

**Rapport R2.0 – Identification et inventaire  
des écosystèmes dépendants des eaux  
souterraines dans la zone pilote de  
Boulenouar**



**Ministère de l'Hydraulique et de  
l'Assainissement / Centre National des  
Ressources en Eau (CNRE)**

**PROJET INTEGRE DE MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE (PIME)**

Convention de financement CMR 1262 03C

**Etude d'état des lieux et mesures de protection des  
écosystèmes dépendant des eaux souterraines du système  
aquifère de la partie nord du bassin côtier**

Marché n°0721/PI/010/CPMP/MHA/DHB/2026

**Rapport 2.0 – Identification et inventaire des  
écosystèmes dépendants des eaux souterraines  
dans la zone pilote de Boulenouar**

Version A - Mai 2026



**Antea France**  
2/6 Place du Général de Gaulle  
92160 Antony – FRANCE  
Tél. : + 33 (0)1 57 63 13 76  
[secretariat-int@anteagroup.fr](mailto:secretariat-int@anteagroup.fr)  
[www.anteagroup.com](http://www.anteagroup.com)



**BRLi**  
1105 avenue Pierre Mendès  
BP 94001,  
3000 1 Nîmes Cedex 5 France



**Hydroconseil Mauritanie**  
Ilot C Château d'eau Lot 73 Ext  
BP 3017 – Nouakchott Mauritanie

Ref. Antea France : INTP250191 – mai 2026

## Fiche Signalétique

### Etude d'état des lieux et mesures de protection des écosystèmes dépendant des eaux souterraines du système aquifère de la partie nord du bassin côtier Rapport R2.0 – Identification et inventaire des écosystèmes dépendants des eaux souterraines dans la zone pilote de Boulénouar

#### CLIENT

Nom	<b>Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement / Centre National des Ressources en Eau (CNRE)</b>	Contact	<b>Naji El Mamy</b> Conseiller technique du Directeur du CNRE
Adresse	BP 899 Nouakchott (République Islamique de Mauritanie)	Coordonnées	Courriel : <a href="mailto:nelmamy@hydraulique.gov.mr">nelmamy@hydraulique.gov.mr</a>
		Référence client	Marché n°0721/PI/010/CPMP/MHA/DHB/2026

**GROUPEMENT : Antea France / BRLi / Hydroconseil Mauritanie**

#### Chef de file

Société	<b>Antea France SAS</b>	Projet suivi par	<b>Baptiste DELBOS</b> Responsable de pôle eau / Direction Internationale
Adresse	Direction Internationale 2/6 Pl. du Général de Gaulle 92160 Antony – France	Coordonnées	Tél. : +33(0)6 34 02 07 02 <a href="mailto:baptiste.delbos@anteaingroup.fr">baptiste.delbos@anteaingroup.fr</a>
		Ref. Antea France	INTP250191
Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :			
Responsable de projet :		<b>Isseini MOUSSA</b>	
Interlocuteur commercial :		<b>Guillaume HIBON</b>	
Expert technique :		<b>Marc BOISSON</b>	

#### Partenaires

Sociétés	<b>BRLi</b>	<b>Hydroconseil Mauritanie</b>
Adresse	1105 avenue Pierre Mendès BP 94001, 3000 1 Nîmes Cedex 5 France	Ilot C Château d'eau Lot 73 Ext BP 3017 Nouakchott, Mauritanie
Contact	Julien VERDONCK	Mohamed El Moctar Mohamed Vall El Alem
Coordonnées	Tél. : +33(0)6 08 70 59 01 <a href="mailto:julien.verdonck@brl.fr">julien.verdonck@brl.fr</a>	Tél. : +222 46 90 57 57 <a href="mailto:moctar_mf@yahoo.fr">moctar_mf@yahoo.fr</a>

# Sommaire

<b>1. Contexte et objectif.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Définition des GDE .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Déroulement de la mission de terrain et approche pour l'élaboration du rapport R2.0</b>	<b>9</b>
<b>4. Evaluation de la profondeur de la nappe sur la zone pilote .....</b>	<b>10</b>
4.1. Présentation du champ captant de Boulenouar.....	10
4.2. Analyse piézométrique et profondeur de la nappe .....	11
4.3. Corrélation profondeur et minéralisation des eaux souterraines.....	16
<b>5. Inventaire des écosystèmes dans la zone pilote .....</b>	<b>18</b>
5.1. Contexte global de la zone pilote.....	18
5.1.1. Contexte écologique et climatique.....	18
5.1.2. Géomorphologie et hydrologie .....	19
5.1.3. Habitats .....	19
5.1.4. Disponibilité en eau .....	20
5.1.5. Adaptations végétales .....	21
5.1.6. Tolérance à la salinité .....	23
5.1.7. Faune associée.....	23
5.2. Méthodologie .....	24
5.2.1. Approche générale .....	24
5.2.2. Démarche détaillée .....	24
5.3. Résultats de l'inventaire terrain sur la zone pilote de Boulenouar .....	27
5.3.1. Unité écologique des plaines caillouteuses (Regs) et des plaines situées entre des collines gréseuses (Aïn) .....	28
5.3.2. Unité écologique des collines gréseuses (El carb) .....	34
5.3.3. Unité écologique des vallées sèches (Oueds).....	37
5.4. Synthèse des caractéristiques des unités écologiques de la zone de Boulenouar et bibliographie .....	40
<b>6. Méthodologie pour déterminer la distribution spatiale des écosystèmes dans la zone pilote.....</b>	<b>43</b>
6.1. Utilisation du modèle numérique de terrain (MNT).....	43
6.2. Utilisation des cartes topographiques IGN.....	44
6.3. Calcul des indices de végétation NDVI et MSAVI.....	44
6.4. Vérification terrain .....	44
6.5. Utilisation de l'imagerie de haute résolution de Google Earth .....	45
<b>7. Synthèse .....</b>	<b>46</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>48</b>
<b>Annexe 1. Déroulement de la mission terrain .....</b>	<b>49</b>

Annexe 2. Écosystèmes du biseau sec .....	51
Annexe 3. Espèces animales de la zone pilote .....	54
Observations sur l'utilisation du rapport .....	57

## Liste des figures

Figure 1. Plan de positionnement des forages en fonction des exploitants et localisation des piézomètres. ....	11
Figure 2. Rabattement cumulé entre 1974 et novembre 2025 (en m) .....	14
Figure 3. Esquisse piézométrique et profondeur de la nappe issues des observations de terrain lors de la mission du 14 – 19 mai 2026.....	15
Figure 4. Evolution de la conductivité électrique entre juin 2024 et novembre 2025 (données CNRE) .....	16
Figure 5. Migration d'un front humide dans la zone non saturée et développement d'un système racinaire profond (hydrotropisme) ( <i>Vachellia tortilis</i> ) .....	22
Figure 6. <i>Capparis decidua</i> au système racinaire apparent. ....	22
Figure 7. Schéma de l'approche méthodologique utilisée pour définir la typologie des unités écologiques.....	24
Figure 8. Carte des unités paysagères de la zone de Boulenouar .....	25
Figure 9. Carte des unités écologiques de la zone pilote de Boulenouar. ....	28
Figure 10. Reg ensablé ( <i>Nucularia perrinii</i> , <i>Panicum turgidum</i> , Station 6). ....	29
Figure 11. Reg ensablé (vue du drone) .....	30
Figure 12. Dépression sableuse au sein d'un reg ensablé (Station 4). ....	31
Figure 13. Aïn (Station 7), zone plate située entre des collines gréseuses (au fond) et concentrant les écoulements temporaires.....	31
Figure 14. Regs ensablés (à gauche, <i>Capparis decidua</i> isolé, Station 12 et à droite, <i>Maerua crassifolia</i> , Station 14). ....	32
Figure 15. Végétation herbacée ( <i>Panicum turgidum</i> , Stations 4, 11) et sous-arbustive ( <i>Nucularia perenii</i> , Stations 6, 7, 3). ....	32
Figure 16. Reste de queue de <i>Uromastix dispar flavifasciata</i> .....	33
Figure 17. A gauche : épines de <i>Capparis decidua</i> ; à droite : feuilles de petite taille de <i>Maerua crassifolia</i> . ....	33
Figure 18. Colline gréseuse et <i>Launarea arborescens</i> (Station 3). ....	35
Figure 19. <i>Capparis decidua</i> implanté sur une colline gréseuse. ....	36
Figure 20. A gauche : <i>Suaeda vermiculata</i> ; à droite : <i>Centropodia forskalii</i> . ....	36
Figure 21. Paysage d'Oued (Station 17) .....	38
Figure 22. Exemple d'Oued ( <i>Calotropis procera</i> et <i>Capparis decidua</i> ). ....	38
Figure 23. <i>Calotropis procera</i> .....	39
Figure 24. Spécimen de <i>Vachellia tortilis</i> de grande taille (Station 16). ....	40
Figure 25. Synoptique de la méthodologie développée pour élaborer la carte des unités paysagères .....	43
Figure 26. Carte superposant unités écologiques et profondeur de la nappe (ligne rouge) .....	46
Figure 27. Illustration de la profondeur du système racinaire de <i>Vachellia tortilis</i> par rapport à la profondeur de la nappe sur la zone pilote .....	47
Figure 28. Itinéraire de la mission terrain (14-19 mai 2026).....	50
Figure 29. Localisation du biseau sec .....	51
Figure 30. Paysage du biseau sec et sa population de <i>Balanites aegyptiaca</i> .....	52
Figure 31. Spécimen de <i>Balanites aegyptiaca</i> .....	53
Figure 32. Sirli du désert ( <i>Alaemon alaudipes</i> ) .....	54
Figure 33. Tourterelle vineuse ( <i>Streptopelia vinacea</i> ) .....	55
Figure 34. <i>Collas crocea</i> .....	55

## Liste des tableaux

Tableau 1. Données collectées sur le champ captant de Boulanouar en novembre 2025 par le CNRE. ....	12
Tableau 2. Mesures historiques du niveau statique (données CNRE) .....	13
Tableau 3. Variations de la conductivité (COND) exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre juin 2024 et novembre 2025 (données CNRE) .....	16
Tableau 4. Tableau de caractérisation des adaptations des espèces observées sur le terrain.....	23
Tableau 5. Synthèse des caractéristiques des unités écologiques de la zone de Boulanouar .....	41
Tableau 6. Différentes classes de végétation (selon seuils retenus pour l'indice NDVI) .....	44
Tableau 7. Participants de la mission terrain .....	49

# 1. Contexte et objectif

Le marché « Réalisation de l'étude d'état de lieux et mesures de protection des écosystèmes dépendants des eaux souterraines du système aquifère de la partie nord du bassin côtier » s'inscrit dans le cadre du Projet Intégré de mobilisation des Eaux de surface (PIME). Il a été notifié au Groupement le 6 avril 2026 (attribution provisoire).

Le marché signé comprend un procès-verbal de négociations qui inclut l'élaboration d'un rapport R2.0 (« Identification et inventaire des écosystèmes dépendant des eaux souterraines dans des zones pilote ») qui ne faisait pas partie des livrables du cahier des charges.

Le marché signé prévoyait une remise de ce rapport à  $T_0 + 1.5$  mois.

La réunion de démarrage du 27 avril 2026 a fait apparaître que ce délai ( $T_0 + 1.5$  mois) n'était pas compatible avec l'engagement du gouvernement mauritanien vis-à-vis du FMI de remise du rapport R2.0 pour fin mai 2026.

Cette réunion de démarrage a abouti aux ajustements suivants :

- Choix de la zone pilote du champ captant de Boulénouar par le MHA ;
- Accord du groupement pour réorganiser le planning court terme de l'étude pour être à même de remettre le rapport R2.0 pour fin mai 2026.

A la suite de cette réunion,

- Un ordre de service de démarrage a été notifié au Groupement le 28 avril 2026 (OS n°01/2026).
- Le Groupement a commencé la collecte et l'analyse des données et a réalisé une mission de 6 jours sur le terrain avec 8 experts (écologues, hydrogéologues, sigiste, droniste).

Une réunion avec le comité de suivi de l'étude a ensuite eu lieu à Nouakchott le 21 mai au CNRE.

Cette réunion a permis de présenter les premiers éléments du rapport R2.0 et recueillir les remarques du comité de suivi.

Le présent rapport correspond au livrable R2.0 dont l'objectif est le suivant :

« [Réaliser un] Inventaire pilote sur les écosystèmes dépendants des eaux souterraines (GDE) et [Collecter et analyser les] données hydrogéologiques au niveau du champ captant de Boulénouar ».

Dans un premier temps les GDE sont définis avant de présenter l'approche qui a été développée pour produire le rapport R2.0. Cette approche est ensuite développée en s'articulant sur les deux axes de l'objectif : Données hydrogéologiques du champ captant de Boulénouar (dont la profondeur de la nappe) et Inventaire des écosystèmes sur la zone pilote avec une analyse de leur éventuelle dépendance aux eaux souterraines.

## 2. Définition des GDE

Il existe plusieurs définitions des écosystèmes dépendant des eaux souterraines (en anglais Groundwater Dependent Ecosystem – GDE). Dans la suite du rapport, l'acronyme GDE sera utilisé car il est largement référencé et il correspond également à la terminologie utilisée dans le cahier des charges de l'étude.

Ces nombreuses définitions des GDE s'articulent toutes autour du même thème : il s'agit d'écosystèmes qui utilisent les eaux souterraines soit à un stade quelconque de leur cycle de vie, soit pendant une génération et qui est essentielle à l'existence de cette espèce.

Dans ce domaine, de nombreuses références proviennent d'Australie. Ceci est dû notamment au fait que la notion de GDE a été introduite dans la réglementation pour permettre la mise en place de mesures de protection de ces écosystèmes.

Ainsi, l'identification et le suivi des écosystèmes dépendants des eaux souterraines sont nécessaires pour se conformer aux exigences législatives en vertu de la loi sur l'eau de 2000 (*Water Management Act 2000*) et des textes législatifs associés. L'identification et le suivi des GDE sont du ressort du Ministère des Industries Primaires – Eau (DPI-Water) de chaque état. Le DPI-Water est en effet responsable de la gestion des ressources en eau de surface et souterraines de l'État.

DPI Water définit les **écosystèmes dépendants des eaux souterraines** comme étant ceux « qui nécessitent un accès aux eaux souterraines pour satisfaire tout ou partie de leurs besoins en eau afin de maintenir leurs communautés de plantes et d'animaux, leurs processus écologiques et leurs services écosystémiques » (modifié d'après Richardson et al. 2011).

Il est important de noter que :

- **Le terme « eaux souterraines »** (définit à des fins d'identification de la dépendance des écosystèmes) **ne doit pas inclure les eaux de surface transitoires (eau s'infiltrant dans le sol)** ni les écoulements superficiels le long des versants (Hatton et Evans, 1998) ;
- **Les GDE ont besoin d'accéder temporairement ou de façon continue aux eaux de la nappe ;**
- **L'utilisation des eaux souterraines n'implique pas nécessairement une dépendance à ces eaux.** Par dépendance, il est entendu que l'écosystème serait considérablement altéré, voire dégradé de manière irréversible, si la disponibilité des eaux souterraines dépassait ses fluctuations « normales » (Colvin et al., 2003). **Pour les GDE l'eau souterraine est essentielle pour leur maintien** (Eamus et al., 2006). Ainsi les écosystèmes sont considérés comme dépendants des eaux souterraines si la totalité ou la majeure partie de leurs besoins en eau est satisfaite par les eaux souterraines.

La plupart des publications actuelles se réfèrent aux GDE en supposant que les eaux souterraines se trouvent dans des aquifères et peuvent être extraites. Colvin et al. (2007) considèrent que le terme

Aquifer Dependent Ecosystem (ADE) est plus précis. L'ADE, tel qu'il est utilisé en Afrique du Sud, est fonctionnellement équivalent à un GDE.

## Bibliographie

Richardson, S., E. Irvine, R. Froend, P. Boon, S. Barber, and B. Bonneville. 2011. *Australian Groundwater-Dependent Ecosystems Toolbox Part 1: Assessment Framework*. Canberra: The National Water Commission.

Colvin et al., 2003. *Assessing terrestrial groundwater dependent ecosystems in South Africa, Final report to the Water Research Commission*, WRC Report No. 1090-2/2/03, ISBN NO. 1-77005-038-8

Hatton, T and Evans, R. 1998. *Dependence of Ecosystems on Groundwater and its Significance to Australia*. Land and Water Resources, Research and Development Corporation.

