

ÉTANCHÉITÉ DE LAGUNES AÉRÉES DANS LA VALLÉE DU SOUF PAR GÉOMEMBRANE BITUMINEUSE

WATERPROOFING OF AERATED LAGOONS OF THE SOUF VALLEY WITH A BITUMINOUS GEOMEMBRANE

Pierre Yves PAEPEGAEY¹, Olivier SEYNAVE¹, Nourredine SAADI².

¹ SIPLAST, Antony, France

² SIPLAST, Alger, Algérie

RÉSUMÉ - Située au début du désert du Grand Erg, la vallée du Souf, peuplée de plus de 600 000 habitants, devait faire face à un problème de pollution de ses nappes phréatiques, un enjeu crucial pour cette région vivant principalement de la culture des dattes, qui s'appuie sur un système d'irrigation traditionnel ayant pour source la nappe phréatique. Des besoins croissants en eau ont conduit à avoir recours à des nappes plus profondes aboutissant à la nappe phréatique. En l'absence de réseaux d'assainissement, de drainage et d'exutoire, ces eaux aboutissant à la nappe phréatique ont fait monter son niveau et l'ont polluée d'où le projet de protection de l'environnement basé sur la réalisation de lagunes aérées de très grandes dimensions afin d'y collecter et d'y traiter l'ensemble des eaux usées, en mettant en œuvre 300 000 m² d'étanchéité moyennant l'utilisation de la géomembrane élastomère TERANAP 331 TP.

Mots-clés : Géomembrane bitumineuse, Lagune aérée, Protection de l'environnement.

ABSTRACT – The Souf Valley, located near the sea of dunes of the Great Eastern Erg, is expected to confront a pollution problem affecting its water tables which is a crucial factor as the 600,000 inhabitants nearly rely on the dates crops. The growing of dates is based on a traditional irrigation system that draws on the resources of the water table. To face up to the ever-growing need for water due to strong population growth, the local people resorted to the drawing up of water layers, deep within the water table. Due to the lack of any sewage treatment and adequate drainage systems for foul water, it contaminates the natural water within the water table and raises its level. To solve the problems very large aerated lagoons were built to drain off and treat all the region's waste and run-off water. 300,000 m² of Teranap TP elastomer geomembrane were used to waterproof those lagoons..

Keywords: Bituminous geomembrane, Aerated lagoon, Conservation of the environment.

1. Introduction

La vallée du Souf est située dans le Sahara algérien, au nord-est du grand Erg Oriental (figure 1), région au climat contraignant. Elle s'étend sur une superficie approximative de 350.000 hectares. Sa population dépasse les 600.000 habitants, dont un tiers réside sur le territoire de la commune d'El Oued.

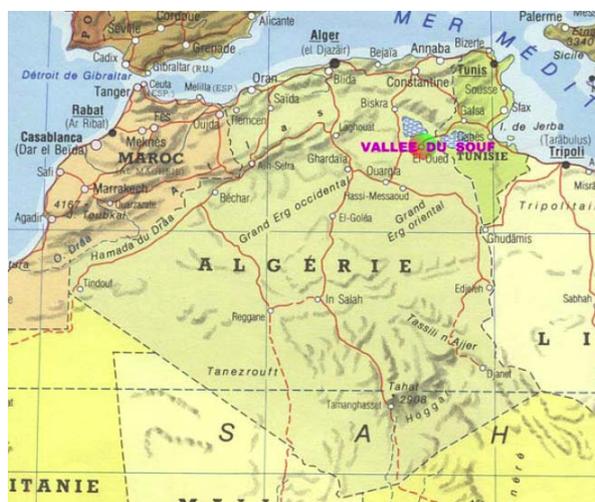


Figure 1. Région de la vallée du Souf

L'activité économique de la région a longtemps reposé sur l'agriculture et plus particulièrement sur l'exploitation du palmier-dattier (« phoeniculture ») en utilisant la méthode particulière dite « des ghouts ». Un ghout consiste en une sorte de cratère creusé et entretenu par l'homme, dont la profondeur est telle que les racines des palmiers trouvent l'eau de la nappe phréatique à la profondeur optimale (figure 2). C'est ce qui a créé le paysage si caractéristique de la vallée de Souf (figure 3).



