

Du point de vue morphologique, on distingue, ici, quatre grandes catégories de sols :

☐ La formation rouge de la Maamoura : plio – villafranchien avec ses remaniements quaternaires

☐ Les dunes

☐ Les alluvions fluviales récentes (soltanien et Rharbien) : sable, dehs, tirs, hamri

☐ Les formations marécageuses (daya et merjas)

Sous cette dernière dénomination se groupent différents sols qui ont évolué dans des conditions hydro-morphes. On y trouve les sols des dayas et des dépressions qui sont des sols à taches et concrétions tirsifiées avec en profondeur des concrétions calcaires, parfois salées. On y trouve également les sols des merjas côtières ou des merjas centrales. Ce sont des horizons limono-argileux déposés par les eaux d'inondation. L'horizon immédiatement en dessous est gris foncé avec des taches de rouille riche en matière organique, argileuse et compacte. L'horizon inférieur est gris acier (Gley), argileux, avec des amas calcaires et des trainées blanchâtres de sulfate de calcium. On y trouve également les tirs de merja qui résultent de l'évolution des sols précédents sous l'influence du drainage naturel.

Le tableau suivant donne quelques caractéristiques de ces sols :

TYPES MOYENS THEORIQUES DE CHAQUE CATEGORIE DE SOL

Types de sol	Profond. (cm)	Granulométrie (% de terre sèche)					pH	Carbone (%)	Couleur (Munsell)		
		Argile	Limon	Sable fin	S. grossier	CO3 CA					
Dune	0 - 20	40	30	10	5	15	8	2,2	5	Y	5/2
	20 - 100	40	30	10	5	15	8,2	1,5	5	Y	5/2
Tirs peu noir	0 - 40	55	25	3	2	15	8	2	5	Y	6/1
	40 - 120	40	30	10	5	15	8	1,2	5	Y	5/2
Tirs noir	0 - 40	60	25	3	2	10	7,5	2,5	5	Y	3/1
	40 - 120	55	25	3	2	15	8	1,8	5	Y	5/2
Tirs très noir	0 - 40	70	20	3	2	5	7,6	3,5	2,5	Y	3/0
	40 - 120	55	30	3	2	10	8	1,5	5	Y	6/1
Dune actuelle	0 - 120	3	2	25	30	50	8,4	0,5	10	YR	8/2
Dune maréc	0 - 30	10	5	25	40	20	7,7	3	10	YR	3/1
	30 - 100	5	5	25	40	25	8,2	1,8	10	YR	5/2
Hamri	0 - 30	45	50	15	10	0	7,2	1,8	10	YR	6/4
Tirs brun	30 - 60	40	35	15	10	0	8	1,4	10	YR	4/4
	0 - 30	60	15	15	10	0	7,2	2,2	10	YR	5/2
Tirs brun noir	30 - 60	55	15	20	10	0	8	1,5	10	YR	4/4
	0 - 30	65	15	10	5	5	8,1	2,5	10	YR	3/1
Complexe dunaire	0 - 50	10	10	25	55	0	7,2	0,9	10	YR	4/4
	50 - 100	15	10	25	50	0	6,8	0,5	5	YR	4/4
Complexe dunaire tirsifié	0 - 30	35	10	15	20	20	7,9	2	10	YR	3/0
	30 - 60	25	10	20	30	15	7,5	1,2	10	YR	5/2
Sol sableux (sur Villafraichien)	0 - 60	5	5	35	55	0	7,2	1,5	10	YR	5/2
	60 - 120	3	5	25	35	0	7	0,5	7,5	YR	6/2
Harech	0 - 30	15	5	50	30	0	7,2	1,5	10	YR	5/2
	30 - 120	40	5	30	25	0	7,4	0,5	10	YR	6/2
Harech tirsifié	0 - 30	35	5	30	30	0	7,5	2,2	10	YR	3/0
	30 - 120	40	10	20	30	0	7,5	0,8	10	YR	6/2

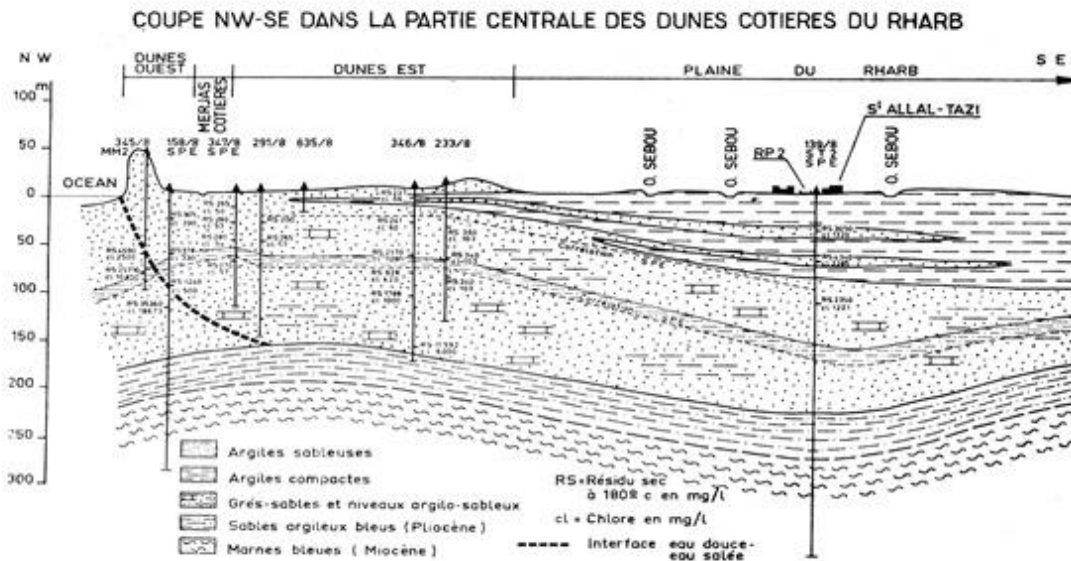
NOTA. — Granulométrie par la méthode pipette ; carbone par la méthode Anne.