Eamus D, Froend R, Loomes R, Hose G, Murray B. 2006. *A functional methodology for determining the groundwater regime needed to maintain the health of groundwater-dependent vegetation*. Aust J Bot 54(2):97–114

### 3. Déroulement de la mission de terrain et approche pour l'élaboration du rapport R2.0

L'élaboration du présent rapport repose sur l'analyse croisée des deux principales composantes des GDE sur la zone pilote, à savoir :

- La détermination de la profondeur de la nappe ;
- L'identification d'écosystèmes pertinents.

Ce travail est basé notamment sur une mission de terrain conséquente (au regard du temps disponible) et sur un traitement des données recueillies (dont un travail significatif des données spatiales au sens large : télédétection et SIG).

Les intervenants et l'itinéraire de la mission terrain sont indiqués en Annexe 1.

Les chapitres qui suivent présentent successivement ces différents points :

- Evaluation de la profondeur de la nappe sur la zone pilote (Chapitre 0) ;
- Inventaire des écosystèmes dans la zone pilote (Chapitre 5) ;
- Méthodologie pour déterminer la distribution spatiale des écosystèmes dans la zone pilote (Chapitre 6) ;
- Synthèse (Chapitre 7).

## 4. Evaluation de la profondeur de la nappe sur la zone pilote

### 4.1. Présentation du champ captant de Boulanouar

La zone de Boulanouar a été identifiée à partir des années 1950 comme un réservoir propice à l'alimentation en eau de la ville de Nouadhibou située à environ 90 km au sud-ouest le long de la route nationale N2. La ressource identifiée est exploitée depuis les années 1960 par deux opérateurs indépendants : la Société Nationale des Eaux (SNDE, ex-SONELEC) et la Société Nationale Industrielle et Minière (SNIM). Outre la ville de Nouadhibou, le champ captant assure l'alimentation en eau de la ville de Boulanouar et plusieurs localités situées le long de la voie ferrée entre Nouadhibou et Choum, grâce au transport d'eau par wagons-citernes de la SNIM.

Les deux sociétés exploitent la nappe de manière discontinue. Le prélèvement quotidien des quatre forages exploités par la SNIM (F1\_SNIM, F4\_SNIM, F6\_SNIM, F7\_SNIM) est estimé à environ 2 544 m<sup>3</sup> par jour répartis entre l'approvisionnement en eau des wagons-citernes et l'alimentation du point central utilisé pour l'arrosage du minerai de fer. Avec 21 forages opérationnels, la SNDE assure une production potentielle de 21 600 m<sup>3</sup> par jour. La production totale de ces deux opérateurs, estimée à environ 24 144 m<sup>3</sup>/jour, constitue une pression significative sur la ressource nécessitant un suivi rigoureux pour garantir la durabilité de l'exploitation. A cet effet, le CNRE a récemment réalisé quatre piézomètres à Boulanouar pour le suivi de la nappe (Cf. Figure 1).

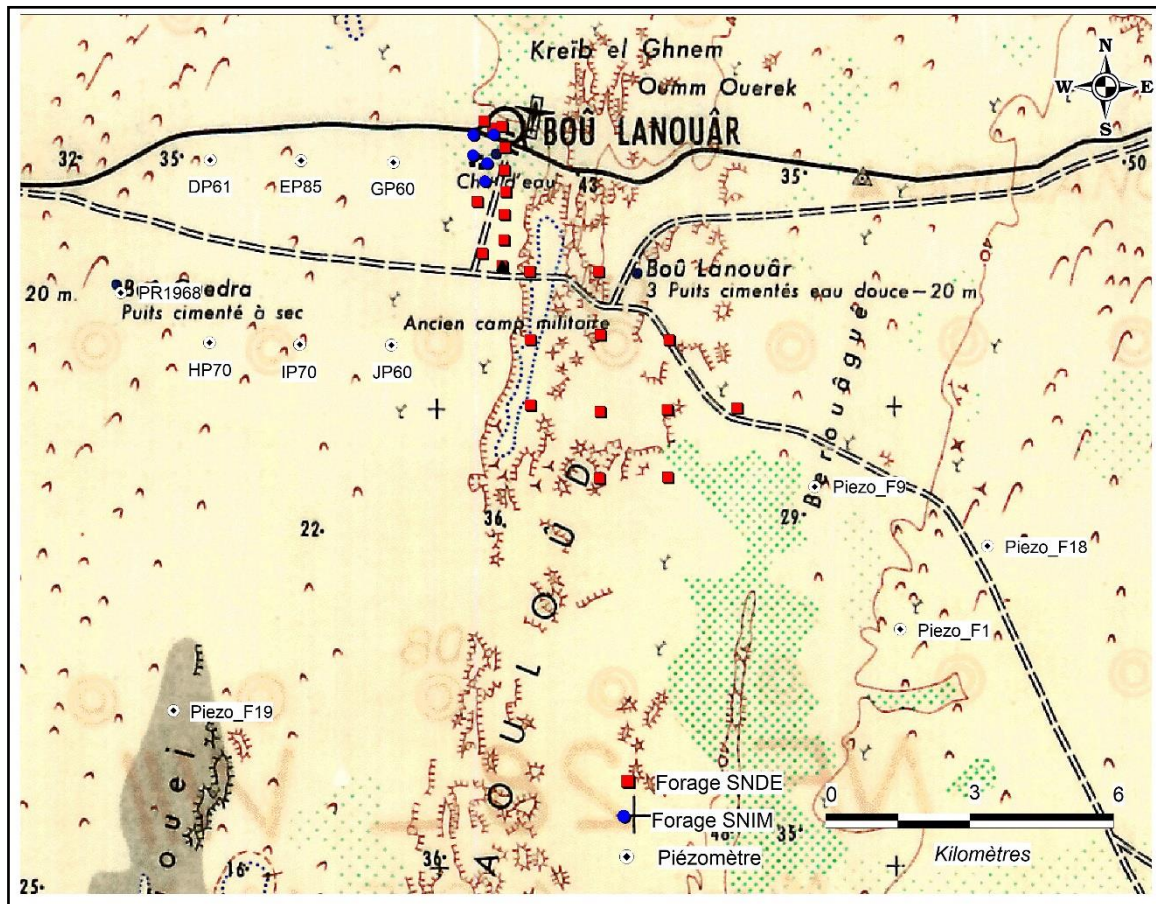


Figure 1. Plan de positionnement des forages en fonction des exploitants et localisation des piézomètres.

## 4.2. Analyse piézométrique et profondeur de la nappe

L'évaluation de la profondeur de la nappe dans la zone pilote de Boulenouar a été réalisée par le croisement de plusieurs sources de données comprenant celles collectées au cours des missions du CNRE en novembre 2025 et les données collectées par notre équipe entre le 14 et le 19 mai 2026.

Le CNRE a réalisé des relevés du niveau de la nappe (19 points) et des mesures de conductivité électrique (10 points) sur des forages d'exploitation du champ captant de Boulanouar et sur 18 piézomètres destinés au suivi des nappes phréatique et sub-phréatique de Boulanouar (Cf. Tableau 1).

**Tableau 1. Données collectées sur le champ captant de Boulouar en novembre 2025 par le CNRE.**

Ouvrage	NS	Q	COND	TDS	%Sal.	T	Nv_Index	Nv_Index	Longitude	Latitude
F21		40	1075	550	2	27	36219	178077	16,522	21,2709
F25		48	972	441	1,7	28	127528	333401	16,52184	21,25757
F29		55	1118	557	2	28	782064	63122	16,52175	21,2447
F30		57	866	433	1,6	29	356971	57317	16,50702	21,24346
F34		64					918662	30238	16,50707	21,2304
F35		69					657518	189864	16,49265	21,23065
F31		30					19133	143109	16,4929	21,24397
F27		62	870	430	1,5	29	515261	79404	16,49255	21,25764
F26		53					900559	7890	16,50707	21,25856
F22		45	930	464	1,9	28	7143	88904	16,50747	21,27099
F32		125					885718	3522	16,47819	21,24435
F14		20					51511	51511	16,52751	21,27716
F7		17					191658	55142	16,53313	21,28459
F10		66					293795	149027	16,5272	21,28656
F11		19					601	55674	16,52744	21,29079
F13		22					509665	93764	16,528	21,29943
F3		22					5429	68614	16,5295	21,29398
F8		44					341022	45242	16,53189	21,30046
F1_SNIM		23	1563	782		29			16,52973	21,29781
F4_SNIM		16	1498	749		28			16,53407	21,29367
F6_SNIM		33	1425	713		34			16,53106	21,29217
F7_SNIM		34	1584	792		35			16,53153	21,28857
F2N_SNIM		15							16,52883	21,2882
F3N_SNIM		14							16,52801	21,28801
DP61	32,23								16,58967	21,29263
DS94	32,23								16,58994	21,29267
EP85	35,27								16,5705	21,29256
ES128	36,23								16,5705	21,29261
GP60	36,25								16,55106	21,29236
GS75	36,27								16,55106	21,29236
HP70 & HS100	Vandalisé								16,58964	21,25675
IP70	35,1								16,57064	21,2565
IS120	36,07								16,57061	21,25653
JP60	34,68								16,55128	21,25644
JS106	35,58								16,55128	21,25644
PR1968	30,46								16,60839	21,26647
Piezo_F18	46,74								16,42536	21,21749
Piezo_F1	36,05								16,44367	21,20109
Piezo_F9	31,33								16,46181	21,22903
Piezo_F19	25,3								16,59689	21,18452
PZ_1_BLN	38,85								16,50718	21,25776
PZ_2_BLN	37,22								16,50722	21,25788
PZ_3_BLN	37,31								16,5064	21,20717
PZ_4_BLN	37,26								16,50528	21,20837

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des niveaux statiques mesurés lors des différentes missions du CNRE, ainsi que les fluctuations observées entre la dernière campagne de mesure et le niveau initial relevé en 1974.

**Tableau 2. Mesures historiques du niveau statique (données CNRE)**

Nom(*1)	NS 1974	août-23	juin-24	nov.-24	juin-25	nov.-25	Rabattement
DP61	31,79	32,05	32,07	32,01	32,12	32,23	0,44
DS94	31,77	32,14	32,17	32,19	32,21	32,23	0,46
EP85	34,71	35,13	35,11	35,21	35,24	35,27	0,56
ES128	34,96	36,16	36,24	36,19	36,21	36,23	1,27
GP60	35,3	36,01	36,07	36,13	36,19	36,25	0,95
GS75	35,3	36,02	36,09	36,13	36,2	36,27	0,97
IP70	34,27	ensevelli	34,99	35,04	35,07	35,1	0,83
IS120	34,74	ensevelli	36,09	36,05	36,06	36,07	1,33
JP60	33,24	35,46	34,54	34,6	34,64	34,68	1,44
JS106	33,74	35,54	35,6	35,52	35,55	35,58	1,84
PR1968	30,14	30,39	30,4	30,44	30,45	30,46	0,32
Piezo_F18		46,05	46,14	46,15	46,17	46,24	0,19
Piezo_F1		34,95	35,26	35,39	35,3	36,05	1,1
Piezo_F9		31,14	31,31	31,27	31,3	31,33	0,19
Piezo_F19		25,26	25,28	25,28	25,29	25,3	0,04
PZ_1_BLN					38,72	38,85	0,13
PZ_2_BLN					36,66	37,22	0,56
PZ_3_BLN					37,16	37,31	0,15
PZ_4_BLN					37,13	37,26	0,13

L'analyse du graphique de l'ensemble des données met en évidence une baisse généralisée du niveau statique sur l'ensemble des piézomètres (Cf. Figure 2).



**Figure 2. Rabattement cumulé entre 1974 et novembre 2025 (en m)**

L'ensemble des 11 ouvrages disposant d'une référence historique enregistre une hausse continue du rabattement entre 1974 et novembre 2025, traduisant un approfondissement de la nappe par rapport à la surface du sol. Le rabattement cumulé moyen sur cette période s'établit à 0,71 m, avec des valeurs comprises entre 0,32 m (PR1968) et 1,84 m (JS106).

La zone centrale se caractérise par un rabattement supérieur à 1 mètre, comme on peut l'observer sur les ouvrages suivants : JS106 (1,84 m), JP60 (1,44 m), IS120 (1,33 m) et ES128 (1,27 m). Ces fortes baisses correspondent à des prélèvements plus intenses (exploitation minière SNIM ou usage domestique).

Les piézomètres de la zone nord indiquent un rabattement modéré (0,5–1 m) : GP60 (0,95 m), GS75 (0,97 m), EP85 (0,56 m), IP70 (0,83 m) et DS94 (0,46 m), suggérant une pression hydraulique notable mais moins critique.

Enfin, les zones périphériques du champ captant de Boulenouar sont associées à un rabattement plus faible (< 0,5 m) observés sur les ouvrages PR1968 (0,32 m), DP61 (0,44 m), Piezo\_F18 (0,19 m), Piezo\_F 9 (0,19 m) et Piezo\_F19 (0,04 m). Elles montrent une nappe relativement stable. Le piézomètre Piezo\_F19, le plus à l'écart de la zone d'exploitation, affiche un rabattement quasi nul.

Sur la période de monitoring récent, les niveaux enregistrés en novembre (2024 et 2025) sont systématiquement plus profonds que ceux mesurés en juin, confirmant l'effet de la saison sèche et une légère progression du rabattement d'une année sur l'autre. Cette tendance indique que la recharge annuelle ne compense pas intégralement les prélèvements.

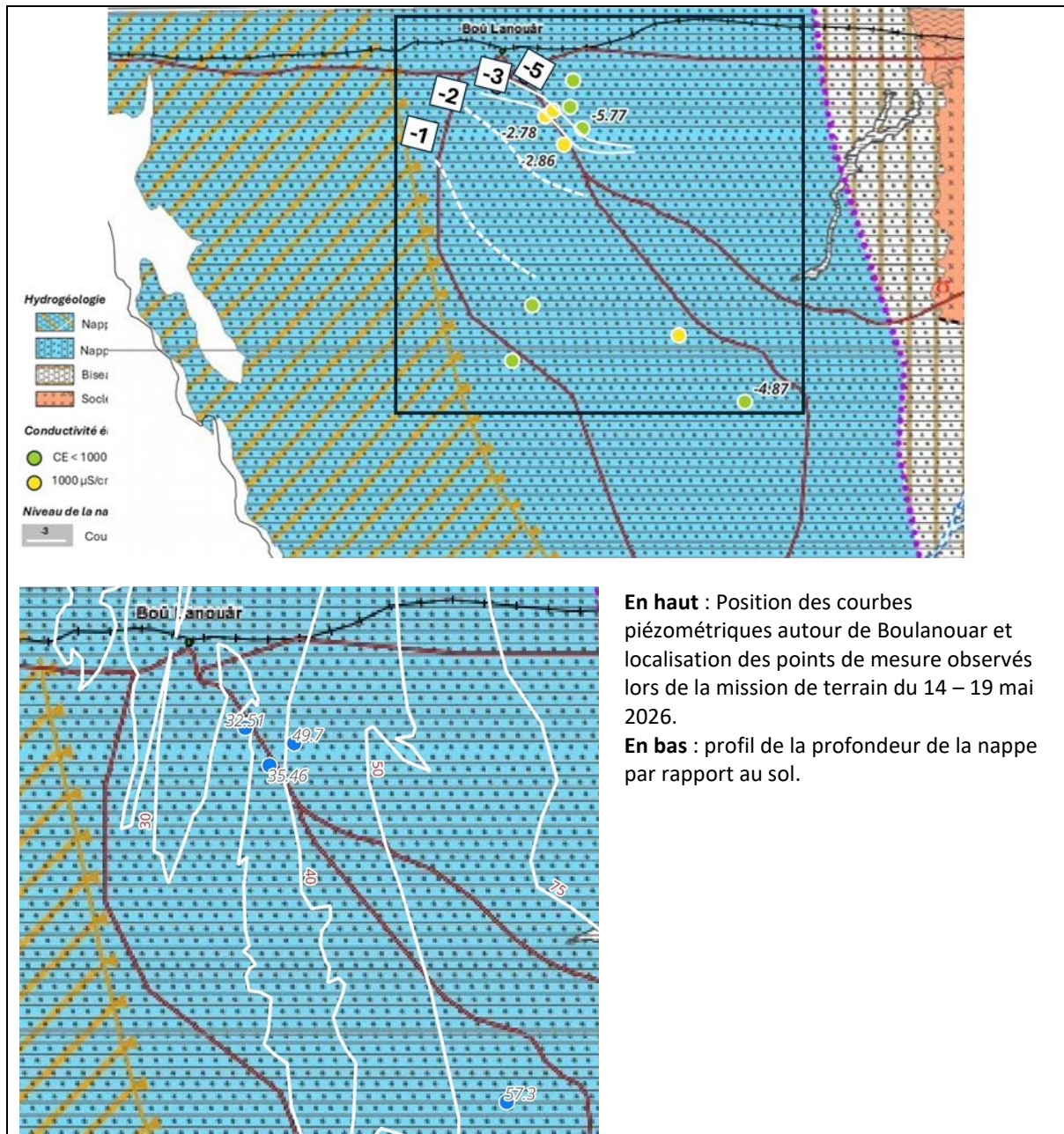


Figure 3. Esquisse piézométrique et profondeur de la nappe issues des observations de terrain lors de la mission du 14 – 19 mai 2026.