Figure 2. Exemple de ghout



Figure 3. Vallée du Souf

Au fil du développement économique d'El Oued, d'autres activités telles que l'artisanat, le commerce ou l'industrie locale ont accéléré la perte d'importance relative de la phoeniculture par le phénomène de remontée de la nappe phréatique.

2. La remontée de la nappe phréatique et ses conséquences environnementales

Depuis le début des années 1970, le niveau de la nappe phréatique (initialement 2 à 3m sous le niveau profond des ghouts) est progressivement remonté avec pour conséquence d'immerger certains ghouts. Les répercussions sur la palmeraie, très rapides, se sont traduites par l'apparition de roseaux, le dépérissement des palmiers et l'abandon de ghouts (figure 4).

D'autres inconvénients, principalement d'ordre sanitaire sont apparus, tels que l'apparition de décharges sauvages dans les ghouts abandonnés (figure 5), la prolifération de moustiques et un début de pollution de la nappe phréatique par les eaux usées domestiques.



Figure 4. Dépérissement de palmiers



Figure 5. Décharge sauvage

Après une étude approfondie, il a été mis en évidence que ce phénomène de remontée de la nappe phréatique était très fortement lié aux nouvelles habitudes de consommation d'eau dues au

développement économique de la région. En effet, avec la mise en service de nombreux forages dans les nappes captives (fossiles) du complexe terminal (CT) et du continental intercalaire (CI) (figures 6 et 7), l'eau est apparue comme un bien disponible en quantité quasi illimitée.

En revanche, la gestion anarchique de ces forages profonds et l'absence d'infrastructures d'assainissement sont les conséquences directes de la remontée du niveau de la nappe phréatique.