Caractéristiques des sols.

Du point de vue hydrogéologique, on distingue deux nappes superposées dans le sous-sol de la plaine du Rharb proprement dite : la nappe profonde et la nappe phréatique. Dans certaines zones, ces deux nappes se confondent et affleurent en surface pour des terrains de faible altitude, comme c'est le cas ici. Ce qui explique l'exploitation intensive par des pompages pour la mobilisation de l'eau pour des fins de consommation urbaine et d'irrigation des cultures maraîchères et des cultures sous serre. Le substratum général de ces nappes est constitué par le toit de l'épaisse série de marnes bleues du Miocène supérieur.

En cas d'engorgement du plateau de Maamoura, l'eau coule sous forme de nappe perchée vers les dépressions, cuvettes et plus généralement les points topographiquement bas.

La coupe suivante nord-ouest et sud-est donne une idée générale sur la super position des couches de sol :



Coupe géotechnique.

La classification hydrogéologique adoptée par la carte des systèmes aquifères du Maroc, montre qu'on est en présence d'aquifère multicouches à nappe inférieure captive, superposées, quasiment continues, communiquant par drainance descendante de la nappe phréatique vers la nappe profonde. Cette drainance devient ascendante dans le cas de dépression et de faible altitude.

Il est aussi indiqué, parmi les secteurs de mauvaise qualité des eaux souterraines, qu'une partie du système aquifère de la nappe libre (nappe phréatique) est salée, impropre à tout usage.

Il est aussi indiqué son action électrolytique négative sur les fondations d'ouvrage construit dans la nappe.

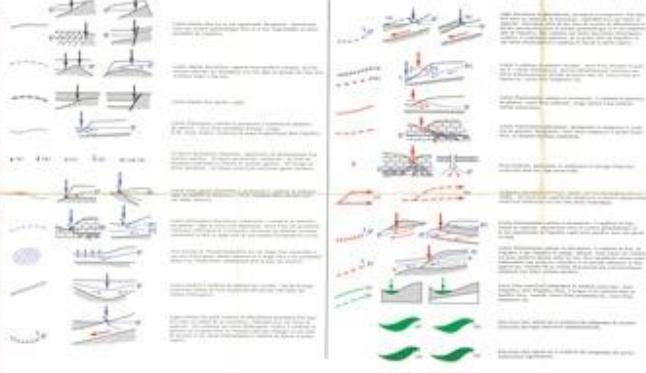
ROYAUME DU MAROC
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
ET DES COMMUNICATIONS
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE
DIVISION DES RESSOURCES EN EAU

