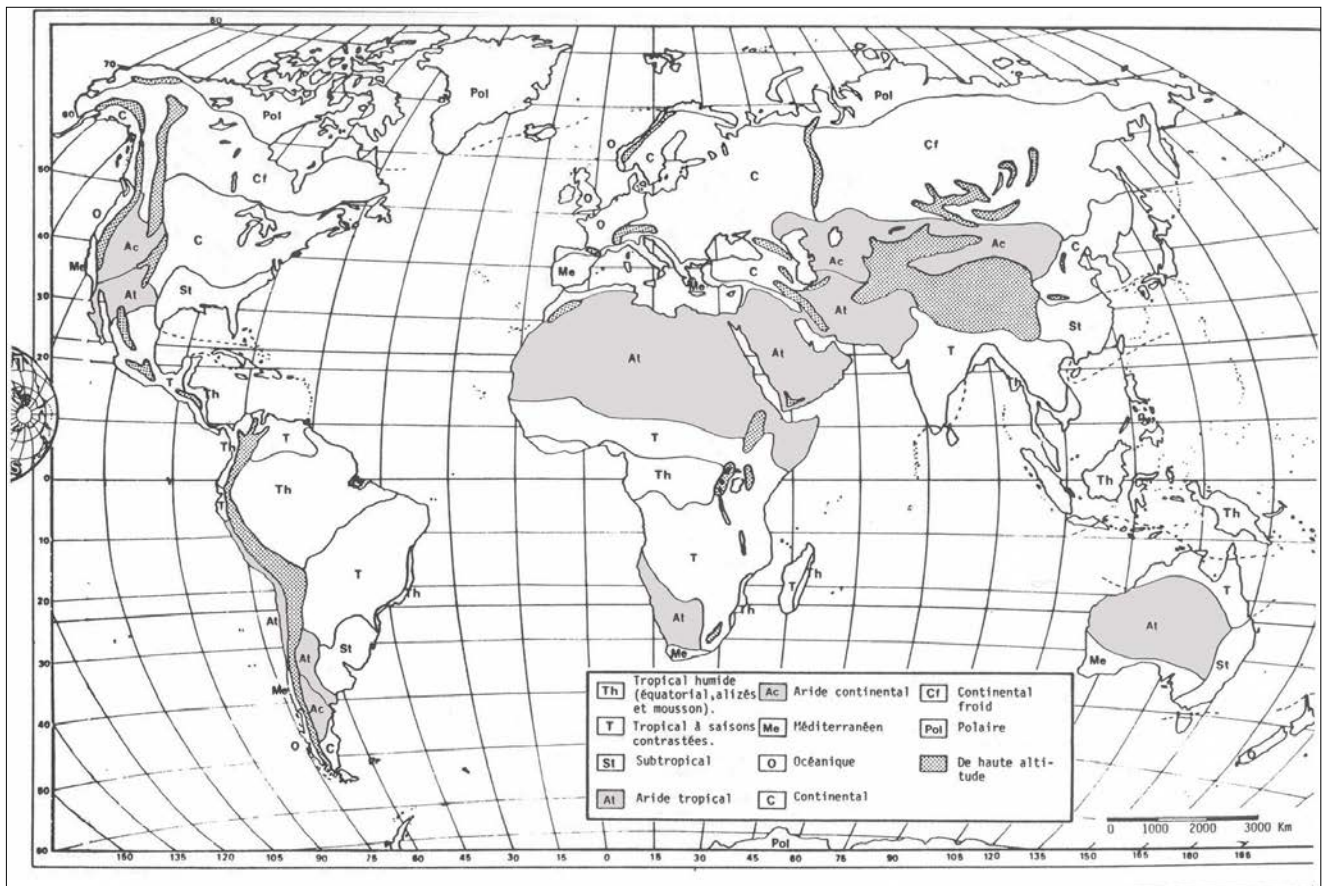


Les grands milieux chauds

Les géosystèmes arides et semi-arides



1. Localisation



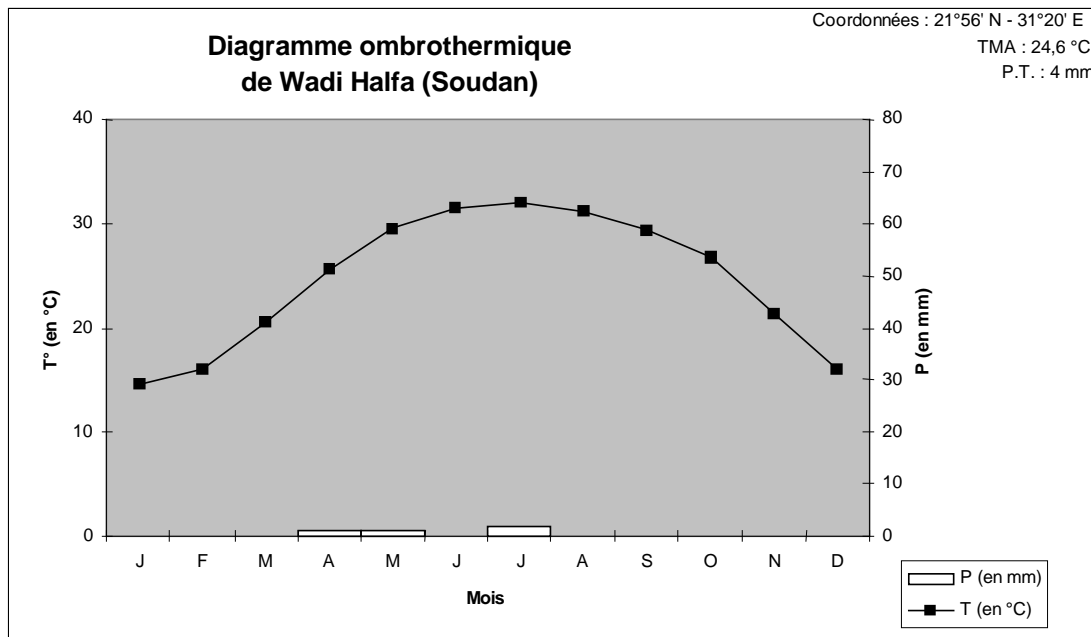
2. Les caractéristiques climatiques

Les climats arides

Ces climats se caractérisent par une très faible quantité de précipitations (de 50 à 150 mm), et une très grande variabilité inter-annuelle. Les précipitations, lorsqu'elles existent, sont brèves et violentes. Les températures moyennes annuelles sont élevées, présentant cependant une amplitude thermique annuelle et journalière importante, l'évaporation est très importante; le plus souvent supérieure aux précipitations. Les vents, qui soufflent d'une manière continue, peuvent se transformer très rapidement en tempête chargée de sable.

Exemple : WADI HALFA (Soudan) (21°56' N - 31°20' E)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
T (en °C)	14,5	16	20,5	25,7	29,6	31,5	31,6	31,2	29,4	26,8	21,4	16	24,5
P (en mm)	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	4

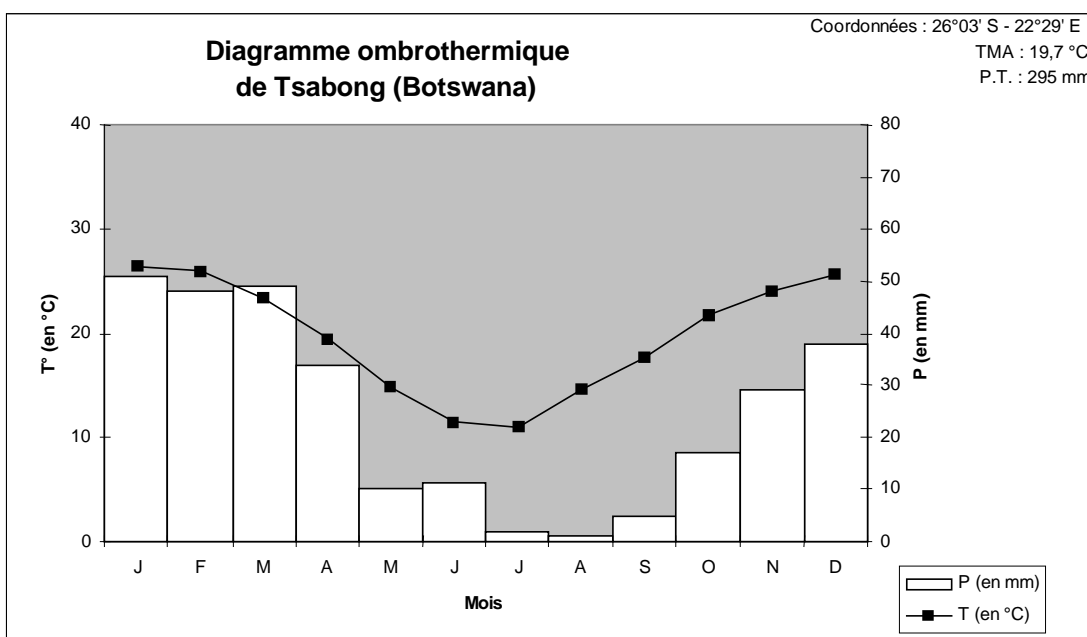


Les climats semi-arides

Ils présentent d'une manière générale une courte saison humide (+/- 2 mois), une quantité de précipitations annuelles supérieure à 150 mm mais inférieure à 400 mm. L'irrégularité inter-annuelle est très voisine de celle des climats arides. Des crises de sécheresse longues et catastrophiques sont fréquentes. Les températures moyennes annuelles sont élevées et semblables à celles des climats arides, plus basses cependant en périodes sèches, plus élevées à la saison des pluies.