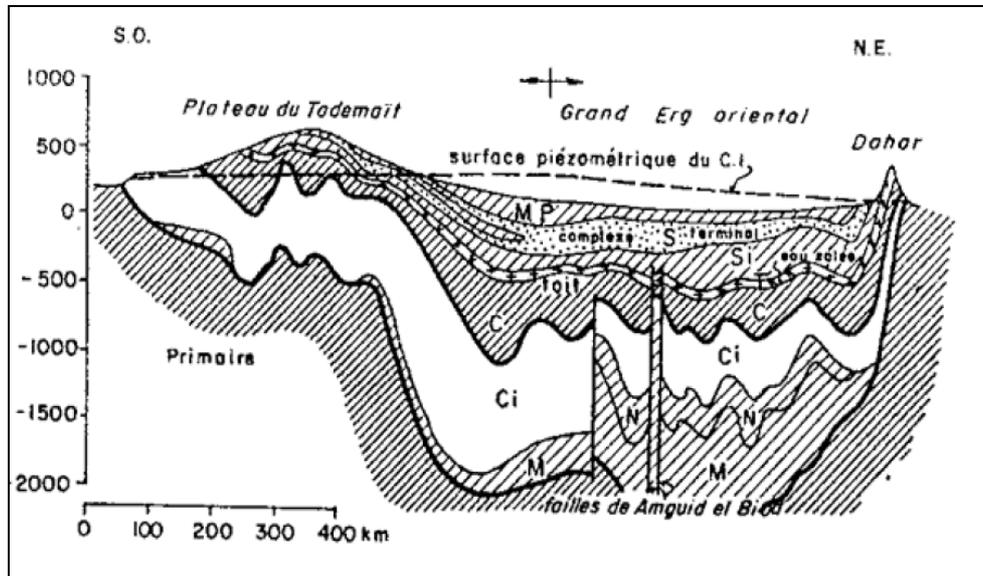


Figure 6. Coupe topographique

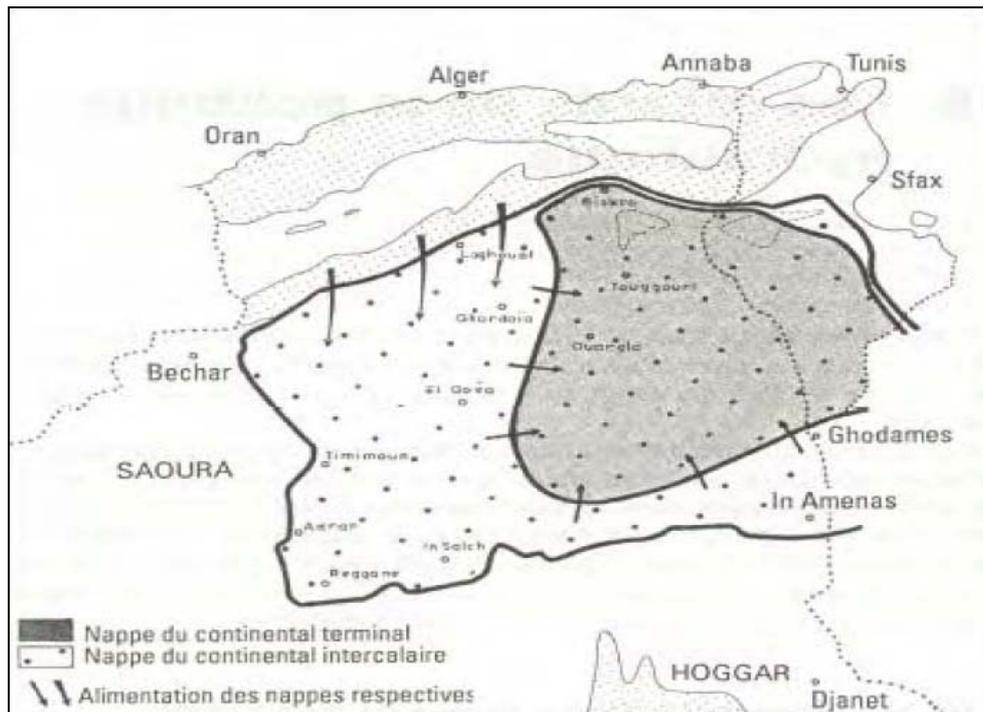


Figure 7. Ressources hydrauliques sahariennes

2.1. Hydrogéologie : deux grands systèmes aquifères surmontés par la nappe phréatique

Description du complexe hydraulique en présence :

- la nappe phréatique : comprise dans des sables fins de type Eolien, elle présente une profondeur variable pouvant atteindre une centaine de mètres ;
- le complexe Terminal (CT) : formation très hétérogène dont la profondeur varie entre 100 et 600 mètres, présentant une puissance utile de l'ordre de 300 mètres ;
- le complexe Intercalaire (CI) : multicouche, de profondeur pouvant aller jusqu'à 2000 mètres, présentant une puissance utile de 200 à 400 mètres.

