

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة وهران 2 محمد بن احمد  
**Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed**



**Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers**  
**Département des Sciences de la Terre**  
**Mémoire de Master**  
**Option : Risque Naturel et Gestion**

**Thème**

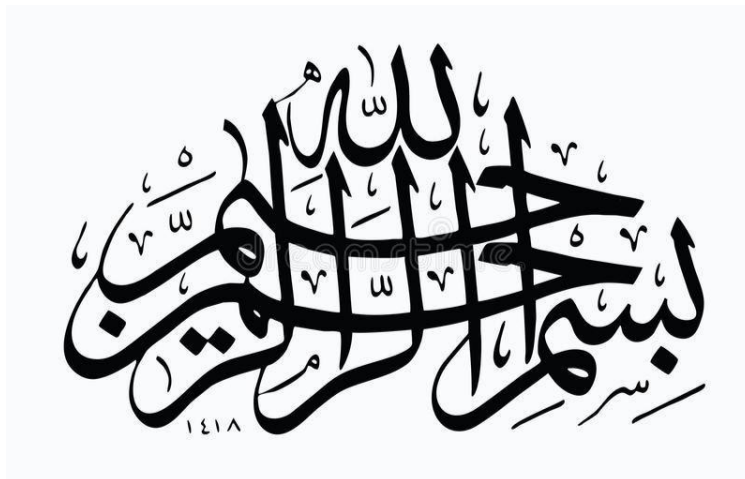
**Le phénomène de dissolution des formations géologiques et leur impact sur  
les risques urbains de la région d'Oran. Réflexion sur les moyens de  
remediation**

Présenté par : **BAGHDADI Mansour**

**Soutenu le / /2018 devant le jury :**

SAFA	Aïssa	Maitre de conférences A	Président
MANSOUR	Hamidi	Professeur	Encadreur
ABLAOUI	Halima	Maitre assistant	Examineur

*Juin 2018*



**Le phénomène de dissolution des formations  
géologiques et leur impact sur les risques  
urbains de la région d'Oran.  
Réflexion sur les moyens de remédiation**

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à rendre hommage à mes parents pour m'avoir inculqué une éducation exemplaire et qui m'a permis de me guider dans le droit chemin tout le long de ma vie.

J'ai une pensée particulière, pleine d'affection à Hamid et Mokhtaria que je considère comme mes propres parents.

Je n'oublierais pas dans ces remerciements de citer l'apport et le soutien moral de mes femmes et mes enfants qui n'ont cessé de m'encourager malgré mes nombreuses occupations professionnelles.

Je ne remerciais jamais assez mes professeurs du Département des Sciences de la Terre, qui m'ont dispensé les connaissances et le savoir nécessaire pour arriver à terminer le mémoire de Master. Je citerai particulièrement Messieurs FOUKRACHE Mohamed, NADJI Abdelmansour, SADDIKI Abdelmadjid et Mme M'RAH-BAKRETI.

Je tiens à remercier vivement mon encadreur le Professeur MANSOUR Hamidi pour ses nombreux conseils, son assistance et sa clairvoyance.

Que Monsieur SAFA Aïssa trouve tous mes remerciements et ma gratitude pour m'avoir suivi et conseillé le long de ma formation de Master.

Je tiens à remercier Melle ABLAOUI Halima d'avoir accepté d'examiner mon mémoire. Je tiens à souligner qu'elle a été irréprochable tant sur le plan pédagogique que sur le plan humain.

**A tous, un grand Merci**

## SOMMAIRE

AVANT PROPOS.....	2
-------------------	---

### CAPITRE PREMIER

#### CONSIDERATIONS GENERALES ET CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

I. CONSIDERATIONS GENERALES AU DOMAINE D'ETUDE.....	3
1. Introduction.....	3
2. Localisation de la zone d'étude.....	3
3. Géomorphologie de la région d'Oran .....	4
II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DU PLATEAU D'ORAN.....	5
1. Assise géologique de la ville d'Oran.....	5
1.1. <i>Série du ravin blanc</i> .....	5
1.2. <i>Les sondages de reconnaissance</i> .....	6
2. Cartographie des eaux souterraines du plateau d'Oran.....	7
2.1. <i>Bassin hydrogéologique Nord de la frange maritime</i> .....	9
2.2. <i>Bassin hydrogéologique Sud drainant le petit lac</i> .....	10

### CHAPITRE DEUXIEME

#### PROCESSUS GEOCHIMIQUES DES FORMATIONS CARBONATEES ET GYPSEUSES

I. PRINCIPE DU PROCESSUS DE DISSOLUTION.....	10
II. LES CARBONATES .....	12

1. Les modèles physico-chimique.....	12
2. Les expériences analogiques.....	12
3. Le milieu nature.....	13
4. Les minéraux des carbonates.....	13
5. Modelé karstique des roches carbonatées du plateau d'Oran.....	14
III. LES SULFATES.....	16
1. Formes cristallines du gypse	
2. Formation du gypse	
3. Dissolution du gypse	

## **CHAPITRE TROISIEME LES RISQUES URBAINS**

I. PALEO-HYDROGRAPHIE DE LA FRANGE MARITIME.....	19
II. DRAINAGE DES BV DE LA BAIE DE SAINTE THERESE.....	21
III. RELATION OUED - NAPPE.....	21
VI. IMPACTS DES AFFAISSEMENTS SUR LE BATI ET L'ENVIRONNEMENT URBAIN.....	23
1. Mouvements de terrain liés à la présence de cavités anthropiques.....	23
2. Affaissements d'origine géochimique.....	29
3. Effondrements et chutes de blocs.....	32
4. Expertises et travaux d'entretien.....	35

**CHAPITRE QUATRIEME**  
**OUTILS D'AUSCULTATION ET MOYENS DE REMEDIATION**

I. METHODOLOGIE.....	42
II. AUSCULTATION DES ANOMALIES : LE GEORADAR.....	44
1. Principe du Géoradar.....	44
JJ. <a href="#">Le</a>	
1. Balayage Géoradar dans les formations gypseuses à El Kerma.....	46
III. TRAITEMENT ET MOYENS DE REMEDIATION .....	52
1. Principes et objectifs.....	54
2. Méthodes de comblement des cavités.....	55
VI. CONCLUSION.....	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	61

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1 - Carte de localisation de zone d'étude.....	4
Fig. 2 - Vue satellitaire d'Oran et de son réseau hydrographique 5 (Mansour, 2011).....	5
Fig. 3 - Coupe géologique du ravin blanc (Mansour H, 1989).....	6
Fig. 4 - Coupe géologique perpendiculaire au front de mer.....	7
Fig. 5 – Partie du plateau d'Oran s'ouvrant sur la frange maritime.....	8
Fig. 6 – Affleurement de la nappe du plateau d'Oran au niveau du petit lac.....	8
Fig. 7 - Piézométrie du plateau d'Oran (Mansour et al, 2009).....	9
Fig. 8 – Processus de dissolution des formations carbonatés et gypseuses.....	11
Fig. 9 - Précipitation et dissolution des carbonates.....	13
Fig. 10 - Aquifère des calcaires du plateau Ouest d'Oran (Mansour, 2006).....	14
Fig. 11 – Morphologie karstique de la falaise de Belgaïd.....	15
Fig. 12 – Falaise karstique hippodrome – Oran.....	15
Fig. 13 - Formes cristallines saccharoïde (a) et " fer de lance" (b).....	16
Fig. 14 - Mécanisme de formation du gypse en milieu marin.....	17
Fig. 15 – Affleurement d'intrusions à faciès caractéristique du trias diapirique.....	17
Fig. 16 - Cadre géo structural d'émergence de la source d'Aïn Franin.....	18
Fig. 17 - Cavité karstique suite à la dissolution du gypse à El Kerma.....	18
Fig. 18 - Paléohydrographie de la frange maritime.....	20
Fig. 19 - Drainage par collecteurs (ovoïdes) des eaux superficielles et souterraines des ravins de la baie vers l'Est d'Oran (Somatre, 2005).....	21



Fig. 20 – Système de drainage du ravin blanc.....	21
Fig. 21 a et b – Captage de source sur chenaux de dissolution (Somatre, 2005).....	22
Fig. 21 c – Coulées de carbonates témoignant d'importantes infiltrations de la nappe à travers les parois de l'ovoïde (Somatre, 2005).....	22
Fig.22 - Localisation cartographique des affaissements à Oran centre.....	23
Fig. 23.- Fissure affectant la chaussée menant au port à contenaires.....	25
Fig. 24 – Fissuration d'un tronçon de l'avenue débouchant sur le pont Zabana.....	26
Fig. 25 - Fissuration d'un tronçon de l'avenue Boutlelis.....	27
Fig. 26 - Phénomène de dissolution, affleurement de la nappe du plateau d'Oran dans les calcaires gréseux karstiques (Falaise de la carrière de Carteaux, rive gauche du ravin blanc).....	28
Fig. 26 – Affaissement de chaussée (A) et fissurations d'habitations (B).....	29
Fig. 27 – Esquisse géologique montrant l'importance des limons gypseux.....	30
Fig. 28 - Cavité mise à jour dans les limons à incrustations de gypse.....	31
Fig. 29 - Carte de localisation des problèmes d'instabilité de terrain.....	33
Fig. 30 - Schématisation des phénomènes de fissuration, Affaissement et éboulement.....	34
Fig. 31 - Drainage par ovoïdes des eaux souterraines et superficielles des ravins de la baie de Saint Thérèse vers l'Est d'Oran (Somatre, 2005).....	35
Fig. 32 - Le parcours de l'ovoïde géant et son état Après l'expertise par SOMATRE en 2005.....	37
Fig. 33 : Les dégradations observées lors de l'expertise d'une tranche d'ovoïde.....	41

Fig. 34 : Localisation de cavités par Géoradar (GPR).....	42
Fig. 35 – Techniques de traitement et de prévention actives.....	43
Fig. 36 - Schéma simplifié du principe de fonctionnement du Géoradar.....	44
Fig. 37 - Position des profils avec cavités in visu.....	45
Fig. 38 - Assise géologique représentée par les limons marno-gypseux, parsemé d'un réseau de cavités.....	46
Fig. 39 – Radar grammes des profils longitudinaux.....	47
Fig. 40 – Radar grammes des profils transversaux.....	48
Fig. 41 - Cartographie des cavités décelées par Géoradar.....	49
Fig. 42 - Coupe géologique de la falaise.....	50
Fig. 43 – Radars grammes indiquant par le biais du pendage l'affaissement.....	51
Fig. 44 - Remblaiement partiel par déversement gravitaire.....	53
Fig. 45 - Remblaiement direct par le fond avec des engins mécaniques.....	54
Fig. 45 – Consolidation par piliers maçonnés sous un bâtiment neuf.....	55
Fig. 46 - pieux dans gypses (A) et les calcaires (B).....	56
Fig. 47 - Injections de mortier ou de coulis sous faible pression.....	57
Figure 48 - Suppression des vides par la méthode Terrassement-Comblement.....	57
Fig. 49 a - Remplissage d'un fontis par de la mousse thermodurcissable.....	58
Fig. 49 a - Mise en place d'une Couverture végétale (Val-d'Oise).....	58

## **Résumé**

La communauté urbaine et la ville d'Oran, connue par des problèmes d'instabilité de terrain, accentués par une urbanisation anarchique, bâtie sur des assises d'oueds comblés, se trouvent confrontés à de nombreuses instabilités de terrain ayant des impacts certains sur l'habitat urbain. Le phénomène de dissolution affectant d'une part les calcaires gréseux, développant une structure karstique et d'autre part des lentilles de calcaires gypseux, demeure le principal responsable de la formation de cavités souterraines, qui sous le poids du bâti existant aura un impact conséquent sur la stabilité de l'infrastructure urbaine. Il est important de signaler que le système aquifère du plateau d'Oran constitue un ensemble hydrogéologique complexe, caractérisé par un substratum imperméable ondulé et par de fréquents changements latéraux de faciès. Ainsi, vers le Nord la nappe est caractérisée par un système de trop plein le long de la frange maritime alors que vers le Sud la nappe alluvionnaire affleure en donnant naissance au petit lac (Daïai Morcely). Les écoulements superficiels et les infiltrations peuvent provoquer des risques potentiels d'effondrement, particulièrement ceux du centre-ville d'Oran. Il est fondamentalement important de signaler qu'une bonne partie des constructions sont érigées sur une formation de remblai. Ces remblais étant instables dans le temps, vont provoquer au sein des constructions une fissuration importante des murs et des affaissements du sol, résultant le plus souvent de l'imbibition de ce remblai (très perméable) par les venues d'eau d'infiltration, suralimentées continuellement par un réseau d'assainissement souvent défectueux. La fréquence des risques en zone urbaine a conduit les collectivités locales à demander aux entreprises de réalisation avant tout début de travaux d'initier des études géophysiques afin de se prémunir de tout risque potentiel lié à la présence de zone anomalique. Le radar géologique constitue l'outil le mieux adapté à la recherche des zones potentiellement fragiles en milieu urbain

Mots clefs : Affaissement, Effondrement, Instabilité de terrain, Structure karstique

**Le phénomène de dissolution des formations géologiques et leur impact sur les risques urbains de la région d'Oran.**

**Réflexion sur les moyens de remediation**

## **AVANT PROPOS**

La région d'Oran, connue par des problèmes d'instabilité de terrain, accentués par une urbanisation anarchique, ceinturant le chef lieu de la wilaya est bâtie à certains endroits sur des assises géologiques à forte dissolution où la dynamique de l'eau quelle soit souterraine ou superficielle constitue l'élément central du processus hydrogéochimique.

Cette particularité réactionnelle entraîne alors des perturbations des assises du sous sol et génère souvent des impacts à retombées économiques négatives sur les différentes infrastructures de base relatifs à l'aménagement urbain de la ville (affaissement du bâti, inondations des immeubles, fissuration de l'infrastructure routière, perturbation des réseaux linéaires souterrains ect...).

Ce phénomène de dissolution affecte d'une part les formations carbonatées, développant une structure karstique et d'autre part des formations gypseuses, générant de véritables cavités souterraines très peu profondes.

La persistance des risques géologiques en milieu urbain a conduit les autorités locales et territoriales à obliger les entreprises du bâtiment et des ouvrages d'art à entamer des études géophysiques ciblées avant tous travaux de réalisation.

Dans ce cadre, une réflexion sur les moyens de remédiation est proposée, utilisant l'outil radar géologique, très utilisé dans les problèmes des risques urbains.

**CHAPITRE PREMIER**  
**CONSIDERATIONS GENERALES ET CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE**

## **I. CONSIDERATIONS GENERALES AU DOMAINE D'ETUDE**

### **1. Introduction**

Les risques géologiques en zone urbaine constituent pour les collectivités locales de la ville d'Oran une préoccupation majeure. C'est dans ce cadre que notre étude permettra de comprendre les phénomènes liés à la déformation du sol, du bâti et des infrastructures de base.

Il faut reconnaître que l'investigation hydrogéologique en zone urbaine s'est avérée cependant très délicate en raison des difficultés d'accès aux informations hydrodynamiques et du champ d'observation très réduit des affleurements géologiques. C'est ainsi que la mise en place de ces informations géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques couplées aux données urbaines a permis de faire ressortir une analyse spatiale pour l'aménagement, la gestion du risque géologique et la prise de décision.

### **2. Localisation de la zone d'étude**

Le littoral Oranais constitue un chapelet de petits massifs schisteux secondaire, séparé par des plateaux Néogènes et quaternaires. Il désigne l'unité structurale comprise entre les marais d'El Macta à l'Est, les dépressions de la grande sebkha d'Oran et les salines d'Arzew au Sud, la Méditerranée au Nord et l'Ouest (Gourinard, 1958). Il s'allonge sur une centaine de kilomètres et présente une largeur moyenne de 20 à 25 kilomètres.

Le secteur d'étude représenté par le plateau d'Oran, se situe entre les massifs littoraux du Murdjadjo à l'Ouest (Misserghin), le Djebel Khar à l'Est (Bir El Djir) tout en s'ouvrant sur la méditerranée au Nord (fig. 1).

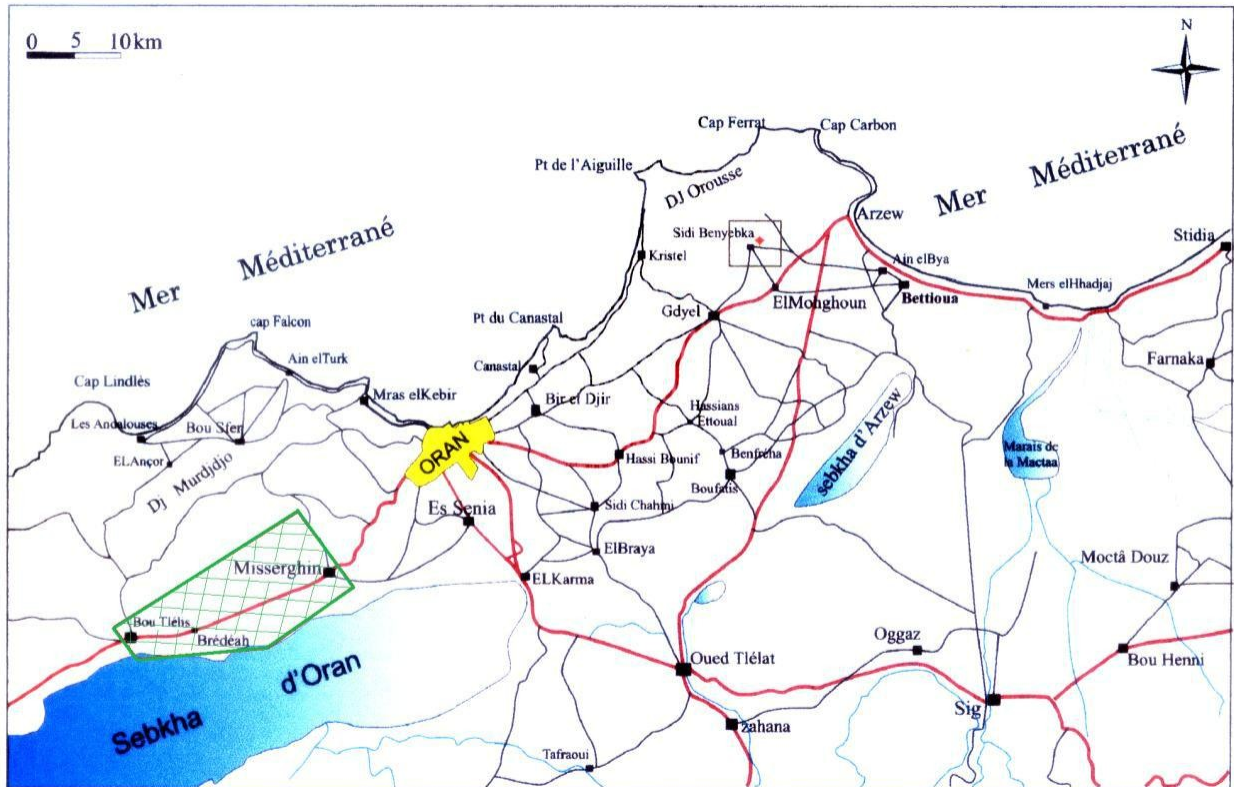


Fig. 1 - Carte de localisation de zone d'étude

### 3. Géomorphologie de la région d'Oran

Le plateau d'Oran fait partie de l'ensemble appelé "littoral Oranais" constitué de plateaux encadrés de horsts. Cet ensemble est situé dans le prolongement du bassin du Bas Chélif (Belkebir, 1986).

Sur le flanc Sud du Djebel Murdjadjo, les oueds limités en amont par la ligne de partage des eaux superficielles, constituent des entailles plus ou moins profondes dans les calcaires du Miocène. Ils présentent généralement un écoulement temporaire au régime très irrégulier, conditionné le plus souvent par la fréquence des précipitations qui contribuent d'une grande part à l'alimentation du bassin endoréique de la grande sebkha (fig. 2).





Fig. 2 - Vue satellitaire d'Oran et de son réseau hydrographique

(Mansour, 2011)

## II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DU PLATEAU D'ORAN

### 1. Assise géologique de la ville d'Oran

#### 1.1. Série du ravin blanc

La série complète est reconstituée au niveau de la falaise du ravin blanc (Mansour, 1989) où on distinguera une formation grésocalcaire attribuée au calabrien, souvent fissurée, reposant en discordance sur une formation représentée par des calcaires blancs karstifiés à tripolis, du miocène supérieur (fig. 3). Des dunes consolidées à stratifications entrecroisées attribuées à l'holocène viennent fossiliser la formation grésocalcaire.

Les formations géologiques du Tertiaire (marnes, calcaires et grés) offrent de bonnes possibilités aquifères, particulièrement au droit du ravin blanc où on distinguera:

- Les calcaires fissurés du Miocène constituent un aquifère à très bonnes potentialités hydrogéologiques.

- Le Pliocène représenté par les grès, les sables et lumachelles forme un aquifère libre ayant tantôt les marnes bleues du Miocène tantôt les marnes à tripolis comme substratum imperméable.