Exemple : TSABONG (Botswana) (26°03' S - 22°29' E)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
T (en °C)	26,5	25,8	23,3	19,5	14,9	11,5	11,4	14,5	17,7	21,7	24	25,7	19,7
P (en mm)	51	48	49	34	10	11	2	1	5	17	29	38	295



3. Quelques données climatiques

Amérique du sud

Stations

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
LIMA (Pérou) (12°03' S - 77°03' W)	T (en °C)	21,5	22,3	21,9	20,1	17,8	16	15,3	15,1	15,4	16,3	17,7	19,4	18,2
	P (en mm)	1	0,4	0,6	0,4	6	4	6	7	6	2	1	0,8	35
MENDOZA (Argentine) (32°54' S - 68°50' W)	T (en °C)	23,9	22,8	20,3	15,6	11,7	8,6	8,3	10,3	13,6	17,2	20,3	22,8	16,4
	P (en mm)	23	31	28	13	10	8	5	8	13	18	18	18	193

Amérique du nord

Stations

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
LAS VEGAS (USA) (36°11' N - 115°08' W)	T (en °C)	6,4	9,1	12,9	18,3	23,2	28,6	32,3	30,9	26,9	19,5	11,7	7,3	18,9
	P (en mm)	13	11	9	6	2	1	13	12	9	5	8	10	99

Afrique

Stations

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
ATAR (Mauritanie) (20°31' N - 13°04')	T (en °C)	19,3	20,9	24,5	27,4	31,2	34,1	34,5	33,4	31,9	29,5	25,9	20	25,1
	P (en mm)	1	1	2	0,2	2	8	7	32	36	8	9	2	108,2
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année

DJIBOUTI (Djibouti) (11°36' N - 43°09' E)	T (en °C)	25,1	25,5	26,8	28,5	30,8	34,4	36	35,6	34	28,8	27,1	25,8	29,9
	P (en mm)	15	3	29	19	0	0,2	19	20	5	3	15	25	134,2
FAYA LARGEAU (Tchad) (17°55' N - 43°09')	T (en °C)	20,4	22,7	27	30,6	33,8	34,2	33,6	32,7	32,6	30,5	25,5	21,3	28,7
	P (en mm)	0	0	0	0	0	2	1	11	2	0	0	0	16
KULUB (Namibie) (26°42'S - 16°10' E)	T (en °C)	20,9	20,5	18,9	14,8	10,7	8,2	8,4	8,8	10,4	15,2	18,6	18,8	14,6
	P (en mm)	16	15	31	9	12	14	0	2	3	2	0	12	116
LE CAIRE (Egypte) (30°08' N - 31°25' E)	T (en °C)	12,8	14,3	16,1	20,1	24,8	26,7	27,9	27,8	24,7	23,4	19,6	14,5	21
	P (en mm)	1	5	4	0	4	0	0	0	0	2	1	10	27
NOUAKCHOTT (Maurit.) (18°06' N - 15°57' W)	T (en °C)	20,8	22,1	24,4	25,5	27,2	27,8	27,6	28,1	29,2	28,4	25,4	21,6	25,7
	P (en mm)	0,3	2	1	0,6	1	1	17	72	39	10	4	2	149,9
PORT SUDAN (Soudan) (19°37' N - 37°14' E)	T (en °C)	23,7	23,1	24,1	26,4	29,8	32,4	34,5	35,1	32,5	29,6	27,5	25,3	28,7
	P (en mm)	5	1	1	1	1	0	8	4	0	14	51	33	119
SAL (Cap Vert) (16°45' N - 22°57' W)	T (en °C)	21,4	20,3	20,9	21,5	22,4	23,6	24,6	25,8	26,5	26,1	24,8	13,9	21,5
	P (en mm)	1	3	0	0	0	0,3	0	17	28	7	6	18	80,3
SWAKOPMUND (Namib.) (22°42' S - 14°30' E)	T (en °C)	17	17,3	17,4	15,5	15,9	14,7	13,6	12,7	13,4	14,5	14,8	16,4	15,2
	P (en mm)	1	2	4	1	1	1	0	1	1	2	0	5	19

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
TAMANRASSET (Algérie) (22°56' N - 5°30' E)	T (en °C)	12	13,9	17,5	21,6	25,3	28,3	28,3	27,8	26,1	22,5	18	13,6	21,2
	P (en mm)	3	1	1	3	6	6	3	11	11	3	2	3	53
TOZEUR (Tunisie) (33°55'S - 8°10' E)	T (en °C)	10,5	12,4	16	20	24,4	29,2	32,3	32	28,6	22,3	16,2	11,5	21,3
	P (en mm)	11	8	14	11	5	4	0,2	2	6	14	14	10	99
TSABONG (Botswana) (26°03' S - 22°29' E)	T (en °C)	26,5	25,8	23,3	19,5	14,9	11,5	11,4	14,5	17,7	21,7	24	25,7	19,7
	P (en mm)	51	48	49	34	10	11	2	1	5	17	29	38	295
WADI HALFA (Soudan) (21°56' N - 31°20' E)	T (en °C)	14,5	16	20,5	25,7	29,6	31,5	31,6	31,2	29,4	26,8	21,4	16	24,5
	P (en mm)	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	4

Proche-Orient

Stations

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
ADEN (Yemen) (12°45'N - 45°12' E)	T (en °C)	26,1	27,2	27,3	30	31,7	32,8	31,1	31,1	31,7	29,4	28,3	26,7	29,4
	P (en mm)	5	19	15	0	0	0,2	0,2	0	9	4	0	4	56,4
JACOBABAD (Inde) (28°17' N - 68°26' E)	T (en °C)	14,7	18,3	23,9	29,9	34,9	36,8	35,2	33,6	32,2	28,1	22	16,6	27,2
	P (en mm)	8	8	7	2	4	6	37	22	1	0	1	3	99
JEDDA (Arabie Saoud.) (21°30' N - 39°12' E)	T (en °C)	23,9	23,9	25	27,2	29,4	30	31,7	31,7	30,6	28,9	27,2	25	27,9
	P (en mm)	2	0,7	0	2	0,1	0	0	0	0	0,2	11	34	50

Australie

Stations

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
FARINA (30°05' S - 138°08' E)	T (en °C)	27,6	27,8	24,4	19,4	14,7	11,7	10,6	12,7	16,1	20,3	24,1	26,7	19,7
	P (en mm)	13	14	16	11	16	23	9	11	12	12	12	15	164
THARGOMINDAH (27°58' S - 143°43' E)	T (en °C)	29,7	29,5	26,2	21,6	16,6	13,3	12,2	14,4	18,4	22,6	26,4	28,7	21,6
	P (en mm)	35	41	21	21	19	21	13	13	14	18	24	33	273
WILUNA (26°36' S - 120°13' E)	T (en °C)	29,7	29,1	26,7	21,9	16,4	12,7	11,9	13,8	17,6	21,4	26,2	28,9	21,4
	P (en mm)	35	35	28	37	25	25	13	9	6	4	8	16	241

4. Sélection de documents pour aborder les géosystèmes arides et semi-arides en classe

Thème : le relief

Doc 1

Définition du mot « désert »

Il convient naturellement de définir ce que l'on entend par « déserts », la précision des termes étant indispensable à la rigueur du raisonnement.

1°) **Etymologiquement**, le mot « désert » vient du latin classique *deserta*, bas latin *desertum*, signifiant **lieu inhabité, lieu abandonné par l'homme**. Les rapports avec « désertion » sont clairs. Un désert est donc un lieu « déserté ».

Exemple : « *Voici le plus beau désert qu'on puisse voir, n'admirez-vous pas ces ruisseaux qui tombent des montagnes, ces rochers escarpés ?* » (Fénélon, cité dans le Robert). Autre exemple : les Camisards se réfugiaient « au Désert ».

Sont donc « déserts » les régions inhabitées. Sur une carte d'atlas nous distinguons facilement : les régions apparemment inhabitables : zones polaires et circumpolaires, Sahara, Australie occidentale, etc. ; les régions pas encore habitées : la forêt amazonienne etc. ; les marges peu habitées de ces catégories (moins de 1 hab/km²) : Nord du Canada, Tibet, savane du Mato Grosso...

2°) **En géographie**, d'une manière générale, on réserve le mot « désert » aux régions apparemment inhabitables : l'Amazonie est très peu habitée mais elle est parfaitement habitable (on dira que l'Amazonie est un désert, mais jamais qu'elle est désertique). **Au sens habituel, on entend donc un milieu d'écologie inconfortable et non directement utilisable à cause d'un excès de froid ou de sécheresse, ou des deux à la fois**. Il existe un livre intitulé logiquement « The white desert » et qui traite de l'Antarctique. En fait, la présence de l'adjectif laisse sous-entendre qu'il ne s'agit pas d'un désert banal : dans son acception populaire, le mot « désert » implique chaleur, aridité, sables brûlants, etc.

C'est la raison pour laquelle on précise que les hautes latitudes sont exclues, pour éviter toute ambiguïté, dans le titre de ce livre. Nous nous occuperons donc des déserts chauds (Sahara, etc.), des déserts « tempérés » continentaux (Mongolie, Great Basin), des déserts littoraux (Pérou). Nous aurons à examiner si, oui ou non, les semi-déserts nous concernent.