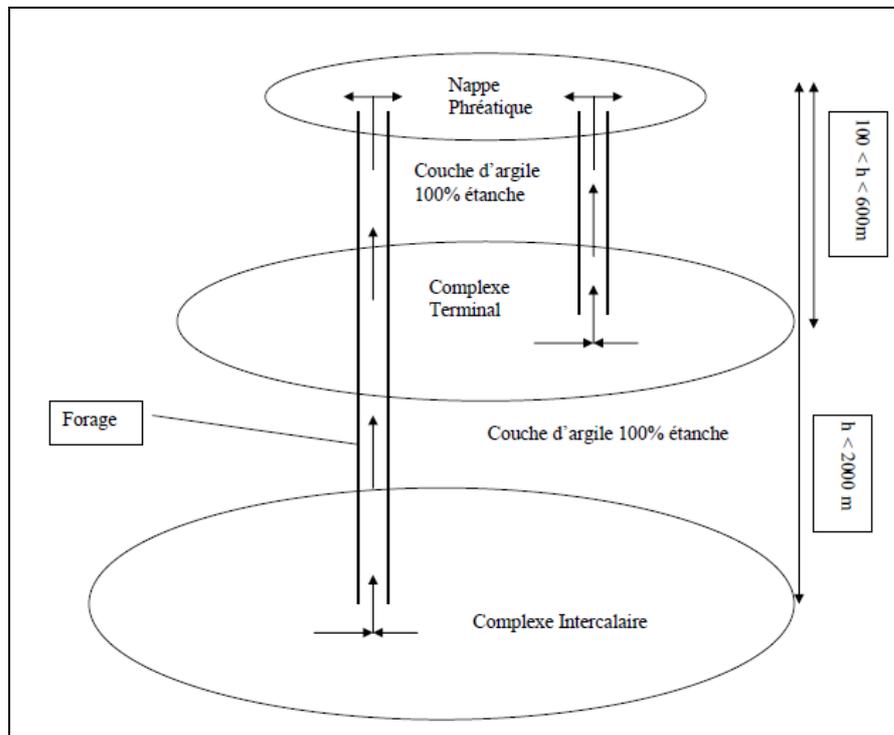


Figure 8. Principe d'un forage dans les ressources hydrauliques sahariennes

L'eau provenant des complexes (complexe Intercalaire et/ou complexe Terminal) se trouve sous une pression artésienne importante, lui interdisant tout retour par gravité à son origine. Par ailleurs, les complexes sont hermétiquement séparés par une épaisse couche d'argile 100% étanche, interdisant ainsi toute communication naturelle entre les aquifères. Le schéma ci-dessus (figure 8) met en exergue l'accumulation d'eau induite par ces forages profonds dans la nappe phréatique, entraînant ainsi la montée de son niveau.

2.2. Conséquences sur l'assainissement

Majoritairement de type individuel, le mode d'assainissement le plus répandu du traitement des eaux usées consiste en des fosses septiques et plus généralement non étanches (figure 9).

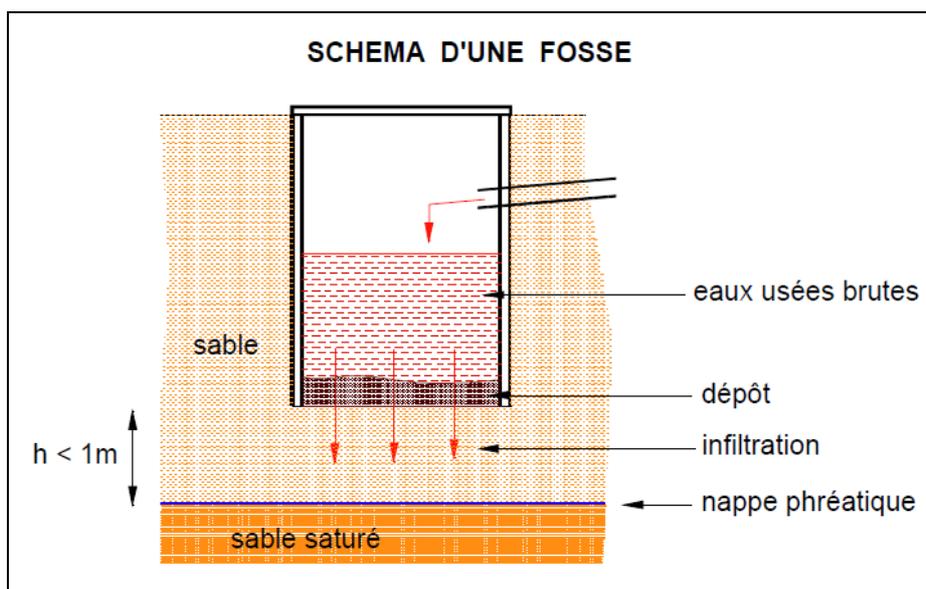


Figure 9. Schématisation d'une fosse individuelle

Tant que le niveau de la nappe était assez bas, le principe d'épuration par percolation fonctionnait correctement, dans la mesure où le sol récepteur était favorable (sable) et convenablement aéré. Le niveau de la nappe ayant monté de façon significative, le fond des fosses se retrouve à moins d'un mètre au dessus du dit niveau. Dans cette configuration, l'épuration ne peut s'effectuer correctement en raison d'un manque d'oxygène. En effet, bien que le fond de la fosse n'atteigne pas la nappe phréatique, les remontées d'eau par capillarité sur les premiers décimètres de la couche sableuse ont chassé une trop grande partie de l'air entre les grains de sable de faible granulométrie.

3. Solutions

Le Ministère des Ressources en Eau, avec la collaboration des autorités locales, a donc lancé une étude pour analyser plus en profondeur le phénomène et dégager des solutions afin d'inverser durablement ce phénomène.