Les quatre nouveaux piézomètres PZ\_1 à PZ\_4\_BLN, dont les premières mesures datent de juin 2025, enregistrent déjà entre 0,13 et 0,56 m de rabattement sur un seul semestre, suggérant qu'ils sont implantés dans une zone de pompage actif ou à proximité d'une zone de drainage en relation hydraulique avec une zone de pompage actif.

Ces observations sont conformes aux résultats de la mission de terrain organisée par notre équipe entre le 14 et le 19 mai 2026 (Cf. Figure 3). En effet, les côtes piézométriques, proches de zéro quelques années auparavant, se retrouvent maintenant entre -2 et -6 mètres dans la zone pilote, avec des profondeurs oscillant entre 30 et 50 mètres par rapport au sol.

### 4.3. Corrélation profondeur et minéralisation des eaux souterraines

La minéralisation de la nappe est suivie par la mesure de la conductivité de l'eau au niveau de quelques forages d'exploitation. Les données de conductivités collectées par le CNRE en novembre 2025 sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 3. Variations de la conductivité (COND) exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  entre juin 2024 et novembre 2025 (données CNRE)

Ouvrage	juin-24			nov-24			juin-25			nov-25			Variation
	COND	TDS	T	COND	TDS	T	COND	TDS	T	COND	TDS	T	
F21	985	493	30	1028	515	28	1082	537	27	1075	550	28	47
F25	813	406	28	912	457	28	953	476	28	972	441	28	60
F29	850	426	29	1098	548	28	1073	539	28	1118	557	28	20
F30	674	338	34	796	397	36	857	428	29	866	433	36	70
F27	449	328	30	741	374	33	838	420		870	430	33	129
F22	857	429	29	900	451	29	953	475		930	464	29	30
F1_SNIM	1259	630	29	1376	688	29	1411	706	29	1563		29	187
F4_SNIM	1210	605	28	1319	660	28	1354	677	28	1498		28	179
F6_SNIM	1049	525	34	1202	601	34	1237	619	34	1425		34	223
F7_SNIM	1042	521	35	1278	639	35	1313	657	35	1584		35	306
F1N_SNIM	1141	570	28										
F2N_SNIM	1550	780	28										
F3N_SNIM	2063	1031	28										

On remarque que la conductivité électrique (COND) augmente dans l'ensemble des ouvrages suivis sur la période juin 2024 – novembre 2025 par le CNRE (Cf. Figure 8). Cette hausse uniforme traduit une concentration progressive des solutés dissous, cohérente avec la baisse du niveau piézométrique observée sur la même zone.

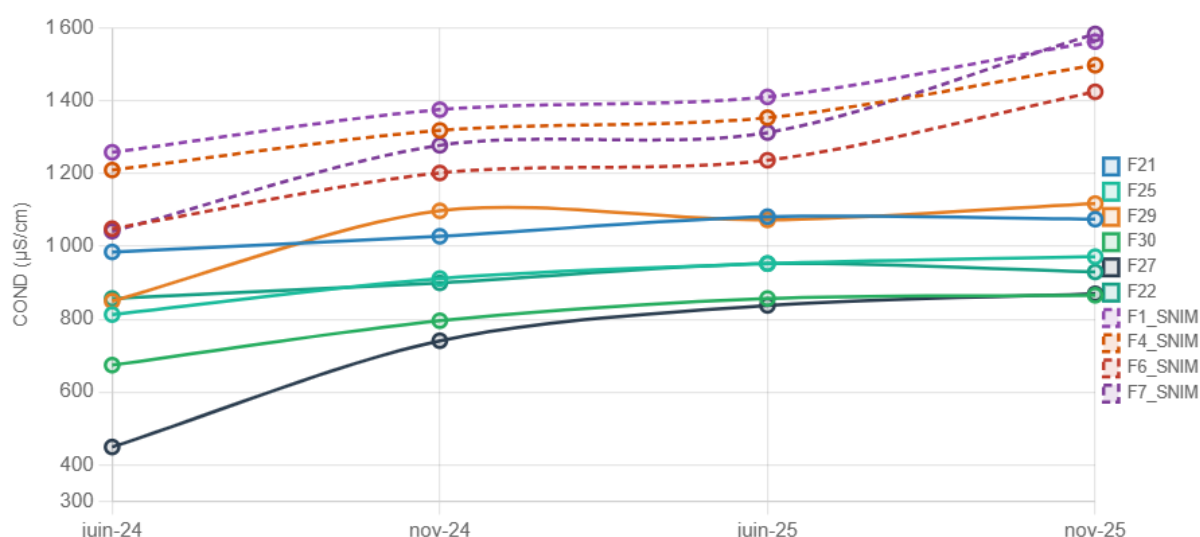


Figure 4. Evolution de la conductivité électrique entre juin 2024 et novembre 2025 (données CNRE)

Deux groupes se distinguent nettement. Les forages SNIM (F1 à F7\_SNIM) correspondent à une minéralisation forte et croissante. Ces ouvrages présentent les conductivités les plus élevées : de +179  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (F4\_SNIM) à +306  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (F7\_SNIM), soit des augmentations relatives de 15 à 29 % en

18 mois seulement. Leurs valeurs absolues de conductivité électrique (1 425 à 1 584  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en nov-25) les placent dans une gamme de minéralisation déjà élevée.

Une évolution plus modérée mais préoccupante est observée dans les autres forages F (réseau général) où la conductivité électrique varie de +20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (F29, 2 %) à +129  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (F27, 29 %). F27 est le cas le plus alarmant du groupe : sa conductivité électrique passe de 449  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (la plus faible en juin 2024) à 870  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en novembre 2025, soit un doublement en 18 mois, signal d'une recharge fortement déséquilibrée et/ou d'une influence de biseau salé/contamination latérale.

F27 ( $\Delta\text{COND} = +129 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) est spatialement proche de JP60 et JS106, qui enregistrent les rabattements les plus élevés (1,44 m et 1,84 m). Cette observation suggère une baisse de la nappe réduisant la dilution naturelle et concentrant les ions.

F21 et F22 ( $\Delta\text{COND}$  modéré,  $\sim 30\text{--}47 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) correspondent à une zone piézométrique moins affectée par la baisse du niveau de la nappe (DP61 : 0,44 m).

Les forages SNIM, bien que sans référence de niveau statique en 1974, montrent une dynamique de minéralisation continue et accélérée qui suggère des rabattements locaux significatifs.

Cette évaluation préliminaire sur la zone pilote sera élargie à l'ensemble de la zone d'étude et complétée dans les phases suivantes. Dans le cadre des missions futures, un nivellement topographique sera réalisé sur les ouvrages, ce qui permettra une évaluation plus rigoureuse de la piézométrie.

## 5. Inventaire des écosystèmes dans la zone pilote

L'unité de base à laquelle les GDE sont rattachées est l'«écosystème». Un écosystème est défini comme « Une unité fonctionnelle composée de tous les organismes vivants (plantes, animaux et micro-organismes) d'une zone donnée, et de tous les facteurs physiques et chimiques non vivants de leur environnement, liés entre eux par le cycle des nutriments et le flux d'énergie » (Province de la Colombie-Britannique, 1995). Chaque type de GDE est donc un groupe d'organismes vaste mais distinct, défini par une combinaison de facteurs géologiques, de caractéristiques géomorphologiques et de paramètres physico-chimiques. Ces attributs déterminent les habitats et la composition en espèces/communautés de l'écosystème. Par conséquent, chaque écosystème est une unité spatiale finie (une zone cartographiable définie) d'espèces contrôlées par des facteurs abiotiques spécifiques, délimitables dans le paysage.

Les paragraphes qui suivent présentent, dans un premier temps, le contexte global de la zone pilote, avant de présenter, dans un second temps, la méthodologie développée pour déterminer des unités écologiques pertinentes par rapport à la problématique (inventaire des GD dans la zone pilote de Boulenouar) et ensuite les unités écologiques identifiées.

### 5.1. Contexte global de la zone pilote

#### 5.1.1. Contexte écologique et climatique

Le territoire mauritanien est subdivisé en quatre grandes zones écologiques : la zone saharienne au nord, la zone sahélienne au centre et au sud, la façade maritime à l'ouest et la vallée du fleuve Sénégal au sud. Chacune possède ses propres caractéristiques écologiques et faunistiques.

La zone pilote, située sur la commune de Boulenouar, se trouve au nord-ouest de la Mauritanie entre la péninsule de Nouadhibou et l'intérieur saharien. Elle appartient principalement aux domaines écologiques saharo-désertique et côtier atlantique. Les écosystèmes y sont arides et adaptés à des conditions climatiques extrêmes caractérisées par de faibles précipitations, une forte évaporation, des vents importants et de fortes amplitudes thermiques. La zone est entièrement située en domaine saharien hyper-aride où les précipitations sont très faibles, généralement inférieures à 100 mm/an.

Les pluies sont rares, irrégulières et imprévisibles, avec quelques averses estivales entre juillet et septembre et avec parfois des années totalement sèches.

La position intermédiaire de Boulenouar entre le désert continental et la façade atlantique confère toutefois à la zone plusieurs particularités climatiques. L'influence du courant froid des Canaries contribue à modérer les températures du proche côtier, généralement comprises entre 18 °C et 33 °C selon les saisons. La zone est également soumise à des brouillards côtiers fréquents et à une humidité atmosphérique relativement élevée (environ 67 % en moyenne - Boulet et Nahon, 1970) malgré l'absence de pluies régulières. Cette humidité joue localement un rôle important dans le maintien de certaines formations végétales malgré l'extrême faiblesse des précipitations.

Les vents dominants sont principalement les alizés du nord-est, secs et réguliers, l'Harmattan chaud et poussiéreux provenant du Sahara, ainsi que les vents marins atlantiques plus humides et rafraîchissants. Ces vents participent à la mobilité des dunes, à l'érosion éolienne et au transport de particules fines.

La biodiversité de cette zone est fortement contrainte par les conditions climatiques arides et les processus de désertification. À ces contraintes naturelles s'ajoutent des pressions anthropiques, notamment le surpâturage et les activités humaines, incluant le pompage croissant de l'eau dans la nappe souterraine. L'ensemble de ces pressions contribue à la dégradation des habitats et à l'appauvrissement progressif de la biodiversité faunistique et floristique. Le changement climatique observé au cours des dernières décennies se traduit par une augmentation progressive des températures, une accentuation des sécheresses et une avancée de la désertification.

### 5.1.2. Géomorphologie et hydrologie

La zone pilote de Boulenouar s'inscrit dans un contexte où les paysages sont dominés par des formations désertiques minérales comprenant des plaines pierreuses ou sableuses (regs pierreux ou sableux), les dunes mobiles (Barkhane), les vallées sèches concentrant des écoulements temporaires (oueds), et localement des dépressions salées (sebkha) (Cf. Figure 8).

Les systèmes dunaires occupent une place importante dans la région et sont caractérisés par une forte mobilité des sables sous l'action des vents dominants. Cette mobilité influence directement la répartition des zones ensablées et la répartition de la végétation associée.

Au sein de ce contexte désertique, certaines unités géomorphologiques présentent des conditions écologiques particulières :

- Les sebkhas ou dépressions salées concentrent localement des sols salés et de l'humidité, favorisant le développement d'espèces halophytes spécialisées ;
- Les oueds constituent des zones préférentielles de concentration des écoulements temporaires et de transport des sédiments fins, permettant localement le développement d'une végétation plus dense et plus diversifiée que dans les unités désertiques voisines.

**Ces contrastes géomorphologiques et hydrologiques structurent la répartition des habitats et de la végétation dans la zone de Boulenouar.** Ils constituent ainsi la base de la typologie des unités écologiques développée dans le cadre du présent rapport.

Malgré les contraintes climatiques extrêmes, les écosystèmes de la zone de Boulenouar assurent plusieurs fonctions écologiques importantes à l'échelle régionale. Les formations végétales participent à la stabilisation des sols et des dunes, au maintien d'habitats pour une faune saharienne spécialisée et au fonctionnement des systèmes pastoraux traditionnels. Les oueds, les dépressions sableuses et certaines zones salées constituent également des secteurs de concentration de l'humidité et de la biodiversité. Ces unités écologiques jouent ainsi un rôle structurant dans l'organisation des habitats désertiques et dans le maintien des équilibres écologiques locaux.

### 5.1.3. Habitats

Dans ce contexte local, les habitats et les formations végétales sont fortement contrôlés par les contraintes hydriques, la nature des sols et la salinité. Les espèces végétales présentes dans la zone sont principalement des xérophytes, c'est-à-dire des plantes adaptées aux milieux secs et arides. Certaines espèces sont également halophytes c'est-à-dire capables de tolérer des concentrations élevées en sels dans les sols.

Boulenouar se caractérise par un milieu formé principalement de plaines caillouteuses et sableuses, de petites collines gréseuses-calcaires et de dunes mobiles. La flore y est hautement spécialisée pour survivre aux stress hydrique et salin.

Les habitats de la zone ont été subdivisés en quatre grands ensembles :

- **Les habitats des plaines (Reg)** : les regs se présentent comme de grandes étendues plates qui apparaissent souvent sous forme d'une plaine caillouteuse. Ils occupent une grande partie de la zone pilote. Ils abritent une flore très clairsemée, adaptée aux conditions hyperarides, avec parfois de vastes étendues complètement dénudées. Les plantes pérennes y sont quasiment absentes, car l'eau est trop rare et le sol est peu profond. En revanche, dans les rares dépressions, souvent ensablées, où les conditions sont plus favorables au développement de la végétation (humidité, sol) une végétation steppique très clairsemée peut être observées.
- **Les habitats des plaines situées entre des collines ou 'Aïn'** : désigne une zone plate, d'extension plus faible que les regs, située entre des collines gréseuses où la roche mère affleure souvent en surface. Ces secteurs ressemblent aux regs mais présentent localement des accumulations sableuses et une humidité légèrement plus importante dans les dépressions (par concentration des écoulements). Le sol y est peu profond et la végétation est moins abondante que dans les regs ensablés.
- **Les habitats des collines gréseuses ou 'El Carb'** : correspond à des collines gréseuses-calcaires constituées de formations quaternaires calcaro-gréseuses. Les sols y sont très peu développés et la végétation ligneuse quasi absente.
- **Les habitats des écosystèmes des dunes mobiles ou 'Barkhanes'** : dunes de sable mobiles en forme de croissant situées en zone de couloir venteux, parfois organisées en séries de Barkhanes jointives appelées slouk. Leur forte mobilité limite fortement l'installation durable de la végétation.

#### 5.1.4. Disponibilité en eau

Dans la zone de Boulenouar, les précipitations sont faibles (< 100 mm / an) et l'évaporation très forte. La disponibilité de l'eau pour les plantes est donc très limitée et les sols ne peuvent retenir qu'une faible réserve utile.

Le fonctionnement hydrologique de la zone est majoritairement endoréique. Les eaux de ruissellement ne rejoignent généralement pas l'océan mais s'accumulent temporairement dans des dépressions topographiques, des oueds ou des secteurs sableux où elles peuvent s'infiltrer dans les premiers horizons du sol (et parfois contribuer à l'alimentation des nappes souterraines). Ce processus contribue à retenir l'humidité dans le sol suffisamment longtemps pour maintenir la verdure des pâturages herbacées et buissonnants.

Les oueds et les dépressions ensablées rencontrées dans les regs constituent des refuges biologiques importants où se développent des formations herbacées et buissonnantes. L'humidité résiduelle stockée dans les alluvions (oueds) et les horizons sableux permet localement le maintien d'une végétation plus abondante que dans les unités désertiques voisines.

L'humidité atmosphérique apportée par les brouillards côtiers et les alizés maritime (environ 67 % en moyenne) contribue également au maintien de certaines formations végétales malgré l'extrême faiblesse des précipitations.

### 5.1.5. Adaptations végétales

Les plantes observées dans la zone pilote sont pour la plupart des xérophytes et halophytes. Elles présentent différentes adaptations morphologiques et physiologiques leur permettant de résister à la sécheresse et à la salinité.