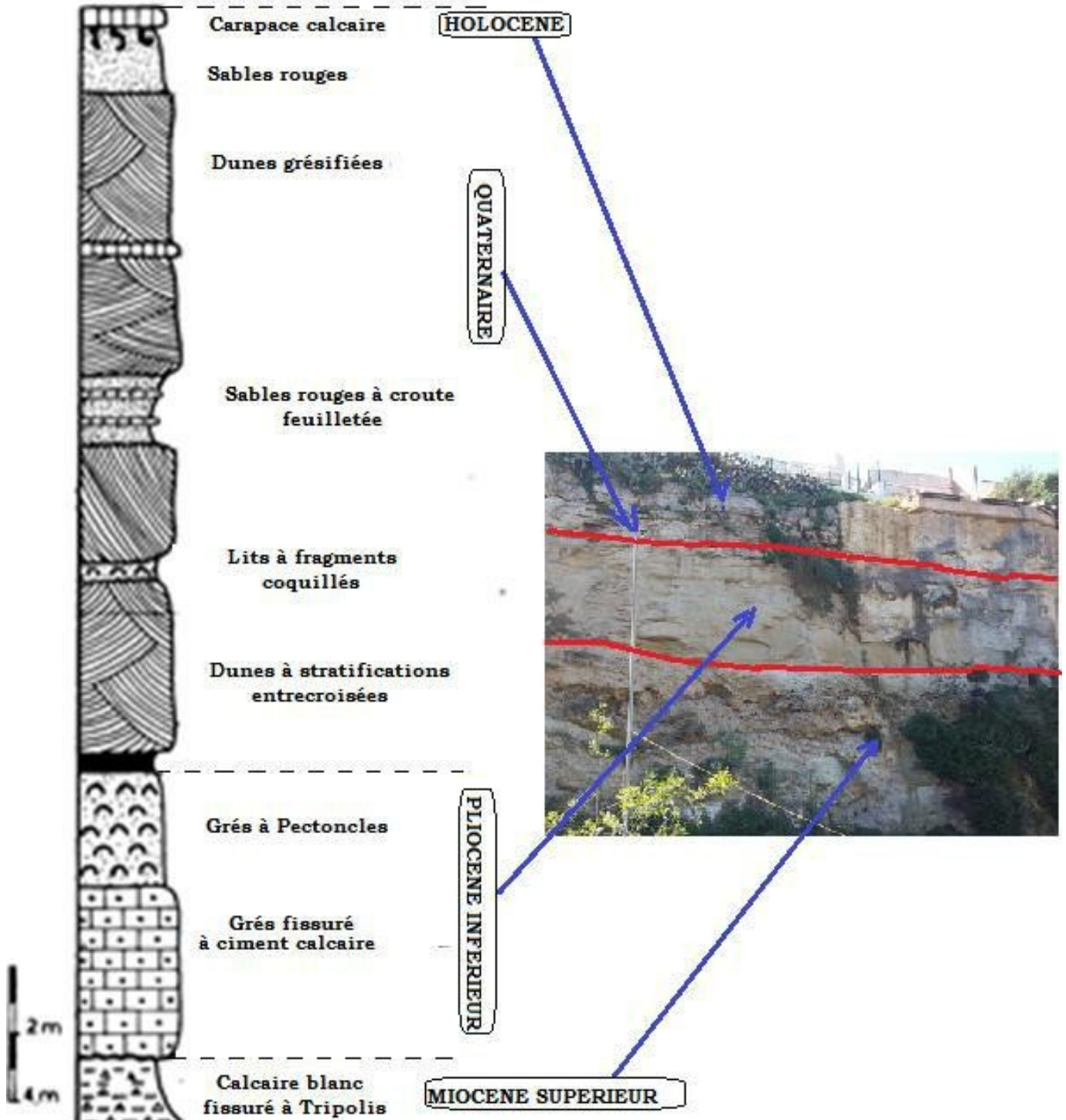


Fig. 3 - Coupe géologique du ravin blanc (Mansour H, 1989)

## 1.2. Les sondages de reconnaissance

Un inventaire exhaustif des principaux sondages géotechniques d'une profondeur de 8 à 15m, réalisés au droit de la frange maritime (Laboratoire des Travaux Publics d'Oran, 2005), a permis de mettre en évidence des formations aquifères grésocalcaire pliocène.

En considérant les sondages pris le long des axes perpendiculaires par rapport au front de mer au droit du ravin blanc, on constate que le relèvement du substratum marneux à un impact direct sur l'hydrodynamique des eaux souterraines. C'est le cas par exemple des exutoires sous forme de sources de trop plein disposées le long du talus du front de mer (fig. 4).

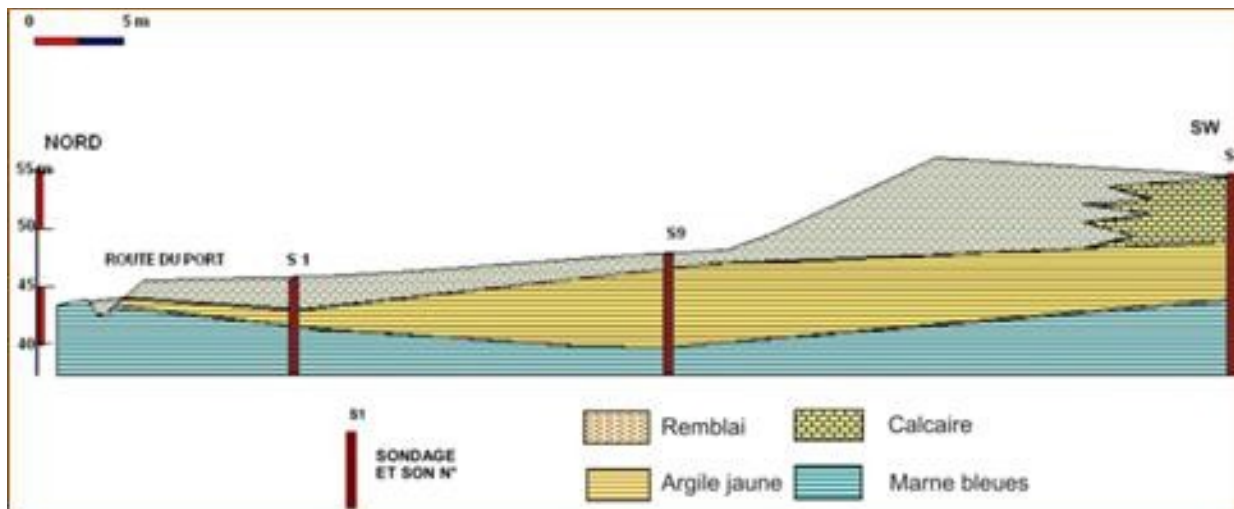


Fig. 4 - Coupe géologique perpendiculaire au front de mer

## 2. Cartographie des eaux souterraines du plateau d'Oran

Le système aquifère du plateau d'Oran constitue un ensemble hydrogéologique, caractérisé par un substratum imperméable ondulé et par de fréquents changements latéraux de faciès.

Le plateau d'Oran s'organise en deux bassins hydrogéologiques avec au Nord, le bassin s'ouvrant sur la frange maritime (fig. 5) et au Sud, le bassin drainant le petit lac d'Oran (fig. 6).



Fig. 5 – Partie du plateau d'Oran s'ouvrant sur la frange maritime



Fig. 6 – Affleurement de la nappe du plateau d'Oran au niveau du petit lac

## 2.1. Bassin hydrogéologique Nord de la frange maritime (fig. 7)

Les eaux infiltrées dans les formations des calcaires miocènes et grès pliocènes, s'écoulent selon 03 directions principales, mettant en évidence 03 sous bassins hydrogéologiques.

- Sous bassin hydrogéologique de Ras El Aïn au Nord Ouest,
- Sous bassin hydrogéologique du ravin de la Cressonnière et du Ravin blanc
- Sous bassin hydrogéologique au Nord Est, alimentant le plateau Canastel - Belgaïd.

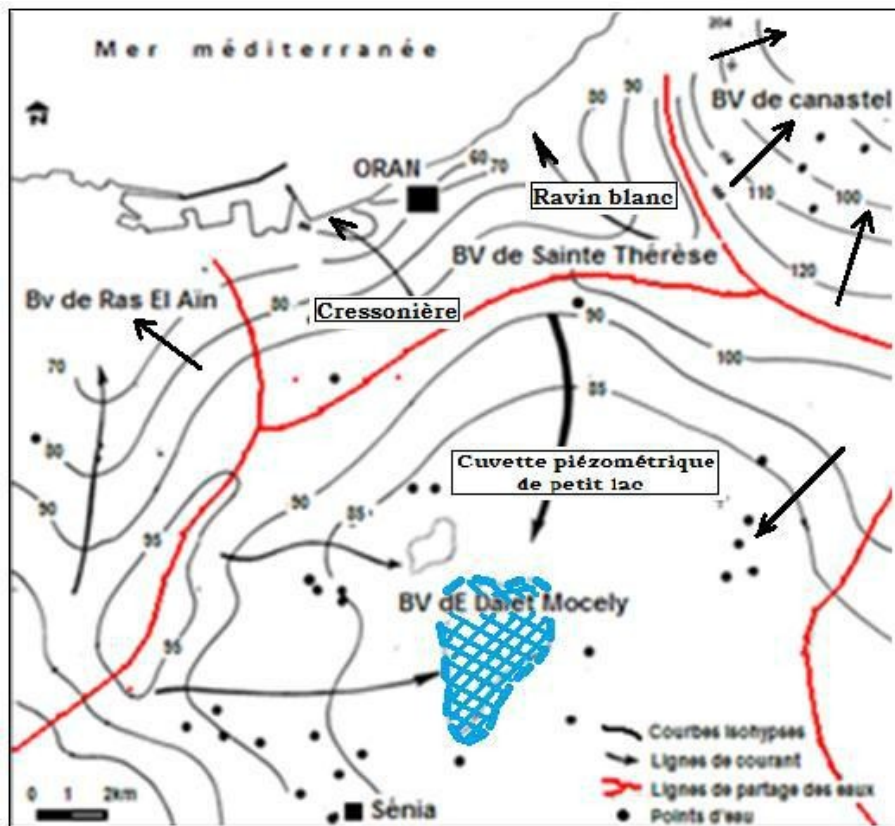


Fig. 7 - Piézométrie du plateau d'Oran (Mansour et al, 2009)

## 2.2. Bassin hydrogéologique Sud drainant le petit lac (fig. 7)

La nappe du plateau Sud d'Oran alimentée par les eaux ruisselant du flanc Sud du Murdjadjo à l'Ouest, s'étend vers Hassi Bounif, Sidi Chahmi et El Karma vers l'Est où elle est coiffée par une couche d'alluvions épaisses. L'épaisseur des alluvions diminue à l'Est dans la zone des Dayas où le substratum imperméable affleure.

## **CHAPITRE DEUXIEME**

### **PROCESSUS GEOCHIMIQUES DES FORMATIONS CARBONATEES ET GYPSEUSES**

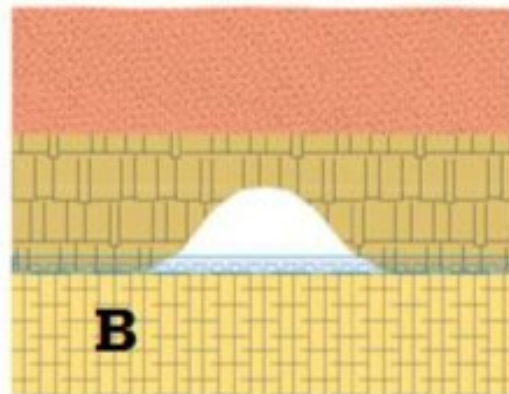
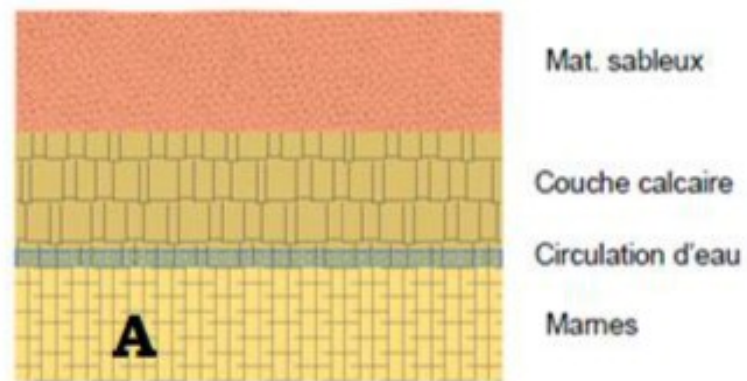
## **I. LE PRINCIPE DU PROCESSUS DE DISSOLUTION**

La chimie des carbonates et des sulfates est essentielle pour comprendre la formation des fréquentes formes géomorphologiques pouvant se présenter sur le terrain et pouvant entraîner des risques potentiels d'affaissement ayant des impacts sur les infrastructures du tissu urbain.

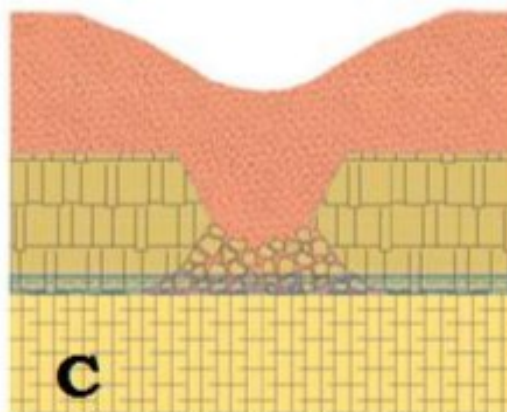
Le processus physico-chimique donne lieu à une déformation en superficie, qui consiste en la dissolution du matériau en présence (calcaire ou gypse) par suite de la circulation de l'eau. L'existence en profondeur d'une couche imperméable (marnes, schistes ou argiles), entraîne une accumulation de la circulation d'eau sur celles-ci, en augmentant la processus de dissolution

Dans ce cadre, nous présentons succinctement le processus de dissolution des formations carbonatées et gypseuses. On distinguera trois étapes (fig. 8) :

- ⌚ Etape A : Interaction eau – roche
- ⌚ Etape B : Dissolution de la formation géologique (calcaire ou gypse)
- ⌚ Etape C : Dépression en surface



La circulation d'eau entraîne la dissolution de la couche calcaire, à tel point qu'elle n'est plus capable de supporter le poids de la terre qui repose sur celle-ci et s'effondre.



Alors, on peut observer une dépression due à la déformation subie par des matériaux superficiels.

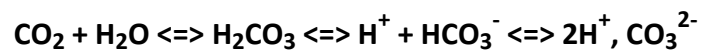
Fig. 8 – Processus de dissolution des formations carbonatés et gypseuses



## II. LES CARBONATES

### 1. Les modèles physico-chimiques

Le dioxyde de carbone étant en équilibre avec l'acide carbonique ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) ; cet acide se dissocie dans l'eau en deux éléments minéraux chargés électriquement (anions et cations). Un acide est une forme capable en solution de libérer des ions  $\text{H}^+$  (protons); une base en solution capte des ions  $\text{H}^+$ . L'acide carbonique en solution se dissocie en  $\text{H}^+$  et  $\text{HCO}_3^-$ . L'ion bicarbonate peut se dissocier en  $\text{H}^+$  et en  $\text{CO}_3^{2-}$  :



Comme dans tout équilibre chimique si vous ajoutez un des membres de gauche (par exemple du  $\text{CO}_2$ ), vous augmentez le déplacement de l'équilibre vers la droite (et donc vous fabriquez des ions acides). De façon opposée, on déplace l'équilibre vers la gauche si l'on retire du  $\text{CO}_2$  par exemple.

### 2. Les expériences analogiques

Si l'on agite une bouteille d'eau gazeuse bouchée, on facilite le dégazage (libération du  $\text{CO}_2$ ). Si on débouche la bouteille, la baisse de pression est immédiate et le dioxyde de carbone est libéré massivement. La bouteille qui vient d'être débouchée contient encore beaucoup de gaz. On peut le faire sortir en créant une dépression à la surface de la bouteille.

On peut facilement imiter l'attaque acide d'une eau de pluie sur un relief calcaire en faisant dissoudre un morceau de craie dans une eau riche en dioxyde de carbone (fig. 9), comme par exemple l'eau gazeuse (ex: Mouzaïa).

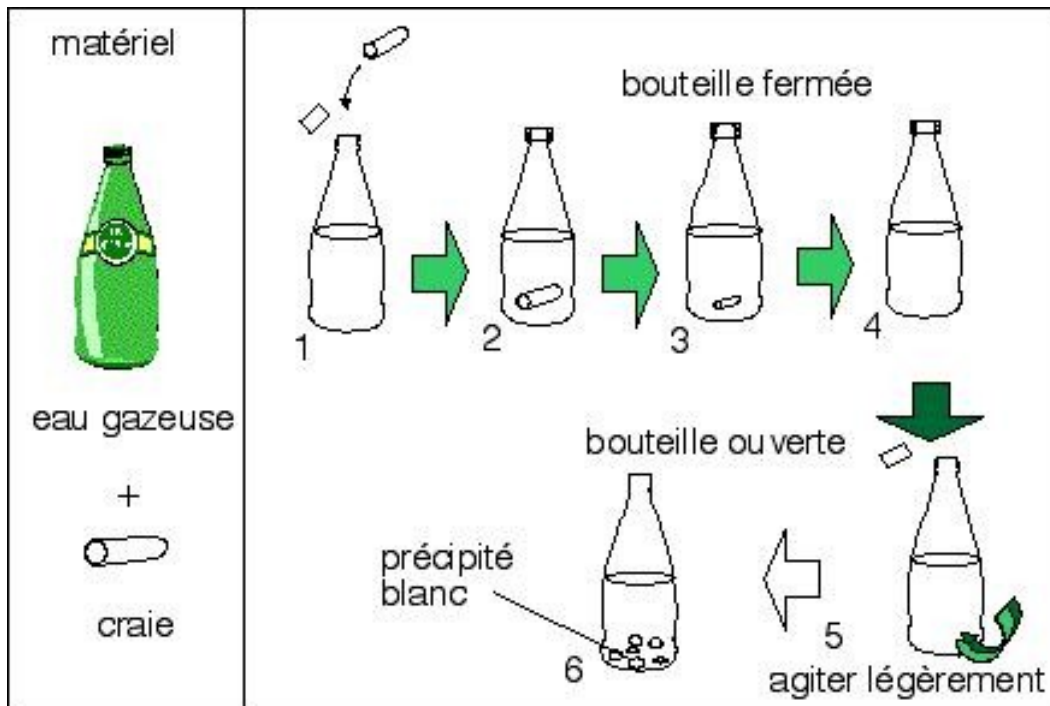


Fig. 9 - Précipitation et dissolution des carbonates

On observe la dissolution du carbonate de calcium (craie) par l'eau gazeuse acide (chargée en CO<sub>2</sub>) et formation sous atmosphère saturée en CO<sub>2</sub> du bicarbonate de calcium, soluble (fig. 9). L'ouverture de la bouteille conduit à un dégazage (atmosphère non saturée en CO<sub>2</sub>), déplacement de l'équilibre, dissolution du bicarbonate de calcium et précipitation du carbonate de calcium (précipité blanc).

### 3. Le milieu naturel

Le gaz carbonique est le plus fréquent et le plus abondant dans les sources carbo-gazeuses (ex : Mouzaïa). Il existe aussi des eaux gazeuses naturelles chargées en azote, en gaz sulfureux, en hydrogène sulfuré, en méthane, en oxygène et en hydrogène. Ces gaz, comme les éléments minéraux, trouvent leur origine dans des réactions chimiques ou biochimiques, lors du lessivage des roches, mais également dans des manifestations volcaniques et magmatiques.

### 4. Les minéraux des carbonates

Ce sont des solides contenant l'ion carbonate: CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, comprenant Trois minéraux essentiels : *la Calcite* (CaCO<sub>3</sub>) cristallisant dans le système rhomboédrique que l'on peut

facilement trouver dans les roches métamorphiques, *l'Aragonite*, minéral de même formule chimique que la calcite mais cristallisant dans le système orthorhombique et *la Dolomite*, minéral de formule  $(Ca, Mg) CO_3$  dans lequel le calcium et le magnésium se partagent l'association à l'ion  $CO_3^{2-}$ .

## 5. Modelé karstique des roches carbonatées du plateau d'Oran

### - *Limite hydrogéologique Ouest (Misserghin - exutoire de Ras El Aïn)*

Elle concerne l'impluvium des calcaires fissurés miocène supérieur dont l'exutoire est matérialisé par la source karstique de Ras El Aïn. Reposant en discordance sur les schistes du Crétacé inférieur dont ils forment l'ossature du mont Murdjadjo, les calcaires fissurés, appelés communément, calcaires à tripolis du Messinien, constituent l'unité hydrogéologique la plus importante de la région d'Oran (fig. 10).