Les objectifs de l'épuration à terme des effluents générés dans la vallée du Souf sont les suivants :

- supprimer les nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées ;
- évacuer les eaux traitées afin de supprimer les impacts négatifs sur la remontée de la nappe ;
- préserver la ressource en eau en réutilisant et valorisant les eaux traitées.

Le projet concerne les agglomérations de la vallée du Souf, dont la population totale des 18 communes concernées par l'étude est estimée à près de 480 000 habitants en 2010 et 670 000 habitants en 2030. Parmi ces agglomérations, la Ville de El Oued, est la plus importante avec une population estimée à 140 000 habitants en 2010 et 190.000 habitants en 2030.

Cette situation a incité les autorités à étudier et à apporter des solutions durables :

- au phénomène de la remontée de la nappe phréatique dans la vallée ;
- au système complet de collecte des eaux usées, de traitement et d'évacuation des eaux traitées

Parmi les solutions identifiées, la réalisation de lagunes aérées de très grandes dimensions dans la vallée (300.000m²) a été validée afin d'y collecter et d'y traiter l'ensemble des eaux usées, de drainage et de ruissellement de la région. La solution retenue pour l'épuration de ces effluents consiste à traiter l'ensemble des eaux usées à partir d'une station d'épuration de type lagunage aéré.

La filière de traitement retenue est constituée :

- de prétraitements ;
- d'un premier étage de traitement par lagunage aéré ;
- d'un second étage de traitement par lagunage aéré ;
- d'un troisième étage de traitement par lagunage de finition ;
- de lits de séchage des boues.

La géomembrane bitumineuse a été retenue pour l'étanchéité de ces lagunes afin de tenir compte de la typologie du terrain et des conditions particulières d'exécution des travaux.

4. Réalisation des ouvrages de lagunes aérées

4.1. Remblais et compactage de l'ouvrage

Les travaux de remblaiement suivants ont été réalisés au cours des opérations :

- remblais en provenance du déblai pour constitution des corps de digues ;
- remblaiement des tranchées des conduites ;
- remblaiement des tranchées d'ancrage du dispositif d'étanchéité par géomembrane et du dispositif de protection contre les vents de sable par feuilles de palmes ;
- remblaiement périphérique des ouvrages de maçonnerie (regards, répartiteur, poste de refoulement,...) ;
- remblaiement des corps de digues :
 - cette couche de sable mélangé à du gypse sous forme de Tercha moyennement compacte est surmontée par une couche superficielle de sable dunaire. Le sable gypseux est classé selon la classification du SETRA-LCPC dans la sous-classe B1. Ces matériaux utilisés couramment en technique routière saharienne ont été utilisés pour la confection du corps de digue du fait de leurs caractéristiques géotechniques. Ils tirent leur résistance, en plus du frottement, de leur cohésion issue de la pseudo-prise.

- la couche de protection des digues a été réalisée en disposant une couche de 0,20 m de sables gypseux (issus d'une carrière agréée reconnue et validée par le Maître d'Ouvrage Délégué) sur les talus externes (2,5H/1V) et de 0,30 m sur la bande de roulement, puis arrosage et compactage suivant la technique routière locale.

Qu'il s'agisse des matériaux du site réemployés ou de matériaux extérieurs, le réglage et le compactage des remblais permettront d'atteindre les valeurs suivantes :

$$E_{v1} \geq 15 \text{ MPa}$$

$$E_{v2} \geq 30 \text{ MPa}$$

$$E_{v2} / E_{v1} < 2.$$

4.2. Mise en œuvre du dispositif d'étanchéité par géosynthétique (DEG)

4.2.1. Description de la géomembrane bitumineuse

Le système d'étanchéité fait partie de la famille des étanchéités par géomembranes bitumineuses. De largeur 4 mètres et d'épaisseur nominale 3,6mm, le produit bénéficie d'une certification ASQUAL faisant office de référence dans un marché sous influence française en termes de réglementation. La géomembrane est armée d'un non tissé polyester renforcé par un voile de verre permettant de garantir une bonne stabilité dimensionnelle. Ses principales caractéristiques mécaniques sont données dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques mécaniques de la géomembrane bitumineuse