Pour limiter les pertes en eau liées à la transpiration<sup>1</sup>, certaines espèces développent une cuticule cireuse épaisse, comme *Calotropis procera*. D'autres présentent des feuilles réduites, rapidement caduques en période sèche ou transformées en épines comme *Vachellia tortilis* et *Capparis decidua*. Chez certaines graminées comme *Stipagrostis plumosa*, les feuilles peuvent également être enroulées afin de limiter la transpiration.

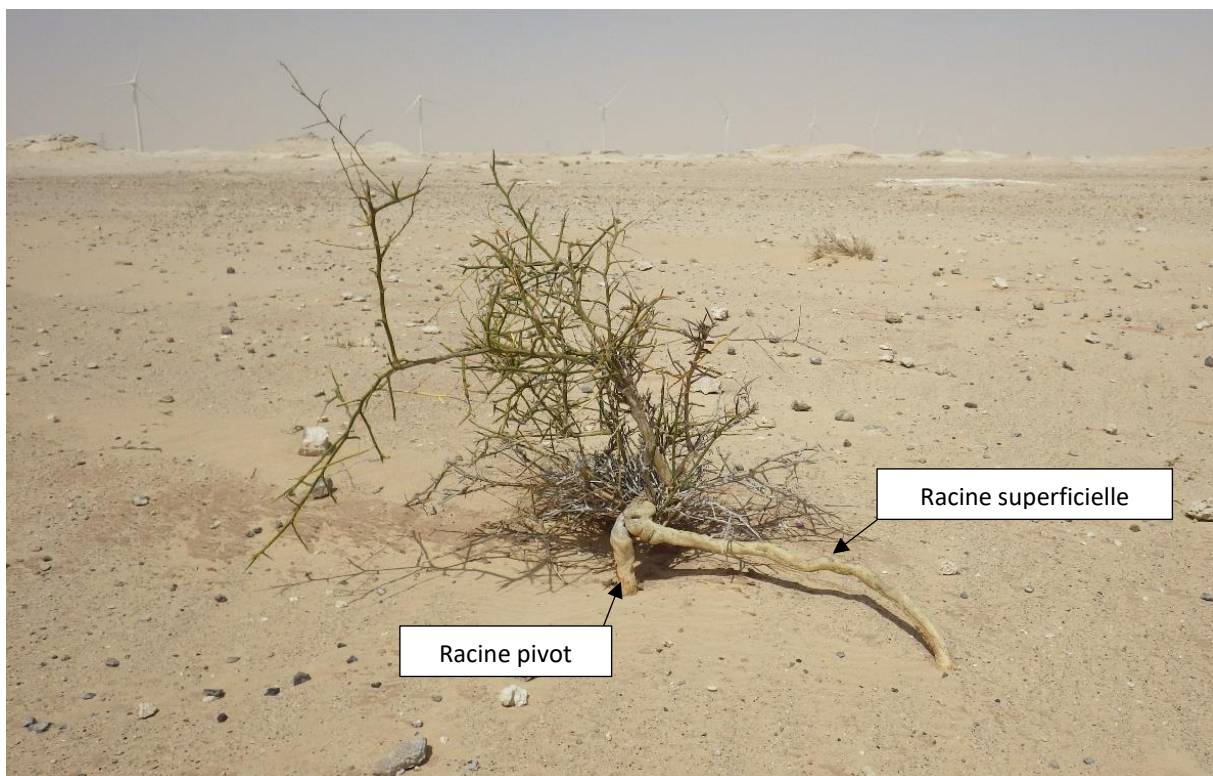
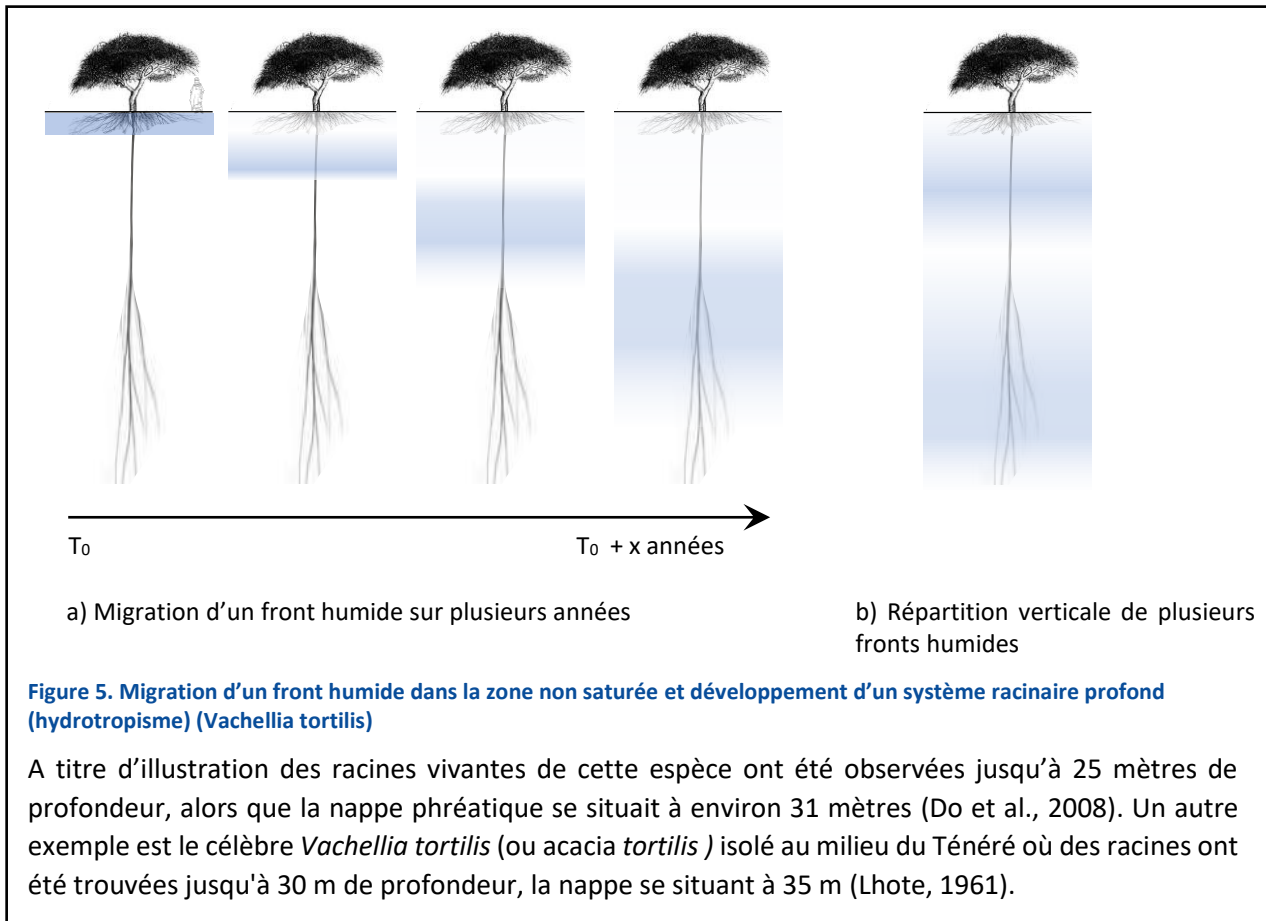
Les espèces halophytes observées localement, notamment *Tetraena gaetula*, *Suaeda vermiculata*, et *Caroxylon imbricatum*, présentent des tissus permettant le stockage de l'eau (tissus dits 'succulents' et une meilleure tolérance aux sols salés et aux conditions de sécheresse prolongée.

Les systèmes racinaires constituent également une adaptation essentielle aux conditions hyper-arides (Cf. *Tableau 4*). Les racines des plantes facilitent l'absorption de l'eau du sol et ont développé un certain nombre de traits adaptatifs tels que l'hydrotropisme qui est la capacité des racines à orienter leur croissance vers les zones du sol riches en humidité. Ce mécanisme de survie permet aux plantes des milieux arides d'optimiser leur enracinement et d'assurer leur approvisionnement en eau. Il explique pourquoi les racines pénètrent dans les sols rocheux fracturés (comme le grès) et absorbent l'eau circulant dans les fissures ou s'évaporant à travers la roche.

#### Un exemple d'adaptation : le système racinaire de *Vachellia tortilis*

Le système racinaire de *Vachellia tortilis* est pivotant et a la capacité de se développer en profondeur. L'eau présente dans les couches superficielles du sol disparaît rapidement après la saison des pluies. Cependant le constat que les arbres transpirent pendant presque toute l'année, malgré une disponibilité en eau extrêmement faible dans les couches supérieures du sol pendant 8 à 10 mois, suggère une utilisation intensive de l'eau en profondeur. Cette humidité en profondeur ne se traduit pas forcément par la présence d'une nappe qui pourrait être atteinte par les racines. De fait l'infiltration des eaux en profondeur peut être très lente du fait de la migration de l'eau dans la zone non saturée (plusieurs années, voire 50 ans dans l'étude de Gaye et Edmunds, 1996). Ainsi le développement racinaire profond peut-être associé à un profil d'humidité profond même sans atteindre le niveau de la nappe.

<sup>1</sup> La transpiration végétale est, chez les plantes, le processus continu causé par l'évaporation d'eau par les feuilles, les tiges et les fleurs.



**Figure 6. Capparis decidua au système racinaire apparent.**

Toutes les espèces végétales observées appartiennent à des cortèges floristiques typiques des milieux sahariens et sahélo-sahariens hyper-arides. Leur maintien dépend principalement de leur capacité à exploiter l'humidité temporairement disponible dans les horizons superficiels du sol, les dépressions sableuses et les formations alluviales des oueds.

### 5.1.6. Tolérance à la salinité

La salinité des milieux en zone proche côtier constitue également un facteur limitant important dans les milieux désertiques. Lorsque les sols sont fortement salés, la végétation est généralement absente. À l'inverse, dans certaines sebkhas ou dépressions humides, la présence simultanée d'eau et de sel permet le développement d'espèces halophytes spécialisées.

La majorité des espèces végétales observées dans la zone pilote présentent une certaine tolérance à la salinité (espèces halophytes). À l'inverse, *Maerua crassifolia* est une espèce qui ne peut se développer que dans un sol pauvre en sel (espèce dit 'glycophyte') et constitue ainsi un indicateur de conditions moins salines.

Les halophytes développent plusieurs mécanismes physiologiques et morphologiques leur permettant de tolérer des concentrations élevées en sels, notamment le stockage de l'eau dans des tissus et la régulation de l'accumulation des sels dans les cellules. Dans ces milieux, les contraintes liées à la salinité et à la sécheresse sont étroitement associées, les sols salés étant physiologiquement secs pour les plantes malgré la présence éventuelle d'humidité.

Tableau 4. Tableau de caractérisation des adaptations des espèces observées sur le terrain

Nom scientifique	Profondeur d'enracinement	Enracinement	Adaptation à la salinité
<i>Vachellia tortilis</i>	Phréatophyte : racines pouvant atteindre plus de 20 m (25 m – Do et al., 2008)	Pivotant + superficiel	Forte tolérance à la salinité
<i>Capparis decidua</i>	Phréatophyte : s'enfonce profondément (4 m) dans le sol	Pivotant + superficiel	Extrêmement tolérante à la salinité
<i>Maerua crassifolia</i>	Phréatophyte	Pivotant + superficiel	Glycophyte (ne supporte pas la salinité)
<i>Calatropis procera</i>	Phréatophyte : s'enfonce verticalement entre 3 et 4 mètres dans le sol.	Pivotant	Halophyte et résiliente face à la salinité
<i>Panicum turgidum</i>	2 mètres de profondeur	Fasciculé	Grande tolérance à la salinité

### 5.1.7. Faune associée

Le présent rapport se focalise principalement sur la flore de la zone pilote. Les principales espèces observées au cours des investigations de terrain sont néanmoins mentionnées dans la description des unités écologiques. Un inventaire plus général des espèces caractéristiques des écosystèmes saharo-désertiques de la région est présenté en annexe du rapport.

## 5.2. Méthodologie

### 5.2.1. Approche générale

L'approche retenue repose sur une démarche écosystémique et fonctionnelle visant à identifier et caractériser les principales unités écologiques présentes dans la zone de Boulenouar ainsi qu'à évaluer leur éventuelle dépendance aux eaux souterraines.

La méthodologie s'appuie sur l'analyse croisée des unités géomorphologiques (relief) et des habitats et ensembles végétaux présents (structure de la végétation, caractéristiques physiologiques ou morphologique des espèces observées). Cette analyse croisée est complétée par l'observation des caractéristiques pédologiques, ainsi que des indices sur les conditions hydrologiques superficielles.

L'objectif est d'établir une typologie simplifiée des unités écologiques de la zone pilote de Boulenouar afin d'évaluer dans quelle mesure ces unités écologiques dépendent des eaux souterraines.

La démarche méthodologique comporte **quatre étapes** :

- **Étape 1 : Identification des unités géomorphologiques** structurantes
- **Étape 2 : Caractérisation de la végétation** de chaque unité
- **Étape 3 : Analyse croisée** des éléments géomorphologiques et de la végétation au regard des informations pédologiques et des conditions hydrologiques superficielles observées
- **Étape 4 : Élaboration d'une typologie** des unités écologiques et évaluation de leur dépendance des eaux souterraines.

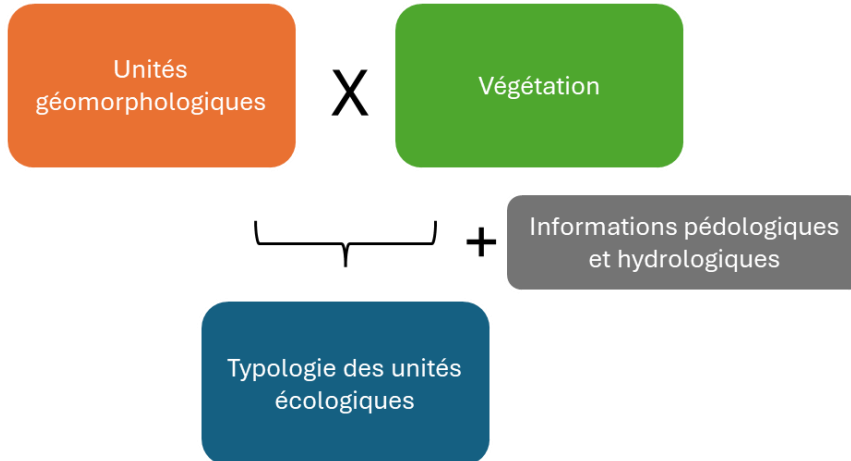


Figure 7. Schéma de l'approche méthodologique utilisée pour définir la typologie des unités écologiques

### 5.2.2. Démarche détaillée

#### Étape 1 - Identification des unités géomorphologiques

La première étape de l'étude a consisté à identifier les principales unités géomorphologiques structurantes de la zone de Boulenouar (ex : regs, dunes, aïn, oueds, etc.). Cette identification repose sur les observations de terrain concernant :

- le relief (plateau, dunes mobiles, dépressions, etc.),
- les dynamiques sédimentaires visibles (zones d'érosion, d'accumulation),

Cette approche a permis de distinguer plusieurs grandes unités morphologiques représentatives des paysages désertiques de la zone pilote : les regs caillouteux, les regs ensablés, les dunes mobiles, les oueds (hors zone pilote), ainsi que des collines gréseuses et secteurs rocheux. Ces unités constituent le support spatial principal de l'analyse écologique et hydrologique réalisée dans le cadre du rapport (Cf. Figure 8).