CARTE DES SYSTEMES AQUIFERES DU MAROC

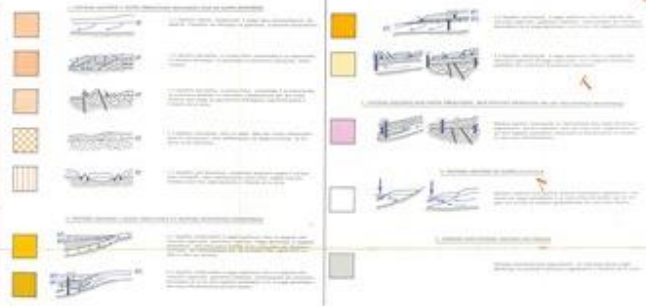
• PROVINCES DU NORD •

Echelle : 1/1000 000
1976
Feuille 1

REPRESENTATION DES LIMITES



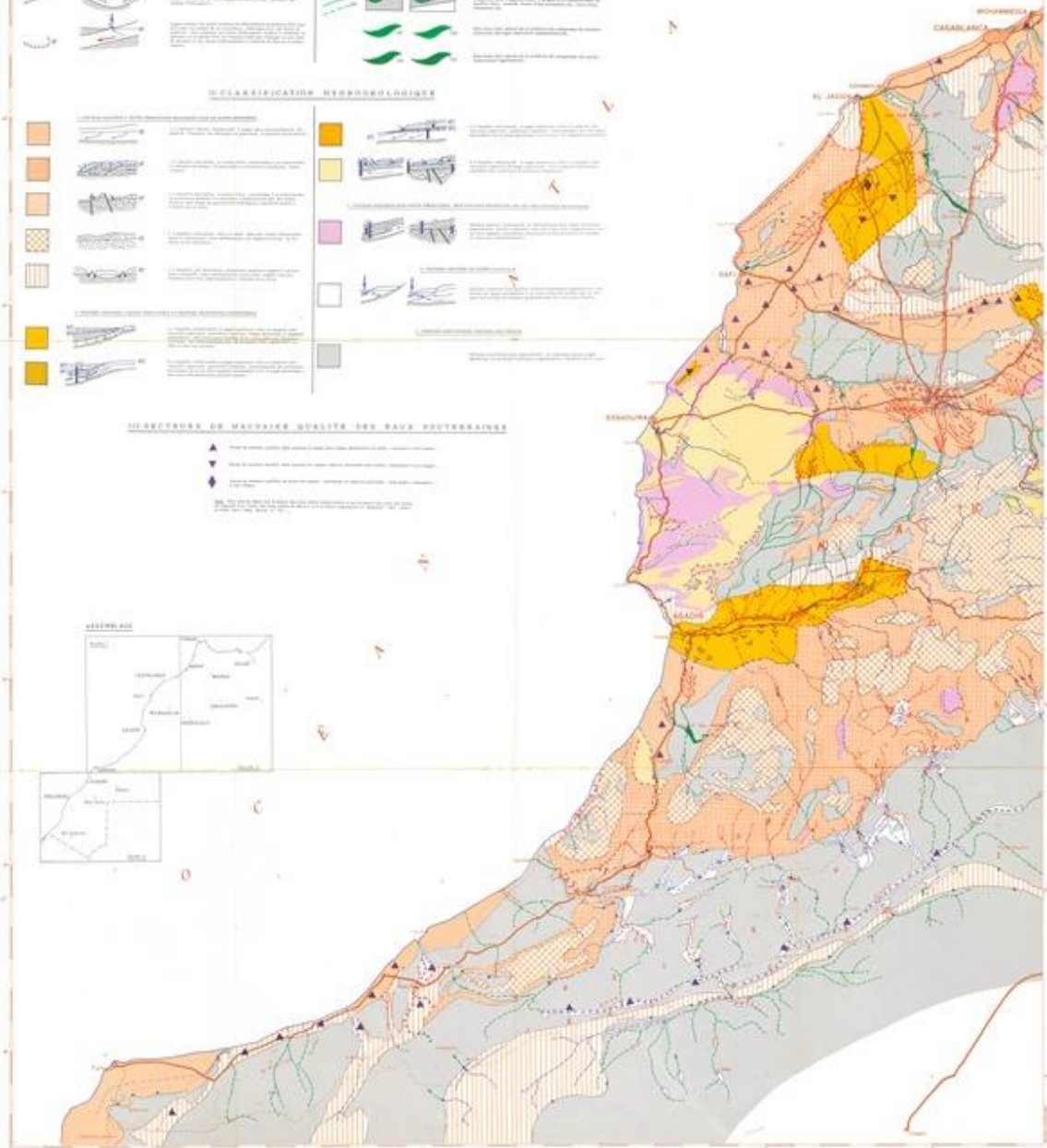
CLASSIFICATION HYDROGEOLOGIQUE



SYMBLES DE MAJORITE QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

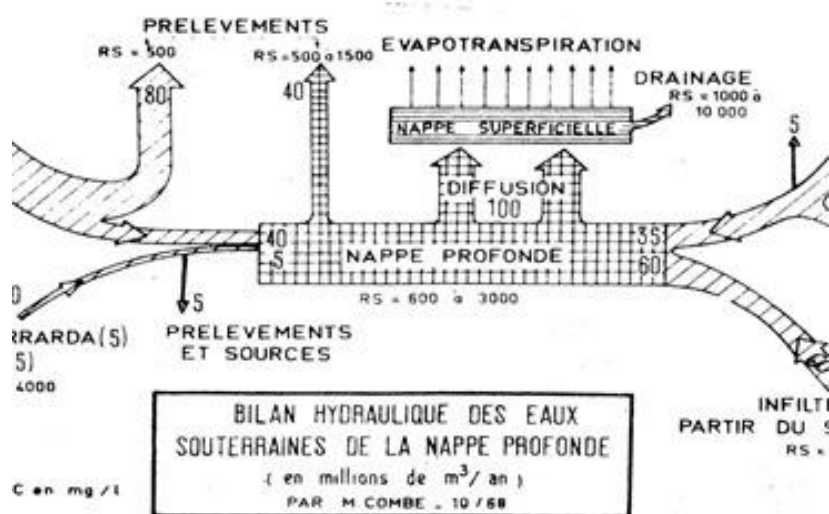


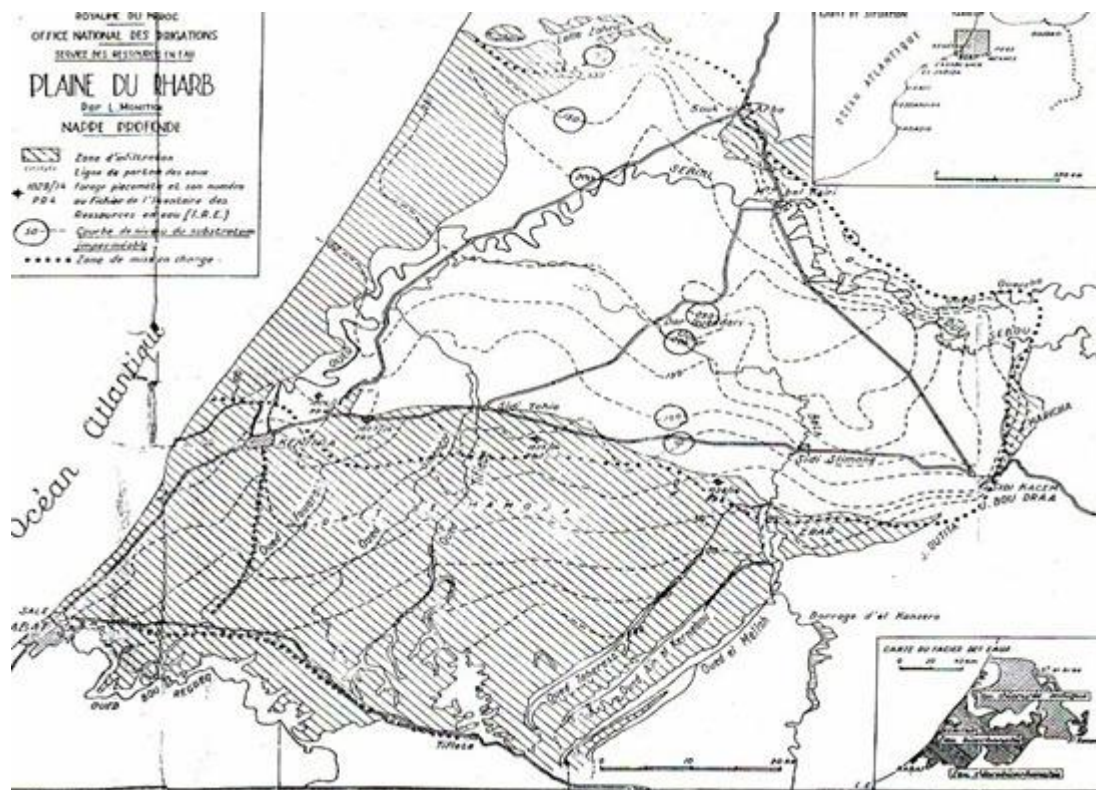
ASSEMBLAGE



Carte des systèmes aquifères au Maroc.

La nappe profonde circule dans des niveaux perméables du plio-villafranchien et du Quaternaire ancien et moyen, constitués de grés, de galets, de sable et de cailloutis. Ces formations affleurent sur les bordures de la plaine Est et s'enfoncent progressivement vers le centre de la plaine. Les niveaux perméables s'intercalent avec des niveaux argileux en un système de multicouches. Le substratum imperméable constitué par des marnes bleues du Miocène est de 50 à 100 m sur les bordures, et de 200 à 250 m au centre de la plaine. Les aquifères de la nappe profonde sont couverts par des formations argileuses d'une cinquantaine de mètres du Quaternaire récent (Soltanien et Rharbien) qui maintiennent la nappe en charge. Le niveau piézométrique s'établit généralement à moins de 5 m sous la surface du sol au centre de la plaine et de 25 à 30 m sur les bordures. L'alimentation de la nappe est assurée par les infiltrations des eaux de pluie sur les bordures de la plaine où affleurent en surface les formations perméables des sables rouges typiques des sols de Maamoura, aquifères de la nappe. Au niveau des dépressions, le seul exutoire de la nappe est une drainance verticale vers la nappe phréatique qui se décharge elle-même par évaporation.