3°) Il n'est pas inutile, non plus, de **définir deux mots de sens voisin**, afin de les employer à bon escient : **sec**, et **aride**. Apparemment, ils signifient la même chose. A l'examen, ils apparaissent différents.

Sec, sécheresse, vient du latin *siccus*, *siccitas*. La racine indo-européenne *sik* exprime une absence d'eau, sans que soit précisé comment et pourquoi l'eau est absente : du bois sec, une période sèche (c'est-à-dire sans pluie). C'est la constatation d'un fait.

Le mot **aride** est beaucoup plus précis car l'idée de sécheresse, ici, est liée à la notion de chaleur. La même racine indo-européenne (*as-*, *ar-*) a donné, certes, le latin *aridus*, sec, mais aussi *ardere*, brûler ; le sanscrit *asah*, cendre ; l'allemand *Aschen*, cendres...

Par conséquent tout ce qui est aride est sec mais tout ce qui est sec n'est pas aride. L'aridité, nous le verrons en détail, implique non seulement un climat sec, mais aussi une forte évaporation due à la chaleur.

D'après DEMANGEOT J. ,1981, Les milieux naturels désertiques, SEDES, Paris, pp 7-8.

Doc 2**Les Déserts**

Les déserts recouvrent environ un tiers de la surface globale des continents: ils comprennent les steppes semi-arides, les déserts de sable et de glace, quasiment privés d'eau et de vie. Le fait qu'une partie aussi importante de la surface de la Terre soit aride (sèche) s'explique par la façon dont les masses d'air circulent autour du globe.

La formation des déserts

Dans la région de l'équateur, où la chaleur est intense, l'air chaud et humide s'élève rapidement et se refroidit. La vapeur d'eau se condense en nuages qui vont éclater en de violents orages, les déchargeant de presque toute leur humidité. Quand il finit par gagner les couches supérieures de l'atmosphère, l'air se sépare en deux courants, l'un se dirigeant vers l'hémisphère Nord et l'autre vers l'hémisphère Sud, avant de redescendre, de chaque côté de l'équateur sur une zone comprise entre les 15^{ème} et 35^{ème} parallèles. En redescendant, cet air froid va se réchauffer progressivement et absorber l'humidité dégagée par la terre. Ce phénomène est à l'origine des régions arides comme le Sahara, où la pression atmosphérique est toujours élevée. Cette haute pression fait que les vents soufflent invariablement de l'intérieur vers l'extérieur des continents et font obstacle aux vents humides venus des océans.

On rencontre d'autres types de déserts dans les régions situées sous le vent des reliefs (zones abritées des vents porteurs de pluie par des barrières montagneuses), et aussi le long de certaines côtes où les vents du large, refroidis par les courants glacés des océans, ont perdu leur humidité au-dessus de la mer et se réchauffent au contact de la terre en l'asséchant.

Les déserts dans le monde

En Afrique, on trouve le plus grand désert du monde, le Sahara, ainsi que le désert côtier du Namib, et un semi-désert, le Kalahari. Parmi les déserts chauds, on compte en Asie le désert d'Arabie, le Karakoum, à l'est de la mer Caspienne, et le Thar, à cheval sur l'Inde occidentale et le Pakistan. Sur les autres continents, on trouve le grand désert australien et l'Atacama, désert côtier sud-américain qui s'étend le long de l'océan Pacifique. En Amérique du Nord, le Grand Bassin et le désert Mohave sont situés dans des régions sous le vent.

Les déserts sont des endroits où la moyenne annuelle des chutes de pluie est inférieure à 150 millimètres et où l'évaporation est plus importante que l'ensemble des précipitations (pluie, neige et grésil). Mais tous les déserts ne sont pas des fournaies. Certains, dont le désert de Gobi (en Mongolie et en Chine), peuvent même être extrêmement froids, avec des températures tombant à - 40 °C en hiver. C'est aussi le cas de la Patagonie, en Argentine, et, bien sûr, des terres gelées du Groenland et de l'Antarctique.

Les déserts de sable

On a souvent tendance à s'imaginer les déserts comme de vastes étendues de sable. Or les déserts de sable (ergs en arabe) ne représentent qu'un cinquième de la surface totale de tous les déserts du monde.

Le vent est le principal responsable des différents paysages qu'on y rencontre: il peut entraîner les grains de sable et créer des rides, ou les faire rebondir dans un mouvement de saltation, c'est-à-dire quand un grain de sable poussé par le vent vient frapper la surface du sol et chasse d'autres grains qui s'envolent à leur tour. Le sable emporté par le vent finit par s'amonceler en crêtes et en collines, les dunes, qui atteignent jusqu'à 450 mètres de hauteur.

Le plus souvent, les dunes de sable naissent autour d'une irrégularité de terrain. Dans les régions où la direction du vent est variable, cette accumulation de couches successives n'offre pas de caractère particulier. Mais lorsque les vents sont constants, les dunes développent des formes très spéciales: en croissant, par exemple, comme les barkhanes. Celles-ci présentent d'un côté une pente douce, face au vent, et de l'autre une pente abrupte, sous le vent. Les grains de sable sont soufflés vers le sommet de la pente exposée jusqu'au moment où, instables, ils vont s'effondrer le long de la face protégée. C'est ce mouvement des grains de sable qui fait lentement avancer les barkhanes. Celles-ci progressent souvent sur des surfaces rocheuses dénudées.

On trouve également des dunes et des crêtes en alignements approximativement parallèles à la direction du vent dominant. Ces formations peuvent atteindre des dizaines, voire des centaines de kilomètres de long. Les « siefs », ou dunes longitudinales, sont étroits et présentent des arêtes vives; ils résultent de l'action conjuguée d'un vent dominant et d'un vent de travers. Sief est un mot arabe qui signifie «sable ».

Le vent de sable

Lorsque des vents violents balayent le sable, même les grains les plus gros sont projetés en l'air, mais leur poids les empêche de monter à plus de 2 mètres au-dessus du sol. Les petites particules de poussière, elles, sont entraînées beaucoup plus haut et créent ces terribles tempêtes de sable redoutées des voyageurs qui traversent les déserts.

Une partie de cette poussière va même atteindre les couches supérieures de l'atmosphère pour retomber bien plus loin lors de pluies. On observe ce phénomène dans certaines régions des Alpes qui connaissent des «pluies de sang» dont la couleur rouge est due aux sables du Sahara qui, soufflés par le vent du sud, ont traversé la Méditerranée.

Certaines régions du monde sont recouvertes d'épaisses couches de poussière ou de limon apportés par le vent. Une fois déposées, ces fines particules s'agglutinent pour former le loess. Le loess est souvent protégé de l'érosion par une croûte fine et dure. Mais il suffit du sabot d'un animal ou d'une roue de charrette pour la briser: friable, le loess offre alors une prise au vent ou à l'eau qui vont l'éroder rapidement. C'est ce qui s'est passé dans les Grandes Plaines semi-arides des États-Unis où le Dust Bowl (« désert anthropique ») s'est formé à l'époque où l'on a transformé les prairies en champs destinés à la culture. Au cours des sécheresses des années 1930, des tempêtes de poussière ont emporté la majeure partie du sol fertile, qui a terminé sa course au fond de l'océan Atlantique.

L'origine du limon et de la poussière composant le loess est encore assez controversée. Dans la vallée du Huang He (le fleuve Jaune), au nord de la Chine, la couleur jaune du loess est probablement celle de la poussière du désert de Gobi. Mais on sait aussi que beaucoup d'autres dépôts sont le résultat de l'action de broyage des glaciers lors de la dernière période glaciaire. C'est le cas des dépôts de loess des grandes plaines de l'Europe centrale.

Les déserts et l'érosion

Ce n'est pas le vent lui-même qui érode la roche mais les grains de sable qu'il transporte. En effet, ces grains sont si durs qu'ils peuvent entailler des falaises, creuser dans le sol des buttes et des sillons, les « yardangs », ou encore sculpter des rochers, les nettoyer, les polir.

Mais les géologues pensent que les dégradations les plus importantes sont causées par d'autres agents actifs, comme les brusques variations thermiques, qui ont fragmenté la roche avant que le vent ne balaie les débris.

Les quatre cinquièmes des déserts sont des plateaux pierreux, les hamadas, ou des plaines jonchées de cailloux, les regs (hamada et reg sont des mots d'origine arabe).

À haute altitude et dans les déserts froids, le gel fait éclater les roches. Le gel est un agent naturel de désagrégation, tout comme les écarts thermiques. Une chaleur élevée et constante le jour, suivie d'un brusque refroidissement la nuit, a la même action que le gel. Le soir, dans le désert, on entend souvent des « coups de pistolet »: ce sont les roches qui se fendent en se rétractant sous l'effet du froid.

Le gel et les variations de température sont des agents mécaniques de désagrégation. Le sel, lui, est un agent chimique. Dans certaines régions où l'évaporation est très importante, il remonte à la surface du sol et se cristallise dans les fissures et les pores des roches. Le passage permanent de la grande sécheresse à l'humidité déposée par la rosée contribue aussi à altérer la pierre. Ces attaques mécaniques et chimiques sont responsables du phénomène d'exfoliation: la roche s'écaille et se défait couche par couche, un peu comme un oignon.