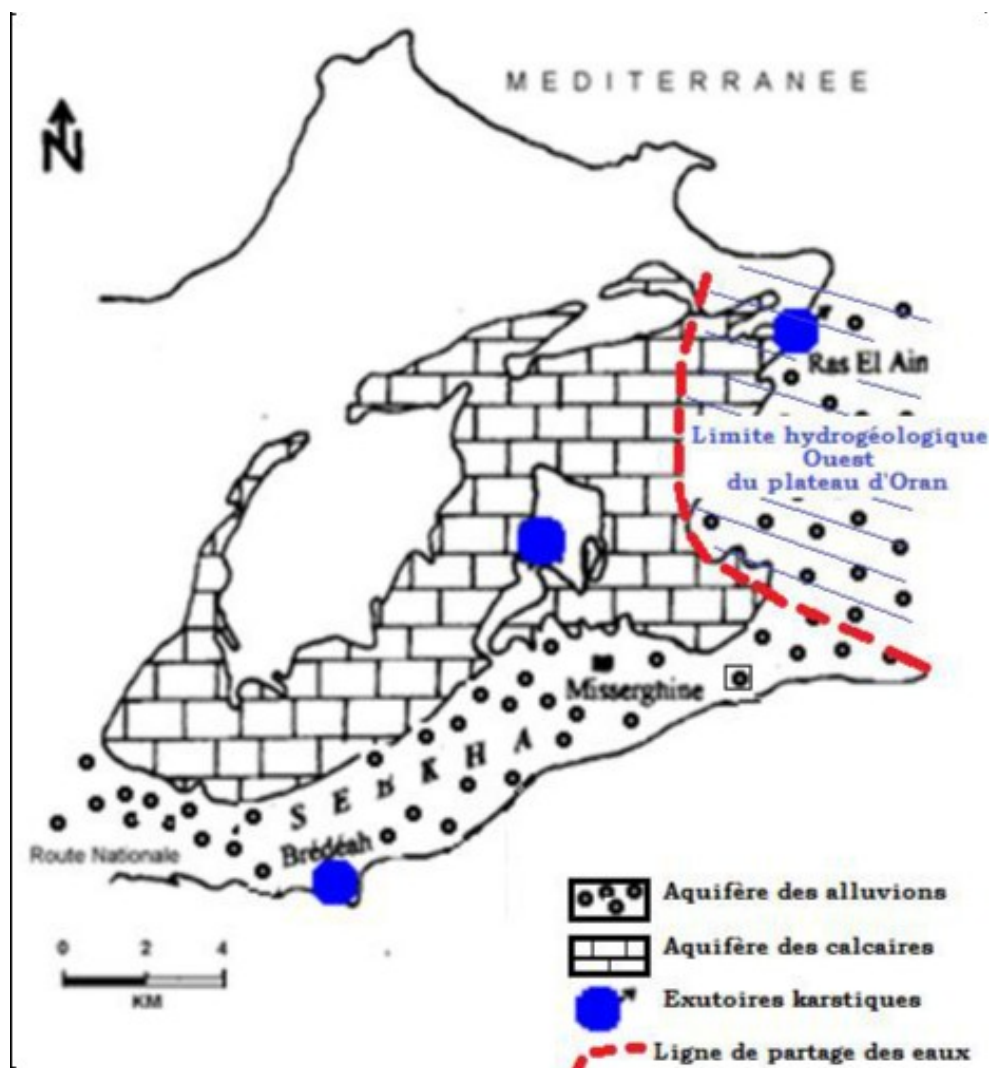


Fig. 10 - Aquifère des calcaires du plateau Ouest d'Oran (Mansour, 2006)

- Limite hydrogéologique Est (Djebel Khar - *plateau de Canastel* – *Belqaïd*)

Il s'agit d'un aquifère carbonaté où toutes les formes du modelé karstique sont bien représentées avec notamment, la présence de chenaux de dissolution, de lapiez, dolines, avens et galeries souterraines (fig. 11).

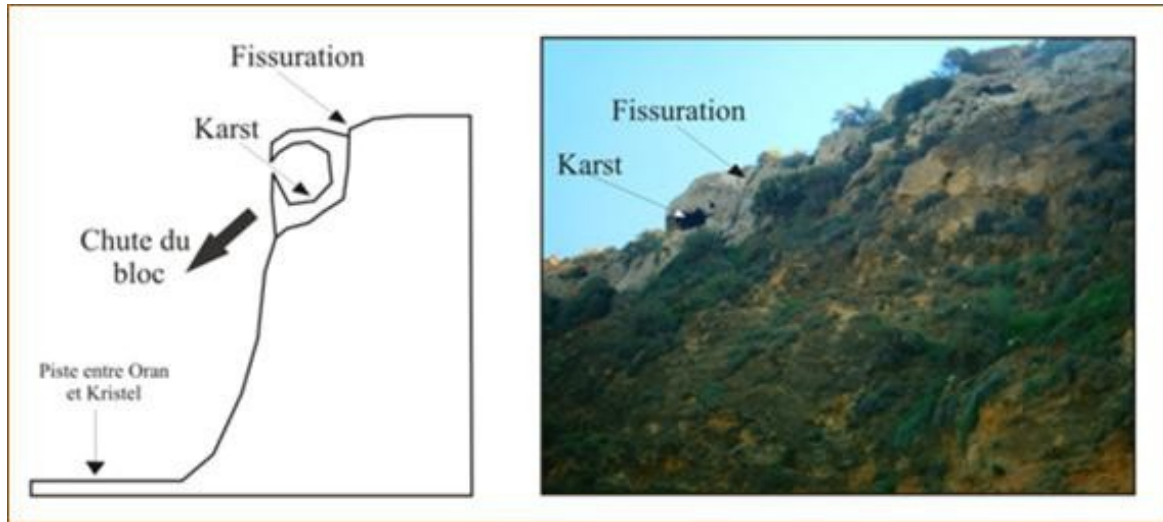


Fig. 11 – Morphologie karstique de la falaise de Belgaïd

- Falaise karstique de l'hippodrome - Oran (rive gauche du ravin blanc)

En contrebas de la falaise, affleure la nappe du plateau d'Oran, qui a pour origine l'existence de sources immergées, permettant d'alimenter le lac et de soutenir le niveau piézométrique au droit du ravin blanc (fig. 12).



Fig. 12 – Falaise karstique hippodrome - Oran

### III. Les sulfates

#### 1. Formes cristallines du gypse

Le gypse peut cristalliser sous des formes très diverses (fig. 13). Les formes les plus courantes, sont le gypse saccharoïde (à aspect de sucre) et les cristaux en "fer de lance" qui se forment dans les couches de marnes. Le gisement le plus connu est celui de Fleurus, près d'Oran, exploité par la société KNAUF.



Fig. 13 - Formes cristallines saccharoïde (a) et "fer de lance" (b)

#### 2. Mécanisme de formation du gypse

La majorité des gisements de gypse se sont formés il y a 65 millions d'années (Eocène). Le mécanisme de formation de gypse est d'origine lagunaire (fig. 14) dans une mer très peu profonde.

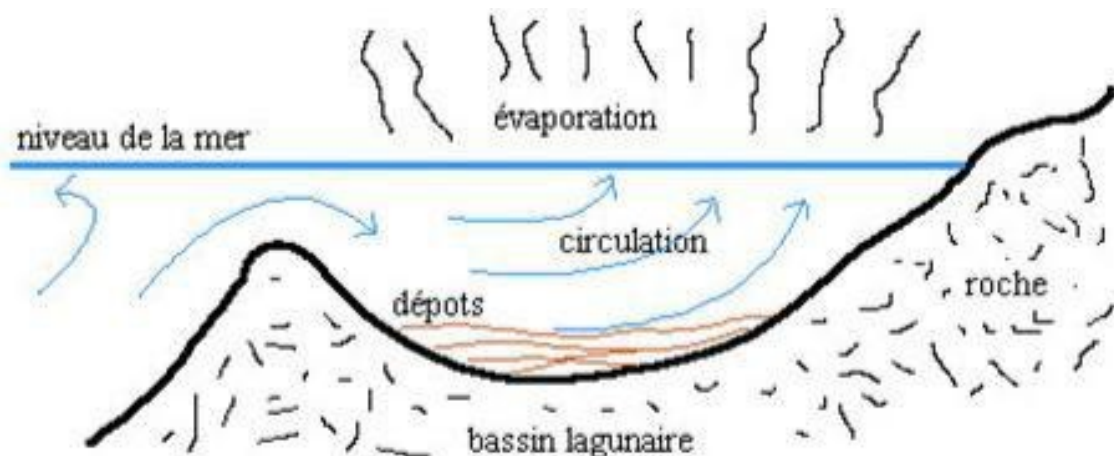


Fig. 14 - Mécanisme de formation du gypse en milieu marin

Il s'agit de formations caractérisées par un mélange d'argiles, de marnes, parfois de grès, brunâtres, violines ou versicolores avec des intercalations de gypse ou d'halite et présentant des intrusions de roches vertes (fig. 15).

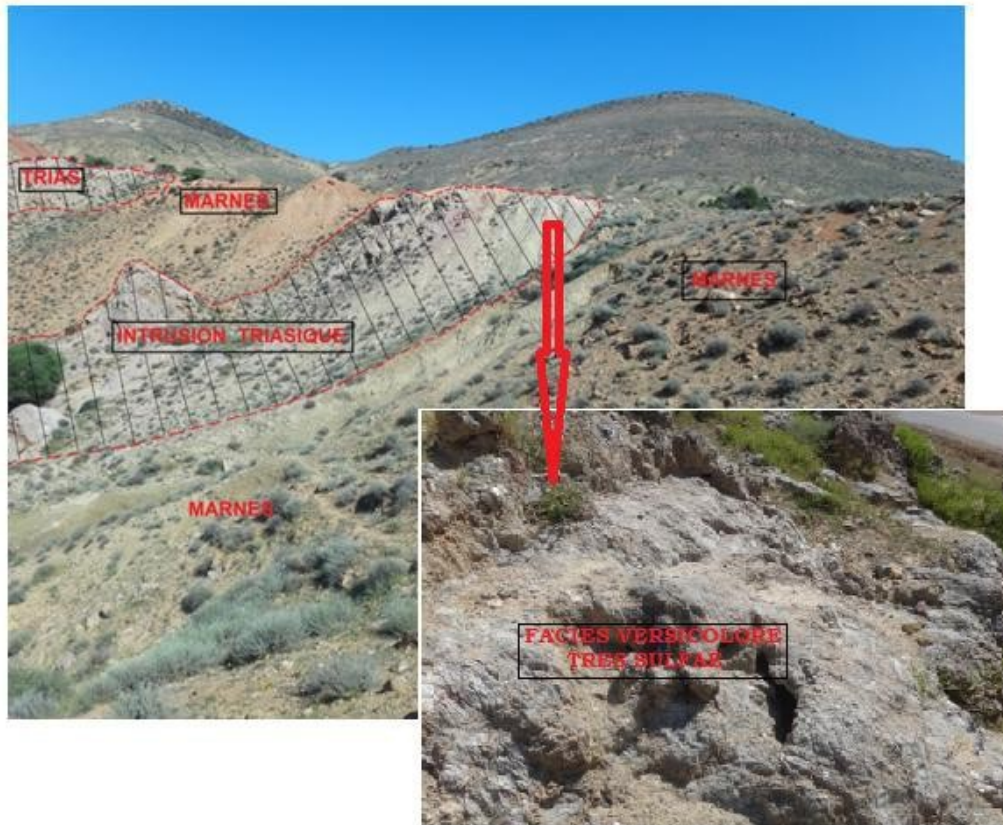


Fig. 15 – Affleurement d'intrusions à faciès caractéristique du trias diapirique

Toutefois, le gypse peut avoir une origine tectonique, sous forme d'intrusion triasique remontant à la faveur de failles entre l'encaissant, accompagnée le plus souvent de sources thermo minérales.

C'est le cas de la source d'Aïn Franin qui émerge à l'Est d'Oran (fig. 16).

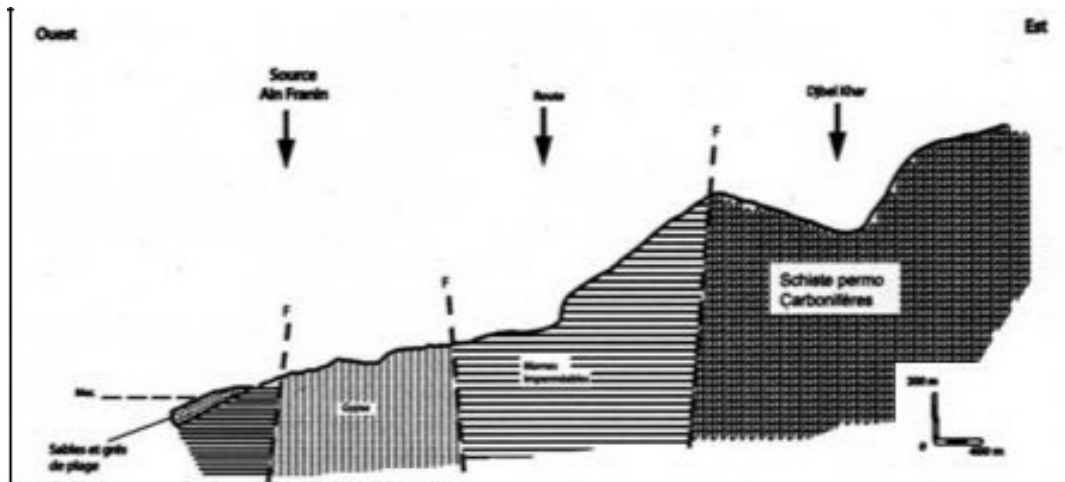


Fig. 16 - Cadre géo structural d'émergence de la source d'Aïn Franin

### 3. Dissolution du gypse

La vitesse de dissolution reste significative et une cavité est susceptible d'évoluer plus rapidement. Ce phénomène est observé au niveau de la localité d'El Kerma (fig. 17), au Sud d'Oran, représentant un exemple de dissolution de gypse au sein d'un sol limono-argileux à cristaux de gypse. Dans ces milieux, un effondrement brutal en surface peut avoir lieu. C'est le cas des fréquents affaissements observés au niveau de l'aéroport, d'Es Sénia, El Kerma.



Fig. 17 - Cavité karstique suite à la dissolution du gypse à El Kerma

## **CHAPITRE TROISIEME LES RISQUES URBAINS**



## I. INTRODUCTION

Il s'agit surtout de cavités souterraines naturelles générées par la dissolution de formations géologiques (carbonates ou gypses) ou artificielles d'origine anthropique (carrières et ouvrages souterrains). Ces anomalies peuvent entraîner l'effondrement du toit de la cavité et provoquer en surface une dépression généralement de forme circulaire.

Afin de mieux comprendre l'origine des mouvements du sous sol (affaissements, glissements, chutes des blocs) observés sur certaines parties de la ville d'Oran, il est nécessaire de retracer l'histoire des écoulements superficiels relatif à la paléo hydrographie, les conditions de drainage hydraulique et la dynamique des eaux souterraines de la frange maritime de la ville d'Oran.

## II. PALEOHYDROGRAPHIE DE LA FRANGE MARITIME

. L'analyse morphométrique de la frange littorale fait ressortir deux bassins versants séparés par une limite hydrogéologique représentée par l'unité géologique Jurassico-Crétacé faisant office de ligne de partage des eaux qui s'étend depuis l'entrée actuelle du port jusqu'aux hauteurs de la ville d'Oran. Cette limite à potentiel nul sépare le bassin versant de Ras El Aïn (45 l/s) à l'Ouest, du bassin versant de la baie de Saint Thérèse qui comprend 04 ravins qui sont d'Est en Ouest (Fig. 18):

Ravin Rouina: prend naissance au niveau du boulevard de l'indépendance (Medina jadida), pour aboutir à la rue des sœurs Benslimane en passant exactement entre la banque BCA et le trésor public.

Ravin Mina : prend naissance près de la place place Hoch pour rejoindre le front de mer juste à l'Est de l'hotel HadeF.

Ravin de la Cressonnière: profond, ce ravin prenait naissance non loin de la place des victoires en passant sous le front de mer au droit de la place Port Saïd.

Ravin blanc: représente le bassin versant le plus important de par sa superficie, séparant les quartiers de Saint Eugène et de Gambetta.

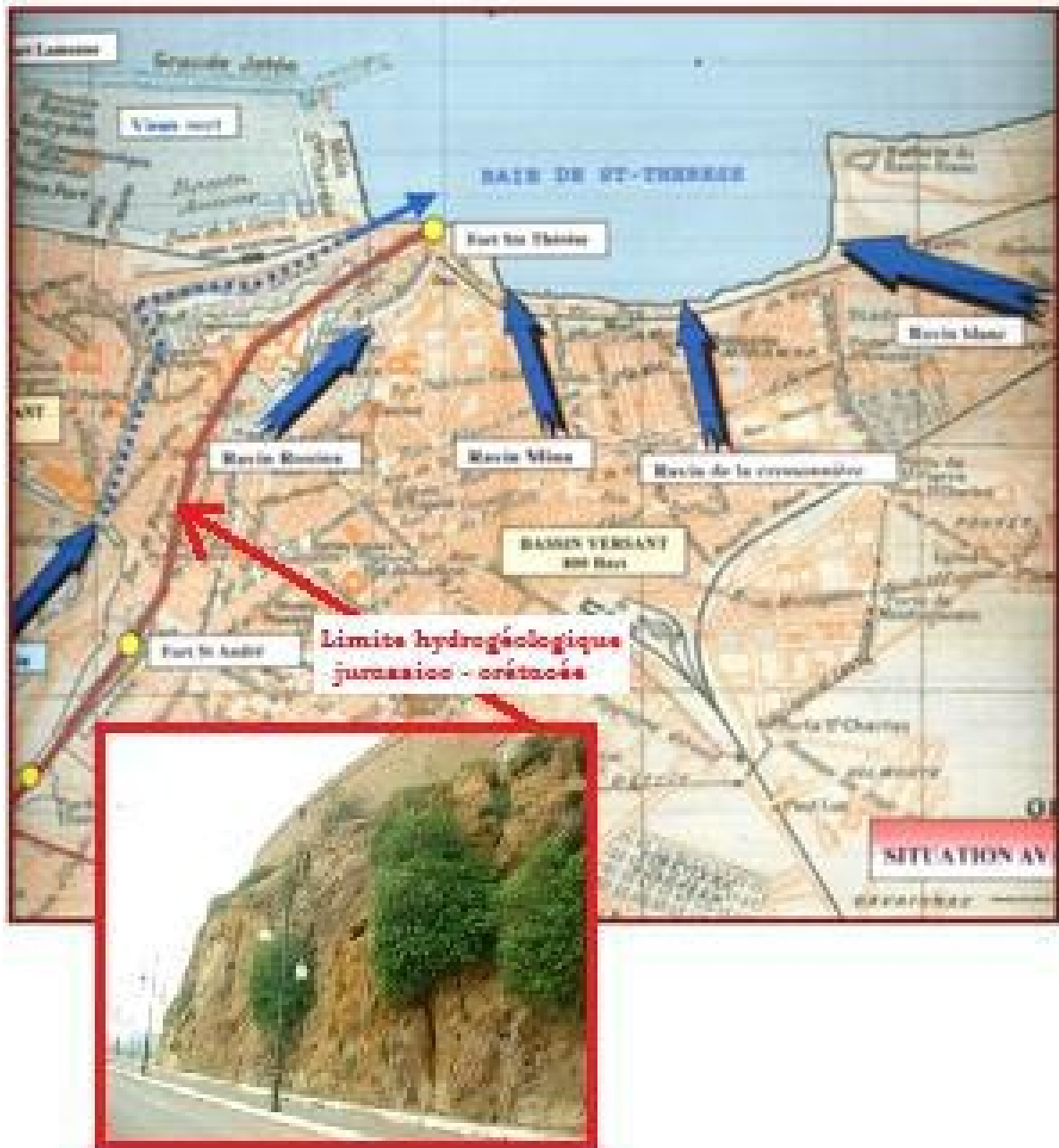


Fig. 18 - Paléohydrographie de la frange maritime

### III. DRAINAGE DE LA BAIE DE SAINTE THERESE

L'extension de la ville d'Oran vers l'Est a imposé le remblaiement de tous les ravins sur lesquels sont réalisées particulièrement les infrastructures routières (routes et chemins de fer) et en dessous desquels sont installés de grands collecteurs permettant le drainage et la déviation des eaux hors de la baie de Sainte Thérèse (fig. 19).



Fig. 19 - Drainage par collecteurs (ovoïdes) des eaux superficielles et souterraines des ravins de la baie vers l'Est d'Oran (Somatre, 2005)

### IV. RELATION OUEDS - NAPPES

Les formations géologiques de la frange maritime (marnes, calcaire marneux et grés) offrent de bonnes possibilités aquifères, particulièrement au droit du ravin blanc. L'examen attentif de la carte piézométrique citée plus haut (fig. 7) montre qu'il existe une relation hydrodynamique entre l'écoulement souterrain (nappe du plateau d'Oran) et l'écoulement

superficiel (ravins de la frange maritime). C'est au niveau de la confluence entre l'oued du ravin blanc et l'oued venant de la place Gambetta, à une centaine de mètres en contrebas que des affaissements affectent la chaussée qui mène au port à conteneurs.

Le collecteur du ravin blanc qui a été diagnostiqué par Somatre (2005) se compose de deux parties (fig.20).