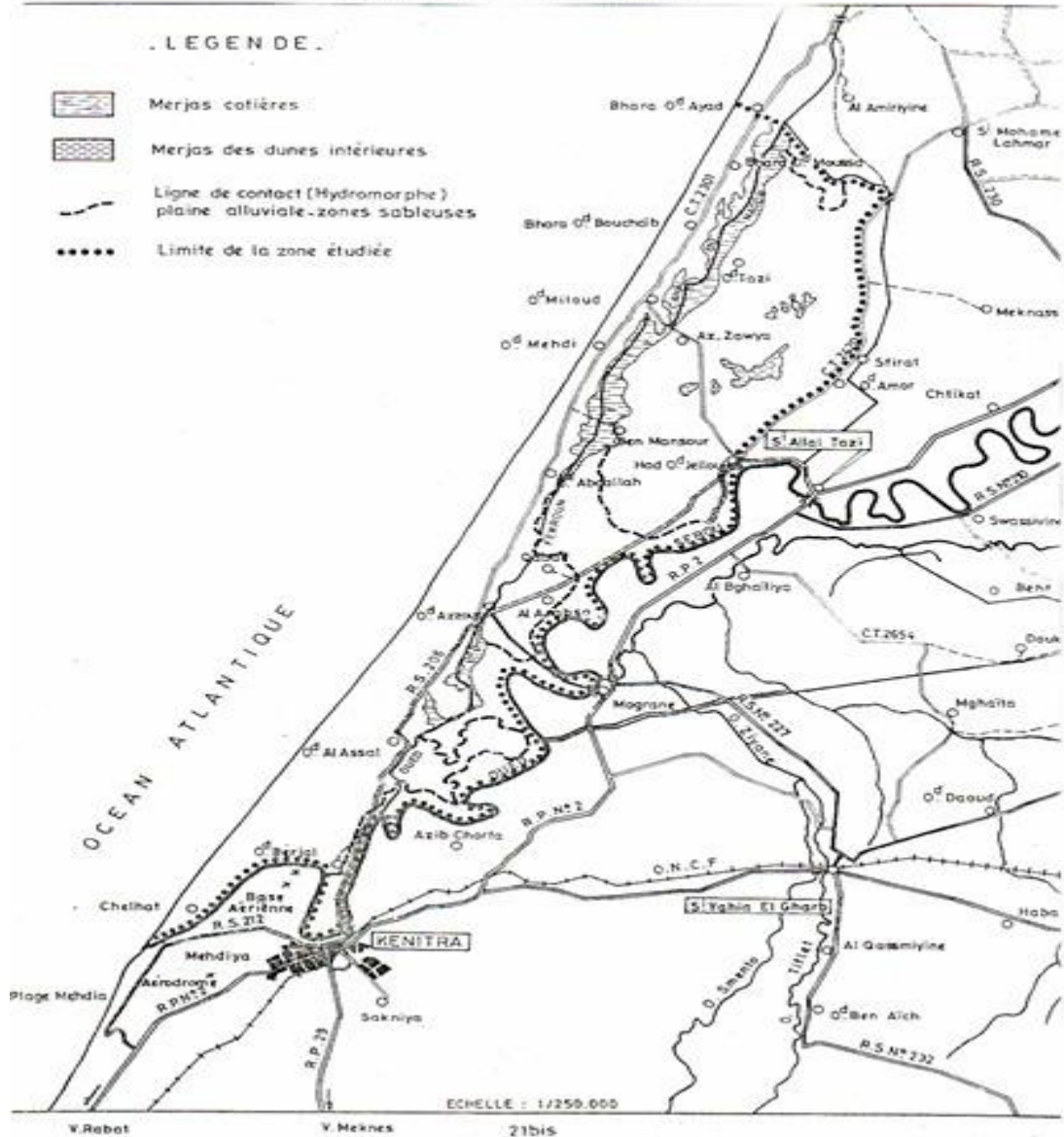


Du point de vue hydrologique,

Les excès d'eaux pluviales s'infiltrent en profondeur à travers les terrains sableux très perméables où ils stagnent dans les dépressions profondes. Les eaux qui s'infiltrent entraînent aussi la remontée de la nappe dans ses dépressions, ce qui aboutit à la formation des merjas par l'action combinée de l'accumulation des eaux pluviales et leurs stagnations en surface à cause de la faible perméabilité des sols et de la remontée de la nappe qui se maintient toujours à faible profondeur dans ses zones basses.

Il existe deux types de merjas : côtières et celles des dunes intérieures.

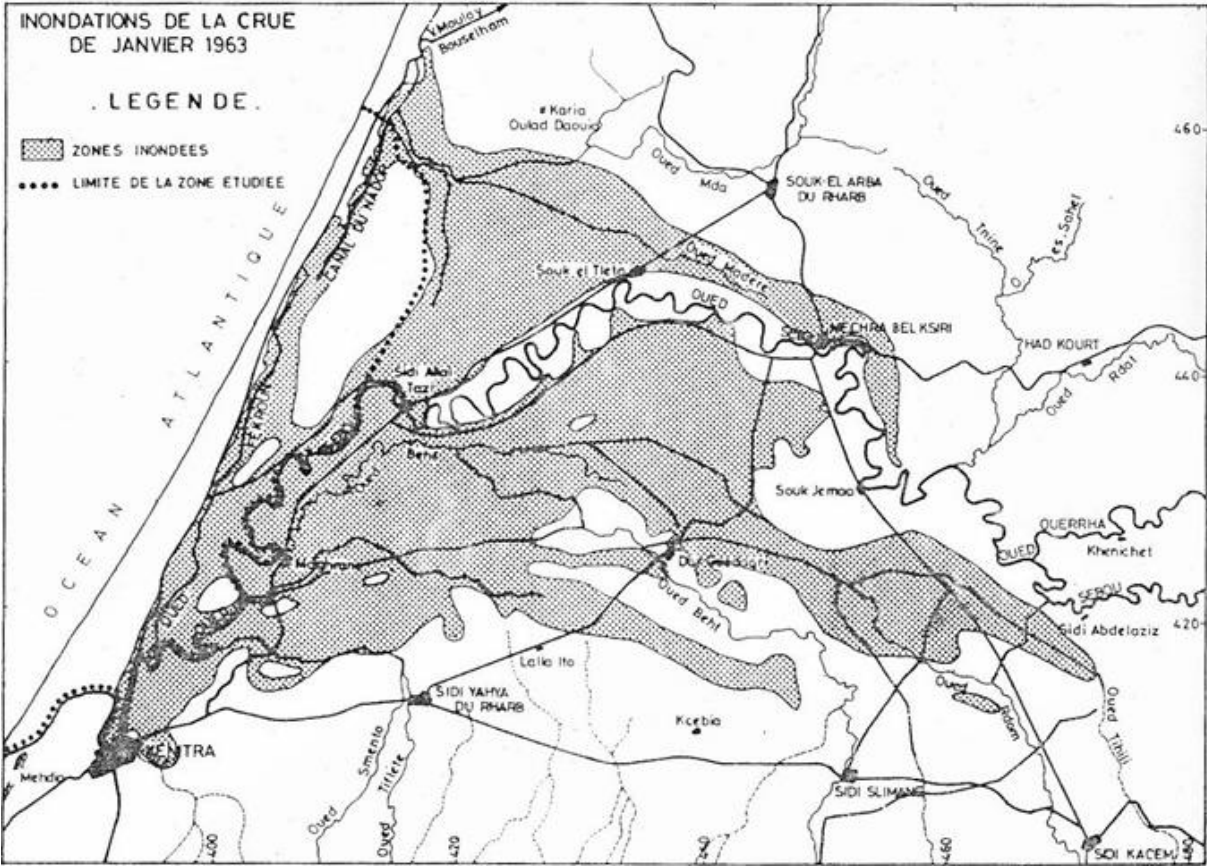
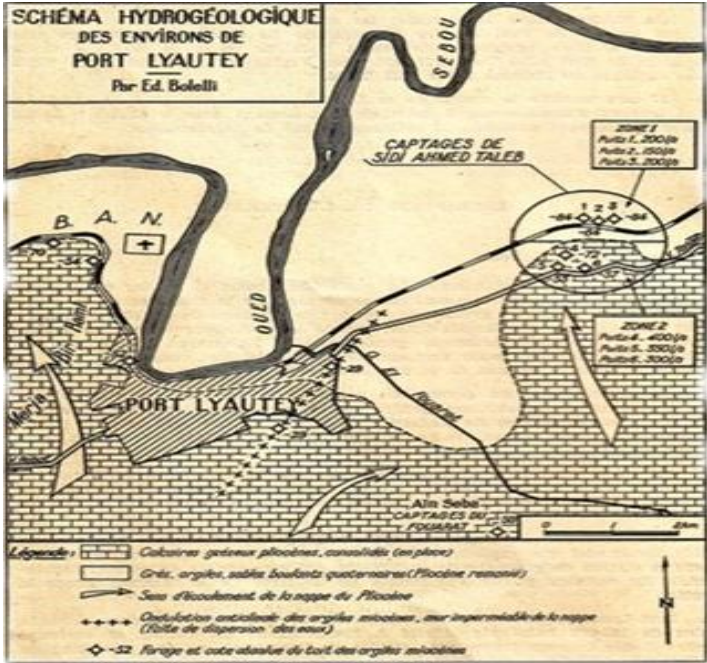
CARTE DE SITUATION DES MERJAS