L'intervention de l'homme

L'exploitation des déserts est également un facteur d'érosion. Si le Dust Bowl a fait son apparition aux États-Unis dans les années 1930, c'est à cause des fermiers qui ont exposé le sol au vent en labourant les prairies. On retrouve ce phénomène au Sahel, cette zone de prairies arides à la lisière sud du Sahara. Là, des quantités de troupeaux ont épuisé les pâtures (surpâturage) pendant que les hommes coupaient arbres et arbustes pour en faire du bois de chauffage. Avant les grandes sécheresses des années 1970 et 1980, il pleuvait encore assez pour que de nouvelles plantes puissent prendre racine. Mais, depuis, ce pays est devenu un désert. Ce processus de désertification a provoqué la mort de millions de têtes de bétail; la famine s'est installée, et c'est tout un mode de vie traditionnel qui a disparu.

Le pavage désertique

Le sol de certaines plaines désertiques est constitué d'une mosaïque de pierres imbriquées les unes dans les autres que le vent a balayées et débarrassées des débris les plus fins.

L'alternance incessante de l'humidité, de la sécheresse, du gel et du dégel fait remonter les pierres du sous-sol à la surface. Parfois, elles sont cimentées ensemble par des minéraux déposés par l'eau qui, elle aussi, remonte à la surface. On rencontre ce type de pavage désertique en Australie, dans les Gibber Plains. La plupart du temps, ces pierres sont recouvertes d'une fine couche d'oxyde de fer et surtout d'oxyde de manganèse: c'est le « vernis du désert ». Beaucoup de déserts doivent leur couleur rouge à l'oxyde de fer.

Dans les zones semi-arides, en revanche, les roches sont plutôt recouvertes d'une croûte de couleur pâle faite de carbonate de calcium (composant du calcaire) et de gypse. Ces croûtes ont été déposées soit par les inondations, soit par l'eau qui est remontée à la surface. En général très dures, elles résistent bien à l'érosion.

L'action de l'eau

Aussi étrange que cela puisse paraître, l'eau a sculpté des paysages dans les déserts à l'époque où ceux-ci étaient encore des zones humides pleines de lacs et de rivières. Il y a sept mille ans, le Sahara était une vaste prairie peuplée d'animaux. On y a retrouvé des peintures rupestres préhistoriques représentant des lions, des éléphants et des girafes. Or, aucune de ces espèces ne pourrait survivre aujourd'hui dans ces contrées. En fait, le Sahara n'est un désert que depuis trois mille deux cents ans environ.

L'eau poursuit toujours son travail d'érosion. Si les orages sont rares, ils sont d'une telle violence qu'ils provoquent des inondations. Des torrents d'eau entraînent sur leur passage d'énormes quantités de sable et de pierres à travers les oueds. Les oueds, en arabe, ou arroyos, en espagnol, sont des cours d'eau temporaires: ils ne se remplissent qu'après de fortes pluies. Leurs parois sont parfois escarpées. Dans certains endroits, lorsque les vallées s'élargissent, les formations rocheuses qui les entourent se retrouvent isolées: on a donné à ces blocs abrupts le nom de buttes témoins ou de mesas.

Dans les régions arides et semi-arides, l'eau creuse souvent un dédale de ravins dans la roche tendre. C'est le cas, par exemple, des Bad Lands du Dakota du Sud, aux Etats-Unis.

Il existe aussi des rivières qui prennent leur source dans des régions humides avant de traverser des zones arides sans se tarir. Elles creusent alors des vallées impressionnantes, les canyons, dont le plus célèbre est le Grand Canyon aux États-Unis. Profond par endroits de 1600 mètres, ce prodige de la nature est l'œuvre du Colorado, qui prend sa source dans les montagnes Rocheuses et se jette dans le golfe de Californie.

Les cônes de déjection

L'érosion des parois des vallées des régions désertiques sculpte des paysages étonnants. Les débris de la roche érodée roulent au fond des ravins et s'y accumulent. Lorsqu'une de ces inondations éclair se produit, les torrents d'eau balient ces détritiques et les déposent à l'entrée des vallées ou des ravines. Parfois, ce dépôt s'étale sur le sol, mais il arrive qu'il s'amoncèle pour former un cône de déjection en forme d'éventail. Lorsque plusieurs cônes de déjection s'amalgament les uns aux autres, ils forment un relief particulier nommé « bahada » ou encore glacis de Piémont.

Les lacs salés

Aux États-Unis, on appelle playas ou salinas, en Afrique sebkra, ces grandes dépressions plates, asséchées et salées que sont les bassins endoréiques (non ouverts à la mer). En cas d'orages, le ruissellement de l'eau de pluie les remplit puis celle-ci s'évapore en laissant le sel qu'elle y a concentré, lequel finit par former une croûte.

Extrait de l'encyclopédie « Notre Monde », édition Marshall Cavendish, chapitre « Planète Terre », fiche 25, « Les déserts », années 90, pp 71 à 74.

Doc 3

Le Sahara

LE RELIEF

On supposait autrefois que le Sahara n'était qu'une immense cuvette, un fond de mer desséché empli d'une couche uniforme de sables. Rien n'est plus faux qu'une pareille conception. La structure du désert est au contraire fort variée. Bien loin d'être une cuvette déprimée, il a une hauteur moyenne (470 mètres) supérieure à celle de l'Europe. On y trouve des massifs montagneux, des plateaux, des plaines, de larges vallées, un relief aussi changeant qu'en toute autre partie du monde de même étendue. Les roches de son sol appartiennent à toutes les formations géologiques connues.

« Le Sahara a ses granits comme la Bretagne, ses grès dévoniens comme l'Angleterre, ses calcaires crétacés comme la Champagne, ses calcaires éocènes comme le bassin de Londres, ses terrains volcaniques comme l'Auvergne. »

Seulement, les conditions particulières du climat ont imprimé à sa surface un modelé spécial que l'on retrouve dans tous les autres déserts et qui donne aux paysages sahariens leur aspect caractéristique.

LES MASSIFS

Les principaux massifs sahariens s'alignent du Nord-Ouest au Sud-Est, entre le Sud Marocain et le Darfour. C'est la dorsale du Sahara. Elle ne constitue pas une chaîne unique, mais une succession de groupes montagneux séparés par de larges dépressions.

Ces massifs commencent au Sud-Est du Touat et du Tidikelt par les hauteurs du Mouydir (1600 mètres) et de l'Ahnet (1500 mètres). Ils se continuent par le Tassili des Azdjer (1800 mètres), immense gradin de grès couronné de volcans, puis par l'épais massif de l'Ahaggar qui porte à près de 3000 mètres les cimes du Tahat et de l'I lamas. Au Sud-Ouest de l'Ahaggar, l'Adrar des Iforas se dresse isolé sur la route qui mène au Niger. Au Sud, vers le Tchad, l'Air élève à plus de 1800 mètres ses raides murailles de basaltes et ses colonnes de trachytes.

Au Sud-Est, depuis l'Oasis de Rhât (ou Chât) jusqu'au Darfour, le massif du Tibesti (3400 mètres à l'Emi Koussi), prolongé au delà de la dépression du Borkou par les hauteurs de l'Ennedi, n'avait été superficiellement reconnu que par Nachtigal en 1876. La Mission du Commandant Tilho l'a complètement exploré de 1913 à 1917 et a substitué à la conception première d'une crête unique, longue de 400 kilomètres sur une largeur de 100, celle de puissants massifs triangulaires ou sphériques qui, pour le Tibesti seul, ne couvrent pas moins de 100.000 kilomètres carrés. Comme l'Ahaggar et l'Air, ces monts du Tibesti se composent surtout de cônes volcaniques dressés sur un socle de roches anciennes. Il n'y a pas au Sahara de chaînes plissées analogues aux Alpes ou à l'Atlas, mais des dos de pays, de hauts plateaux depuis très longtemps émergés que l'érosion a usés d'une façon plus ou moins capricieuse et sur lesquels, en certains points, ont surgi des appareils volcaniques, « *comme des pâtés de sable sur une table de jardin* ».

HAMADA ET ERG

En dehors des massifs, c'est en effet la forme de plateau qui domine sur les plus vastes portions du désert. On leur donne le nom de « Hamada » en arabe, de « Tassili » en berbère. Leurs rebords abrupts dominant les vallées creuses, et leurs versants raides, découpés en pyramides régulières : les « gours », entaillés de canyons étroits, revêtent de loin l'aspect de chaînes dentelées semblables aux avant-monts de massifs étendus. En fait, quand on parvient au sommet de ces falaises, on voit se développer jusqu'au lointain horizon des surfaces uniformes d'une platitude, d'une nudité absolue, couvertes de rocaillles, de cailloux aux arêtes vives : Hamadas d'Aïn Sefra, du Tademayt, du Timghert, el Homra, du Désert Libyque, etc. Nulle région du désert n'est plus inhospitalière. Malgré l'égalité du relief qui semble faciliter la marche, les caravanes évitent le plus possible ces lieux désolés, d'une désespérante monotonie, d'une effroyable aridité, ces « Tanezrouft », le désert par excellence, où l'on ne trouve pas un buisson, pas une touffe d'herbe, pas un puits, et où les seuls points de repère sont fournis par les cadavres de chameaux, morts de soif, le long de la piste interminable.