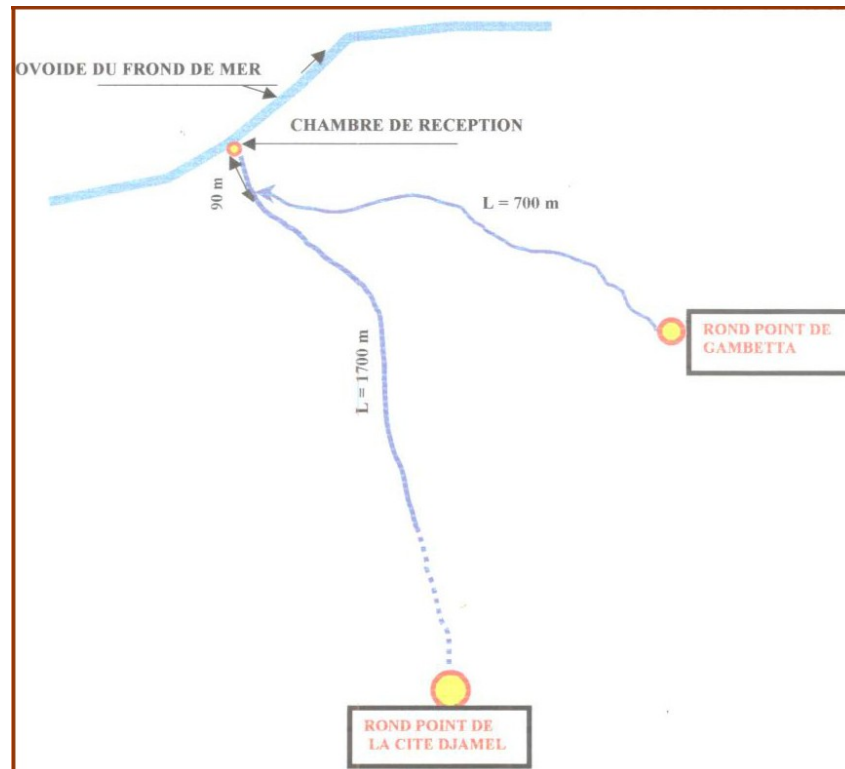


Fig. 20 – Système de drainage du ravin blanc

- La première partie relie le rond pont de cité Djamel à la chambre de collecte située au pied de la pile Sud du pont Zabana en suivant le lit du ravin. Ce tronçon permet d'acheminer vers l'ovoïde géant du front de mer toutes les catégories d'eaux (superficielles, souterraines et usées) des environs de Cité Djamel, Hippodrome, Carteaux et Saint Eugène.

- La seconde partie prend naissance au niveau du rond point de la place de Gambetta et rejoint le premier tronçon à l'amont de la chambre de collecte. Elle permet de drainer les eaux usées, pluviales et de sources des quartiers Nord de Gambetta.

Un certain nombre de sources dont le débit total atteint plusieurs litres par secondes ont été captées à l'époque coloniale au droit des chenaux de dissolution. Il s'agit d'un dispositif comportant une buse de 300 mm de diamètre, muni d'une grille métallique et d'un filtre en gravier soigneusement mis en place (fig. 21 a, b et c).



Fig. 21 a et b – Captage de source sur chenaux de dissolution (Somatre, 2005)

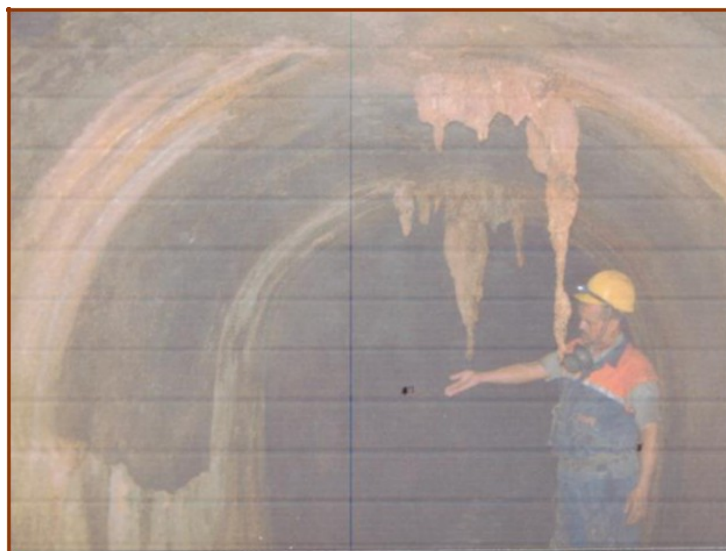


Fig. 21 c – Coulées de carbonates témoignant d'importantes infiltrations de la nappe à travers les parois de l'ovoïde (Somatre, 2005)

## V. IMPACTS DES AFFAISSEMENTS SUR LE BATI ET L'ENVIRONNEMENT URBAIN

### 1. Mouvements de terrain liés à la présence de cavités anthropiques

#### - Affaissements dans le centre ville d'Oran

Les écoulements superficiels et les infiltrations peuvent provoquer des risques potentiels d'effondrement, particulièrement ceux du centre ville d'Oran. Il est fondamentalement important de signaler qu'une bonne partie des constructions (Boulevard Emir Abdelkader, Boulevard de la

Soummam, Place du 1<sup>er</sup> novembre), sont érigées sur une formation de remblai, étalés à l'ère coloniale pour combler et aménager l'oued Rouina. Ceci dans le but d'une opération d'extension de la ville d'Oran vers l'Est.

Ces remblais étant instables dans le temps, vont provoquer au sein des chaussées et des constructions une fissuration importante due à de fréquents affaissements du sol (fig. 22), résultant le plus souvent de l'imbibition de ce remblai (très perméable) par les venues d'eau d'infiltration, suralimentées continuellement par un réseau d'assainissement défectueux.

L'état visuel de la pharmacie (fig. 22, 2) à coté de la maison de la presse, la déformation des trottoirs (fig. 22, 3 et 4) angle Boulevard Emir Abdelkader et Rue Adda Gharbi sont des signes alarmants de l'instabilité de toute cette zone (place premier novembre).

Le piézomètre du Boulevard Emir Abdelkader a révélé une eau fortement nitratée avec notamment la présence de coliformes fécaux, dénotant ainsi le mélange des eaux infiltrées avec celles des eaux usées domestiques. On assiste donc à Oran de temps à autre à des affaissements de terrains dont l'impact est certain sur le bâti.

Le phénomène de dissolution des formations géologiques et leur impact sur les risques urbains de la région d'Oran. Réflexion sur les moyens de remédiation

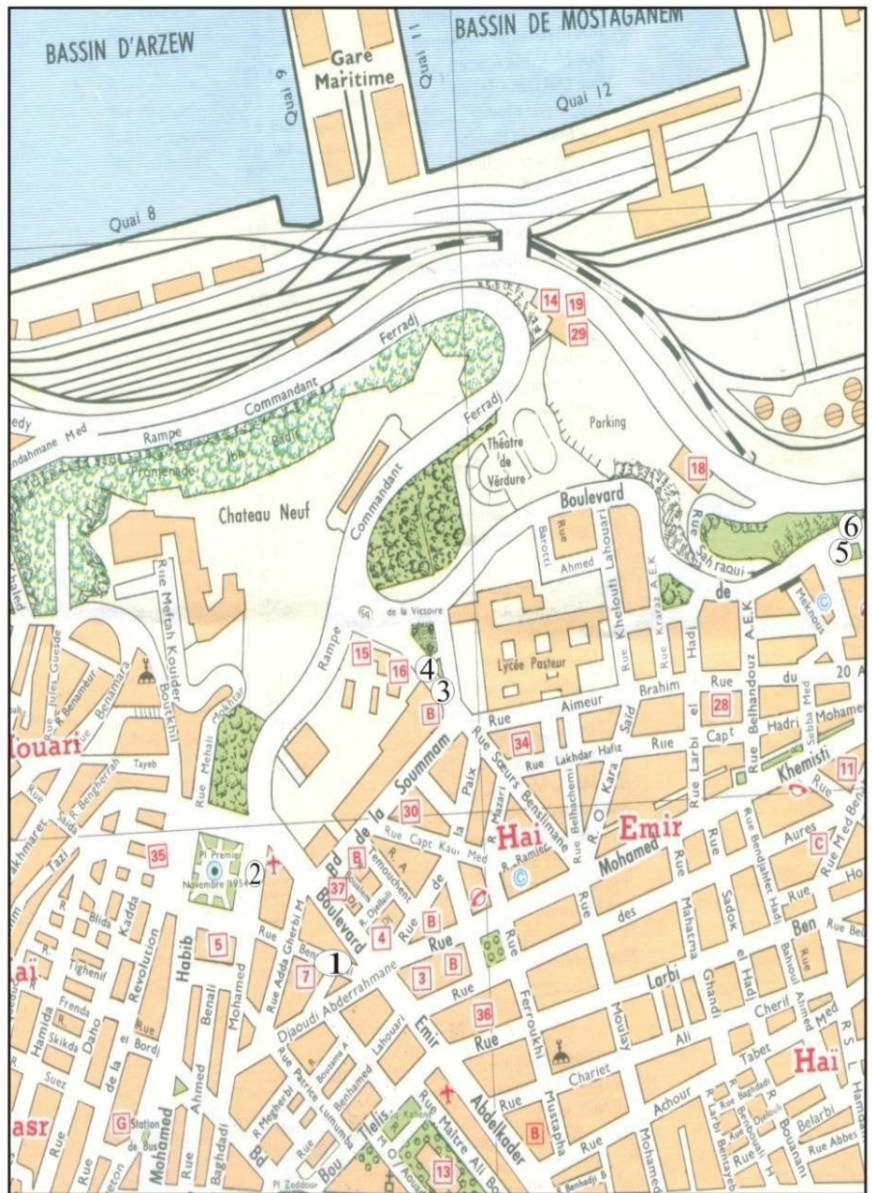
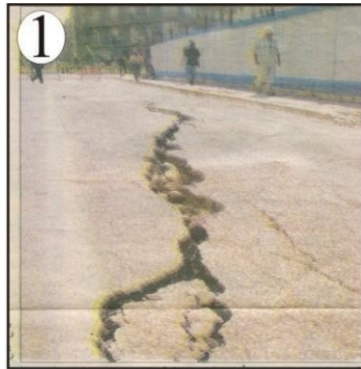


Fig.22 - Localisation cartographique des affaissements à Oran centre

- Fissuration du réseau routier

🕒 Fissuration de la route du port (ex rue Coutant)

Les fissures sont apparues pour la première fois en 1985, lors de l'achèvement des travaux de mise en place du remblai. Depuis cette date, le talus de remblais de cette zone se trouve constamment en mouvement malgré tous les travaux de réparation par rechargement de chaussée. Selon un rapport interne, cette fissure est apparue suite aux fortes intempéries ayant entraîné des inondations des terres pleines portuaires et des stagnations des eaux superficielles à cet endroit précis (fig. 23).



Fig. 23.- Fissure affectant la chaussée menant au port à conteneurs

Il est à rappeler que lors des travaux de réalisation par SEROR de la culée Sud de l'ouvrage d'Art de la bretelle en terre armée, il a été signalé l'apparition d'une fissure très profonde longeant toute la masse de remblais sur une longueur d'environ 120 m. Cette fissure s'est manifestée juste après de fortes intempéries qui ont duré une semaine (fig. 23).

Les deux fissures sont apparues systématiquement par rapport à l'axe du ravin autrement dit sur les remblais des ouvrages réalisés sur les deux rives.



⌚ Fissuration sur l'Avenue qui débouche sur le rond point du pont Zabana

A la suite des travaux de la société de promotion immobilière "EDEN" une importante ouverture du sol visible en surface est apparue sur quelques mètres le long de la chaussée, ainsi que des traces longitudinales de fissuration du bitume (fig. 24).

Ce site qui se situe à la terminaison de l'avenue qui débouche sur le rond point du pont Zabana a fait l'objet d'une auscultation géophysique par Géoradar dont l'objectif a été d'évaluer l'ampleur du phénomène ayant affecté le sous-sol par imagerie radar et d'y remédier par des traitements adéquats.



Fig. 24 – Fissuration d'un tronçon de l'avenue débouchant sur le pont Zabana

⌚ Boulevard Hamou boutlelis

Au mois d'août 2006, le prolongement du boulevard Hamou Boutlelis, menant vers la rue Larbi Ben Mhidi, a été fermé provisoirement

pour cause de chaussée endommagée par une fissure de plusieurs mètres de long (Fig. 24). Une entreprise privée a procédé aux travaux d'excavation sur ce terrain, pour la construction d'un centre commercial, Ces fouilles d'une profondeur de onze mètres ont entraîné l'affaiblissement du sol. Le passage de l'Oued souterrain (Oued Rouina) à ce niveau a aggravé la situation en charriant tout le soubassement de ce terrain jouxtant le palais de la culture et des arts.

Le service de l'Urbanisme et de la Planification a ordonné l'arrêt des travaux entamés sur le terrain mitoyen à la chaussée (l'assiette de l'ex. marché Karguentah) et a demandé au laboratoire des travaux publics d'Oran (LTPO) de procéder à l'analyse du sol.



---

Fig. 25 - Fissuration d'un tronçon de l'avenue Boutlelis

## **.2. Affaissements d'origine géochimique**

Il s'agit particulièrement d'affaissements ayant un impact sur la dégradation du bâti urbain, qui trouvent leur origine d'une part dans la dissolution des formations carbonatées, souvent gypseuses et d'autre part dans l'interaction de l'eau souterraine avec la matrice encaissante.

La falaise de l'hippodrome est prise en exemple pour illustrer la coupe géologique et le degré de karstification des calcaires gréseux du Miocène supérieur (fig. 26).



Fig. 26 - Phénomène de dissolution, affleurement de la nappe du plateau d'Oran dans les calcaires gréseux karstiques  
(Falaise de la carrière de Carteaux, rive gauche du ravin blanc)

Il y a lieu de signaler un phénomène de dissolution affectant d'une part les calcaires gréseux, développant une structure karstique et d'autre part des lentilles gypseuses incrustées le plus souvent dans les limons, générant de véritables cavités souterraines, qui sous le poids du bâti existant aura un impact conséquent sur la stabilité des habitations et l'environnement urbain. On citera dans ce cadre des exemples d'affaissements, dus :

🕒 Dissolution des carbonates (fig. 26)

Photo A : Affaissement de terrain la Rue Dauphine (Gambetta) suite l'existence d'une cavité karstique mise à jour par des travaux d'excavation d'un sous sol.

Photo B : Habitations abandonnées suite à la fissuration très avancée, sur une assiette de terrain normalement déclarée inconstructible.

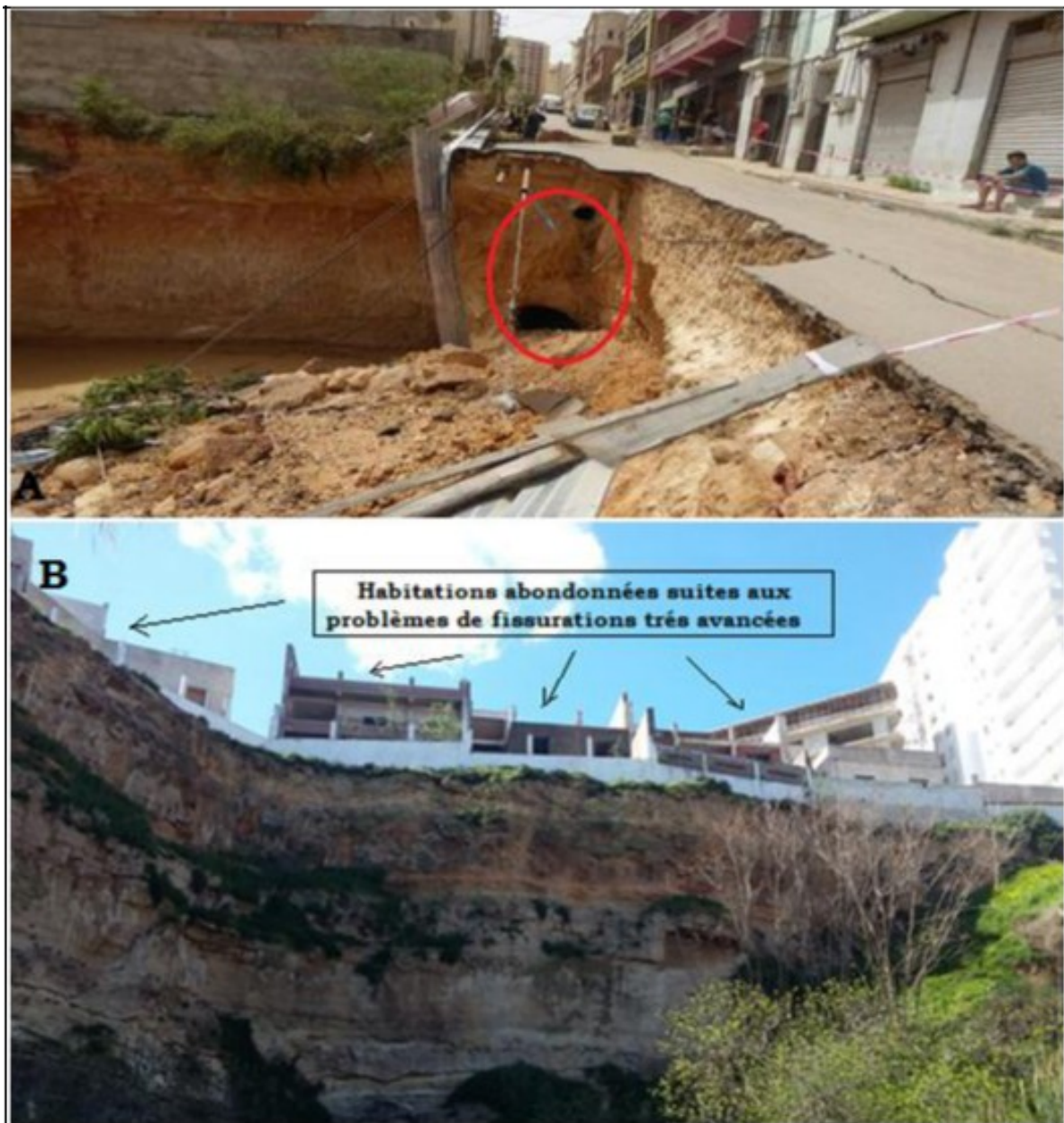


Fig. 26 – Affaissement de chaussée (A) et fissurations d'habitations (B)

### 🕒 Dissolution du gypse

La zone concernée par ce risque se trouve sur une ancienne dépendance de la Sebka où celle-ci a déposé une couche de gypse en paillettes surmontée par une couche calcaire jaune argileuse (fig. 27). Au dessous de la terre végétale, la carapace calcaire souvent gypseuse avec un important réseau de dissolution lui donnant un aspect karstique. Elle est donc localement très perméable. Cette couche calcaire s'amincit vers la direction de l'aéroport où la couche supérieure de calcaire n'existe pratiquement plus et le sol est constitué par le gypse lui-même (SOGREAH, 1984).

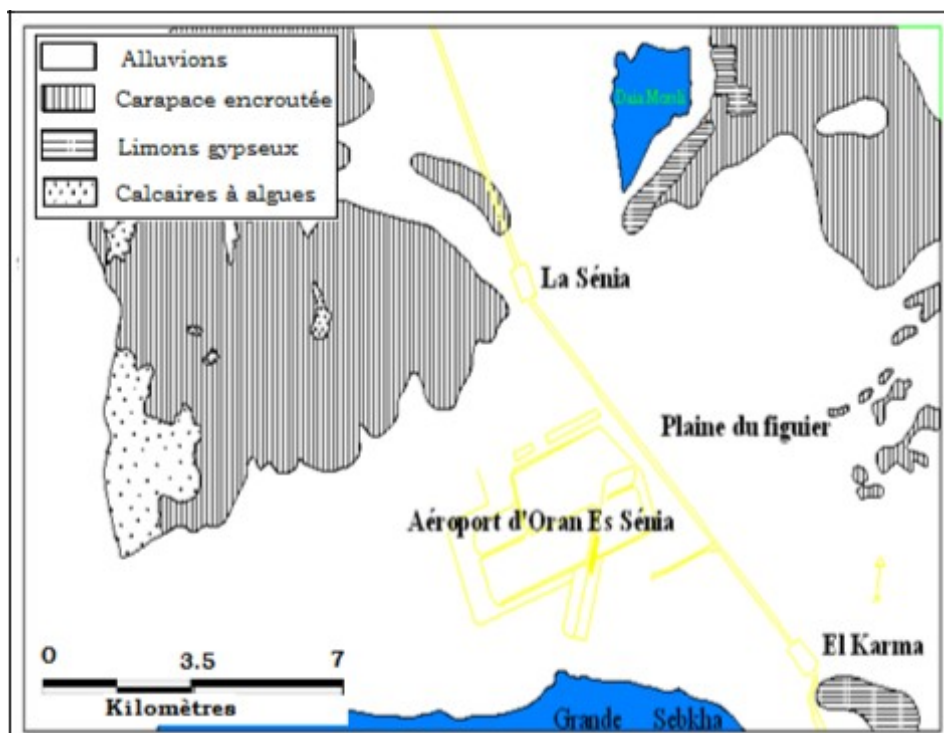


Fig. 27 – Esquisse géologique montrant l'importance des limons gypseux

Les formations limoneuses à incrustation de gypses tapissent toute la zone située au Sud de la ville d'Oran. C'est au niveau des communes d'es Sénia (aéroport) et d'El Karma (Etoile ex Chteibo) que le phénomène de dissolution prend de l'ampleur, générant des cavités karstiques (fig. 28). Il s'en suit de fréquents affaissements, ayant toujours des impacts sur la stabilité du bâti et des infrastructures.

La figure 28 illustre une cavité mise à jour lors du terrassement d'un terrain de projet immobilier compris entre Chetaïbo et El Kerma. L'assise est constituée d'une formation quaternaire d'origine lagunaire à nombreux cristaux de gypse, incrustés dans la matrice marno-limoneuse.



Fig. 28 - Cavité mise à jour dans les limons à incrustations de gypse

### 3. Effondrements et chutes de blocs

Un autre phénomène est observé le long de la falaise comprise entre Canastel et Belgaïd, relatif aux chutes des blocs (fig. 29, photos 2, 3 et 4), provenant de la désagrégation mécanique et chimique des calcaires gréseux et les grès qui s'étendent sur plusieurs kilomètres. En contrebas de cette falaise au niveau de la route qui mène au Kristel (Fig. 29, photo 3). Le phénomène d'éboulement présente un vrai danger pour les utilisateurs de cette route, car la taille des blocs peut atteindre plusieurs mètres cubes (fig. 29, photo 4).