	Unité	Norme d'essai	TERANAP 331 TP - 4m	
			Valeur mini.	Valeur moyenne
Epaisseur	mm	NF EN 1848-1	≥ 3,4	3,6
Largeur bande de soudure	mm	NF EN 1848-1	≥ 200	
Masse surfacique	g/m ²	NF EN 1849-1	≥ 3840	4150
Résistance à la rupture (SP x ST) ¹	N/ 5cm	NF EN 12311-1	≥ 870 x 570	1000 x 650
Allongement à la rupture	%		≥ 42 x 45	49 x 53
Poinçonnement statique :		NF EN ISO 12236		
- Force	kN		≥ 2,30	2,46
- Enfoncement	mm	≥ 42	44	
Pliabilité à froid	°C	NF EN 1109	≤ - 15	- 20
Tenue à la chaleur (100 °C, 2h)	mm	NF EN 1110	≤ 2	
Perméabilité à l'eau	m ³ /m ² /j	prEN 14150	≤ 1.10 ⁻⁸	
Perméabilité au gaz	m ³ /m ² /j	ASTM D 1434-82	≤ 27,6.10 ⁻⁶	
Résistance à l'oxydation		NF EN 14575	Conforme	
Résistance aux UV ²		NF EN 12224	Pas de perte des propriétés mécaniques après 3000 h d'exposition	

4.2.2. Description du système mis en œuvre

Le système mis en œuvre comporte :

- un géo-espaceur de drainage GEOFLOW 44 1F, constitué d'une grille tridimensionnelle en polyéthylène haute densité, surfacée d'un géotextile non tissé polypropylène thermo-soudé sur une des deux faces ;
- un géotextile 500g en non tissé polyester en sous face de la géomembrane bitumineuse ;
- un voile de verre 100g VERECRAN interposé entre le géotextile et la géomembrane bitumineuse au niveau des recouvrements transversaux et longitudinaux ;
- la géomembrane bitumineuse ;
- des aérateurs en polypropylène en haut de talus.

Les travaux d'étanchéité ont été réalisés par l'entreprise Chiali Services, acteur essentiel dans le domaine de l'aménagement hydraulique et environnemental en Algérie. Les équipes de pose (filiale du groupe) ont été formées par le centre de formation Siplast. Grâce à l'enseignement pratique et théorique reçu, ces équipes ont passé avec succès la certification de Service « Application de Géomembranes » délivrée par l'ASQUAL.

La géomembrane a été mise en œuvre en indépendance, directement sur le géotextile. Seuls les recouvrements (longitudinaux et transversaux) ont été soudés. Afin de protéger le géotextile du risque de dégradation liée à la flamme du chalumeau, un écran de voile de verre de largeur 50 cm a été interposé entre ce dernier et la géomembrane bitumineuse au niveau de chaque recouvrement (longitudinal et transversal).

Préalablement à la mise en œuvre du géotextile de sous-face, le géoespaceur de drainage a été installé (en indépendance sur le support) par bandes régulièrement espacées suivant le principe de la figure 10. Afin de permettre l'évacuation des gaz ainsi collectés, des dispositifs d'aération ont été installés aux points hauts des talus.