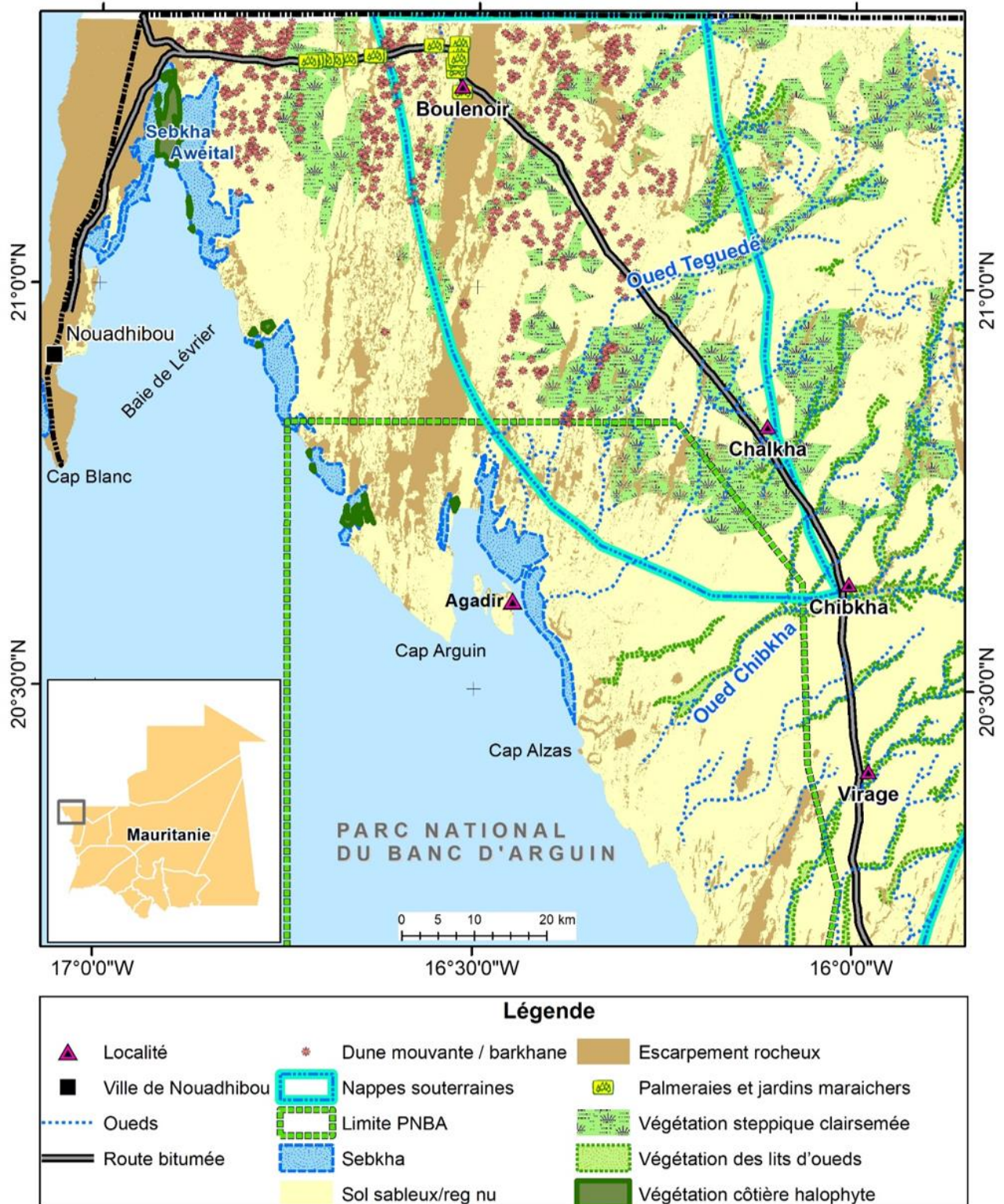


Figure 8. Carte des unités paysagères de la zone de Boulenouar

## Étape 2 - Caractérisation de la végétation

Chaque unité géomorphologique identifiée a ensuite fait l'objet d'une caractérisation de sa végétation sur le terrain. Cette caractérisation repose principalement sur :

- l'analyse de la structure générale de la végétation (présence d'espèces végétales ligneuses vs. herbacées),
- l'appréciation de la densité du couvert végétal (généralement rare et clairsemé),
- l'identification des espèces végétales indicatrices d'eau (ou de présence de sel).

Une attention particulière a été portée aux espèces présentant des adaptations spécifiques aux conditions arides ainsi que certaines espèces potentiellement phréatophytes<sup>2</sup> susceptibles d'exploiter une humidité profonde (ex : *Vachellia tortilis*).

Les principales espèces animales observées (rarement) ou susceptibles d'être associées à ces habitats (présence de traces, déchets et excréments, restes des animaux, connaissances bibliographiques) ont également été référencées afin de compléter la caractérisation écologique des unités identifiées.

## Étape 3 - Analyse croisée

L'analyse croise les éléments géomorphologiques et de végétation identifiée sur le terrain. Elle permet de définir des unités écologiques et de pouvoir distinguer les écosystèmes contrôlés par les apports pluviométriques ponctuels des écosystèmes contrôlés par une dépendance aux eaux souterraines.

Cette analyse intègre également les informations recueillies lors des observations terrain sur la nature des sols (texture, origine géologique, salinité) et les conditions hydrologiques superficielles supposées (ruissellement ou zones de rétention d'humidité lors de pluies, etc.). Le statut de la végétation (présence et état des feuilles, couleur témoin de sécheresse, taille) fournit également des indices pouvant témoigner de l'utilisation plus ou moins régulière de l'eau. Ces caractéristiques relèvent uniquement des observations effectuées sur le terrain (aucune mesure géochimique n'a été réalisée).

Ainsi, l'analyse croisée permet d'identifier les principaux processus hydrologiques susceptibles d'influencer la présence et l'organisation de la végétation dans la zone d'étude (ex. zones potentielles de rétention des eaux de ruissellement, axes d'écoulement temporaires, dépressions susceptibles de concentrer l'humidité, cuvettes sableuses).

## Étape 4 – Élaboration d'une typologie d'unités écologiques permettant d'évaluer une éventuelle dépendance aux eaux souterraines

La typologie des unités écologiques potentiellement dépendantes des eaux souterraines de la zone pilote de Boulenouar a été élaborée à partir des 3 étapes précédentes, en regroupant investigations terrains et connaissances de la littérature.

Cette typologie repose ainsi sur l'association des unités géomorphologiques, des habitats et espèces végétales indicatrices, des caractéristiques pédologiques, et des principaux éléments de fonctionnement hydrologique identifiés dans la zone d'étude.

---

<sup>2</sup> Qui dépend de la nappe superficielle

Les unités écologiques issues de cette typologie ont ensuite été croisées avec une approche de cartographie SIG/téledétection (Chapitre suivant) afin de localiser les écosystèmes identifiés à l'échelle de la zone pilote.

Cette méthodologie a permis d'identifier sur le terrain les principales unités écologiques représentatives de la zone pilote de Boulenouar et de caractériser leur fonctionnement écologique au regard de la disponibilité en eau. Elle permet d'apporter des éléments structurants concernant la dépendance ou non des écosystèmes aux eaux souterraines sur cette zone.

### 5.3. Résultats de l'inventaire terrain sur la zone pilote de Boulenouar

Les observations sur le terrain ont permis de déterminer **3 unités écologiques distinctes** sur la zone d'étude de Boulenouar :

- **Unité écologique des plaines caillouteuses (Regs) et Aïn (plaines situées entre des collines gréseuses) (Type 1)**
- **Unité écologique des collines gréseuses (Carb) (Type 2)**
- **Unité écologique des vallées sèches (Oued) (Type 3)**

D'autres unités géomorphologiques ont été identifiées dans la zone d'étude pilote de Boulenouar telles que les dunes mobiles (Barkhanes). Ces Barkhanes sont des dunes vives dépourvues de végétation et sont donc exclues de la typologie des écosystèmes dans la suite de ce rapport.

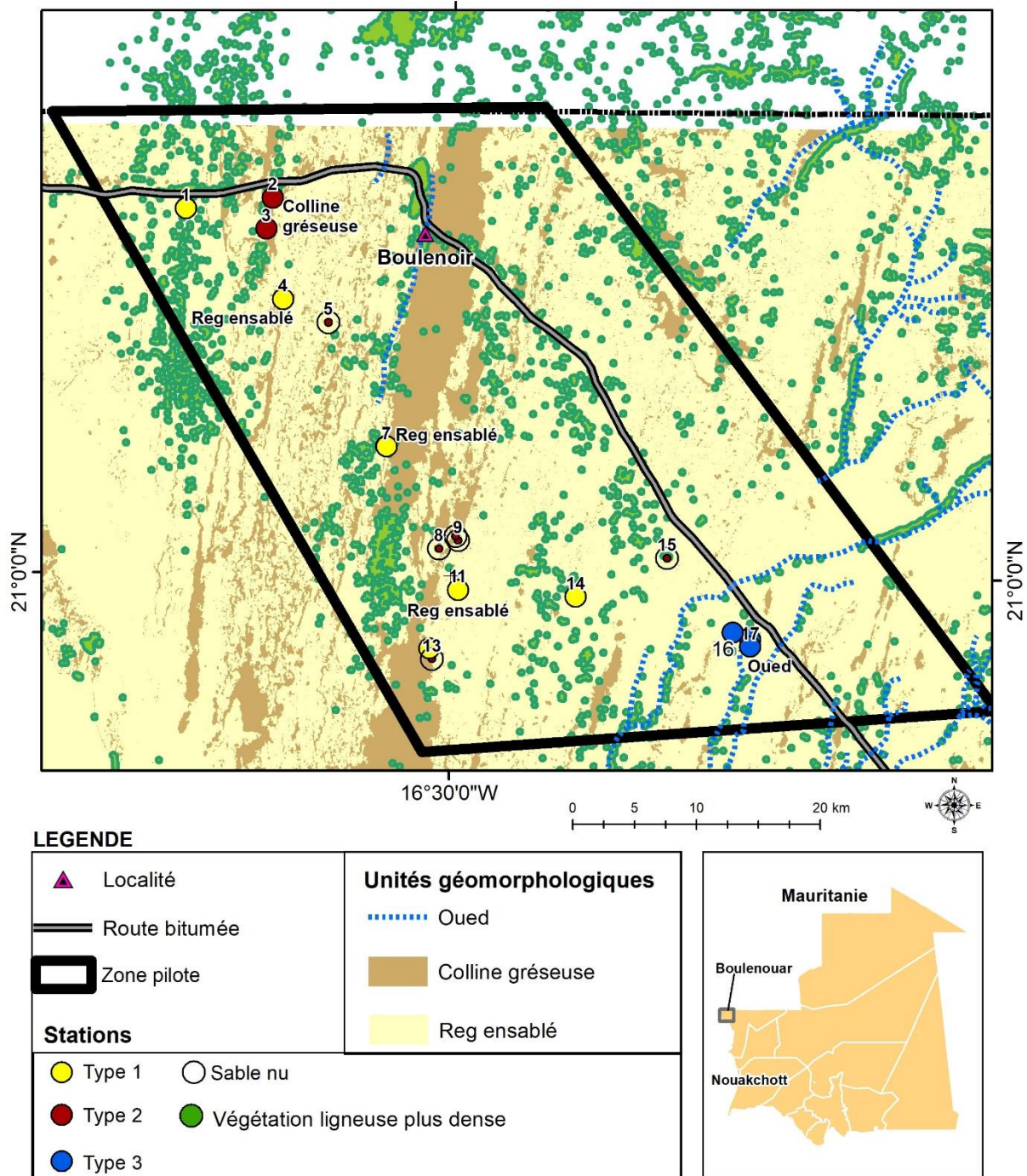


Figure 9. Carte des unités écologiques de la zone pilote de Boulenouar.

### 5.3.1. Unité écologique des plaines caillouteuses (Regs) et des plaines situées entre des collines gréseuses (Aïn)

Sur la zone pilote, 7 stations (1, 4, 6, 7, 11, 12, 14) du transect réalisé sur le terrain ont été identifiés comme faisant partie de cette unité écologique. Ces stations occupent une grande partie de la zone d'étude (Cf. Figure 9).

### Description géomorphologique

De manière générale un reg se présente comme une grande étendue plate qui apparaît souvent sous forme de plaines caillouteuse avec une altération de la roche mère et un sol quasi inexistant. Tandis que les Aïn<sup>3</sup> sont moins étendus et se situent entre deux collines gréseuses où la roche mère affleure souvent en surface.

Le peuplement végétal qui colonise les deux types de paysage se ressemble. Ces paysages présentent des parties ensablées et des dépressions qui bénéficient des produits de l'érosion éolienne, et où le sol est peu profond et sableux permettant ainsi l'implantation de la végétation.

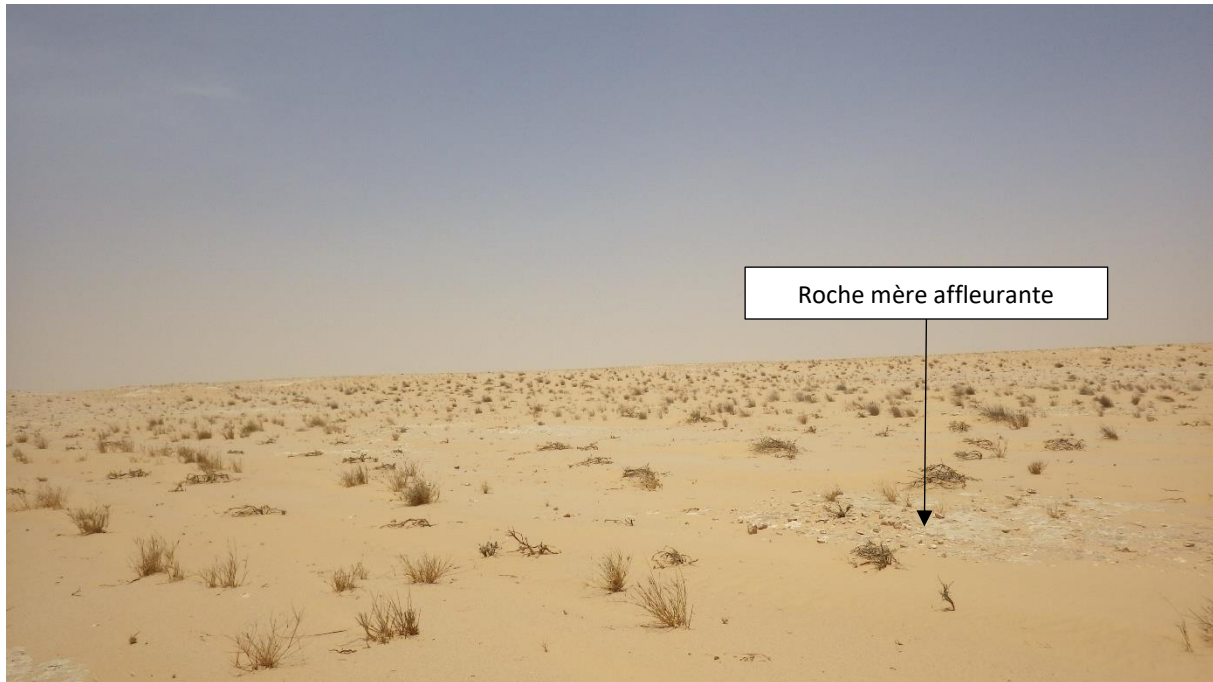


Figure 10. Reg ensablé (*Nucularia perrinii*, *Panicum turgidum*, Station 6).

---

<sup>3</sup> Nous gardons ici le singulier pour l'écriture Aïn même quand il s'agit du pluriel



**Figure 11. Reg ensablé (vue du drone)**

Ces deux unités géomorphologiques présentent cependant une végétation très similaire. C'est pourquoi nous considérons ces formations géomorphologiques sous la même typologie d'unité écologique. Dans la suite du rapport le terme 'reg ensablé' pourra être utilisé de façon générique, il regroupera alors les deux unités géomorphologiques précitées.



Figure 12. Dépression sableuse au sein d'un reg ensablé (Station 4).



Figure 13. Aïn (Station 7), zone plate située entre des collines gréseuses (au fond) et concentrant les écoulements temporaires.

La dépression de la Figure 12 présente un excellent pâturage de dromadaires composée de *Vachellia tortilis*, *Nucularia perrinii* et *Panicum turgidum*.

### ***Espèces végétales principales***

La végétation de cet écosystème est extrêmement rare et clairsemée. Elle est qualifiée de "contractée". Les formations végétales, souvent limitées aux zones où l'eau s'accumule

temporairement (comme les dépressions), se composent d'espèces adaptées à la sécheresse (xérophytes) et aux sols pierreux. Les plantes pérennes y sont quasiment absentes car l'eau est trop rare et le sol est trop peu profond.

La végétation identifiée lors de l'inventaire terrain représente une végétation steppique buissonnante très clairsemée. Ce type de végétation est observée dans les dépressions ensablées où les conditions sont plus favorables au développement de la végétation (humidité, sol plus abondant).

Dans la zone pilote, cet écosystème se caractérise par la présence d'espèces ligneuses (*Vachellia tortilis*, *Capparis decidua* et *Maerua crassifolia*), des sous arbrisseaux (*Nucularia perrenii*, *Caroxylon imbricatum* et *Suaeda vermiculata*) et des herbacées comme *Panicum turgidum*. La présence d'herbacées est étroitement liée à la pluviométrie et ces espèces sont ciblées pour le pâturage du bétail (dromadaires, chèvres). Cette formation végétale souvent très pauvre et dégradée en raison du surpâturage.