Le phénomène de dissolution des formations géologiques et leur impact sur les risques urbains de la région d'Oran. Réflexion sur les moyens de remédiation

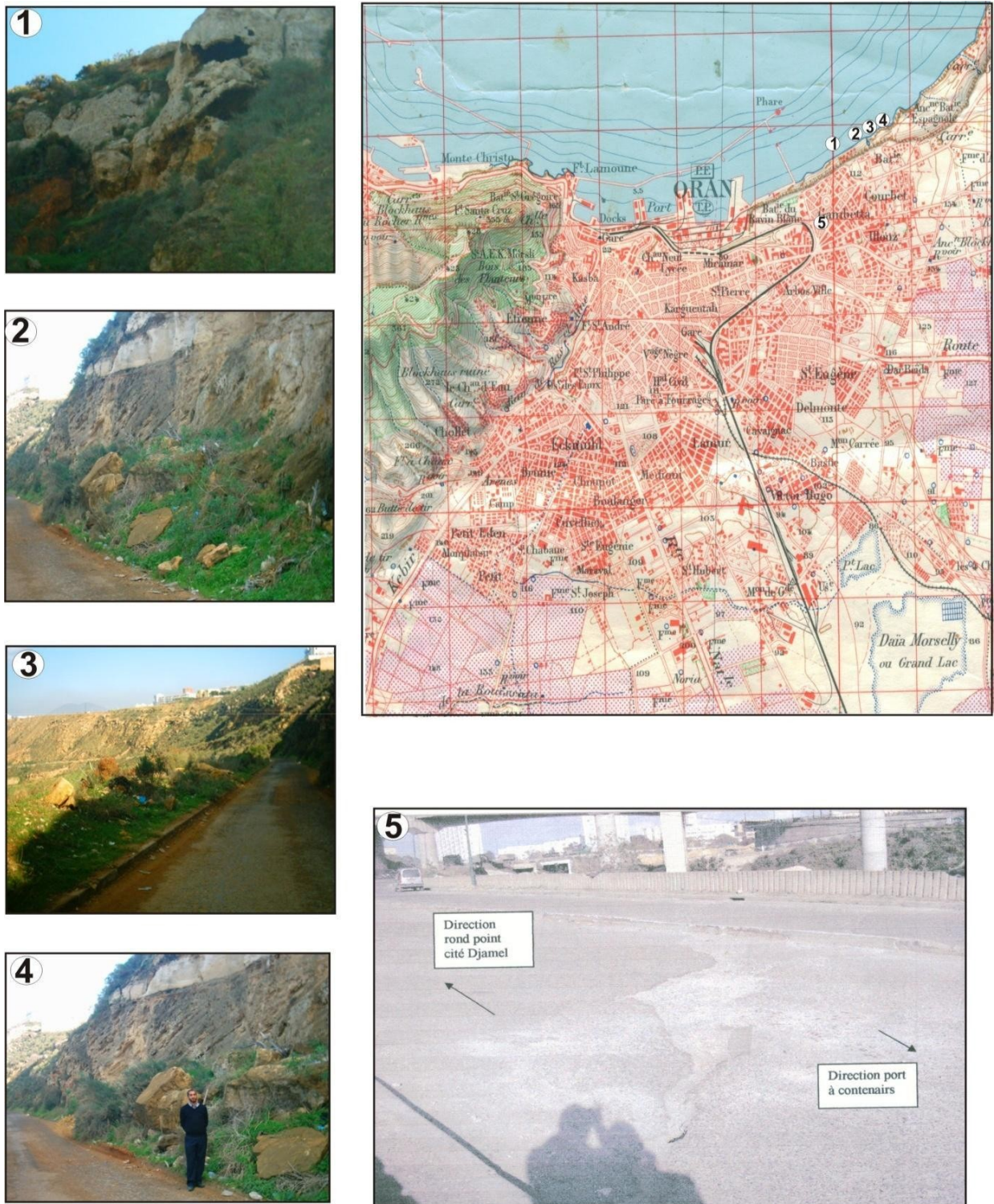


Fig. 29 - Carte de localisation des problèmes d'instabilité de terrain

La figure 30 permet de synthétiser et de schématiser les différents phénomènes observés intimement liés à l'hydrogéologie urbaine et dont les impacts se traduisent dans la dégradation des infrastructures et du bâti urbain.

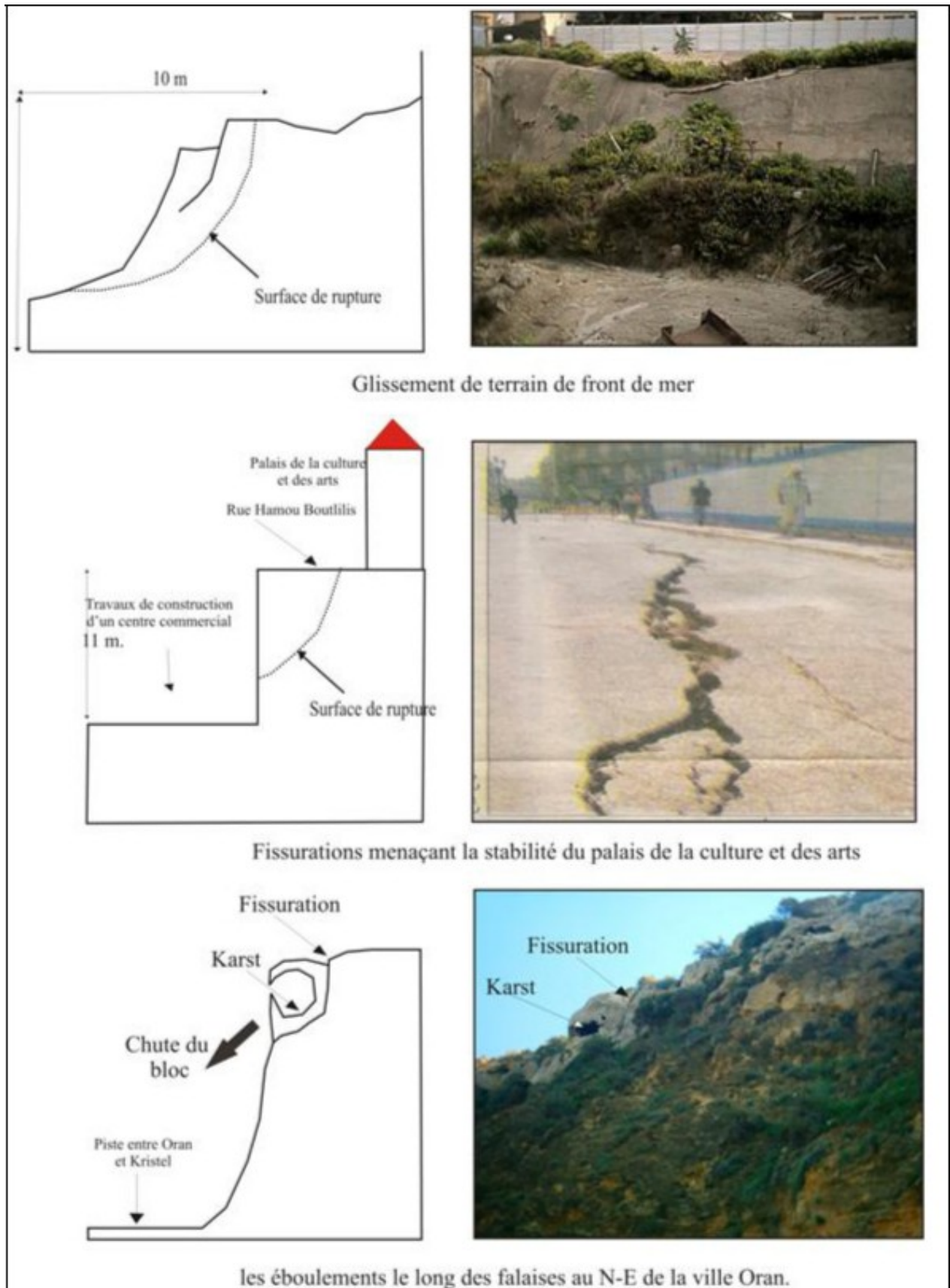


Fig. 30 - Schématisation des phénomènes de fissuration, affaissement et éboulement



#### 4. Expertises et travaux d'entretien

Suite aux différents mouvements des sous sol de certains quartiers de la ville d'Oran sous forme d'affaissements, de glissements ou d'affouillements, les autorités locales ont lancés un vaste programme d'expertise relatif à des travaux d'entretiens et de réhabilitation des différents ouvrages et réseaux souterrains. Ce programme a intéressé l'ensemble du sous-sol de la ville en commençant par le réseau d'ovoïdes (Fig. 51) dont la longueur totale atteint 80 km.



Fig. 31 - Drainage par ovoïdes des eaux souterraines et superficielles des ravins de la baie de Saint Thérèse vers l'Est d'Oran (Somatre, 2005).

#### - Etat des lieux du réseau d'assainissement de la ville d'Oran

Le réseau des eaux usées de la ville d'Oran est divisé en cinq secteurs géographiques correspondant à des réseaux hydrauliques indépendants:

- ⌚ Le réseau du secteur Nord-Ouest collecte les eaux d'une partie de la ville centrée sur le ravin de Ras El Aïn. Les eaux sont rejetées en mer, au niveau de fort Lamoune.
- ⌚ Le réseau du secteur Nord-Centre collecte les eaux du centre de la ville et les rejette en mer à l'Est de l'entrée du port, sous "Cueva del-Agua".
- ⌚ Le secteur Nord-Est collecte les eaux de la partie de la ville englobant les hauteurs de Gambetta et les environs du Ravin Blanc. Les eaux sont rejetées en mer au même point que les eaux issues du secteur Nord-Centre.

- ⌚ Le réseau du secteur Sud-Est collecte les eaux des quartiers situés au sud de la route nationale n° 4 et à l'est de la voie ferrée Oran-Alger. Les eaux sont conduites à la cheminée du petit lac.
- ⌚ Le réseau du secteur Sud-Ouest collecte les eaux d'une grande partie de la ville située approximativement au Sud du deuxième boulevard périphérique et l'Ouest de la voie ferrée Oran-Alger. Les eaux sont également conduites à la cheminée du petit lac.
- ⌚ Le secteur Sud du groupement urbain d'Oran étant dépourvu de tout exutoire naturel (en dehors de Dayat morselly aux capacités épuratrices naturelles).

Le réseau d'assainissement de la ville d'Oran est en quasi-totalité unitaire. Seules des exutoires récents ont été effectués en séparatif. L'extension du port et la ville d'Oran vers l'Est a imposé le remblaiement de tous les ravins sur lesquelles sont réalisées particulièrement les infrastructures routières (routes et chemins de fer) et en dessous desquels sont installés des grands collecteurs permettant le drainage et la déviation des eaux hors de la baie de Saint Thérèse (extérieur des futurs bassins projetés).

Le projet à l'époque consiste à réaliser un collecteur (fig. 32, photo 1) de forme ovoïdale géant de 2870 m de longueur, prenant départ à 26 mètres sous le boulevard de la Soummam, transportant sur son passage les eaux des quatre ravins pour ensuite les déverser à l'Est de la falaise de Gambetta, en suivant la rue de la vieille mosquée puis l'axe du front du mer à 30 mètres de profondeur. Un second collecteur d'une longueur de 2500 mètre, suit le lit du ravin Blanc et est raccordé au premier au droit du pont Zabana par le biais d'un grand regard de chute. Cet ouvrage permet de drainer les eaux des quartiers situés plus haut (Cité Djamel, Gambetta, hippodrome et Saint Eugène).

Dans la partie sud de la ville d'Oran où l'urbanisation est plus faible et les pentes naturelles moins marquées, le réseau unitaire a été maintenu. Cette conception a été dictée par l'absence d'exutoire naturel nécessaire à la décharge des eaux pluviales. L'exutoire artificiel que constituent la cheminée et la galerie du petit lac a ainsi été réalisé. Pour des raisons économiques, eaux usées et eaux pluviales ont transité par le même réseau unitaire. En février 2005, la société S.O.M.A.T.R.E a procédé à un travail d'expertise d'une tranche de 5500 m linéaire d'ovoïde en plus de confortement et de réhabilitation d'un tronçon d'un km

de long passant sous la rue des sœurs Benslimane, le trésor public et le théâtre de verdure. Le collecteur du ravin blanc qui a été diagnostiqué par SOMATRE se compose de deux parties :

La première partie relie le rond point de la cité Djamel à la chambre de collection située au pied de la pile Sud du pont Zabana en suivant exactement, le lit du ravin, autrement dit l'actuelle route du port ou route du ravin blanc. Ce tronçon permet d'acheminer vers l'ovoïde géant du front de mer, aussi bien les eaux usées que les eaux pluviales et les eaux de sources des zones sud de Gambetta, de St Eugène ainsi que de la cité Djamel et ses environs.

La seconde partie d'une longueur de 700 mètres linéaires, prend naissance au niveau du rond point de la place Gambetta et rejoint le premier tronçon à 90 mètres à l'amont de la chambre de collection. Cette seconde partie permet d'acheminer les eaux usées, les eaux de sources et les eaux pluviales des quartiers Nord du Gambetta.

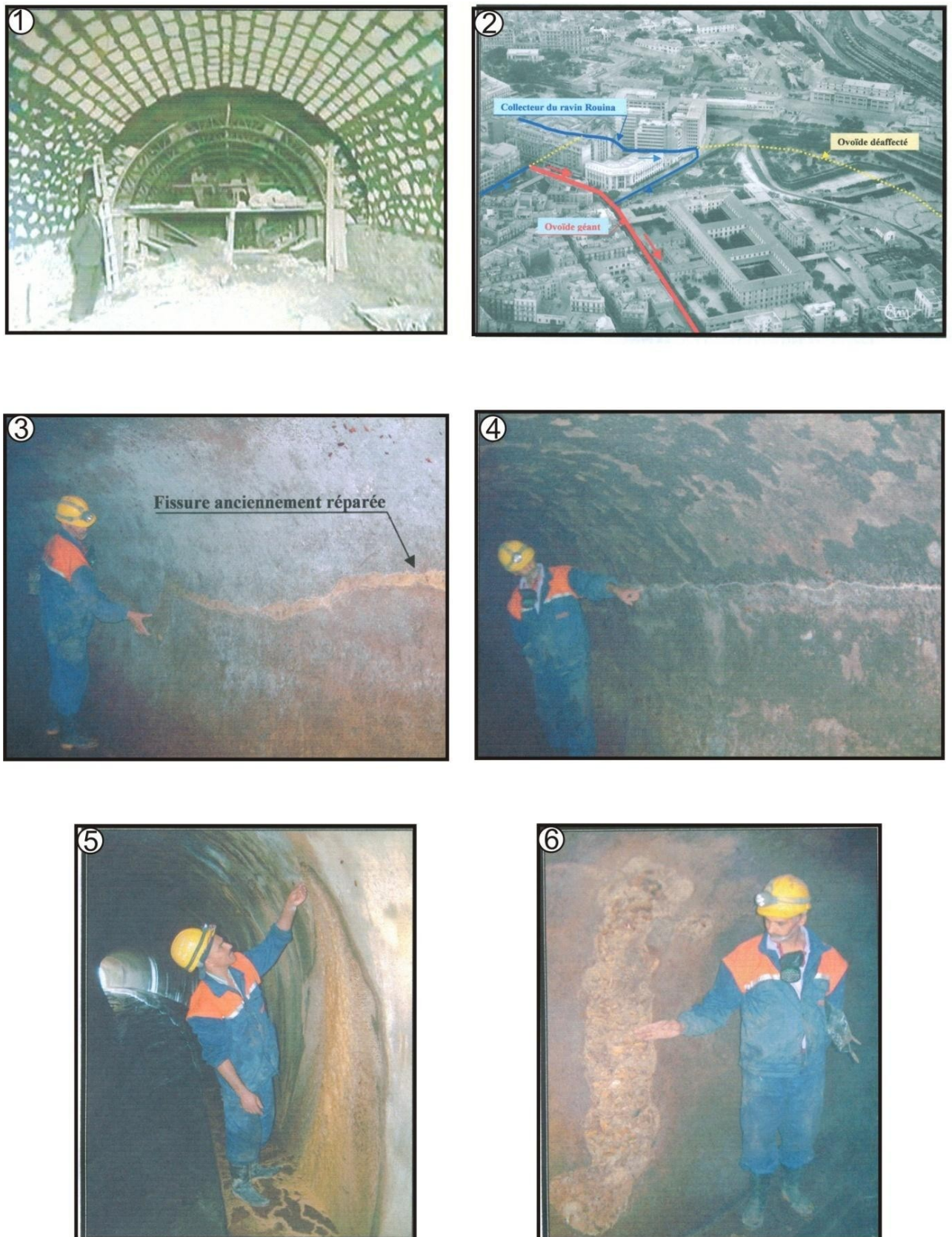


Fig. 32 - Le parcours de l'ovoïde géant et son état après l'expertise par SOMATRE en 2005

- Défection des réseaux de drainage et d'assainissement

Le manque d'inspection et de travaux d'entretiens depuis des décennies de tout le réseau souterrain et en particulier le réseau d'ovoïdes a entraîné les dégradations relevées par les travaux de reconnaissance. Sur le réseau du parcours de l'Oued Ruina qui constitue le canevas de base de l'ensemble des rejets et captages des eaux, ces dégradations se résument aux observations suivantes (fig. 32, photo n° 3, 4, 5 et 6):

- ⌚ Gonflement et effritement de l'enduit de surface des parois.
- ⌚ Détachement de plaques d'enduit et fissuration du béton.
- ⌚ Obstruction des barbacanes de drainage par des calcaires.
- ⌚ Fissures longitudinales au droit de l'enracinement de la voûte colmatée par des calcaires.
- ⌚ Fissures longitudinales anciennes réparées.
- ⌚ Fissures transversales profondes aussi bien sur les extrémités des galeries d'aération que sur le tronçon de sortie de l'ovoïde.

- Causes des dégradations de l'ovoïde

Les dégradations cités plus haut sont localisés sur les tronçons d'ovoïde traversant les anciens ravins remblayés notamment les deux premiers à savoir le ravin Rouina et le ravin Mina. En effet, c'est à ce niveau que l'on remarque la présence de beaucoup de barbacanes mais malheureusement complètement bouchés par des calcaires en plus d'une forte humidité sur l'ensemble des parois de l'ouvrage.

Dans ces zones, l'absence de drainage a entraîné une augmentation de la pression des eaux souterraines dans les remblais, provoquant ainsi les dégradations constatées (fig. 33).

- Conséquences des dégradations de l'ovoïde

- ⌚ Saturation du remblai surtout en période hivernale.
- ⌚ Augmentation de la pression hydrostatique sur les parois externe de l'ouvrage.
- ⌚ présence d'humidité sur l'ensemble des parois internes.
- ⌚ Fissuration et éclatement du béton des parois.
- ⌚ Détachement des plaques de béton des parois.
- ⌚ Effritement de l'enduit de protection des parois de l'ouvrage.
- Détérioration des réseaux supérieurs d'A.E.P. et d'assainissement suite aux mouvements des remblais saturés.
- ⌚ Dégradation des fondations des ouvrages et édifice se trouvant dans ces remblais des anciens ravins.
- ⌚ Déformation et dégradation des trottoirs et des revêtements des ruelles suite à la saturation du corps de chaussée.
- ⌚ Inondation des caves et ruelles en période hivernales.
- ⌚ Fuite des eaux usées dans le sous-sol et contamination de la nappe phréatique.
- ⌚ Naissance de courant vagabonds en sous-sol entraînant un lessivage des remblais se traduisant par l'apparition des affaissements.

L'obstruction d'une bonne partie des réseaux d'assainissement superficiel ainsi que l'absence du drainage des remblais le long des collecteurs du entraînent :

- ⌚ Des affaissements dans les ruelles et boulevards et des dégradations des revêtements par saturation du corps de chaussée.
- ⌚ Des déformations du sol par saturation, entraînant la détérioration des autres réseaux qui s'y trouvent tel que le réseau d'A.E.P. Amplifiant ainsi ce phénomène.