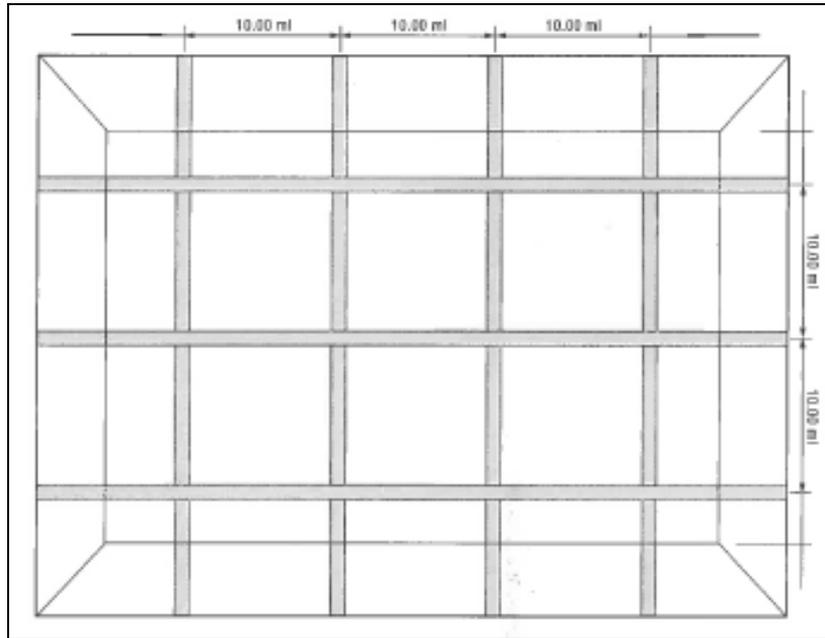


Figure 10. Principe de calepinage du géo-espaceur de drainage GEOFLOW 44 1F

4.3. Contraintes spécifiques à l'environnement de la vallée du Souf

Les conditions climatiques de la région du sud algérien sont extrêmes, particulièrement en termes de température et de vent. La flexibilité propre aux géomembranes bitumineuses a été un élément déterminant dans le choix du produit au vue de la topographie du site à traiter (figure 11). En effet, cette caractéristique permet au produit d'épouser parfaitement les variations de forme de la couche support. Des dispositions particulières ont par conséquent été définies et ont fait l'objet d'un suivi de chantier particulièrement minutieux.

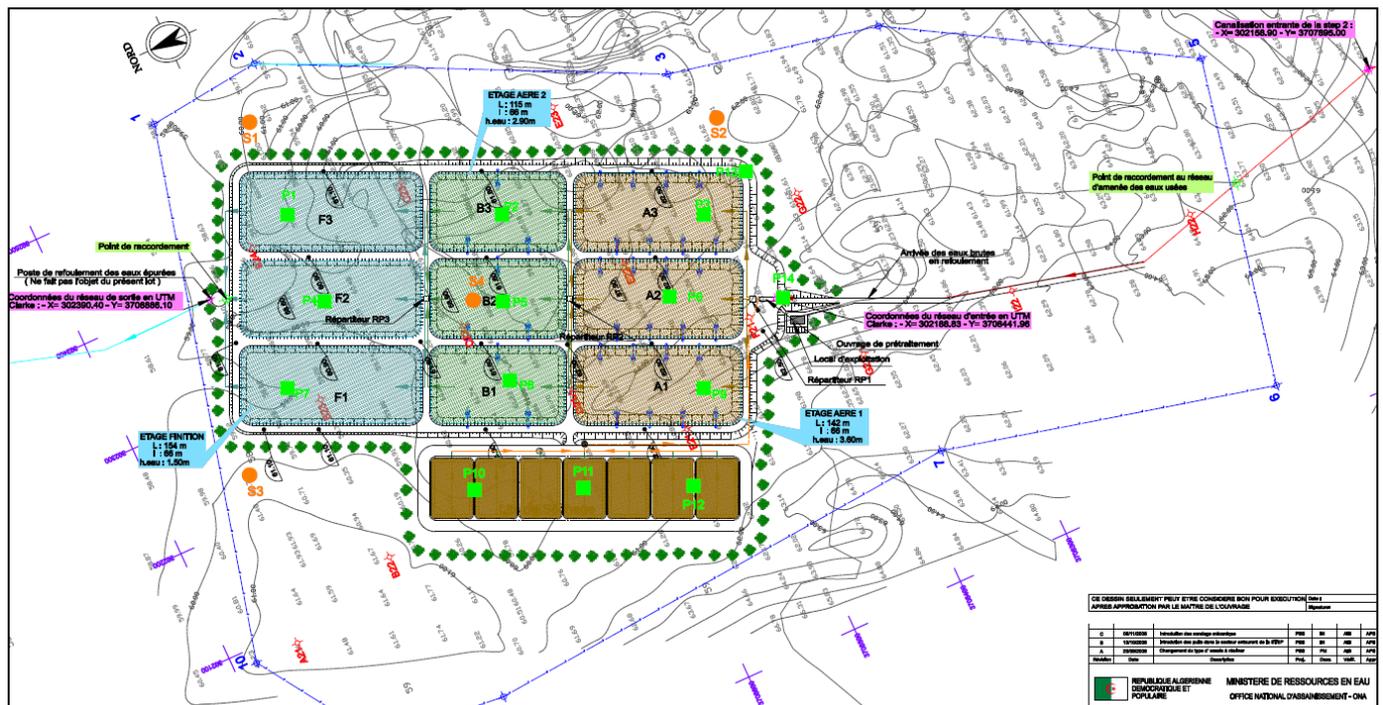


Figure 11. Relevé topographique du site

4.3.1. Température

La géomembrane bitumineuse sélectionnée est insensible aux écarts de températures importants rencontrés sur site de par son coefficient de stabilité peu élevé en comparaison d'autres types de géosynthétiques.

