكي عند فتح واستغلال مقطع على غرار ما هو معمول به في البلدان الأخرى وذلك ملائمة لسياسة الدولة في مجال حماية البيئة والمحيط وترشيد الموارد الطبيعية.
- (2) مخططات توجيهية للمقاطع بكل ولاية لمزيد التحكم فيها والنهوض بالتنمية الجهوية (في مراحلها الأخيرة).
- (3) برنامج تأهيل وتكوين للعاملين بالقطاع لترشيد الاستغلال بالمقاطع.
- (4) اشتراط إنداب تقني في الإختصاص قبل الحصول على ترخيص قصد ترشيد الإستغلال.

حوليات التجهيز

نشرة وزارة التجهيز والاسكان

لسنة 2023

مديرة النشرة : منانة زدام الحفناوي

رئيس التحرير : نور الدين سليم

أعضاء التحرير

منير بكاي

أحمد الكامل

نجيب السنوسي

سهام بن سلطان

فاتن هنتاتي

تنسيق وإعداد

ليلى الغرايري