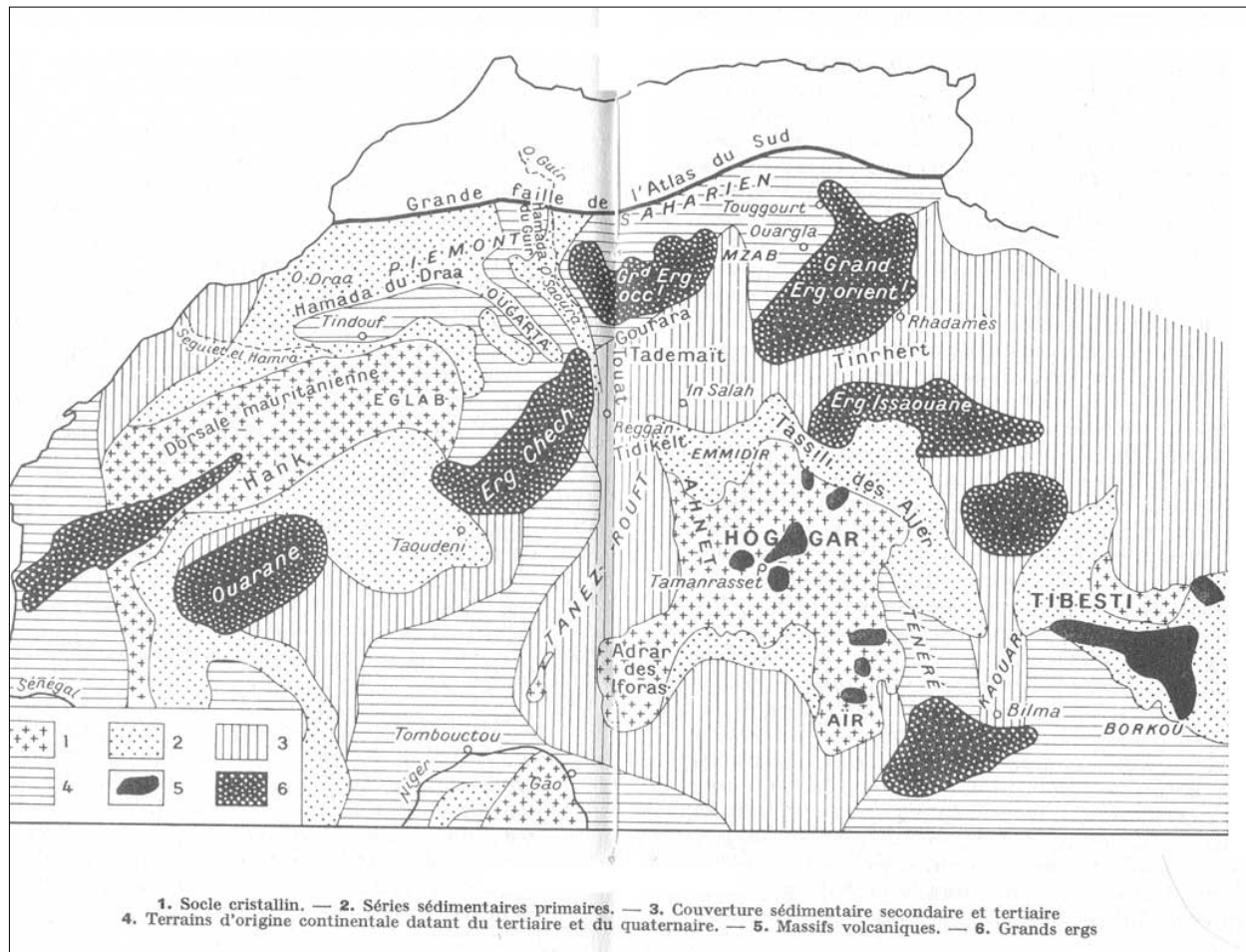
Aux Hamadas s'oppose l'Erg, c'est-à-dire la région des dunes. Les dunes de sable couvrent au Sahara d'énormes espaces correspondant généralement aux parties les plus déprimées du désert : Erg du Djouf et de l'Iguidi à l'Ouest, Erg occidental et oriental du Sud Algérien, Erg d'Edeyen au Fezzan, amoncellement prodigieux du Désert Libyque entre le Nil et le Tibesti, etc. La hauteur des dunes peut atteindre 300 et même 400 mètres. De pentes dissymétriques, elles sont un versant adouci du côté où souffle le vent dominant, un versant plus raide et de forme concave sur le côté opposé. Des rides régulières strient leur surface.

Les Sahariens les comparent à une mer sans eau (Bahar bla el ma) et l'Erg est bien, en effet, une mer furieuse, « *mais une mer figée, - immobile, silencieuse, brillant au soleil de reflets jaunes ou dorés et coupée de grandes ombres, noires le jour par le contraste des pentes violemment éclairées. bleuâtres le soir quand elles se mêlent à la lumière oblique des rayons irisés* » (Reclus). Quand le vent souffle avec force il pousse vers le sommet les fines particules de sable qui tourbillonnent sur la crête et dévalent sur la pente opposée. On dit alors que la « dune fume ». Cependant ces petites fluctuations locales qui peuvent, en certains points, modifier légèrement la forme et l'étendue des dunes et obligent les sédentaires des oasis à protéger par des clayonnages les lisières de leurs palmeraies, n'affectent pas la masse de l'Erg.

Extrait de GRANGER E., Nouvelle Géographie Universelle, tome 2, Hachette, Paris, 1922, pp 107 et 108.

Doc 4

Carte géologique du Sahara



Carte extraite Bruno VERGLET, *Le Sahara*, collection « Que sais-je ? », n°766, P.U.F., 5^{ème} édition, 1984, p. 16 et 17.

Doc 5

Le Kalahari et le Namib

Le Kalahari

Climat remarquable par les grandes différences de température entre hiver et été ; Tsabong (Botswana, 962 m) : 11,4 degrés en juillet, 26,5 en janvier ; l'amplitude thermique forte (pour la latitude : 26°03 S) est liée au jeu de masses d'air opposées ; l'afflux d'air austral en hiver explique le minimum absolu de -9,4 (juillet). Même quand les pluies s'abaissent au total annuel de 125 mm, les dunes sont mortes, de couleur rouge. La majeure part du Kalahari est mieux arrosée ; la moyenne, pour la plus grande étendue, avoisine 500 mm. Tandis que le cœur du Sahara compte un million de km² ne recevant pas plus de 20 mm en moyenne par an, le Kalahari ignore une telle aridité. Les dunes ont été édifiées dans des conditions vraiment désertiques ; mortes aujourd'hui, elles ne s'alignent pas dans des directions compatibles avec les vents actuels. Le climat régnant est intermédiaire entre le plus humide et le plus sec que le Kalahari ait connus. Du Paléolithique inférieur reposant sur le calcaire est enseveli sous des sables rouges.

Au-dessous de 500 mm de pluie le paysage végétal est une steppe en touffes espacées ; sur les sols perméables, les touffes d'Aristida et d'Eragrostis sont les seuls végétaux présents ; sur les sols moins perméables, elles alternent avec des buissons de Rhigozum, acacias, Commiphora, Burkea, Terminalia. Avec une pluviosité supérieure à 500 mm s'établit une forêt-claire de baobabs et mopane (Colophospermum). Le nord du Kalahari : région déprimée, vastes lacs en saison des pluies, marais de l'Okavango, lac Ngami, lac Makarikari (un chott salé), paysage de savanes à acacias et baobabs. Des villages de sédentaires bantou dans les îles du delta de l'Okavango : agriculture et pêche.

Les conditions climatiques et le paysage végétal sont donc de type sahélien ; le Kalahari conviendrait à l'élevage extensif si les points d'eau étaient multipliés. Bien des fonds de dépression pourraient porter des champs. Les Bushmen ont donné leur exclusive attention aux techniques de ramassage ; rien dans les conditions naturelles ne l'exigeait. Des paysans haoussa, des éleveurs Peul prospéreraient dans les conditions du Kalahari.

Extrait de GOUROU P., *L'Afrique*, ed. Hachette, Paris, 1970, pp 359 et 360.

Le Namib

Le Namib, sur quelques dizaines de km de large entre la mer et la dorsale méridienne, mais sur 1400 km du fleuve Cunène au fleuve Orange, est un désert maussade. Walvis Bay (22°50'S) a en moyenne : 10 mm de pluie par an, 19°5 au mois le plus chaud, 13°8 au mois le plus frais. Faibles pour la latitude, les températures s'expliquent par l'influence d'une mer très fraîche (15 degrés comme moyenne annuelle à Walvis) ; le courant de Benguêla charrie du sud des eaux froides ; le dominant alizé du SE refoule vers le large les eaux superficielles, provoquant ainsi la remontée d'eaux profondes froides (également favorisée par la déviation vers la gauche, donc vers le large, des eaux méridionales). Sur le rivage la brise de mer est violente, la mer étant très froide par rapport au continent. L'air marin établit pendant la nuit au-dessus du rivage un épais voile de stratus qui se résout en un crachin matinal échappant au pluviomètre mais mesurable, par l'imbibition du papier buvard : 47 mm en douze mois ; le rayonnement nocturne à la surface supérieure de la couche nuageuse provoque le refroidissement de la masse et ce crachin. Le climat de Walvis Bay est sec alors que l'air est très humide (une humidité relative de 85% à 10 h du matin est habituelle). Ce n'est donc pas le manque d'eau dans l'air qui est cause de la faiblesse des pluies, mais l'inversion de la température ; les sondages aériens donnent 12 degrés à 600 m et 1806 à 1800 m. La présence d'un air plus chaud au-dessus de 600 m crée une discontinuité ; l'air ascendant plafonne et ne peut se refroidir assez pour aboutir à une vraie pluie. Le climat de

Walvis Bay est varié (avril juin) par des fœhns chargés de poussière qui poussent le thermomètre à 40 degrés. Des coups de froid peuvent en juillet descendre à -30. Malgré ces incidents, climat monotone et triste, humide quoique dénué de pluies ; au crachin s'ajoutent de fréquents brouillards. Au sud de Swakopmund, des dunes en cordon le long du rivage, des barkhanes isolés sur le reg d'une plate-forme littorale soulevée, un erg d'une centaine de km de large. De loin en loin une *Welwitschia* tord ses lanières grisâtres.