Le facteur température a néanmoins fait l'objet de dispositions particulières, les postes de travail ont été répartis en deux équipes, opérant dans les créneaux horaires suivants : 5h – 9h / 16h – 20h.

Dans les cas où la température a pu atteindre des niveaux ne permettant plus la mise en œuvre de la géomembrane dans des conditions optimales, les ouvriers, avant de quitter le site, ont pris le soin de protéger les recouvrements à traiter par l'équipe suivante d'un géotextile blanc dans le but de limiter l'absorption de chaleur par un produit noir.

4.3.2. Vent et vent de sable

Sur ce point spécifique également la géomembrane s'avère, de par sa masse volumique et donc son poids, la solution géosynthétique la mieux adaptée. En complément des ancrages en haut de talus (figure 13), des dispositions particulières ont pu être prises dans le but de limiter tout risque de soudure insuffisante liée à un vent trop important. Suite à de forts vents de sable ayant entraîné l'interruption temporaire des travaux, la surface de la géomembrane préalablement mise en œuvre mais dont les joints n'avaient pu être soudés a été systématiquement balayée avant soudure dans le but d'éliminer toute impureté susceptible d'engendrer des points faibles à niveau de la cohésion des joints.

La nature de la surface de la géomembrane (sablée) offre plus de flexibilité vis-à-vis de la présence de quelques particules de sable fin qu'une surface synthétique parfaitement lisse, un simple balayage a pu être réalisé sans mettre en danger la qualité de la soudure au chalumeau. Ce point a pu être confirmé lors des contrôles destructifs réalisés au niveau des joints avec le principe de la cloche à vide.



Figure 12. Mise en œuvre de la géomembrane bitumineuse de 4m sur géotextile



Figure 13. Tranchée d'ancrage en haut de talus



Figure 14. Déroulage des rouleaux à l'aide d'un palonnier

Du fait des dimensions spécifiques de la géomembrane et du poids des rouleaux, un palonnier mécanisé suspendu à un appareil de levage a été utilisé pour permettre aux ouvriers de dérouler les rouleaux en toute sécurité (figure 14).

5. Conclusion

Ce gigantesque projet a apporté aux populations de la vallée du Souf des conditions indispensables d'hygiène et de confort et a par ailleurs contribué à la relance de l'agriculture vivrière, qui a permis de limiter l'exode rural.

Ce projet, lié à la protection environnementale a ainsi des implications immédiates sur l'économie régionale et sur le maintien des populations.

L'utilisation de la géomembrane bitumineuse a permis de satisfaire aux exigences techniques locales, tant en terme de typographie que de conditions climatiques souvent extrêmes. De par ses dimensions particulières et sa facilité de mise en œuvre, elle a également permis de respecter des délais de mise en œuvre très restreints tout en assurant une parfaite étanchéité des ouvrages réalisés. Aucun dysfonctionnement n'a été relevé lors de la mise en service des stations d'épuration (figures 15 et 16).

Les géomembranes bitumineuses s'inscrivent pleinement dans le cadre du développement de projets environnementaux.



Figures 15 et 16. Station d'épuration en service

6. Références bibliographiques

- Mahmah B. (2007) Projet Maghreb – Europe : production d'hydrogène solaire – Étape 1 : étude d'opportunité et de faisabilité du projet, pp. 5-6.
- SCIDE UMA - Les formations aquifères post-paléozoïques du Sahara septentrional,
http://scide.oss.org.tn/scide-uma/jsp/site/Portal.jsp?page_id=44#deb
- Lambert S. (1997). Les géomembranes, Ingénieries E.A.T. 11,27-40.