Des espèces accompagnatrices sont également retrouvées de manière plus ponctuelle et en densité plus faible. Sur le terrain, les espèces suivantes ont été identifiées ; pour les sous arbrisseaux : *Launaea arborescens*, *Tetraena gaetula*, *Suaeda vermiculata* et en moindre mesure les espèces herbacées, *Stipagrostis plumosa* et *Euphorbia calyptrata*.



Figure 14. Regs ensablés (à gauche, *Capparis decidua* isolé, Station 12 et à droite, *Maerua crassifolia*, Station 14).



Figure 15. Végétation herbacée (*Panicum turgidum*, Stations 4, 11) et sous-arbustive (*Nucularia perrenii*, Stations 6, 7, 3).

### **Faune associée**

Les plaines caillouteuses et ensablées abritent une faune saharienne adaptée aux conditions désertiques. Sur le terrain, ont été observés des restes de lézard fouette-queue saharien (*Uromastyx dispar flavifasciata*), ainsi que des traces de reptiles psammophiles tels que *Cerastes cerastes*, *Cerastes vipera*, *Psammophis schokari* et *Scincus albifasciatus*. Un passereau saharien *Colius croceus* en vol a également été aperçu. Ces unités écologiques constituent également des zones de pâturage importantes pour le bétail, principalement les dromadaires et les chèvres.



Figure 16. Reste de queue de *Uromastix dispar flavifasciata*

### Dépendance aux eaux souterraines

Toutes les espèces végétales observées au sein des regs ensablés appartiennent à des ensemble floristiques typiques des milieux hyper-arides. Ces espèces présentent un ensemble d'adaptations leur permettant de survivre à une forte évapotranspiration potentielle et à une faible disponibilité en eau dans les horizons superficiels du sol.

Les espèces ligneuses observées, notamment *Vachellia tortilis*, *Maerua crassifolia* et *Capparis decidua*, sont reconnues pour leur forte tolérance à l'aridité et leur capacité à se maintenir dans des environnements recevant parfois moins de 100 mm de pluie par an (Hydroconseil, 2017). *Maerua crassifolia* présente des feuilles de petite taille (Figure 17), et *Capparis decidua* présente des structures épineuses. Ces adaptations permettent de limiter les pertes d'eau par transpiration.



Figure 17. A gauche : épines de *Capparis decidua* ; à droite : feuilles de petite taille de *Maerua crassifolia*.

Chez les espèces sous-arbustives observées localement, telles que *Tetraena gaetula*, *Suaeda vermiculata*, *Caroxylon imbricatum* ou encore *Launaea arborescens*, la présence de tissus succulents permettant le stockage de l'eau permet une tolérance physiologique aux conditions de salinité et

sécheresse prolongée. Ces communautés végétales sont typiquement associées aux zones soumises à une forte sécheresse du milieu.

Les systèmes racinaires de ces espèces sont également adaptés aux milieux désertiques. Les graminées telles que *Panicum turgidum* et les sous-arbrisseaux tels que *Nucularia perrinii* sont particulièrement adaptés pour absorber l'humidité des horizons superficiels grâce à un réseau racinaire relativement étalé dans les premiers décimètres du sol. Les espèces ligneuses *Vachellia tortilis*, *Maerua crassifolia* et *Capparis decidua* possèdent un système racinaire étendu en surface, capables d'exploiter rapidement les faibles apports d'eau liés aux pluies épisodiques et à l'humidité temporairement présente dans les horizons superficiels du sol. Toutefois, des études sur *Vachellia tortilis* montrent que l'espèce est capable de développer des systèmes racinaires profonds dans certains contextes hydrologiques particuliers, notamment le long des oueds ou des vallées alluviales où une humidité profonde peut subsister (Winters et al., 2018).

Les espèces végétales observées dans les unités écologiques de type reg ensablé (sens large) sont dépendantes des apports pluviométriques ponctuels et de l'humidité temporairement retenue dans les horizons superficiels du sol. Les substrats sableux présents localement semblent favoriser une infiltration rapide des eaux de pluie ainsi qu'un stockage temporaire de l'humidité dans les premiers horizons pédologiques, permettant le maintien d'une végétation xérophile adaptée à des conditions hydriques très contraignantes. La seule espèce à développer des racines profondes, *Vachellia tortilis*, utilise en partie l'eau infiltrée en profondeur (front humide) sans pour autant que ses racines atteignent la nappe qui est profonde sur la zone pilote (de 30 à 50 m de profondeur). Quand bien même des racines atteindraient localement la nappe, c'est surtout l'eau du front humide qui est utilisée et de ce fait *Vachellia tortilis* ne dépend pas (dans le sens GDE) des eaux souterraines de la nappe. Ceci est notamment mis en évidence par l'analyse des écosystèmes dans la zone du biseau sec où des individus *Vachellia tortilis* sont bien développés alors qu'il n'y a pas de nappe dans cette zone (Cf. Annexe 2).

Ainsi, au regard des caractéristiques écologiques des espèces recensées et de la profondeur de la nappe dans la zone pilote, **les unités écologiques de type reg ensablé (sens large) présentes dans la zone pilote de Boulouar ne dépendent pas des eaux souterraines.**

### 5.3.2. Unité écologique des collines gréseuses (El carb)

Sur la zone pilote, deux stations (2, 3) du transect réalisé sur le terrain ont été identifiés comme étant situés sur des collines gréseuses. Ces unités écologiques sont présentes sur la zone d'étude mais ne présentent pas toujours de végétation, c'est pourquoi le nombre de stations investiguées est restreint (Cf. Figure 9).

#### **Description géomorphologique**

Les collines gréseuses de la région de Boulouar présentent des reliefs de 5 à 10 m de hauteur formés par l'érosion de roches par l'action du vent. Ces collines émergent souvent au-dessus de plaines caillouteuses ou sableuses (regs) ou encadrent de petites dépressions (Aïn).

Ces formations correspondent aux affleurements sédimentaires gréseux à ciment carbonaté (Quaternaire) ou ferrugineux (Continental terminal) qui s'étendent au nord et à l'est de la péninsule de Nouadhibou.



**Figure 18. Colline gréseuse et *Launarea arborescens* (Station 3).**

***Espèces végétales principales***

La végétation est quasi-absente de ces unités écologiques et, quand elle est présente, elle est très discontinue. Les collines gréseuses et leurs abords accueillent toutefois une steppe clairsemée. On observe plus rarement des spécimens de *Vachellia tortilis*, *Launarea arborescens* ou *Capparis decidua* (cette espèce est généralement associée à des formations du Continental terminal, généralement sculptés par les vents dominants).

Les espèces secondaires observées sont *Panicum turgidum*, *Stipagrostis plumosa*, *Eremobum aegyptiacum*, *Nuccilaria perenii* et *Centropodia forskalii*, mais elles sont généralement plus petites que les spécimens retrouvés dans les regs ensablés.



Figure 19. *Capparis decidua* implanté sur une colline gréseuse.



Figure 20. A gauche : *Suaeda vermiculata* ; à droite : *Centropodia forskalii*.

### **Faune associée**

Les collines gréseuses présentent une faune globalement peu abondante en raison des conditions écologiques très contraignantes et de la faible couverture végétale. On y retrouve principalement du bétail opportuniste, notamment des dromadaires et des chèvres, tandis que la faune sauvage observée reste similaire à celle des plaines voisines mais en densité beaucoup plus faible.

### **Dépendance aux eaux souterraines**

Les espèces végétales observées au niveau des collines gréseuses appartiennent à des ensembles floristiques particulièrement adaptés aux conditions hyper-arides et aux substrats rocheux pauvres en sol. La végétation y est très discontinue et généralement de faible développement, traduisant des conditions écologiques plus contraignantes que celles observées dans les regs ensablés. La faible épaisseur de sol disponible limite fortement la rétention hydrique, l'enracinement et le développement de la végétation (Cf. Figure 19).

Les observations de terrain montrent par ailleurs que les individus présents sur les collines gréseuses sont généralement de plus petite taille que ceux observés dans les regs ensablés ou les vallées alluviales, traduisant des conditions d'accès à l'eau plus limitantes. Les contraintes liées au sol sont

également plus importantes (faible profondeur, présence d’affleurements rocheux proches de la surface) et peuvent limiter le développement racinaire.

De même que pour les regs, les espèces observées présentent des adaptations typiques des milieux désertiques xériques, incluant une réduction de la surface foliaire, des feuilles rapidement caduques, des tissus limitant les pertes d’eau, ainsi qu’une forte tolérance aux conditions de sécheresse prolongée. Les espèces xérophiles et halophytes, telles que *Suaeda vermiculata*, présentent également des mécanismes physiologiques de tolérance au stress (hydrique et salin). En effet, *Suaeda vermiculata* peut prendre dans ces milieux une coloration rougeâtre par accumulation de pigments protecteurs (anthocyaniques) en réponse à un stress hydrique ou salin important (Cf. Figure 20).

La présence éparse de végétation au niveau des collines gréseuses semble principalement liée à la capacité de certaines espèces à exploiter localement l’humidité issue des précipitations occasionnelles, des écoulements diffus ou de l’humidité atmosphérique apportée par les influences océaniques. Dans la région de Boulenouar, les apports d’humidité liés aux brouillards et aux alizés maritimes peuvent contribuer au maintien d’une humidité superficielle temporaire et favorable au développement d’une végétation xérophile très spécialisée.

**Au regard des caractéristiques géomorphologiques des collines gréseuses, de la faible disponibilité en sol et des espèces végétales observées, cette unité écologique ne dépend pas des eaux souterraines.**

### 5.3.3. Unité écologique des vallées sèches (Oueds)

Sur la zone pilote, deux stations (16, 17) ont été identifiés comme étant situés au sein d’un Oued lors des investigations terrain. Plusieurs vallées sèches de ce type sont présentes dans la zone pilote de Boulenouar, bien que les deux stations étudiées correspondent au même Oued (Cf. Figure 9).

#### **Description géomorphologique**

Les oueds correspondent à des vallées sèches façonnées par des écoulements temporaires liés aux précipitations occasionnelles. Dans la région de Boulenouar, ces unités morphologiques apparaissent généralement sous la forme de dépressions linéaires faiblement encaissées traversant les regs ou les secteurs sableux. Leur tracé est souvent matérialisé par une légère dépression topographique, une accumulation de sédiments fins et une organisation particulière de la végétation.

Les substrats rencontrés au sein des oueds sont généralement composés d’alluvions sableuses à limono-sableuses, parfois enrichies en matière organique par rapport aux unités écologiques voisines. Les oueds correspondent à une infiltration localement plus importante des eaux de ruissellement et une meilleure capacité de rétention hydrique des horizons superficiels.

Les oueds constituent ainsi des zones préférentielles de concentration des écoulements temporaires et des apports sédimentaires dans les paysages désertiques. Ils représentent des unités écologiques particulières en raison de conditions hydriques localement plus favorables que dans les regs ou les dunes environnantes.



Figure 21. Paysage d'Oued (Station 17)



Figure 22. Exemple d'Oued (*Calotropis procera* et *Capparis decidua*).

### **Espèces végétales principales**

La végétation observée au sein des oueds est globalement plus dense et plus développée que dans les autres unités écologiques identifiées sur la zone pilote. Les formations végétales de ces unités écologiques présentent généralement une organisation linéaire suivant les axes d'écoulement des eaux.

Les espèces ligneuses observées dans les oueds sur la zone pilote sont principalement *Vachellia tortilis*, *Maerua crassifolia*, *Calotropis procera* et ponctuellement *Capparis decidua*. Ces espèces présentent généralement une taille plus importante dans les oueds que sur les collines gréseuses ou les regs, traduisant des conditions hydriques relativement plus favorables au sein des vallées alluviales.

Les espèces herbacées et arbustives recensées incluent notamment *Panicum turgidum*, *Citrullus colocynthis* et *Stipagrostis plumosa*, et de manière moins systématique *Nucularia perrinii*, *Tetraena gaetula*, et *Suaeda vermiculata*.



Figure 23. *Calotropis procera*

#### **Faune associée**

Les oueds présentent une faune plus diversifiée que les autres unités écologiques en raison de conditions hydriques localement plus favorables et d'une végétation plus développée. Plusieurs espèces d'oiseaux sahariens ont été observé sur le terrain notamment *Corvus ruficollis*, *Passer simplex*, *Streptopelia vinacea* et *Alaemon alaudipes*, ainsi que des reptiles désertiques comme *Acanthodactylus longipes* et *Varanus griseus*. Ces vallées sèches constituent également des zones de pâturage fréquentées par les chèvres.

#### **Dépendance aux eaux souterraines**

Les espèces végétales observées dans les oueds présentent plusieurs adaptations leur permettant d'exploiter ces ressources hydriques temporaires. Les graminées telles que *Panicum turgidum* ou *Stipagrostis plumosa* développent des systèmes racinaires étendus capables de capter rapidement l'humidité des horizons superficiels après les épisodes pluvieux.

Les espèces ligneuses telles que *Vachellia tortilis* et *Maerua crassifolia* montrent généralement un développement plus important dans les oueds que dans les autres unités écologiques observées sur la zone d'étude. Cette différence témoigne des conditions hydriques localement plus favorables.

Dans certains contextes sahariens, *Vachellia tortilis* est reconnue pour sa capacité à exploiter des ressources hydriques profondes lorsque celles-ci sont accessibles (Do, 2008 ; Winters et al., 2018).



Figure 24. Spécimen de Vachelia tortilis de grande taille (Station 16).

Au regard des observations réalisées sur la zone pilote de Boulenouar et compte tenu de la profondeur connue de la nappe sur cet oued (niveau statique de 57 m de profondeur, mesure réalisée au puit sur la même station), **les communautés végétales observées** dépendent des apports pluviométriques ponctuels et de l'humidité stockée dans les horizons alluviaux de façon plus significative que pour les autres unités écologiques et **ne dépendent pas des eaux souterraines.**

## 5.4. Synthèse des caractéristiques des unités écologiques de la zone de Boulenouar et bibliographie

Tableau 5. Synthèse des caractéristiques des unités écologiques de la zone de Boulenouar

Type d'unité écologique	Description	Espèces végétales indicatrices			Faune caractéristique	Ressource hydrologique
		Ligneuses	Sous-arbrisseaux	Herbacées		
<b>Unité écologique des plaines caillouteuses (Regs) et couloirs d'écoulement (Aïn)</b>	Grandes plaines caillouteuses localement recouvertes d'un sol sableux peu profond présentant une végétation très éparse, principalement herbacée avec quelques ligneux isolés, adaptée aux conditions hyper-arides.	<i>Vachellia tortilis</i> , <i>Capparis decidua</i> <i>Maerua crassifolia</i>	<i>Nucularia perrenii</i> , <i>Caroxylon imbricatum</i> <i>Suaeda vermiculata</i>	<i>Panicum turgidum</i>	Sauvage : <i>Uromastix dispar flavifasciata</i> <i>Cerastes cerastes</i> <i>Scincus albifasciatus</i> <i>Psammophis schokari</i> <i>Cerastes vipera</i> <i>Collas crocea</i> Bétail : dromadaires, chèvres	Espèces dépendantes des apports pluviométriques ponctuels et de l'humidité temporairement retenue dans les horizons superficiels du sol
<b>Unité écologique des collines gréseuses (El Carb)</b>	Reliefs rocheux gréseux à sols très peu développés, accueillant une végétation rare et discontinue fortement contrainte par le manque d'eau.	Rarement <i>Vachellia tortilis</i> , <i>Launarea arborescens</i> <i>Capparis decidua</i>	<i>Nuccularia perenii</i>	<i>Panicum turgidum</i> , <i>Stipagrostis plumosa</i> , <i>Eremobum aegyptiacum</i> , et <i>Centropodia forskalii</i>	Sauvage : similaire aux regs et aïn mais plus rare. Bétail : dromadaires, chèvres	Espèces dépendantes des apports pluviométriques ponctuels, de l'humidité atmosphérique côtière et d'une rétention locale limitée de l'humidité dans les éventuelles fissures rocheuses ou les petits horizons sédimentaires accumulés au pied des reliefs
<b>Unité écologique des vallées sèches (Oueds)</b>	Vallées sèches alluviales au sol composé de sables et limons plus fins et concentrant les écoulements temporaires issus eaux de pluie permettant le développement d'une végétation plus dense et diversifié.	<i>Vachellia tortilis</i> , <i>Capparis decidua</i> <i>Calotropis procera</i> <i>Maerua crassifolia</i>	<i>Nucularia perrenii</i> , <i>Tetraena gaetula</i> , <i>Suaeda vermiculata</i> .	<i>Panicum turgidum</i> , <i>Citrullus colocynthis</i> <i>Stipagrostis plumosa</i> ,	Sauvage : <i>Corvus ruficollis</i> <i>Passer simplex</i> <i>Acanthodactylus longipes</i> <i>vineuse</i> : <i>Streptopelia vinacae</i> <i>Alaemon alaudipes</i> <i>Varanus griseus</i> Bétail : chèvres	Espèces dépendantes des apports pluviométriques ponctuels et de l'humidité stockée dans les horizons alluviaux