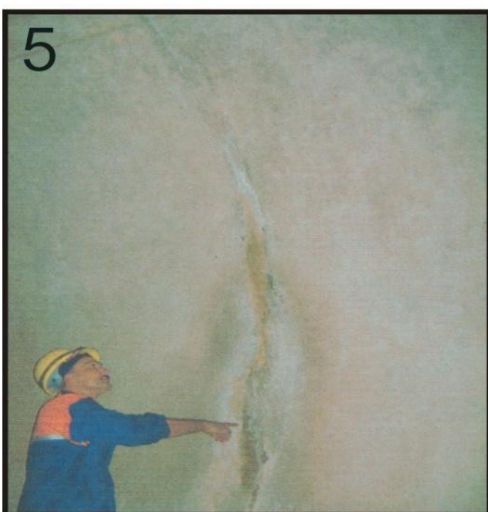
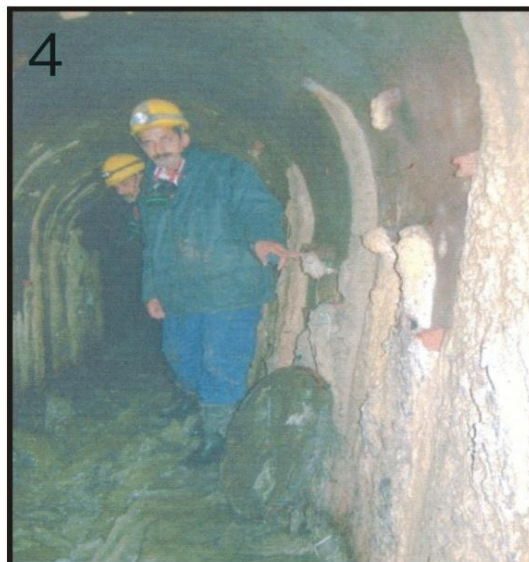
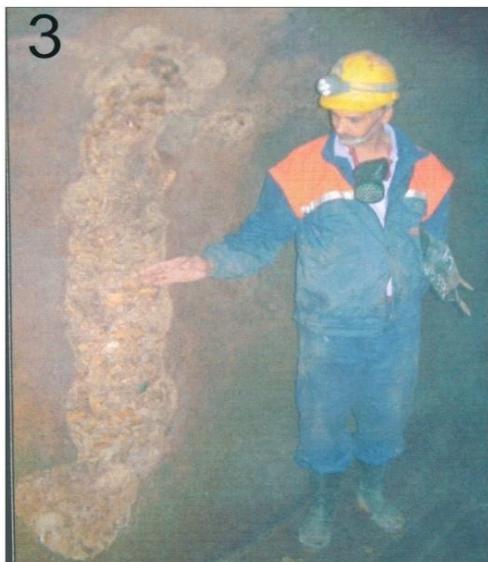
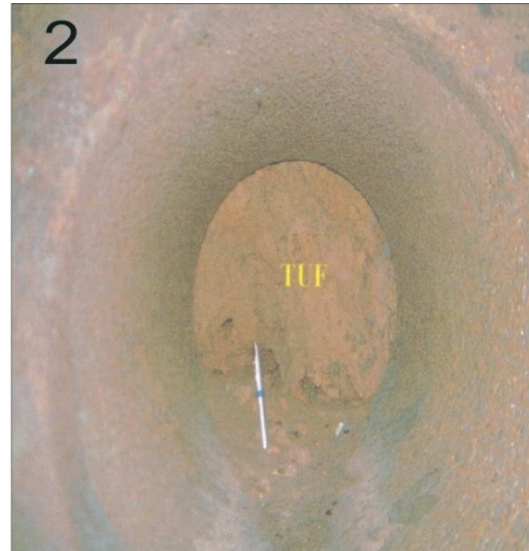
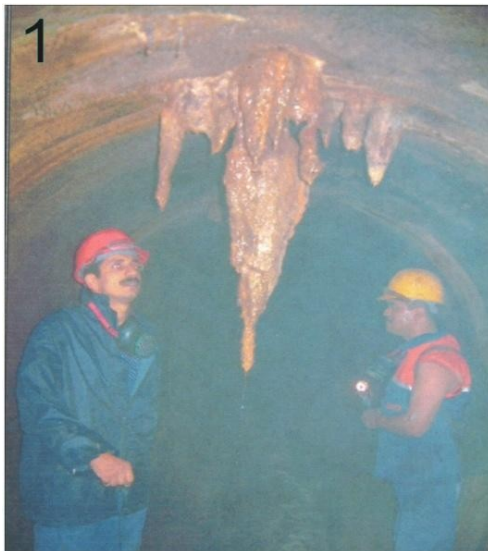


Fig. 33 : Les dégradations observées lors de l'expertise d'une tranche d'ovoïde.

## **CHAPITRE QUATRIEME**

### **OUTILS D'AUSCULTATION ET MOYENS DE REMEDIATION**



## I. METHODOLOGIE

La localisation des vides, l'identification des risques et les mesures de prévention est une démarche essentielle qui comprend 03 phases, à savoir une phase de recherche et de localisation des vides, une phase de reconnaissance et une phase de traitement des anomalies mise à jour par les méthodes géophysiques non destructives.

### - La phase de recherche et de localisation des vides

Cette phase repose sur une démarche informative comprenant des enquêtes auprès de la population, des recherches documentaires ou l'analyse des indices de surface (observations sur site ou l'examen de photos aériennes). Pour vérifier ces informations, on peut procéder à une recherche des cavités par l'utilisation du radar géologique (GPR ou grounds penetrating radar), appliqué particulièrement en milieu urbain, du fait de sa rapidité d'exécution et la qualité des informations (fig. 34).

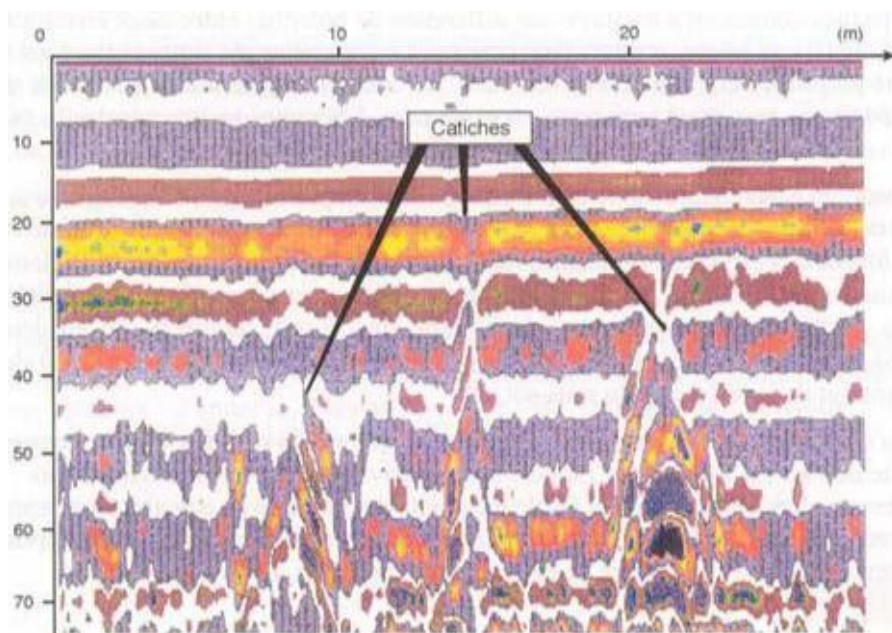


Fig. 34 : Localisation de cavités par Géoradar (GPR)

### - La phase de reconnaissance

Cette phase qui s'appuie le plus souvent sur les forages destructifs (avec diagraphies), constitue l'étape fondamentale de reconnaissance des vides. Elle permet de situer exactement les cavités, de les reconnaître (par endoscopie ou caméra vidéo), de préciser la

hauteur de vides, le volume à combler et de choisir ainsi les meilleurs points d'attaque pour le creusement des puits d'accès ou de remblaiement. Cette phase de reconnaissance permet également d'estimer le plus correctement possible le volume des vides à combler et le coût des opérations de traitement.

- Moyens de remédiation ou traitement

Les mesures de prévention, fondées sur des techniques adaptées à la rémédiation du risque d'affaissement liés à la présence de cavités souterraines, font appel à des traitements qui ont pour but de consolider les infrastructures urbaines en comblant les vides. Le principal objectif est de diminuer, voire d'annuler, la prédisposition du site à subir des instabilités. On notera que certaines techniques permettent de conserver ouvertes les cavités, les autres les condamnant définitivement (fig. 35).

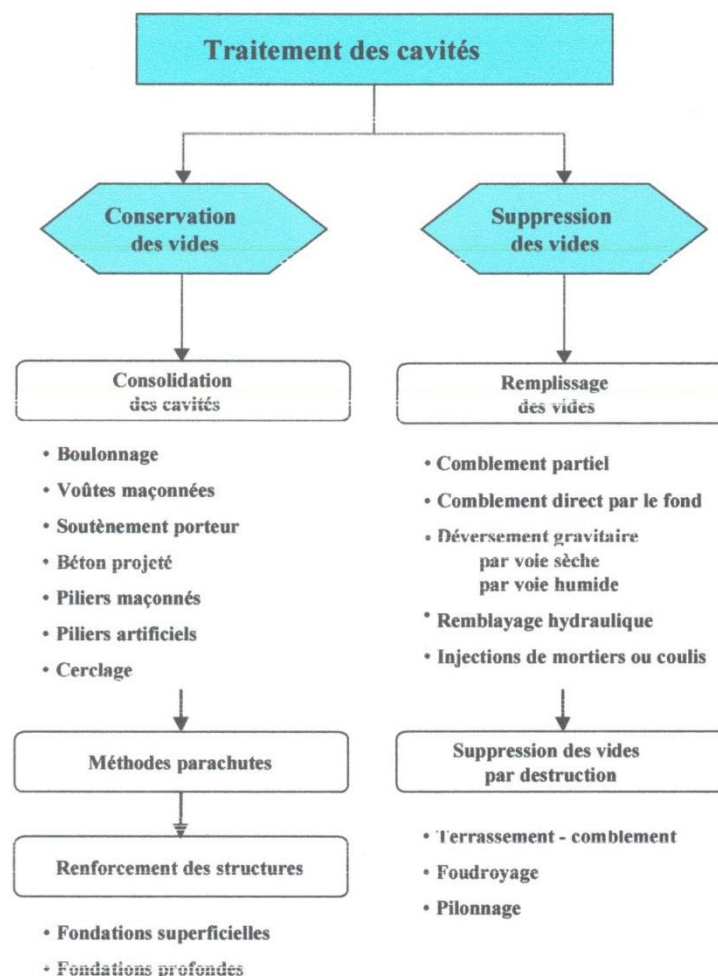


Fig. 35 – Techniques de traitement et de prévention actives

## II. AUSCULTATION DES ANOMALIES: LE GEORADAR

Cette technique permet l'investigation d'une dizaine de mètres, pour localiser en milieu urbain des zones fracturées, des cavités souterraines et des zones karstiques. Il permet en outre de reconstituer la cartographie des réseaux linéaires (canalisations enterrées et réseaux électriques) et la mise à jour des sites archéologiques.

### 1. Principe du Géoradar

Cette technique, que les ingénieurs préoccupés par les problèmes de sub-surface rangent dans la rubrique du « contrôle non destructif CND », est basée sur l'utilisation des ondes électromagnétiques de hautes fréquences comprises entre 10 MHz et 1 GHz, pour mettre en évidence des contrastes de constante diélectrique. Les ondes sont émises dans le sol, lorsqu'elles rencontrent des réflecteurs (structures géologiques, alternances de roches de propriétés diélectriques différentes, canalisations) une partie des ondes se réfléchit vers la surface ou elles sont captées et enregistrées par une antenne de réception (fig.36).

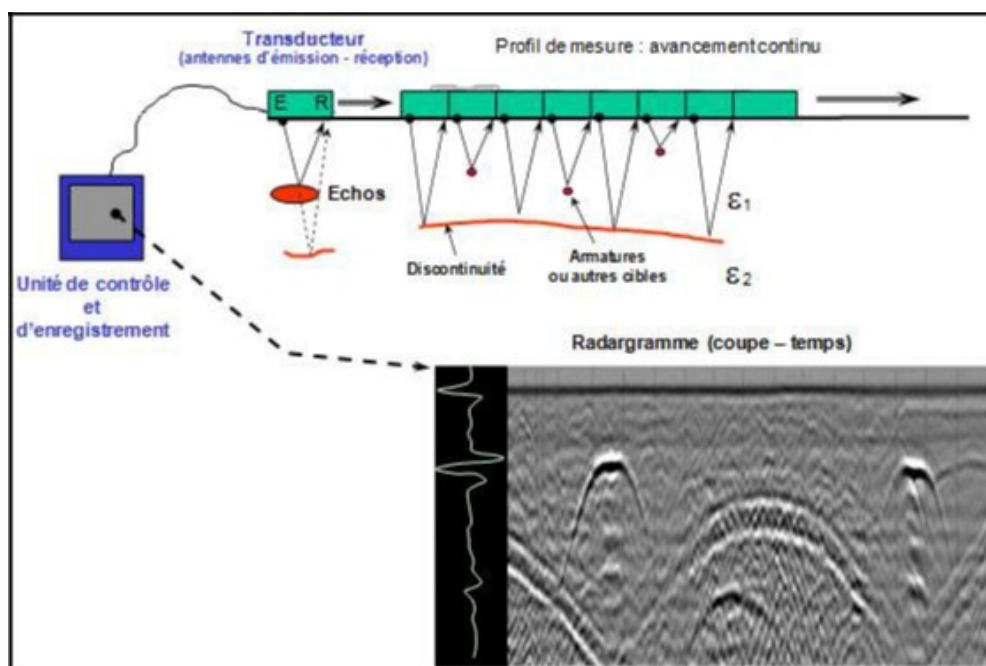


Fig. 36 - Schéma simplifié du principe de fonctionnement du Géoradar

L'expertise géophysique a été réalisée par le Bureau d'études **G.EAU.SOL** et a concerné l'exécution d'un balayage par GéoRadar. L'auscultation du sous-sol est exécutée pour fournir des images sous forme de radargrammes avec une fréquence de 500 Mhz, dont la

profondeur d'investigation peut varier entre 2 à 5 m selon le contexte géologique. Les investigations Radar ont été réalisées au niveau de deux sites géologiquement différents. Le premier site est situé au niveau de la commune d'El Kerma dont l'assise géologique est formée par les limons gypseux. Le second site, formé par des grès fissuré à ciment calcaire est situé au centre ville d'Oran, près du ravin blanc.

## 2. Balayage Géoradar dans les formations gypseuses à El Kerma

Le but de cette étude est de déterminer d'éventuelles anomalies dans le sous sol, pour le compte d'une promotion immobilière (SARL Benhaddou). Les travaux sur le terrain se sont déroulés durant la journée du 24 septembre 2011.

### - Configuration des profils exécutés

Il s'agit d'un terrain en forme de L, d'une superficie d'environ 700 m<sup>2</sup>, excavé par rapport à la surface du sol jusqu'à une profondeur de 1.5 m. Les mesures ont été exécutées suivant un balayage complet avec des profils longitudinaux transversaux espacés de 3m. Ces profils sont notés de 1846 à 1871, soit au total 26 profils (fig. 37).

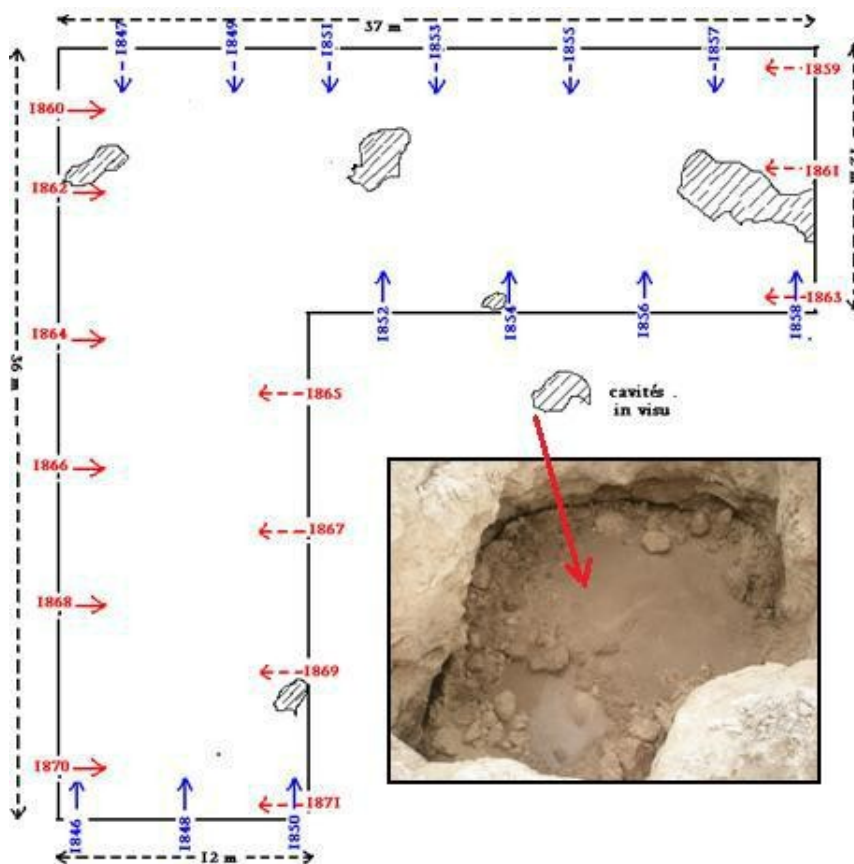


Fig. 37 - Position des profils avec cavités in visu

*- Situation géologique*

L'assise du projet immobilier est constituée d'une formation quaternaire d'origine lagunaire à nombreux cristaux de gypse, incrustés dans la matrice marno-limoneuse. Le phénomène de dissolution se manifeste souvent dans ces formations, générant des chenaux de dissolution. Le processus avancé peut aboutir à la formation de cavités (fig. 38). La présence de la nappe phréatique située à partir de 2.5 mètres de profondeur, contribue à ce processus par le biais du phénomène de capillarité.



Fig. 38 - Assise géologique représentée par les limons marno-gypseux, parsemé d'un réseau de cavités

*- Présentations des radars grammes*

Les clichés radar grammes donnent l'image du sous-sol suivant les différents profils exécutés. Sur les abscisses sont lues les distances en mètres sur ces profils et en ordonnées, sont lues les profondeurs en mètres des différentes couches géologiques. Les anomalies se manifesteraient par des discontinuités brusques sur les signaux visualisés par les radars grammes.

Les radars grammes sont organisés en profils longitudinaux (Fig. 39) et profils transversaux (fig. 40).