Le canal du vallon de Bir Rami est raccordé au collecteur F, construit sur son tracé initial, il semble ne pas fonctionner correctement dans le transport des eaux excédentaires jusqu'à l'Oued Sebou : absence de données sur la conception du système de drainage et de rabattement de nappe en place, couche drainante, côte radier par rapport au dallage bas du bâtiment effondré et des autres bâtiments menacés...

Par ailleurs, une retenue collinaire à l'amont du vallon Bir Rami, dont le rôle qui lui était assigné est d'écrêter les crues éventuelles et la protection des lotissements avoisinants, a été préconisée dans les études d'assainissement de juillet 1988. Cet ouvrage n'a pas été réalisé, à notre connaissance, à ce jour ; ce

qui s'expliquerait par les nombreuses interventions de pompage contre les inondations que connaît régulièrement la zone, objet de notre étude.



A signaler que les études de diagnostic avaient également préconisé de construire des bassins de rétention des eaux excédentaires, et ce, dans le double objectif d'optimiser les ressources et de minimiser leur perte mais aussi pour contenir les circulations anarchiques des eaux souterraines et éviter leurs conséquences dommageables sur les constructions.

Du point de vue géotechnique, les analyses du sol réalisées par le laboratoire public d'essais et d'études LPEE mettent en évidence la nature sableuse des sols en place.

Le rapport du LPEE indique que deux sondages pressiométriques et vingt-trois pénétromètres statiques ont été réalisés avec des essais de laboratoire sur les prélèvements effectués in situ.

Compte tenu de la nature sableuse des matériaux, les prélèvements intacts ne peuvent être fiables pour pouvoir caractériser ces formations par des essais de laboratoire. Les seuls essais fiables restent donc les essais in situ.

Pour revenir à la nature des matériaux, il faut noter que, d'après la granulométrie et en se référant à la classification donnée par le fascicule 62 titre V, on a affaire à un sable de transition (sable situé entre sable propre et sable argileux) et à un sable argileux avec des passants à 80μ allant jusqu'à 40%.

Les pourcentages importants ont été rencontrés à 2 m/TN et à 3 m-3.5 m/TN. Ces lentilles argileuses pourraient expliquer les stagnations d'eau qu'on a sur place. Le diamètre moyen des sables rencontré reste entre 0.2 mm et 0.31 mm.

A noter qu'au niveau 14.5 m le pourcentage des fins chutes à 14%. On reviendra sur cette notation plus loin.

Pour les essais pressiométriques, on note des valeurs correctes exceptées des chutes localisées qui attirent notre attention. En effet, ces chutes caractérisent des formations lâches qui sont potentiellement le siège d'affaissement. Les niveaux concernés sont :

Pour SP1 :

- ☐ à 1.5 m
- ☐ à 6.5 m (évasement de la sonde)
- ☐ de 2.5 m à 12.5 m

Pour SP2 : de 12.5 m à 14.5 m

Si on analyse les pénétromètres statiques de la première tranche, on note que les sables lâches dont la résistance en pointe est inférieure ou égale à 5MPa sont localisés.

Pour PS1 :

☐ -3.20 m et 5.50 m

☐ -7.80 m et 8.20 m

☐ -9.40 m et 10.50 m

Pour cette dernière tranche, la résistance en pointe devient même inférieure à 2MPa.