## Références bibliographies

- Adam, J.-G. (1962). Itinéraires botaniques en Afrique occidentale : flore et végétation d'hiver de la Mauritanie occidentale. *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée*, IX(3–6), 236 p.
- Adam, J.-G. (1966). La végétation de l'Aftout es Saheli (Mauritanie occidentale). *Bulletin IFAN*, 28(4), 1292–1319.
- Barry, J.-P. & Celles, J.-C. (1991). Flore de Mauritanie. Tome 1 et Tome 2. Université de Nouakchott & Université Nice-Sophia Antipolis, 550 p.
- Boulay, S. & Lecoquierre, B. (dir.). (2011). *Le littoral mauritanien à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle : peuplement, gouvernance de la nature, dynamiques sociales et culturelles*. Paris : Éditions Karthala.
- Boulet, R. & Nahon, D. (1970). Études climatiques et géomorphologiques du littoral mauritanien.
- Boulet, R. & Nahon, D. (1970). Observations pédologiques dans la région de Nouadhibou, République Islamique de Mauritanie. Dakar : ORSTOM ; Université de Dakar, 21 p. multigr.
- Do, F. C., Rocheteau, A., Diagne, A. L., Goudiaby, V., Granier, A. & Lhomme, J.-P. (2008). Stable annual pattern of water use by *Acacia tortilis* in Sahelian Africa. *Tree Physiology*, 28, 95–104.
- Gaye, C.B. and W.M. Edmunds. 1996. Groundwater recharge estimation using chloride, stable isotopes and tritium profiles in the sands of north-western Senegal. *Environ. Geol.* 27:246–251.
- Lebrun, J.-P. (1998). *Catalogue des plantes vasculaires de Mauritanie et du Sahara occidental*. Genève : Conservatoire et Jardin Botanique de Genève.
- Logbdo J. (2001) Caractéristiques du système racinaire de jeunes plants d'*Acacia tortilis* (forsk) et de *Balanites aegyptiaca* (L) Del., en conditions naturelles au Ferlo (Nord-Sénégal)
- Lhote, H. (1961). Au sujet de l'arbre du Ténéré. *Bulletin de liaison Saharienne* 12:49–54.
- Mauritanie Biodiversité. (s.d.). *Écosystèmes de Mauritanie*. Plateforme nationale sur la biodiversité.
- Monod, T. (s.d.). *Le désert de Mauritanie*. Diverses publications et mémoires de l'IFAN sur le Sahara mauritanien.
- Naegele, A. (1977). *Les graminées des pâturages de Mauritanie*. Rome : FAO, 298 p.
- Winters, G., Otieno, D., Cohen, S. et al. (2018). Tree growth and water-use in hyper-arid *Acacia* occurs during the hottest and driest season. *Oecologia*, 188, 695–705. [<https://doi.org/10.1007/s00442-018-4250-z>](<https://doi.org/10.1007/s00442-018-4250-z>)

## 6. Méthodologie pour déterminer la distribution spatiale des écosystèmes dans la zone pilote

La méthodologie développée est présentée ci-après. Elle a permis d'élaborer la carte des unités paysagères de la zone de Boulenouar (Cf. Figure 8) et la carte des unités écologiques de la zone de Boulenouar (Cf. Figure 9).

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes basés sur plusieurs techniques et outils complémentaires afin de cartographier les principales classes d'occupation du sol.

L'approche méthodologique globale est schématisée à la figure suivante.

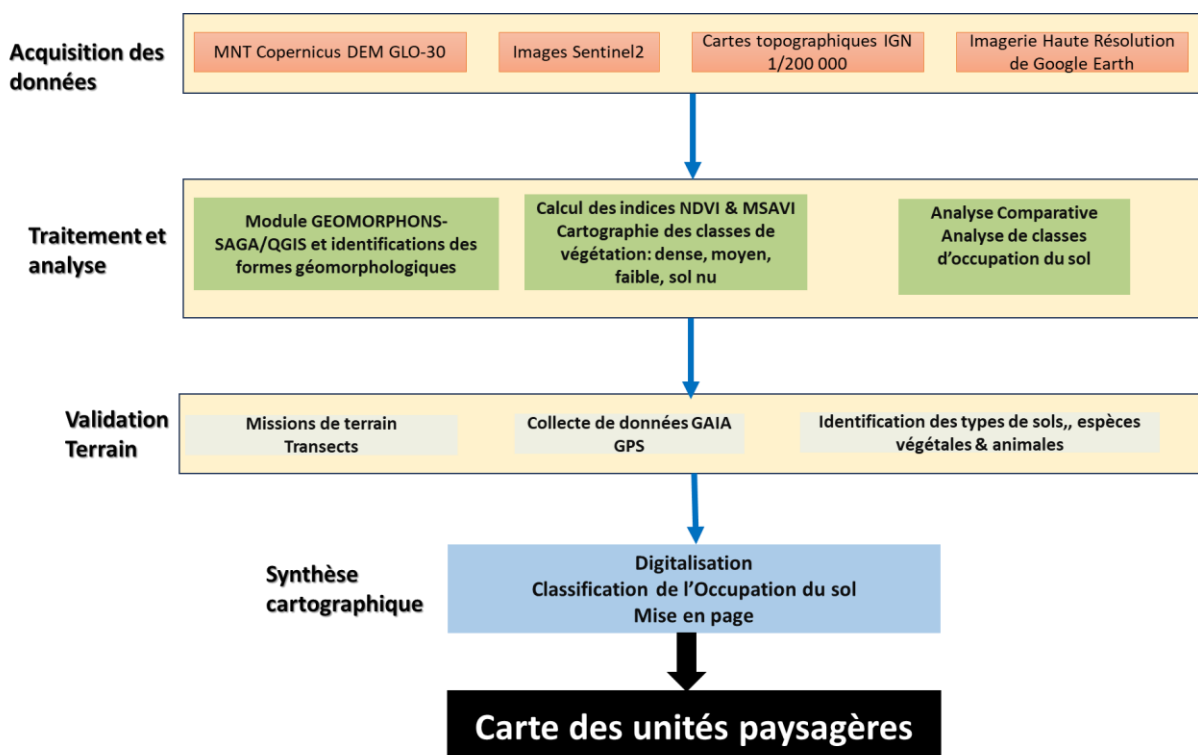


Figure 25. Synoptique de la méthodologie développée pour élaborer la carte des unités paysagères

Les principales étapes de l'approche développée sont présentées ci-après.

### 6.1. Utilisation du modèle numérique de terrain (MNT)

Nous avons utilisé le MNT **Copernicus DEM GLO-30**, qui possède une résolution spatiale de 30 m. Ce modèle a servi à distinguer les formes géomorphologiques plates, telles que les regs, des formes plus accidentées comme les escarpements rocheux.

Dans ce cadre, nous avons utilisé le module **GEOMORPHONS** disponible dans l'environnement **SAGA/QGIS** afin d'extraire les paysages complètement plats ainsi que les autres formes

géomorphologiques plus irrégulières telles que les cuvettes, les pentes abruptes, les crêtes, les dépressions, etc.

## 6.2. Utilisation des cartes topographiques IGN

Les cartes topographiques au 1/200 000 de l'IGN France, publiées dans les années 1960–1970, indiquent la typologie des paysages. Elles ont servi de référence pour enrichir et affiner notre analyse.

## 6.3. Calcul des indices de végétation NDVI et MSAVI

Les indices de végétation **NDVI** et **MSAVI**, calculés à partir des images Sentinel-2, fournissent des résultats relativement similaires pour la détection du couvert végétal. In fine, c'est l'indice NVI qui a été retenu. Les seuils considérés pour distinguer les différentes classes de végétation sont indiqués dans le tableau Tableau 6.

**Tableau 6. Différentes classes de végétation (selon seuils retenus pour l'indice NDVI)**

Valeur NDVI	Classe
Inférieure à 0	Eau
0 à 0,07	Sol nu
0,07 à 0,2	Faible végétation
0,2 à 0,3	Densité moyenne
0,3 à 1	Couvert végétal dense et en bonne santé

L'extraction du signal végétal a été possible pour les touffes denses de plusieurs espèces ligneuses telles que *Vachellia tortilis* et *Capparis decidua*, qui apparaissent parfois sous forme de taches continues.

La végétation confinée dans les oasis, notamment les palmiers et les jardins maraîchers localisés principalement à Boulenouar ou le long de la route reliant Boulenouar à Nouadhibou, apparaît clairement sur les indices de végétation.

Cependant, cette analyse présente certaines limites liées à la résolution spatiale des images Sentinel-2 (20 m pour certaines bandes utilisées), qui ne permet pas toujours d'extraire les petites poches de végétation localisées ni les espèces végétales dispersées ou en stress hydrique durant les périodes de faible pluviométrie.

Ainsi, la végétation herbacée dispersée et certaines formations dominées par des espèces telles que *Nitraria retusa* ou *Panicum turgidum* n'apparaissent pas systématiquement dans le NDVI.

Il convient de rappeler que notre analyse vise à produire une carte à une échelle suffisante pour l'étude des principaux écosystèmes de la zone pilote.

## 6.4. Vérification terrain

Les sorties de terrain ont été réalisées suivant des transects présentant à la fois des gradients longitudinaux et latitudinaux. Ces missions de terrain ont permis :

- De déterminer les types de sols rencontrés ;
- D'identifier la nature du couvert végétal ;
- De relever les principales espèces végétales et animales présentes dans la zone d'étude.

## 6.5. Utilisation de l'imagerie de haute résolution de Google Earth

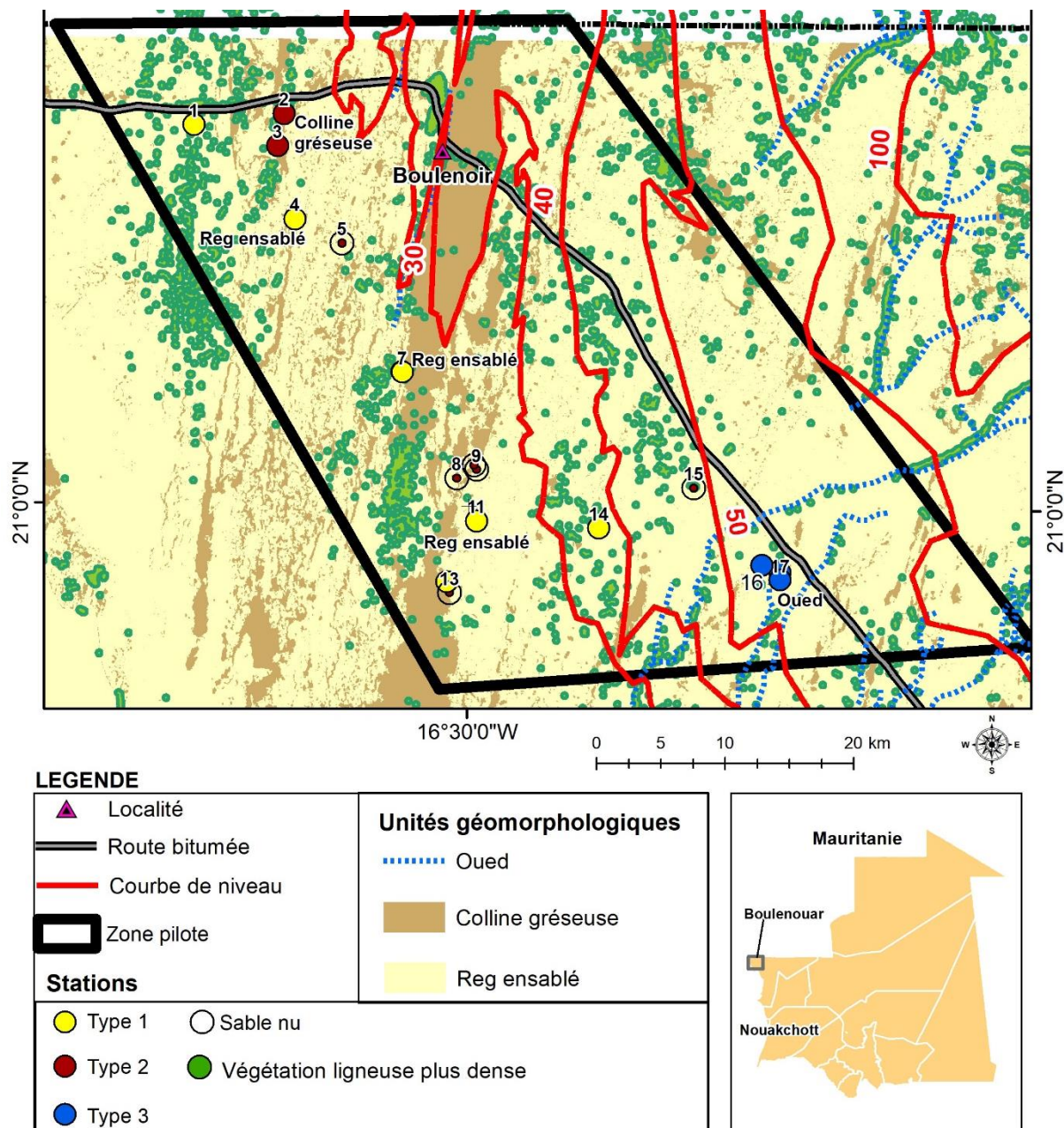
Les résultats de classification obtenus à partir des indices de végétation ont été confrontés aux images satellitaires à haute résolution disponibles sur Google Earth et directement consultables comme fonds cartographiques dans ArcGIS.

## 7. Synthèse

Les données hydrogéologiques ont été collectées sur la zone du champ captant de Boulenouar et ont permis de montrer que la nappe était profonde sur la zone pilote.

Par ailleurs, un inventaire des écosystèmes a été réalisé sur cette zone et a montré que les espèces (végétales et animales) étaient adaptées à un milieu hyper-aride et pouvaient se maintenir uniquement avec l'eau de surface infiltrées dans le sol et l'eau apportée par l'humidité de l'air.

La carte suivante superpose les unités écologiques inventoriées sur la zone pilote et la profondeur de la nappe (Cf. Figure 26).



Ces éléments combinés montrent qu'il n'y a pas d'écosystèmes *dépendant* des eaux souterraines sur la zone pilote.

La seule espèce à développer des racines profondes, *Vachellia tortilis*, utilise en partie l'eau infiltrée en profondeur (front humide) sans pour autant que ses racines atteignent la nappe qui est profonde sur la zone pilote (de 30 à 50 m de profondeur). Quand bien même des racines atteindraient localement la nappe, c'est surtout l'eau du front humide qui est utilisée (Cf. encadré « Un exemple d'adaptation : le système racinaire de *Vachellia tortilis* », p21) et de ce fait *Vachellia tortilis* ne dépend pas (dans le sens GDE) des eaux souterraines de la nappe. Ceci est notamment mis en évidence par l'analyse des écosystèmes dans la zone du biseau sec où des individus *Vachellia tortilis* sont bien développés alors qu'il n'y a pas de nappe dans cette zone.

La figure suivante schématise la profondeur du système racinaire de *Vachellia tortilis* par rapport à la profondeur de la nappe sur la zone pilote (Cf. Figure 27).