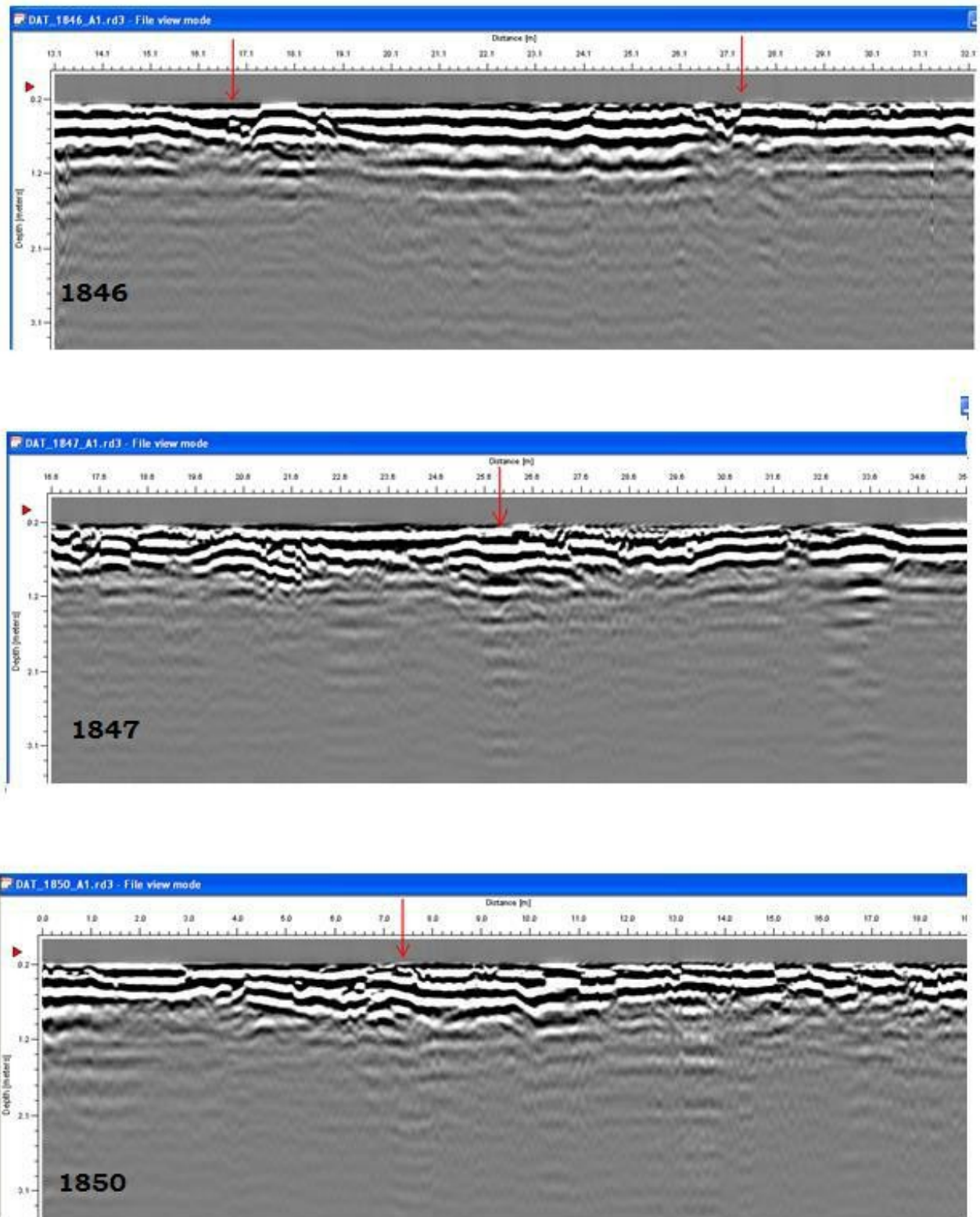


Fig. 39 – Radar grammes des profils longitudinaux

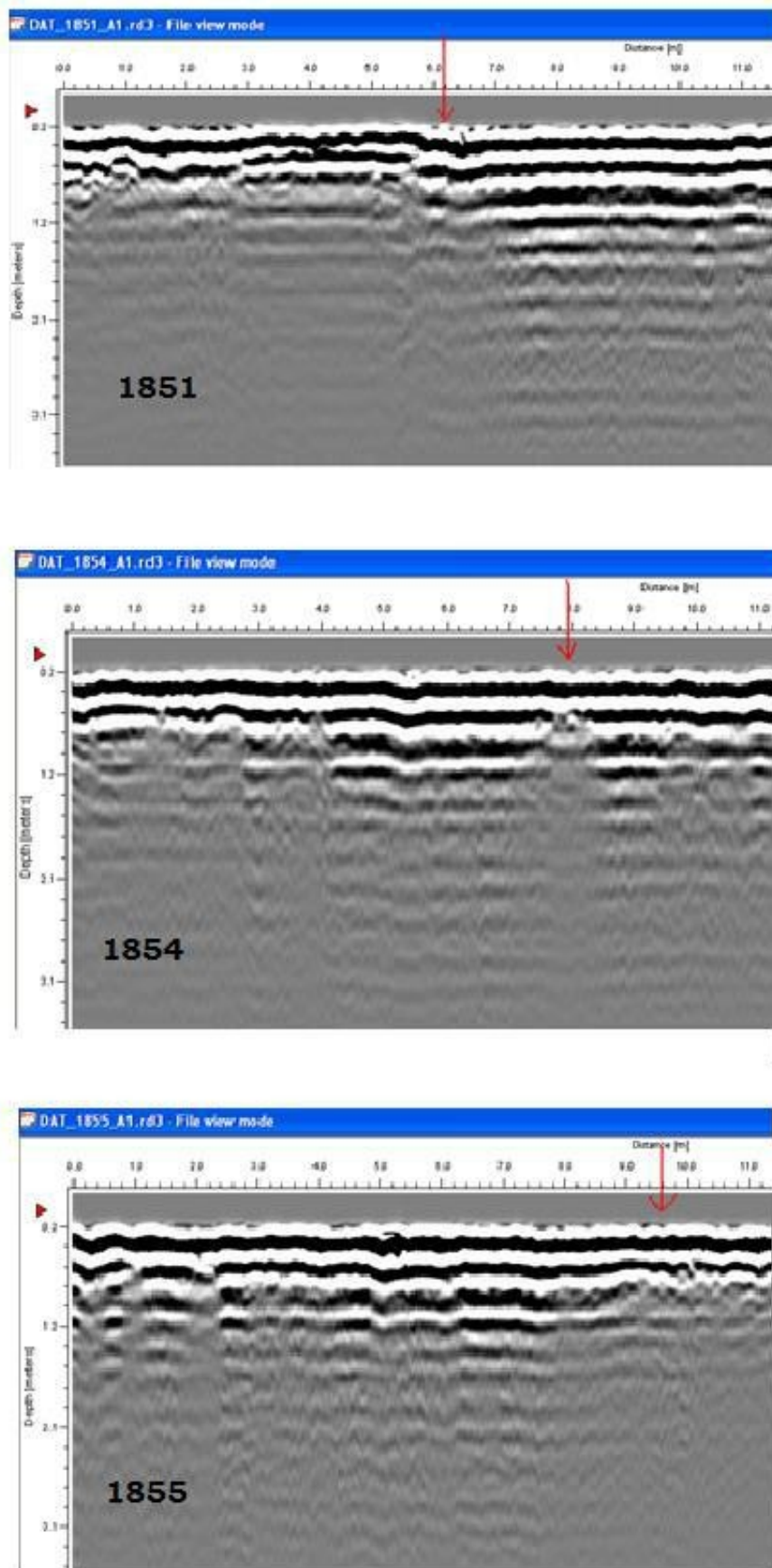


Fig. 40 – Radar grammes des profils transversaux

**- Résultats**

L'analyse et l'interprétation des radars grammes a permis de mettre en évidence un certain nombre de signaux anomaux. Leur profondeur est comprise entre 1 m et 2 m à partir de l'excavation. Les anomalies présentent des signaux distincts sur les radars grammes (flèches sur les radars grammes) correspondant à un processus de dissolution avancé, susceptible d'aboutir à des cavités d'une certaine ampleur comme il a été constaté de visu.

Ces cavités peuvent atteindre la nappe située à environ 2.5 à 3 m de profondeur et s'étalent souvent sur de grands volumes.

Les anomalies décelées, représentées par des cavités sont ainsi cartographiées (fig. 41) et apportent des éléments de réponse pour d'éventuels traitements spécifiques.

Dans le cas de cette étude, en plus du caractère aléatoire de leur distribution, ces anomalies semblent concerner toute l'assiette balayée par le Géoradar.

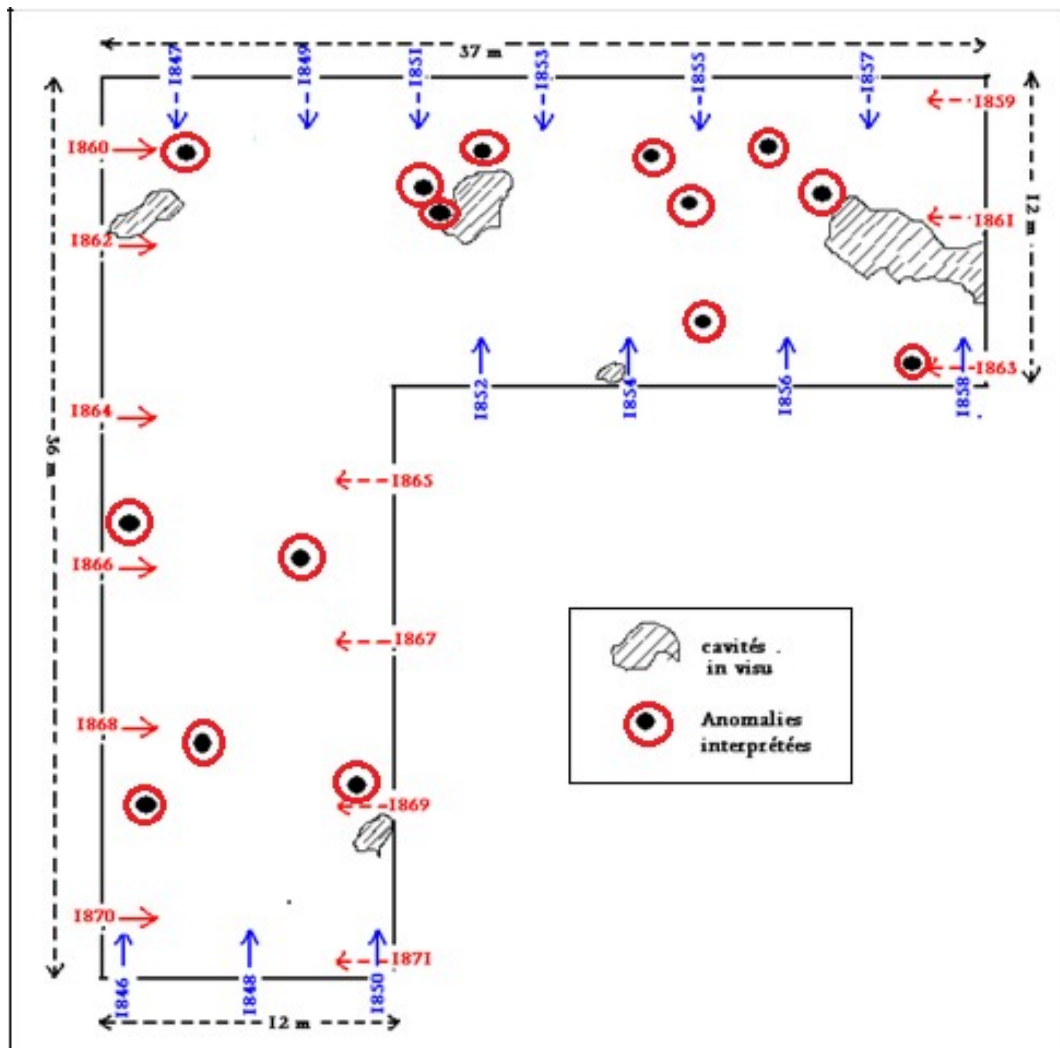


Fig. 41 - Cartographie des cavités décelées par Géoradar



### 3. Balayage Géoradar dans les formations grés-carbonées fissurées de la frange maritime du plateau d'Oran

#### - Etat des lieux

Dans le cadre de cette étude, l'utilisation du Géoradar a été d'un grand apport pour établir les causes d'un affaissement de chaussée entre l'avenue comprise entre les ronds points de Gambetta et du pont Zabana. C'est à la suite des travaux de la société de promotion immobilière "EDEN" qu'une importante ouverture du sol visible en surface est apparue sur quelques mètres le long de la chaussée, juste avant le grand rond point du pont Zabana.

#### - Contexte hydrogéologique

Le site d'investigation repose sur une formation grés-calcaire pliocène visible en affleurement en certains endroits de la frange maritime, particulièrement au niveau du ravin blanc (fig. 42). Ces couches s'apparentent à des formations carbonatées, parcourues souvent par un réseau de fissures anastomosées. Cette fissuration est le résultat de la dissolution des eaux superficielles, affectant ces calcaires. Toutes les formes karstiques sont représentées,

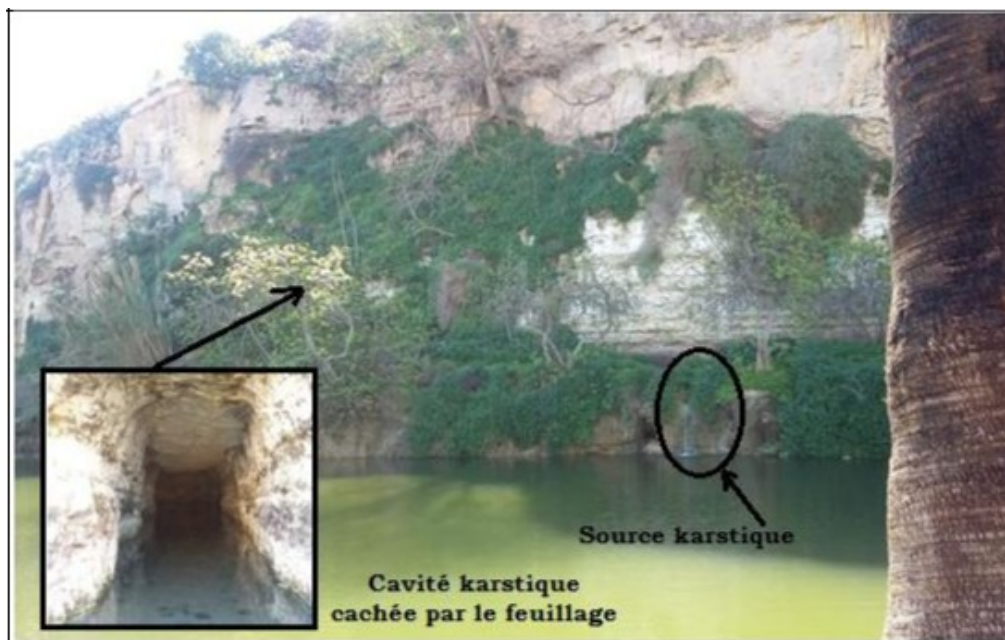


Fig. 42 - Coupe géologique de la falaise

En contrebas de la chaussée fissurée, l'excavation sur une profondeur de 11 mètres a mis à jour une importante nappe émergeant sous forme d'une ligne de sources qui draine une quantité appréciable du sable reposant sur le substratum marneux.

- Données du Géoradar

L'investigation Géoradar a permis de réaliser des profils longitudinaux et transversaux exécutés avec l'utilisation d'une antenne de fréquence centrale de 100 MHz. La nature de l'encaissant grésocalcaire a permis une profondeur d'investigation de 8 à 9m. Les radars grammes réalisés en deux profils parallèles. Les profils transversaux, plus nombreux sont distants de 10 mètres entre eux.

- Résultats

Les profils les plus représentatifs ont été sélectionnés (fig. 43). Ils montrent nettement entre les profondeurs 3 et 5m, une anomalie marquée par une atténuation du signal. Cette observation confirmée par l'état de la chaussée qui montre à cet endroit de plus fréquentes fissures et un affaissement très manifeste. On peut d'ailleurs noter à ce niveau un changement d'allure des couches, bien visibles sous l'anomalie, dont le pendage semble augmenter.

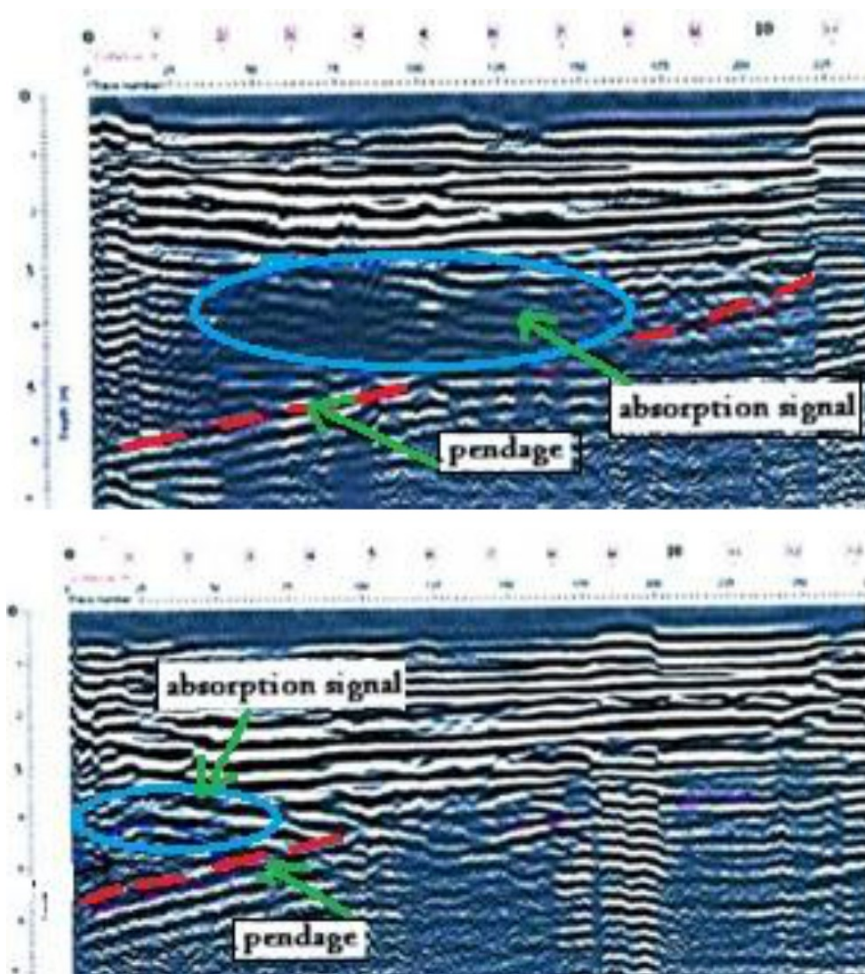


Fig. 43 – Radars grammes indiquant par le biais du pendage l'affaissement

## VI. TRAITEMENT ET MOYENS DE REMEDIATION

### 1. Principes et objectifs

Les méthodes de traitement par remplissage des vides représentent des solutions de traitement des cavités souterraines instables. Elles reposent sur des **principes** de *remplissage* ou de *consolidation* avec restitution de la compacité du terrain par injections de mortiers et de coulis. Les **objectifs** recherchés concerneront la limitation des mouvements de terrain en surface (affaissement, tassement) particulièrement dans le cas de zones destinées à la construction.

### 2. Méthodes de comblement des cavités

Il existe différentes méthodes de comblement permettant d'assurer le remplissage des cavités. Les méthodes de comblement les plus courantes concernent le remblaiement partiel, le remblaiement direct à partir du fond, par engins mécanisés, le remblaiement gravitaire par simple déversement depuis la surface et le remblaiement par injections de mortiers ou de coulis (sous pression). Le choix de la méthode est déterminé à partir d'études de faisabilité technique, technico-économique et socio-économique. Les principaux paramètres reposent les caractéristiques géométriques des cavités souterraines (volume), les conditions opératoires (profondeur, topographie, environnement urbain) et la destination de la surface (projets d'urbanisme, la valorisation du sol). Pour les opérations de traitement de grande envergure, il faut souvent envisager la possibilité de combiner plusieurs méthodes selon les spécificités locales du site.

#### - Remblaiement partiel

Les techniques de remblayage partiel consistent à opérer un remplissage progressif de la cavité avec des matériaux tout-venant, si possible compactés, jusqu'à une certaine hauteur prédéterminée. Un vide résiduel parfois important (jusqu'à la moitié de la hauteur) peut être éventuellement laissé à la partie supérieure de la cavité. Le but recherché est d'assurer à moindre coût une amélioration de la stabilité des cavités en maintenant un niveau de sécurité suffisant adapté aux enjeux ainsi qu'une diminution effective du volume des vides (fig. 44) permettant une stabilisation des terrains à long terme par autocomblement des vides (éboulement progressif des bancs du toit).

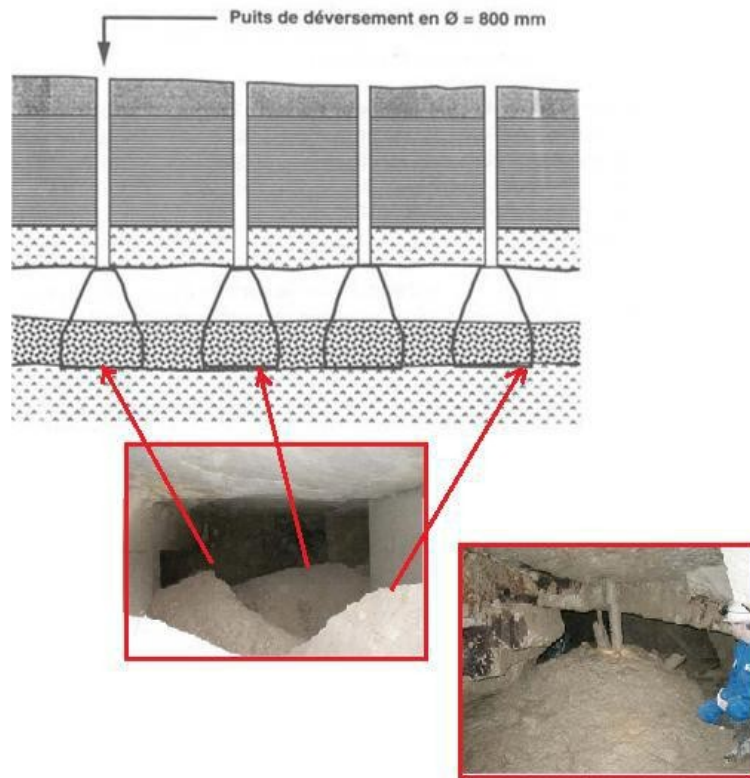


Fig. 44 - Remblaiement partiel par déversement gravitaire

- Remblaiement direct à partir du fond par engins mécanisés

Il s'agit d'un mode de remblaiement classique mis en place, à sec, de remblais tout venant, acheminés et déversés par des engins mécanisés. L'objectif de la méthode est de réduire le volume en remplissant les vides originels de matériaux divers, sans adjonction de liant hydraulique. Le principe repose sur un déroulement d'opérations mécanisées simples, à tous les stades : approvisionnement, manutention, déchargement, compactage,



Fig. 45 - Remblaiement direct par le fond avec des engins mécanisés

- Piliers maçonnés

La technique traditionnelle d'édification de pilier artificiel est celle du pilier maçonné exécuté en hourdis au mortier de ciment (fig. 46). Cette technique est très employée pour la consolidation des cavités karstique dont le recouvrement a été jugé apte, sur le plan géotechnique. Les piliers maçonnés, exécutés sous celle-ci, dans toute la hauteur de la cavité, doivent reposer sur le bon sol.

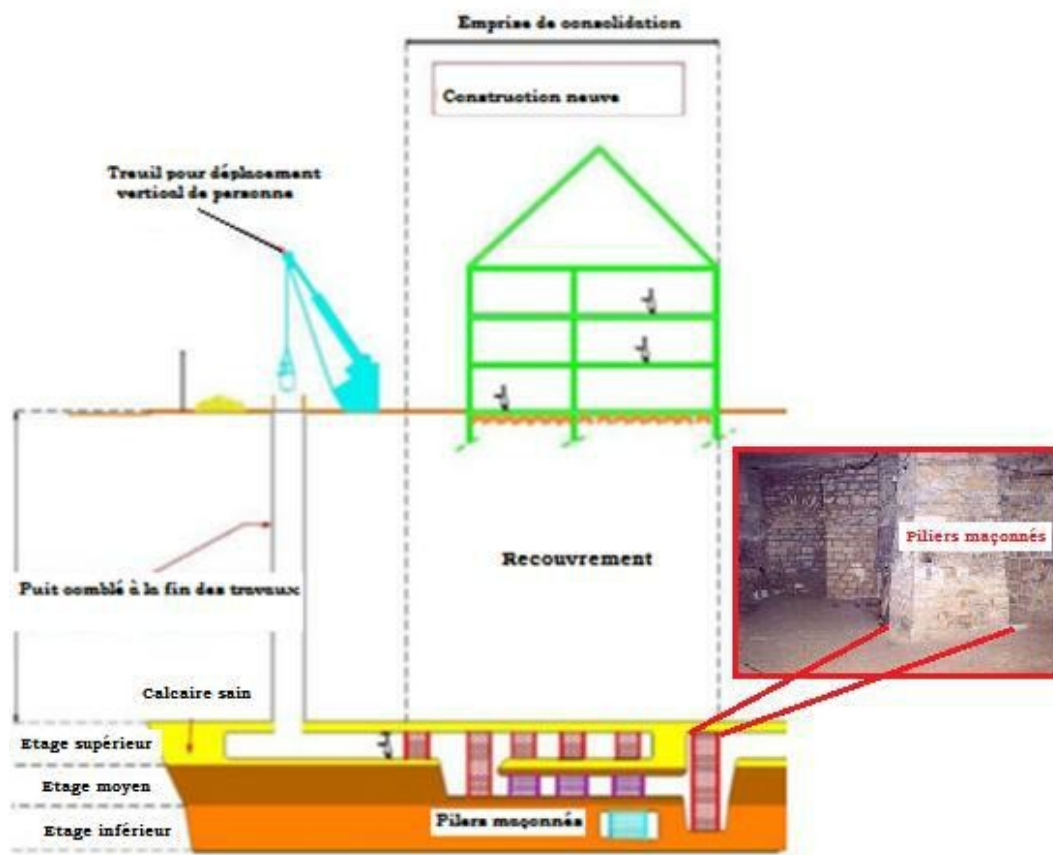


Fig. 45 – Consolidation par piliers maçonnés sous un bâtiment neuf

- Pieux réalisés par forage ou battage

Le principe est de rendre la construction suffisamment rigide pour qu'en cas d'affaissement localisé de la surface, elle ne présente que des mouvements d'ensemble. On distingue 2 types de fondations profondes :

- les puits bétonnés réalisés manuellement : la traversée des cavités se fait en ceinturant le puits par un anneau maçonné, qui a pour effet d'en stabiliser le toit ;
- les pieux réalisés mécaniquement. La traversée des cavités se fait, soit en injectant préalablement du béton en réalisant un chemisage. Les puits et pieux sont de diamètre suffisant pour éviter les risques. La base doit reposer sur une assise saine.