Pour PS3 :

☐ entre-1.80 m et 4.80 m

☐ -6.80 m et 8.00 m

☐ -15.20 m et 17.20 m

Pour PS5 : entre -2 m et 5.00 m

Pour PS6 : entre -2.5 m et 8.00 m

Et même pour la tranche -2.50 m et -5.60 m la résistance en pointe est inférieure à 2MPa.

Pour PS7 :

☐ entre-1.00 m et -6.00 m

☐ -8.80 m et -9.40 m

Pour PS8 :

☐ entre-1.00 m et -2.00 m

☐ -2.40 m et -5.00 m

☐ -11.00 m et -11.60 m

Pour PS10 :

☐ entre-2.30 m et -5.50 m

☒ -6.00 m et -7.20 m

Tous ces pénétromètres ont été réalisés à l'extérieur de l'enceinte du bâtiment effondré. Toutes les passes citées ci-dessus sont considérées comme formations lâches selon le fascicule 62 titre V. Pour le reste, les valeurs restent en général inférieures à 15MPa de quoi témoigner d'un sol moyennement compact.

Maintenant, si on examine les pénétromètres exécutés dans l'enceinte du bâtiment effondré, on a :

Pour PS11 :

Une nette amélioration de résistance en pointe à partir du fond dallage et jusqu'à -10 m/fond

☒ À partir de -12 m/fond, on note une chute de résistance (moins de 2MPa).

Pour PS12 :

- un sable lâche jusqu'à -5 m/fond du dallage,
- un sol lâche de -11.80 m/fond à 12.4...

Du point de vue hydrodynamique,

Les eaux souterraines en écoulement exercent une poussée connue sous le nom de Poussée d'écoulement sur les obstacles constitués par les grains du sol. Cette poussée joue un rôle considérable dans l'analyse des problèmes de stabilité des sols.

On sait que cette poussée est une force massique : elle est proportionnelle à la masse du sol,

On sait qu'elle est dirigée en chaque point du sol dans le sens de l'écoulement,

On sait que, comme la Poussée d'Archimède, la poussée d'écoulement est la résultante des pressions interstitielles exercées sur le pourtour du massif de sol,

On sait, aussi, que son intensité est le produit de la densité de l'eau par l'élément de volume de sol par le gradient hydraulique.

Par conséquent, le sol qui baigne dans une nappe en écoulement est soumis à trois forces massiques : son poids, la poussée d'Archimède et la Poussée d'écoulement.

Si le gradient hydraulique, sous l'action de la cinématique du mouvement, augmente et devient égal à une valeur critique, rapport de la densité dégaugée par la densité de l'eau, les grains du sol ont tendance à se soulever et à être entraînés par le courant. Sous le double effet de leur poids spécifique immergé et de la Poussée d'écoulement, les sables, abondamment présents dans le sous-sol du projet Al Manal, deviennent Boulant, on dit aussi Mouvant, et se trouvent pratiquement en état d'apesanteur.

Du point de vue résistance au cisaillement du sol,

L'approche par les contraintes effectives, conduit au même résultat. En effet, on démontre, en Géotechnique, que le sol est porté en partie par l'écoulement et sa force portante décroît. Lorsque le gradient atteint la valeur critique évoquée précédemment, les contraintes effectives s'annulent, le squelette solide flotte au milieu de l'écoulement comme des bulles dans un liquide en ébullition.

Les conditions hydrodynamiques, particulièrement défavorables dans lesquelles se trouvait le sol de fondation de l'immeuble 7Bis, effondré le 16 janvier 2008 à 12h45, sont incontestablement responsables de ce sinistre.

Du point de vue topographique,

La parcelle objet du projet Al Manal s'étend sur une superficie de 3ha 81a 36 ca. Elle est délimitée par B1, B2, B3, B4, B5

B5	B4	B3	B2	B1	
388334,82	388436,30	388534,73	388610,14	388405,35	X
407055,75	406984,16	406939,52	407084,03	407190,90	Y

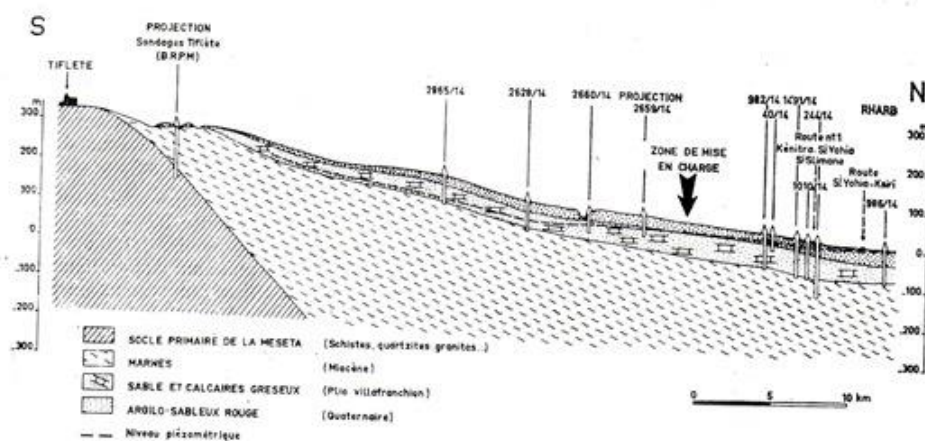
Le plan côté de base, amplifié, de façon inexplicquée, de 5 m environ les altitudes. Les côtes sur le terrain sont réellement plus basses et se situent entre 6 et 11 m environ.