Extrait de GOUROU P., *L'Afrique*, ed. Hachette, Paris, 1970, pp 364 et 365.

Doc 6**Tempêtes de sable et érosion éolienne**

Dans la dépression aride du Seistan, entre l'Iran et l'Afghanistan, les maisons n'ont aucune fenêtre sur leur façade nord. Cette tradition architecturale permet d'éviter que la poussière transportée par les vents du nord - 80 jours au cours de l'été - ne pénètre dans les habitations.

Au Proche-Orient, les transports aériens sont également touchés par ce phénomène. En effet, chaque été, de nombreux aéroports internationaux autour du Golfe se voient contraints de fermer pendant plusieurs jours lorsque le «shamal» y apporte la poussière des plaines d'inondation du Tigre et de l'Euphrate. L'on signale en moyenne 27 tempêtes de poussière (qui réduisent la visibilité à moins de 1 km) par an, sur l'aéroport de Koweït. Au nord de la région, les tempêtes de poussière sont associées au déplacement vers l'est de fronts froids, et sont plus fréquentes au cours de l'hiver. En certains endroits de Syrie, on enregistre 15 jours environ de tempêtes de poussière par an.

Particules déplacées par le vent

Pour créer des tempêtes de poussière, il faut que le vent soit très fort : il balaye alors les régions arides, emportant avec lui les petites particules qui ne sont pas liées entre elles, comme c'est le cas dans les régions plus humides.

La taille des particules transportées varie, de l'argile (moins de 4 microns ou 0,004 mm) au limon (0,004-0,06 mm), jusqu'au sable fin (0,06-0,2 mm). Étant plus lourd, le sable fin est soulevé de quelques centimètres au-dessus du sol. Le limon peut monter dans l'air jusqu'à plusieurs mètres, tandis que l'argile fine peut s'y maintenir des jours durant; on en a même retrouvé dans l'atmosphère au-dessus de l'Alaska, après un parcours de plus de 10 000 km, en provenance du désert de Gobi, en Mongolie.

Sols désertiques et culture sèche

Le sable et les petites particules que transporte le vent agissent comme du papier de verre sur les roches du désert et sculptent des colonnes rocheuses, des inselbergs et d'autres formes encore.

Les pentes des cônes de déjection et les plaines qui se trouvent au pied des massifs montagneux font l'objet d'une forte érosion par le vent. Les particules très fines sont emportées, tandis que les plus lourdes dévalent les pentes, laissant une cuirasse de cailloux pour protéger le sol sous-jacent. On trouve là l'origine des déserts caillouteux (regs) et des plateaux rocheux (hamadas). Dans les ergs - déserts de sable - comme le Rub al-Khali, le « quartier vide » au sud de l'Arabie, les dunes se créent au gré du vent: en forme de croissant, d'étoile ou encore de crête longitudinale.

Les tempêtes de sable qui s'abattent sur les champs cultivés sont extrêmement dommageables aux cultures. Le labourage de terres aussi sèches aggrave aussi les

phénomènes d'érosion en enterrant les plantes qui, par leurs racines, pourraient retenir le sol. C'est particulièrement net en Syrie, en Jordanie et en Iraq, où l'on pratique la culture sèche.

Dans les régions de faible altitude, des loess, apportés par le vent, peuvent s'accumuler sur plusieurs mètres d'épaisseur. Cette couche peut atteindre 5 m, comme c'est le cas sur le plateau central d'Iran et au sud de l'Afghanistan.

Extrait de sous la direction de K.J. GREGORY, *Le Globe terrestre*, éd. Time-Life, Amsterdam, 1991, pp 176-177.

Doc 7**Les sols des régions arides et semi-arides**

La pauvreté de la végétation explique aisément le caractère squelettique et discontinu des sols des régions arides. Dans les véritables déserts, il n'y a même plus de sol au sens pédologique du mot, puisqu'il n'y a pas de végétation, donc d'humus. Au contraire, en bordure des déserts, on trouve d'abord des sols gris à faible teneur en matière organique puis des sols bruns qui correspondent aux formations steppiques et des sols châtaîns qui constituent la transition avec les sols ferrugineux ou avec le chernozem des régions tempérées suffisamment arrosées.

Les pluies étant très faibles, il n'y a pas de lessivage, pas d'horizon superficiel appauvri. Les éléments minéraux sont abondants; seul l'azote est en quantité insuffisante parce qu'il y a peu de matière végétale; les sols désertiques ont donc une incontestable fertilité potentielle : lorsqu'une nappe d'eau permet l'irrigation, les récoltes peuvent être belles (oasis). Plutôt que le manque d'éléments minéraux, c'est leur excès, leur concentration qui est à craindre.

Chaleur et sécheresse provoquent en effet d'importantes migrations ascendantes. L'eau située à l'intérieur du sol remonte par capillarité, s'évapore et laisse sur place des éléments minéraux qui forment souvent de véritables croûtes. Dans les régions semi-arides méditerranéennes, les croûtes calcaires occupent de vastes superficies ; toutefois la plupart sont fossiles, elles ont été formées sous un climat très brutal avec alternance de pluies violentes et de sécheresse absolue. Il en est de même d'une grande partie des croûtes ferrugineuses de la zone semi-aride tropicale; elles existent parfois dans des zones à l'heure actuelle très arides, où leur formation serait impossible. Ces croûtes se sont constituées généralement à quelques dizaines de centimètres de la surface mais l'érosion et la déflation les ont fréquemment mis à jour; elles gênent la pénétration des racines et sont peu favorables au développement de la végétation.

Le plus souvent donc, les plantes étant rares et l'humus presque absent, les sols représentent simplement la partie superficielle de la roche-mère, plus ou moins modifiée par les agents météoriques. Aussi des types de végétation particuliers correspondent-ils aux grands ensembles morphologiques, désert de sable, désert rocheux, désert argileux et désert salin.

D'après HUETZ DE LEMPS A., *La végétation de la Terre*, Initiation aux études de Géographie, Masson, Paris, 1970, pp 121-122.

Doc 8

L'origine du Sahara

L'origine en est double. D'abord le Sahara ne fut pas de tout temps soumis au régime climatique que nous connaissons. A une époque encore indéterminée (peut-être contemporaine de la période glaciaire), il eut ses pluies abondantes et ses grands fleuves. Il fut donc, comme l'Europe actuelle, l'objet de l'érosion superficielle produite par la décomposition chimique des roches sous l'effet des eaux de pluie chargées d'acide carbonique, et par l'action mécanique des torrents. Les formes topographiques des massifs montagneux, aussi bien que la présence de larges lits de fleuves aujourd'hui desséchés, décèlent partout l'effet intense produit par le ruissellement des eaux de surface. Des monts de l'Atlas comme de l'Ahaggar, de l'Aïr, du Tibesti dévalait tout un éventail de puissantes rivières qui rejoignaient le Niger et le Tchad ou alimentaient des mers intérieures semblables à la Caspienne et à la Mer d'Aral.

Lorsque le climat se modifia, et que s'établit le régime désertique, l'érosion éolienne remplaça l'érosion fluviale. Les alluvions déposées, par les fleuves furent remaniées par le vent, amoncelées en dunes. L'extrême variabilité des températures de jour et de nuit provoqua et provoque continuellement la brusque dilatation, l'éclatement des roches. Les parties les plus fines entraînées par le vent se déposèrent dans les dépressions et s'ajoutèrent aux alluvions sablonneuses primitives. Les autres que les torrents n'emportaient plus s'amoncelèrent au pied des arêtes qu'elles ennoyèrent. Bien plus, le sable lui-même devint un agent actif de destruction. Ses dures particules de quartz chassées avec violence à la surface des plateaux ou sur les berges de falaises, usent la roche, la polissent ou la rongent. Ainsi sous l'action combinée de la dilatation et de la masure du sable se continue l'œuvre d'érosion commencée aux époques géologiques antérieures par le jeu normal des eaux pluviales. Les pentes doucement inclinées propres aux pays humides ont disparu pour faire place aux parois verticales, aux falaises abruptes et décharnées aux « gours » ou pyramides rocheuses isolées dans l'océan des sables : le soleil et le vent règlent seuls la destinée du désert.

Extrait de GRANGER E., *Nouvelle Géographie Universelle*, tome 2, Hachette, Paris, 1922, pp 107 et 108.