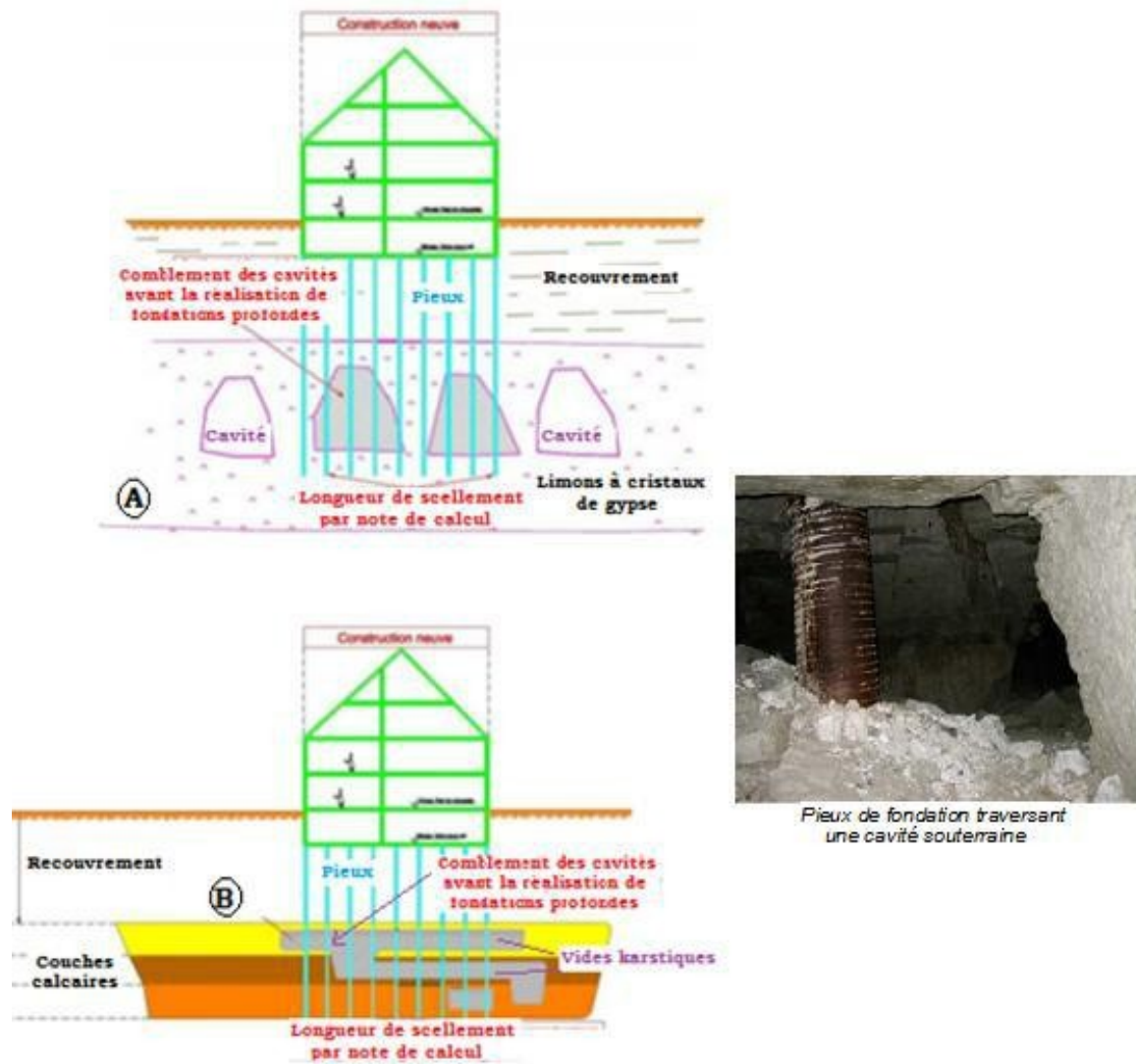


Fig. 46 - pieux dans gypses (A) et les calcaires (B)

- Traitement des terrains par injections

Les opérations d'injections de mortier ou de coulis représentent le mode de traitement le plus accompli en assurant une consolidation efficace et définitive du sous-sol par restitution de propriétés de résistance suffisantes. Le traitement par injections est réservé aux sites difficiles qui nécessitent un niveau de sécurité maximal et plus spécifiquement dédiées au traitement des terrains en sites urbains destinés à recevoir des constructions nouvelles (projet d'aménagement d'une zone pavillonnaire ou d'immeubles collectifs). Le procédé de comblement par injections se différencie essentiellement des autres modes de comblement par la mise en œuvre de granulats fins de qualité toujours traités au ciment, mélangés à de l'eau et injectés sous forme d'émulsion. Dans le cas de vides de relativement faible volume,

il est nécessaire d'utiliser un coulis à haute pénétrabilité et à le mettre en œuvre sous pression (fig. 47).

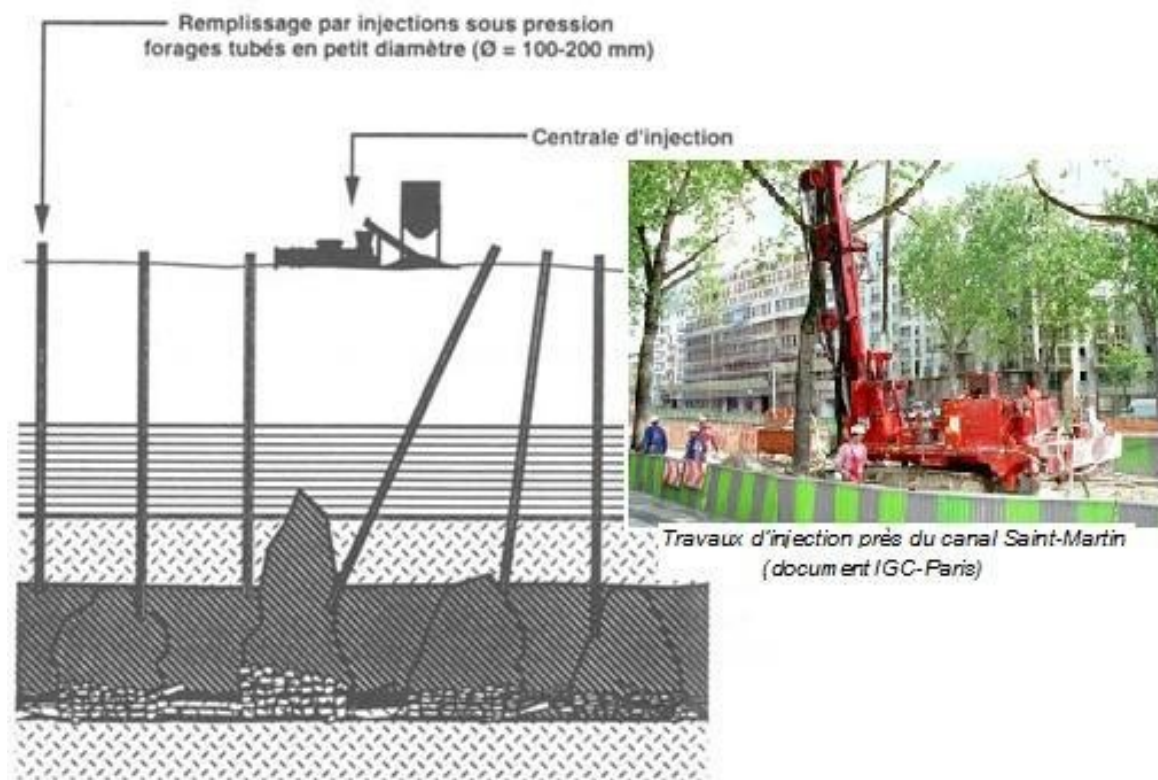


Fig. 47 - Injections de mortier ou de coulis sous faible pression

- Suppression des vides par comblement - terrassement

Les techniques de suppression des vides consistent à supprimer les vides souterrains par abattage (mécanisé ou par explosif) des terrains de couverture. Cette méthode étant destructrices et par conséquent non utilisable directement en site urbanisé.

La méthode a un double objectif :

- Opérer un comblement direct des cavités sous-jacentes à partir des matériaux de recouvrement abattus par voie mécanique (fig. 48) ;
- Remblaiement et compactage, effectué après mise à jour des cavités par décaissement mécanisé. Les remblais correspondent aux matériaux de la couverture enlevés par les engins.

La méthode de remblaiement étant généralement suivie d'un compactage destiné à minimiser les tassements différés des remblais, les terrains peuvent être réhabilités comme espaces verts. S'ils sont destinés à supporter des constructions nouvelles, les terrains doivent faire l'objet d'une consolidation par injections.

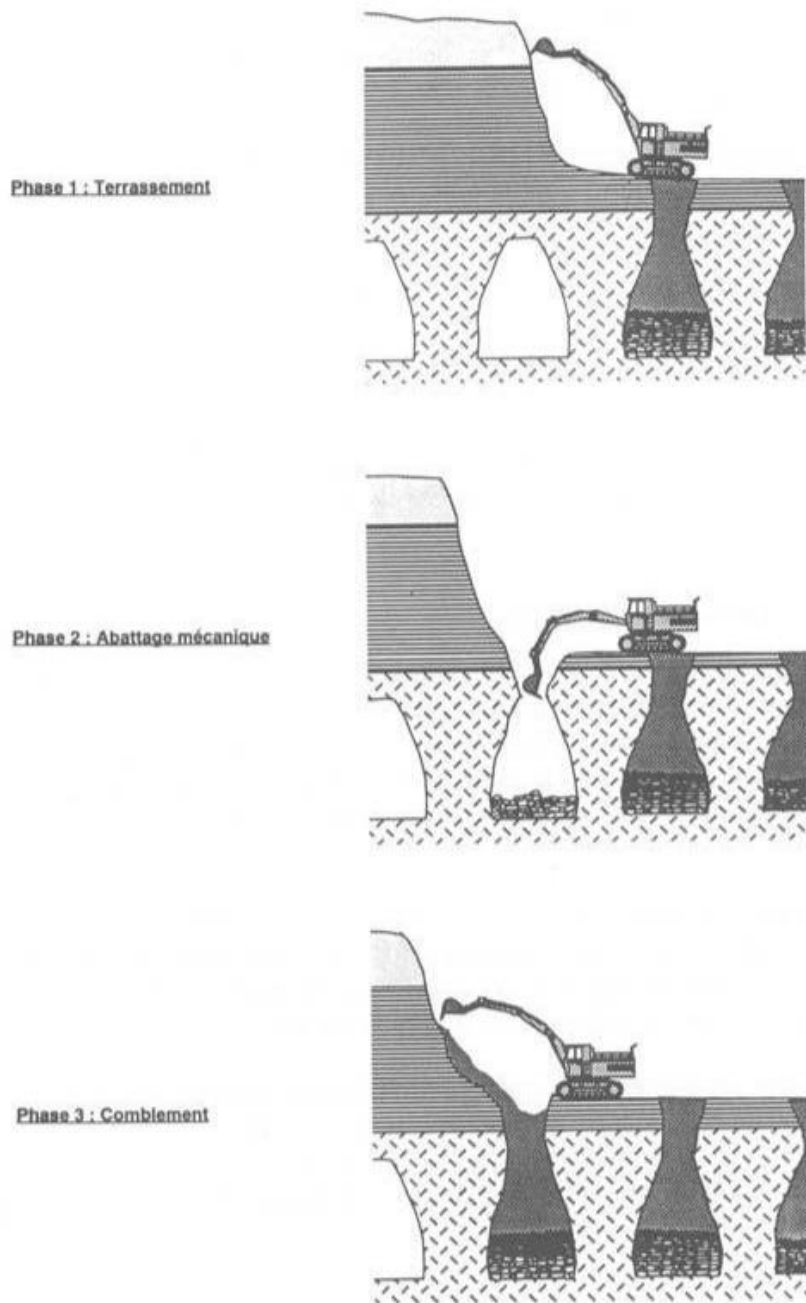


Figure 48 - Suppression des vides par la méthode Terrassement-Comblement

- Remplissage par mousses thermodurcissables

Technique essentiellement utilisée là où les méthodes traditionnelles de comblement trouvent leurs limites, pour des raisons de mise en œuvre ou de sécurité. Son application est réservée aux cavités d'assez faible volume. Il s'agit d'une technique récente et innovante sur laquelle le retour d'expérience livre des premières connaissances intéressantes sur plusieurs sites, mais qui demeurent encore limitées dans le temps (recul d'une dizaine d'années). La pérennité de la technique n'est donc pas encore acquise.



Le remplissage des vides à l'aide de mousse a pour principal objectif de combler complètement les vides avec un produit capable de durcir rapidement (fig.49 a et b). Le but du remplissage est d'empêcher toute évolution de la dégradation des vides et éviter les chutes de toit ou la création d'une montée de voûte. Ce traitement permet également de participer à un système d'étanchéité particulier des terrains ou à la réalisation de barrages de protection spécifiques.



Fig. 49 a - Remplissage d'un fontis par de la mousse thermodurcissable



Fig. 49 a - Mise en place d'une Couverture végétale (Conflans Ste-Honorine, Val-d'Oise)

## **CONCLUSION GENERALE**

L'allure du substratum marneux conditionne le contexte hydrogéologique de la frange maritime du plateau d'Oran. Ainsi, les eaux infiltrées dans les formations pliocènes, très souvent fissurées, s'écoulent suivant une direction générale Sud – Nord depuis la ligne reliant les ronds points Dar El Beïda – Cité Djamel jusqu'au front de mer. Par ailleurs l'existence d'ondulations du substratum a pour conséquence l'accumulation de l'eau dans les points bas, donnant ainsi naissance à des sources de trop plein, visibles le long du talus sous le front de mer.

Les écoulements superficiels et les infiltrations peuvent provoquer des risques potentiels d'effondrement, particulièrement ceux du centre-ville d'Oran. Dans ce cadre, il y a lieu de distinguer deux catégories de risques qui ont un impact sur les affaissements signalés au niveau du centre ville :

- Risques entropique où il est fondamentalement important de signaler qu'une bonne partie des constructions du centre-ville sont érigées sur une formation de remblai, étalés à l'ère coloniale pour combler les oueds et aménager le front de mer. Ces remblais étant instables dans le temps, vont provoquer au sein des constructions une fissuration importante des murs et des affaissements du sol, résultant le plus souvent de l'imbibition de ce remblai par les venues d'eau d'infiltration, suralimentées continuellement par un réseau d'assainissement défectueux. Il en découle de fréquents problèmes d'instabilité de terrain conduisant à la fissuration du réseau routier et les affaissements sous le bâti urbain.

- Risques liés aux phénomènes de dissolution des formations géologiques affectant d'une part les calcaires gréseux, développant une structure karstique et d'autre part des lentilles de gypse incrustés dans les formations limoneuses, générant de véritables cavités souterraines, qui sous le poids du bâti existant aura un impact conséquent sur la stabilité des immeubles. A ces risques hydrogéologiques urbains, s'ajoutent les risques liés à la défection d'un réseau de drainage défectueux, largement dépassé, conduisant à la dégradation par fissuration des parois des ovoïdes et l'obstruction de l'ensemble des barbacanes de drainage des remblais. Ces dégradations sont particulièrement localisés sur les tronçons d'ovoïde traversant les anciens ravins remblayés.

La phase de recherche et de localisation des vides a été possible grâce l'utilisation du radar géologique (GPR ou grounds penetrating radar), qui s'applique particulièrement en milieu urbain, du fait de sa rapidité d'exécution et la qualité des informations. Après avoir réalisé la cartographie des anomalies souterraines (cavité de dissolution), une étape de traitement s'est imposée, permettant de restituer les caractéristiques le sous sol.

Dans le cas des zones urbanisées, la protection du bâti existant, des voies publiques ou des réseaux impose de limiter les tassements différés en surface pour empêcher les risques de dégâts sur les structures, superficielles ou enterrées. Les traitements adaptés feront appel à des techniques de remblaiement, complété, par des coulis d'injections. Pour les constructions nouvelles, Il y a lieu d'éliminer tout risque de tassement, par la restitution d'une portance suffisante au sol ou édifier le bâtiment sur des fondations profondes reposant sur un horizon favorable en dessous des cavités (remblaiement et injection de lait de béton). Le choix entre les différentes techniques dépendra des configurations de site et des options technico-économiques prises par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anne-Marie Prunier Leparmentier Les risques liés aux cavités (*L'exemple de la région parisienne*) 45 pages. Inspection générale des Carrières 4 avril 2013 CFGI – SGF – CNAM

Jean-Jacques TRITSCH I. Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : Surveillance – Traitement. Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol. Rapport d'étude 15/02/2007 INERIS. 123 pages

Belkebir L., *Le Néogène de la bordure nord-occidentale du massif du Dahra (Algérie). Biostratigraphie, paléoécologie, paléogéographie. Thèse Univ. Marseille, 1986, 289 p., 19 pl., 64 fig.*

Benabdellah M., *Mise en évidence des phénomènes dynamiques contrôlant le littoral oranais, de la Calère à la Pointe de Canastel : étape fondamentale pour une cartographie des risques géologiques. Thèse Magist. Univ. Oran, 2010, 273 p, 234 fig.*

Didier Christophe Les mouvements de terrain liés à la présence de cavités anthropiques. Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol. Rapport d'étude 15/02/2007 INERIS. 30 pages

Gourinard Y., Recherches sur la géologie du littoral Oranais, Epirogénèse et nivellement. *Service de la carte géologique de l'Algérie. Bull. n° 6, 1958, 111 p.*

Joseph A., *Notice explicative de la carte hydrogéologique d'Oran., 1979, 66 p. 47 fig.*

Mansour H., Hydrogéologie du complexe dunaire à l'Est d'Oran du Cap Falcon (Oran) à Terga (Beni saf). *Thèse Magistère. Université d'Oran. 1989, 368 p., 133 fig.*

Laboratoire des Travaux Publics d'Oran (LTPO)., *Construction d'un complexe immobilier, pont Zabana, Oran. 2005 Rapport d'études géotechniques.*

Mansour H., Zeroual I., Nadji A., Foukrache M., Utilisation de l'imagerie spatiale dans la gestion du risque géologique : bilan et perspectives. *Deuxièmes journées d'études sur la géologie Algérienne, Oran 14-15 décembre 2009 Univ-Oran, Algérie.*

Mansour H., Foukrache M., Zeroual I., Nadji A., *La déminéralisation des eaux souterraines du champ captant de Brédéah. Impact du rejet de saumures sur son écosystème environnemental, Algérie Nord occidentale. Colloque international sur les ressources en eau et le développement durable (4CIREDD'11). 22-23 février 2011, Alger. pp154-160.*

Mahammad D., Mansour H., Toubal A.C., Benzeguir A., *Utilisation de la géophysique électrique et du géoradar pour la détection d'anomalies souterraines dans les sites de construction de l'agglomération d'Oran (Algérie). Annales des Mines et de la Géologie de Tunisie ; n°44, 2010, pp.57-67 (2010)*

Mahammad D. Utilisation des dispositifs géophysique électriques non classiques pour l'étude des couches géologiques profondes (cas des chotts Gharbi et Chergui), Thèse de doctorat, Univ Oran. 196 pages, 2012

,  
Société Maritime des Travaux, Reconnaissances et Expertises (Somatre). *Expertise du réseau d'assainissement des ovoïdes du grand Oran. 2005, Rapport interne.*

- TABTI Malika et BOUAMEUR Imene., *Impacte du risque géologique en zone urbaine Cas de l'affaissement du bâti au niveau du ravin blanc (Oran). Mémoire de Master. Univ Oran 2, 50 pages, 33 fig, 4 tab (2017)*

- Zidouri A., *Contribution a l'étude hydrogéologique du bassin d'alimentation de Ras El Ain. Mém d'Ing. Univ. d'Oran. 1986, 124 p., 54 fig.*