Ceci a pour conséquence une sous-estimation de l'impact de la nappe Soltaniene sur les constructions. C'est d'autant plus vrai que les bornes B3 et B2 longent le tracé du canal Bir Rami, ancien axe de drainage.

De point de vue urbanistique,

On note que, selon les études de septembre 1987 retenues par le SDAU, la parcelle est située dans une zone forestière. D'autre part, le plan d'aménagement de la ville Kenitra, approuvé par dahir de 2004, affecte à la parcelle la légende A58 : hôpital de zone. Le plan de lotissement de l'opération «le vallon» réalisé pour le compte de la holding d'aménagement Al Omrane réserve pour la parcelle une administration du côté du forage RAK et un équipement et une crèche en retrait par rapport à la borne B3.

Le projet réellement autorisé et partiellement réalisé n'est conforme à aucun des plans d'études évoqués précédemment.



LE FORAGE DE LA RAK :

A l'intérieur de l'enceinte de la parcelle, à 16 m des bâtiments, se trouve un forage dit forage de la RAK exploité par la régie de Kenitra. L'eau de

la première nappe y est trouvée à 3 m seulement du TN. Plus loin à 17 m, on rencontre la deuxième nappe.

La coupe des sols se présente de la façon suivante :

0/3 m	:	sable
3/5.75 m	:	sable argileux
5.75/7 m	:	argile
7/17 m	:	grès tendre (sable grésifié à passage gréseux conglomératique)
24m	:	grès compact

INTERVENTION DES SAPEURS POMPIERS :

Après les pluies diluviennes qu'a connues la région en fin de l'année 2007 et début de l'année 2008, la partie nord-est de la parcelle a vu une remontée importante de la nappe, ce qui a inondé complètement une partie de la parcelle du chantier (immeuble 7 bis) qui était en phase de construction des gros œuvres ; cette inondation est le résultat d'une remontée de la nappe phréatique et profonde également.

L'intervention des sapeurs-pompiers, avant l'effondrement, a permis de rabattre le niveau de la nappe. Cette opération de rabattement aurait une relation avec l'événement du fait que le bloc effondré est en bas pente et se situe, avec le bloc mitoyen qui menace ruine, dans la droite ligne d'un ancien axe de drainage. Sa côte par rapport au niveau de la mer est de moins 6 m seulement.

Par ailleurs, le terrain prévu pour les immeubles 7 Bis, 6 Bis et 5 Bis constitue un bassin naturel d'accumulation des eaux superficielles (voir reportage photographique de l'Expert)

ANALYSE PRÉLIMINAIRE GÉNÉRALE DE L'EXPERT DE JUSTICE

- **Mauvaise qualité géotechnique des sols en présence au moins jusqu'à des profondeurs de 15 m, reconnues effectivement par les sondages réalisés par le Laboratoire Public d'Essais et d'Études LPEE, aussi bien au niveau portance qu'au niveau déformations, avec en outre une grande prédisposition à la liquéfaction, confirmée par les analyses du LPEE.**
- **Circulation anarchique des écoulements d'eau de la nappe profonde et celle de surface avec un doute sérieux sur le bon fonctionnement du système de drainage et d'avortement de la nappe profonde, en place.**
- **Perturbation de la composition granulométrique des sols de fondation à cause de ces écoulements mais aussi à cause des opérations de pompages ponctuelles effectuées par les sapeurs-pompiers et permanents du forage RAK, situé très proche des immeubles, à 16 m !**
- **Survenance de l'effondrement de l'immeuble 7 Bis, alors que seule la structure en béton armé était en cours d'exécution : Pas de murs, Pas de revêtements, Pas de forme, Pas de lots secondaires, Pas d'équipements et Pas de surcharge d'exploitation ! Ceci est, en particulier, vrai par rapport au phénomène de flambement des poteaux qui ne peuvent, comme on le sait, subir réellement d'instabilité élastique que si et seulement si leur charge critique d'Euler est atteinte.**
- **Du danger de liquéfaction des sols, elle est liée à la conjonction simultanée de 3 paramètres : présence d'un matériau pulvérulent, présence d'une nappe et existence**
- **d'une sollicitation. L'analyse des conditions du terrain au moment de l'effondrement montre que ces trois conditions étaient remplies. Les vérifications faites par le LPEE confirment l'existence du risque de liquéfaction des sols présents sous les fondations de l'immeuble effondré 7 Bis et qui sont à prédominance sableuse engorgée d'eau en mouvement.**
- **De l'insuffisance des études techniques base de l'élaboration des plans de l'aménagement et des dérogations éventuelles. Pendant les investigations d'expertise, il n'a pas été possible de consulter, auprès de l'administration concernée, les rapports des études techniques ayant servi de base à l'élaboration des plans d'aménagement de la ville de Kenitra (géologie, géotechnique, hydrogéologie, hydrologie, pédologie, socio-économique...). En particulier, il persiste une interrogation sur l'affectation A58 à une partie de la parcelle incriminée .La partie nord-est de la parcelle n'est pas désignée.**