Doc 9

Paysages de la région aride

À gauche, un massif montagneux et son glacis. Les parois, fragmentées par l'action du gel qui fait éclater les roches, ont pris des formes déchiquetées et abruptes. Le résultat de l'érosion forme aux pieds du massif un glacis ; celui-ci, à une époque ancienne où les pluies étaient abondantes, a été lavé de ses éléments les plus légers qui ont été entraînés vers les parties basses. Aujourd'hui, un oued, alimenté par les maigres eaux de ruissellement venant des hauteurs du massif, se perd dans les sables. Au centre, un ensemble dunaire (erg). Les dunes, formées par l'accumulation des fines particules arrachées aux reliefs par les vents, peuvent se présenter sous diverses formes. On distingue :

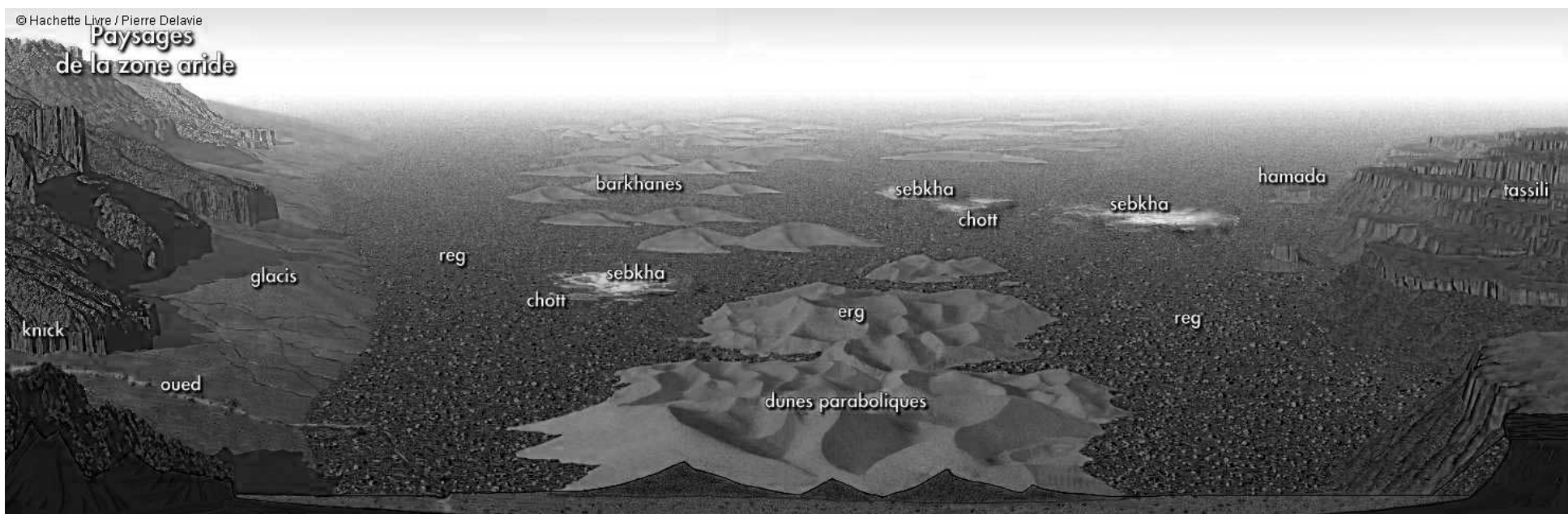
- les dunes isolées, telles que les nebkas, amas de sable appuyés contre un relief qui fait obstacle, et les barkhanes, dunes jeunes, en forme de croissant, formées par un régime de vents dominants.
- les champs de dune, créés par une alimentation abondante en sable que le vent modèle sans cesse. Les dunes forment alors des cordons perpendiculaires à la direction principale du vent qui s'engouffre entre les chaînes de dunes et surcreuse ces couloirs (ghassi) jusqu'à faire apparaître le substratum, formé de sols fermes. De chaque côté du champ de dunes, s'étend le reg, immense plaine caillouteuse, où les fragments rocheux qui couvrent le sol proviennent de la fragmentation des roches



éclatées sous l'effet du gel. Quelques taches blanches révèlent la présence de sebkhas, dépressions où l'eau s'accumule parfois après la pluie, mais qui, au bout de quelques jours s'évapore en déposant les sels dissous. Ces cuvettes plus ou moins humides sont entourées d'une auréole de maigre végétation (chott). À droite, le domaine des plateaux (hamadas, tassilis), vastes structures sédimentaires où la présence d'une couche dure (grès) détermine des reliefs de côtes.

D'après Hachette Multimédia / Hachette Livre, 2000

Chott el Jeria en Tunisie



Thème : la végétation et la faune

Doc 1

Faune et flore du désert

Plantes et animaux des déserts chauds ont développé des stratégies d'adaptation subtile et étonnantes

Dans le désert, les plantes herbacées survivent jusqu'à 50-55°C, voire 65 °C pour le figuier de Barbarie. Les animaux ont un niveau de tolérance moindre, d'environ 40 à 50 °C, et passent, pour la plupart, leur journée ensevelis sous terre. Seuls certains insectes et scorpions supportent des températures de 50 °C.

ÉVITER LA CHALEUR

Pour survivre à la chaleur, deux solutions seulement l'éviter ou la tolérer. La plus répandue consiste à s'en protéger pendant la journée. Ainsi, certaines plantes s'abritent à l'ombre des arbustes, aux endroits frais et humides, ou dans le sous-sol. Elles adoptent aussi des cycles vitaux leur permettant de survivre à de longues périodes de repos, puis de déborder d'activité lorsque les conditions sont plus clémentes. Certaines graines peuvent rester en dormance des années jusqu'à ce que des conditions propices (par exemple, l'abrasion causée par des inondations subites) déclenchent leur germination. La croissance rapide qui s'ensuit produit suffisamment de graines pour la génération suivante, avant que l'eau ne manque de nouveau.

LA TOLÉRANCE À LA CHALEUR

Des formes végétales et animales tolèrent des chaleurs extrêmes en contrôlant leur température et déperdition hydrique. Dans ces conditions, les animaux adoptent plusieurs stratégies parmi lesquelles l'exposition au soleil de la plus petite surface corporelle possible. Ils sont, le plus souvent, de couleur claire, ce qui réduit au maximum l'absorption du rayonnement solaire tout en optimisant sa réflexion. Leur corps est fréquemment couvert d'épines ou de poils qui, selon le cas, absorbent ou réfléchissent une grande partie du rayonnement incident et forment une couche isolante. Les animaux de grande taille comme le chameau et la chèvre, ont recours au refroidissement par évaporation. Le premier a de très larges sabots pour marcher sur le sable, des cils épais et des narines qui se ferment pour l'empêcher d'y pénétrer, ainsi que des lèvres épaisses lui permettant de brouter les plantes très épineuses. Au Sahara, le lézard du palmier dattier change de couleur en fonction de la température, passant du brun noirâtre lorsqu'il fait froid, au jaune orangé ou au vert par temps chaud. Une araignée, particulièrement bien adaptée, tisse des toiles dans le désert de Namibie, près de la côte atlantique, pour recueillir, par condensation, l'eau des brouillards littoraux. Les gerboises (rongeurs du désert) ont des pattes postérieures extrêmement longues qui leur permettent d'effectuer des bonds rapides sur le sable, facilitant ainsi leur déplacement et donc leur recherche de nourriture.

Quant à la vipère à corne, elle est dotée latéralement d'écailles spéciales qui l'aident à s'ensevelir dans le sable, où elle attend sa proie. Certains oiseaux évitent la chaleur en se laissant porter par les courants ascendants vers les zones où l'air est notablement moins chaud.

SURVIVRE SANS EAU

Les animaux utilisent diverses méthodes pour rester hydratés : Ils transpirent peu, expulsent des excréments presque secs et n'urinent que de petites quantités très concentrées. Certains tolèrent une forte déshydratation prolongée. Ainsi, le chameau privé d'eau supporte

une perte pondérale de 25 % qui peut durer une semaine au plus fort de l'été, alors qu'en hiver, dans les mêmes conditions, il ne perd que 16 % de son poids en 17 jours. Quand l'occasion se présente, ils sont capables de boire beaucoup d'eau en quelques minutes afin de reconstituer leur réserve. Des oiseaux, certaines plantes et beaucoup d'insectes parviennent également à survivre à une déshydratation très prononcée.

Pour réduire leur déperdition hydrique, les plantes adoptent également certaines stratégies : leurs stomates ne s'ouvrent que la nuit ou s'escamotent, leurs cuticules et pubescences sont épaisses. Une surface exposée réduite par rapport au volume est idéale, raison pour laquelle nombre de cactées ont une forme à peu près sphérique. D'autres plantes, comme la créosote, et maints cactus ont un système racinaire volumineux et peu profond qui leur permet de recueillir un maximum d'eau même lors de brèves averses ; quant à une variété de prosopis, le mesquite, ses racines pénètrent de 10-30 m dans le substrat pour puiser l'eau dans les nappes phréatiques. Les systèmes racinaires des plantes les mettent en concurrence dans leur recherche d'eau, ce qui explique pourquoi, dans le désert, les arbustes parvenus à maturité sont uniformément répartis dans le paysage.

Extrait de W. J. BURROUGHS, *L'encyclopédie du climat*, éd. Delachaux et Niestlé, Lausanne-Paris, 2000, pp 158 et 159.

Doc 2

La vie dans les déserts

1. Ecologie désertique

L'eau au niveau du sol.

En climat tempéré humide, l'humidité est plus forte au niveau du sol que dans l'air sus-jacent. En climat désertique, c'est le contraire, à cause de l'intensité des échanges thermiques, générateurs d'évaporation.

Le phénomène des précipitations occultes, qui perturbe complètement le bilan hydrique calculé sur les seules données climatologiques classiques, se produit évidemment au niveau du sol. En fin de nuit, la condensation sur les parois froides est considérable. C'est vrai pour les déserts de type saharien : en Égypte, on a récolté 400 cm³ d'eau de rosée par mètre carré et par nuit. C'est également vrai des déserts brumeux, plus humides : Dollfus décrit la condensation sur les arbres plantés du désert péruvien.