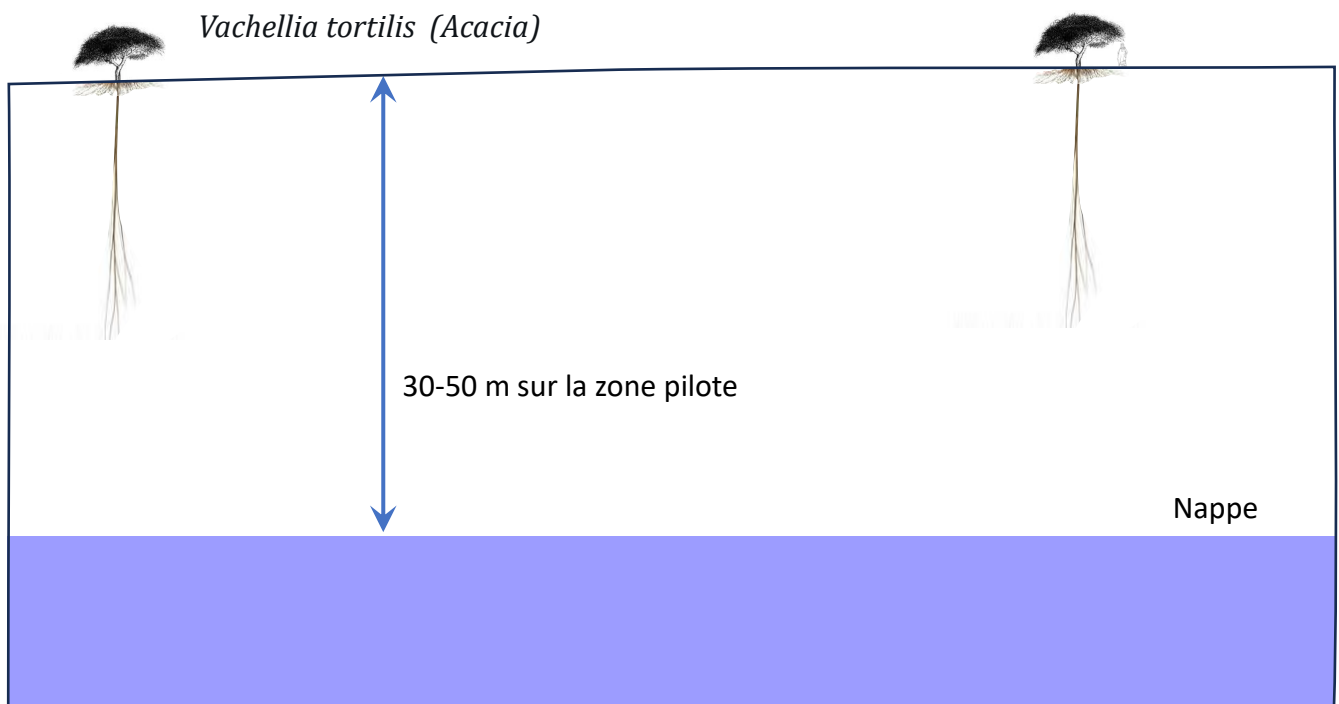


Figure 27. Illustration de la profondeur du système racinaire de *Vachellia tortilis* par rapport à la profondeur de la nappe sur la zone pilote

En conclusion ce rapport a permis de répondre à la problématique associée aux objectifs assignés au livrable.

Il est à souligner qu'il ne préjuge pas de la caractérisation des GDE sur l'ensemble de la zone d'étude.

Enfin, il a permis d'affiner la méthodologie présentée dans la proposition du Groupement et entrevoir des pistes d'ajustement de l'approche développée.

## Annexes

## Annexe 1. Déroulement de la mission terrain

La mission terrain s'est déroulée du 14 au 19 mai 2026.

Les noms et domaine d'expertise des participants sont indiqués dans le Tableau 7 .

**Tableau 7. Participants de la mission terrain**

Ahmedou Ould SOULE	<b>Ecologues</b>
Lemhaba Ould YARBA	
Camilla LIENART	
Moussa ISSEINI	<b>Hydrogéologues</b>
Marc BOISSON	
Adama SALL	
Mohamed Ahmed SIDI CHEIKH	<b>Sigiste</b>
Ahmed OBECK	<b>Droniste</b>
Naji Ould El MAMY	<b>CNRE, Conseiller du Directeur</b>

Le tracé du trajet de la mission terrain est indiqué à la Figure 28.

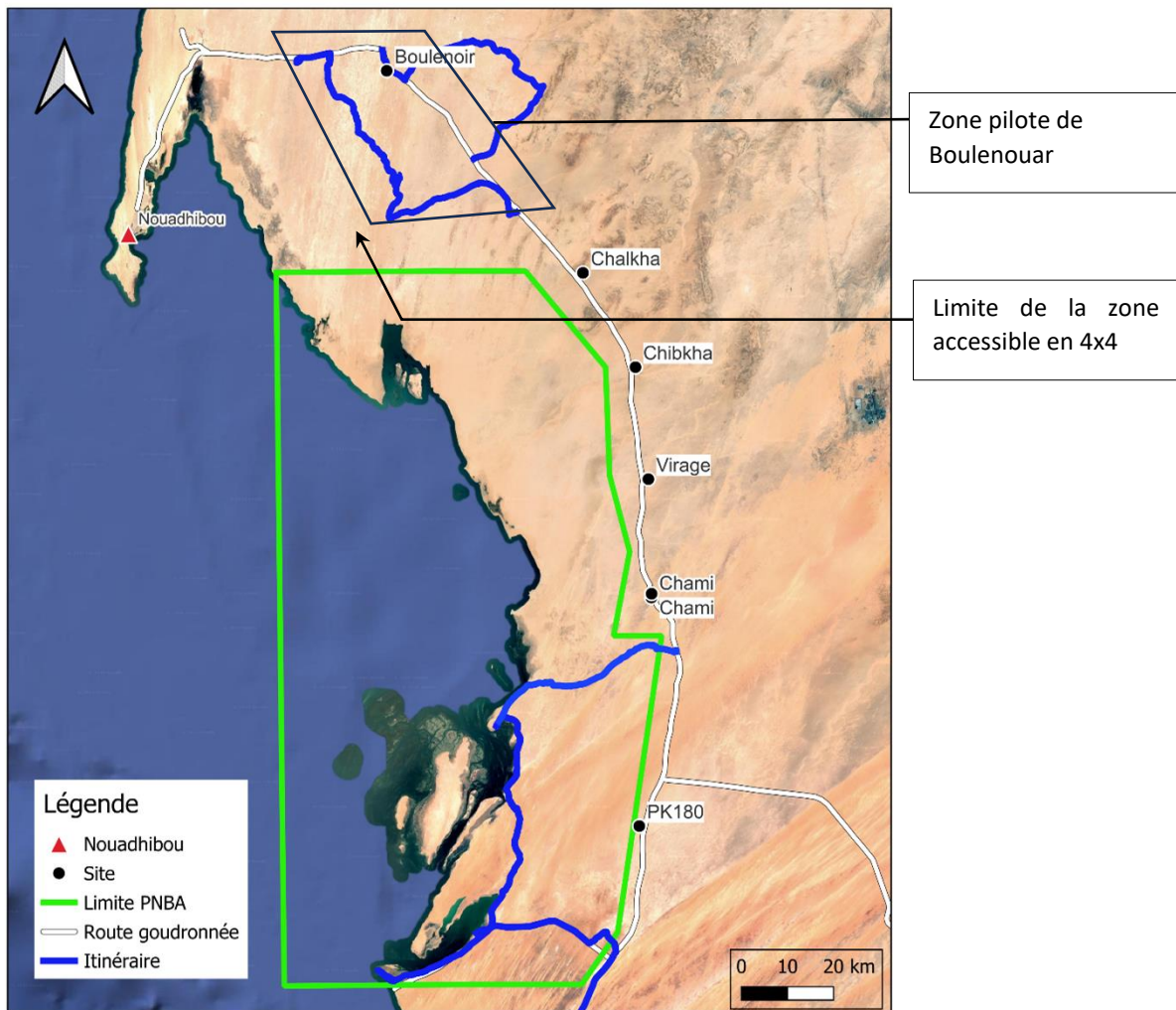


Figure 28. Itinéraire de la mission terrain (14-19 mai 2026)

## Annexe 2. Écosystèmes du biseau sec

Des investigations de terrain ont été réalisées dans la zone du 'biseau sec'. Cette zone correspond à des formations sédimentaires qui sont au contact du socle mais où il n'y a pas de nappe d'eau souterraine.

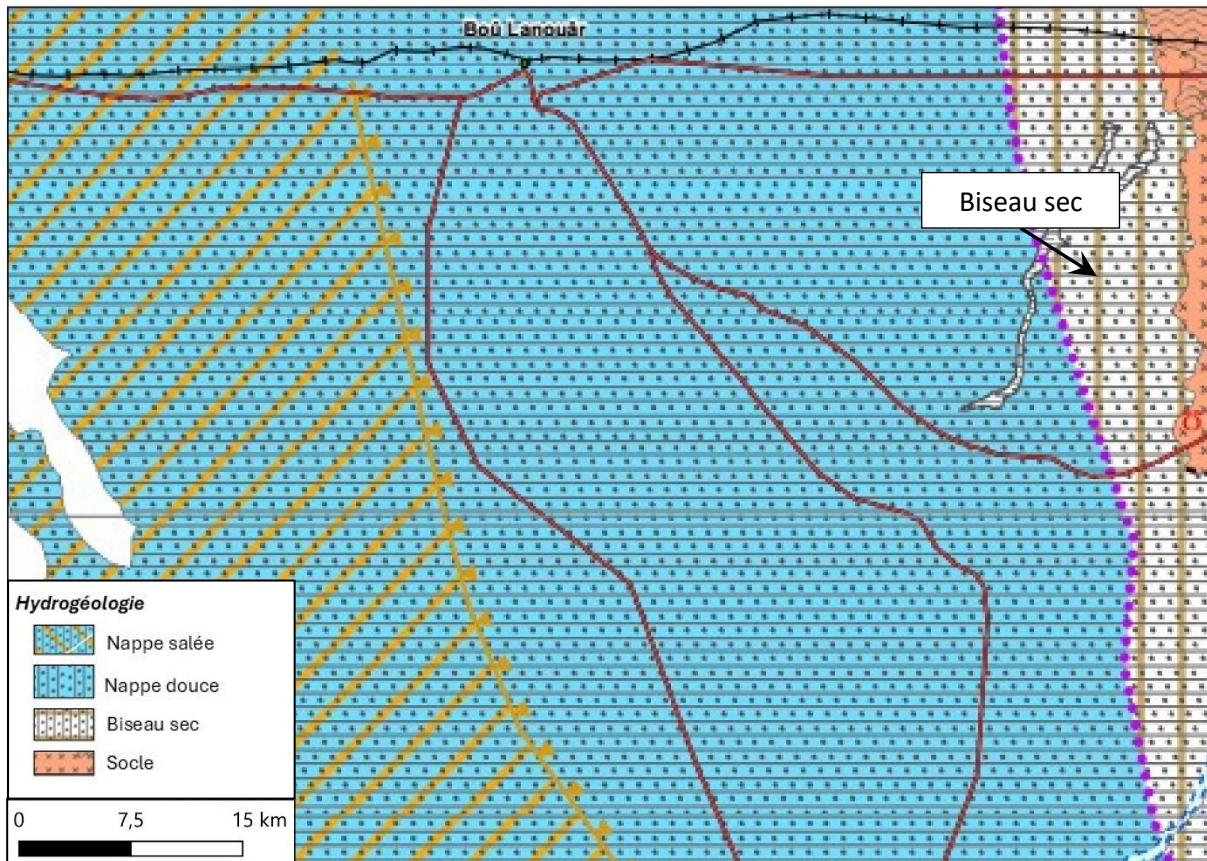


Figure 29. Localisation du biseau sec

L'objectif était de comparer les formations végétales présentes dans ces secteurs avec celles observées sur la zone pilote de Boulouar.

Les observations ont porté sur des unités écologiques représentatives des paysages désertiques locaux :

- regs caillouteux ou ensablés,
- dépressions non salées de type 'Grara'
- dunes mobiles dénudées de végétation.

D'un point de vue géomorphologique, les Graras correspondent à de petites dépressions fermées ou faiblement drainées favorisant une accumulation locale des sédiments fins et de l'humidité superficielle après les épisodes pluvieux.

Les regs observés présentent des caractéristiques similaires à ceux décrits dans la zone pilote de Boulouar, avec des substrats sableux ou caillouteux supportant une végétation steppique très clairsemée.

Les dunes mobiles observées sont quant à elles dépourvues de végétation en raison de la forte mobilité du sable et de l'absence de stabilité du substrat.

La végétation observée dans le biseau sec est globalement comparable à celle rencontrée au niveau du champ captant de Boulenuar. On y retrouve une continuité de la steppe buissonnante à *Nucularia perrinii* qui caractérise l'ensemble de la zone. Les formations végétales sont principalement composées de *Panicum turgidum*, *Maerua crassifolia* et ponctuellement *Vachellia tortilis*.

Du point de vue floristique, on note toutefois l'apparition d'une importante population de *Balanites aegyptiaca* ('dattier du désert') (Cf. Figure 30). Cette espèce semble liée à la continentalité et à l'éloignement de l'influence océanique. En effet, la présence d'un peuplement de *Balanites aegyptiaca* associé à *Maerua crassifolia* traduit des conditions de sols peu salins et donc un éloignement de l'influence marine.

Les espèces végétales observées dans le biseau sec présentent les mêmes adaptations xérophytiques que celles décrites dans la zone pilote : réduction des surfaces foliaires, tissus limitant l'évapotranspiration et systèmes racinaires superficiels permettant l'exploitation rapide de l'humidité issue des pluies occasionnelles.

L'absence de nappe dans cette zone confirme que ces formations végétales dépendent uniquement des apports pluviométriques ponctuels et de l'humidité retenue dans les sols.



**Figure 30. Paysage du biseau sec et sa population de *Balanites aegyptiaca***



**Figure 31. Spécimen de *Balanites aegyptiaca***

## Annexe 3. Espèces animales de la zone pilote

La collecte des données sur la biodiversité animale dans la zone pilote de Boulenouar a permis de montrer la présence d'une faune sauvage relativement réduite (1 espèce de rongeurs, 3 espèces d'arthropodes, 5 espèces d'oiseaux et les traces de 7 espèces de reptiles).

La grande faune qui existait dans le passé, telle que les addax, oryx, gazelles, autruches, porc-épic à crête, a complètement disparue du fait essentiellement de conditions climatiques défavorables et des activités anthropiques (notamment le braconnage).

Les espèces classées en danger critique d'extinction n'existent plus dans la zone de l'étude, mais il est important de signaler que, selon le statut de conservation attribué par l'Annexe II de la CITES<sup>4</sup>, toutes les espèces rencontrées sont en situation de préoccupation mineure (LC - Least Concern) sauf le lézard à queue épineuse qui est quasi menacé (NT - Near threatened).

La distribution de la faune est en relation étroite avec la flore. En effet les végétaux servent d'alimentation aux espèces herbivores auxquelles sont liées les espèces prédatrices. Le régime alimentaire des herbivores est en fait sélectif. Chaque espèce animale colonise des habitats bien précis qui sont fréquentés selon les époques et les conjonctures climatiques.

### Oiseaux

Les oiseaux sont peu abondants et leur présence varie suivant les saisons. Lors de notre mission, la présence de 5 espèces d'oiseaux a été confirmée, il s'agit de : sirli du désert (*Laemon alaudipes*), tourterelle vineuse (*Streptopelia vinacae*), hirondelle rustique (*Hirundo rustica*), corbeau brun (*Corvus ruficollis*), moineau blanc (*passer simplex*). Ces différentes espèces d'oiseaux ont été identifiées en utilisant les principaux guides d'identification d'oiseaux en Mauritanie (Girard, O. 2003, Gowthorpe. P & al. 1996, Killan Mullarney & al. 20002 et Paul Isenmann & al. 2010).



Figure 32. Sirli du désert (*Alaemon alaudipes*)

---

<sup>4</sup> Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction ou 'convention de Washington'



**Figure 33. Tourterelle vineuse (*Streptopelia vinacea*)**

#### *Reptiles*

Les reptiles au niveau de la zone pilote ont été identifiés par les traces ou des parties de l'animal comme la queue ou les os. Les espèces rencontrées sont : la vipère des sables (*Cerastes vipera*), la vipère à cornes (*Cerastes cerastes*), le Varan du désert (*Varanus griseus*), le lézard *Acanthodactylus longipes* et le lézard à queue pointue *Uromastix dispar flavifasciata*.

#### *Arthropodes et Rongeurs*

Les arthropodes sont nombreux à vivre dans le sable du désert, les groupes rencontrés au cours de la mission terrain sont des insectes (Scarabées, fourmis, papillons). Concernant les Rongeurs, le nombre important des terriers et des traces, montre la présence de ces espèces nocturnes, notamment les Gerbilles (*Gerbillus nanus*).



**Figure 34. *Collas crocea***

Il ressort de cette mission terrain qu'il y a toujours une richesse faunistique qui existe encore dans cette zone, malgré la disparition de nombreuses espèces. Lors de cette mission terrain, nous avons pu recenser 14 espèces. Il est important de signaler qu'aucune des espèces identifiées au cours de cette mission terrain, n'est ni endémique, ni rare, ni menacée, ni protégée au niveau national ou international, mais **toutes ces espèces ont le statut de conservation de l'UICN préoccupation mineure (LC) sauf le lézard à queue pointue qui figure sur l'annexe II de la CITES.**



## Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations du Groupement ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par le Groupement ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Le Groupement s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Le Groupement conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise le Groupement à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, le Groupement s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>