Ces précipitations occultes s'ajoutent donc aux précipitations comptabilisées par les pluviomètres. Mais l'intensité de l'évaporation ne laisse pas subsister grand-chose. Seuls, les sables peuvent accueillir des réserves hydriques, à cause de leur granulométrie : on admet qu'il y a enfouissement d'1 cm pour une alimentation d'1 mm. Tous les autres matériaux sont défavorables à l'absorption : roches dures affleurantes ou argiles, comme glacées en surface tout est favorable au ruissellement et peu propice au stockage.

N'oublions pas, enfin, l'inexistence des sols, au sens sociologique du terme, ou du moins leur rareté. L'enracinement des plantes désertiques sera donc, nécessairement, profond.

Dernier point, enfin : les eaux mises à la disposition de la vie, au niveau du sol, sont des eaux chargées de sels. Il y a trois raisons à cette charge anormale. La première est que l'évaporation fait remonter vers la surface et précipiter les sels dissous en profondeur. La seconde, que ces sels ne sont pas emportés par les fleuves vers l'océan, puisque les déserts sont généralement aréiques ou endoréiques. La troisième, enfin, que la fourniture même de sels variés (NaCl CO₃ Na₂, S₀4Na₂, SO₄Ca) par les roches est plus abondant que partout ailleurs, puisque les mêmes conditions de non dessalage règnent dans les déserts depuis un lointain passé géologique

La vie devra s'accommoder de ces fortes teneurs : les plantes seront forcément plus ou moins halophiles.

Les contrastes thermiques du sol.

Le sol se trouve généralement beaucoup plus échauffé que l'air par les radiations solaires. Les mesures sont innombrables. Voici, par exemple, une observation faite à Palerme, en Sicile, en été c'est-à-dire en condition subdésertique : T de l'air à 2 m : 28°C ; T au sol 62°C ; une autre dans le *Kara Koum* : T de l'air à 2 m = 33,5°C ; T au sol 64°C . Le sol peut donc devenir littéralement brûlant,

Le dernier facteur thermique à envisager est l'allure du gel dans le sol. En désert chaud le sol, en hiver, est très facilement à 0°C et au-dessous, de telle sorte que le gel pénètre la couche superficielle. Dans le désert Mohave, par exemple, il gèle sur 20 cm de profondeur chaque hiver.

L'absence de tapis végétal isolant, l'absence de tapis neigeux épais et durable en altitude, la faible teneur hydrique des sols désertiques font que l'onde de gel pénètre assez, profondément en général.

En conclusion, les plantes des pays désertiques doivent être capables de tolérer la sécheresse de l'air et la force irradiante de la lumière ; de se contenter d'une eau rare qu'elles puiseront en profondeur ; de supporter des sécheresses de longue durée, voire de plusieurs années ; d'utiliser des eaux souvent chargées de sels ; de résister aux contrastes thermiques du sol superficiel, voire à un gel plus ou moins prolongé ; de s'accommoder des divers effets du vent de façon à ce qu'aucune des fonctions élémentaires (absorption, assimilation, respiration, transpiration, circulation, etc.) ne soit gênée au point d'entraver la croissance et la reproduction ... Le « cahier des charges » est aussi sévère qu'en milieu circumpolaire.

2. L'adaptation des plantes au milieu désertique.

A ces diverses exigences, le végétal répond par une adaptation qui se traduit par des changements morphologiques, physiologiques et sociologiques.

Adaptation au manque d'eau

L'eau est essentielle à la vie donc à la plante. Dans une plante, l'eau sert de matière première au métabolisme cellulaire, elle sert de vecteur aux diverses substances nutritives, elle participe au maintien érigé de la plante par la turgescence des cellules. On sait que les besoins en eau de la plante varient au cours du cycle végétatif : maximaux au début de la floraison, ces besoins sont minimaux lors de la maturation des fruits. Le circuit de l'eau est bien connu. L'eau du sol est pompée par les racines grâce à la pression osmotique de la sève, puis elle monte par les vaisseaux du bois jusqu'au niveau de la feuille. Là, elle est partiellement évaporée soit par les stomates soit directement au travers de la cuticule. L'évaporation rafraîchit la feuille de plusieurs degrés. Enrichie par l'assimilation chlorophyllienne la nuit, par la respiration le jour et la nuit, la sève élaborée acquiert une forte pression. Elle redescend par le liber et irrigue tous les « appareils » de la plante.

Ce mécanisme fondamental est perturbé si l'air qui baigne la partie aérienne de la plante est très sec, car la transpiration est directement activée. La sève, alors, se concentre, à la fois par simple déshydratation (l'eau liée aux molécules n'est pas touchée) et par transformation de l'amidon des vacuoles en divers polymères du sucre. Il y a donc augmentation de la pression osmotique, donc accélération du pompage au niveau des racines. Si l'alimentation est suffisante, l'équilibre se rétablit. Si elle est insuffisante (cas des déserts), les stomates se ferment automatiquement par plasmolyse de leur pourtour. L'avantage de cette fermeture est le blocage de la transpiration. Mais la parade a aussi des inconvénients puisque c'est par les

stomates que se fait l'assimilation chlorophyllienne : le métabolisme, donc la croissance se ralentissent.

On constate aussi que, par l'intermédiaire d'une diminution de taille des cellules, accompagnée d'une meilleure spécialisation de ces cellules, les feuilles sont plus petites, plus épaisses et plus coriaces en surface à cause du tissu palissadique, ce qui diminue la transpiration cuticulaire automatique ; que les stomates sont plus nombreux ; que les canaux résinifères, dont les essences amortissent l'évaporation, sont très développés que la fréquente transformation des feuilles en épines est due à l'excès de sucre ; que des poils entourent les stomates ; que la lignification de la plante est accentuée, ce qui lui permet de garder un port érigé.

Les « xérophytes » ou plantes adaptées à la sécheresse, sont raides, dures et souvent piquantes (ex. les acacias).

L'influence de la lumière

Elle est comparable, presque en tous points, à l'influence de la sécheresse.

Par contre, deux caractères paraissent spécifiques de l'action de la seule lumière. C'est, d'abord, le fort développement des pigments de la feuille, et, ensuite, l'accumulation des réserves dans les racines. Les plantes désertiques fabriquent beaucoup de glucides, nous l'avons vu : mais comme la lumière gêne leur fixation, ils sont automatiquement stockés à l'ombre, c'est-à-dire dans les racines. C'est le phénomène de tubérisation. Dans les latitudes qui nous intéressent, la tubérisation par rhizome l'emporte sur la tubérisation par bulbe, probablement à cause de la relative brièveté de la photopériode. L'orientation du limbe foliaire parallèlement aux rayons du soleil est probablement un autre type de réaction à la lumière.

Le rôle de la chaleur

Il est équivoque car les fortes températures encouragent certains mécanismes tout en contrariant certains autres. La chaleur, par exemple accélère, tout comme la lumière, l'assimilation chlorophyllienne, donc la pigmentation des plantes. Par contre, accélérant la respiration et le métabolisme, elle tend à accélérer la croissance végétale au moment où la lumière et la sécheresse tendent, elles, à la ralentir. Il n'est pas niable que le meilleur allié des fortes chaleurs est un bon ravitaillement en eau. Le xéromorphisme des plantes désertiques ne les aide donc nullement à supporter les fortes chaleurs du milieu du jour. Inversement, l'influence du froid va dans le même sens que celle de la sécheresse et de la lumière.

Les réactions à l'action du vent et à la concentration des sels dans les solutions complètent le tableau de l'adaptation xérophytique. Les vents fréquents et saccadés du désert accélèrent, en effet, la déshydratation des végétaux, et ce, de deux façons : la première en balayant l'atmosphère pelliculaire qui baigne directement la plante et qui, chargée d'humidité et des parfums essentiels exhalés, tend normalement à ralentir l'évaporation. La seconde en agitant et en cassant les feuilles et les rameaux. On a vérifié expérimentalement que les secousses hâtent la transpiration et il est évident que les blessures occasionnées aux tissus sont autant de portes de sortie pour l'eau interne du végétal. Cette action mécanique du vent aboutit, du même coup, à élaguer les extrémités des rameaux et à imposer à la plante un port aérodynamique : une forme du buisson rond et aplati en général. voire en coussinet.

La morphologie des plantes succulentes

Elle révèle un autre type d'adaptation au milieu désertique. Alors que les xérophytes que je viens d'étudier résistent en diminuant leurs besoins, les succulentes ont comme choisi de mieux vivre grâce à leur faculté d'accumuler d'énormes réserves...

L'approvisionnement en eau est assuré par un réseau très étendu de racines peu profondes, susceptibles d'absorber très vite l'eau d'une brève averse ou l'eau de rosée. Mais il est complété par une fabrication directe d'eau de synthèse par oxydation des sucres, ce qui est une solution originale. Le stockage de l'eau est assuré par des tissus mucilagineux à forte capacité d'imbibition répartis en différents endroits. En général, dans la tige (Cactées, Euphorbes) ou dans les feuilles (Mésembryanthèmes, Agaves), la quantité emmagasinée peut être énorme : on cite toujours *Carnegia gigantea*, qui peut accumuler de 2 à 3 m³ d'eau. Mais ces réserves seraient inutiles si les succulentes gaspillaient. On constate au contraire une organisation parfaite de lutte contre l'évaporation : diminution du nombre des stomates, cuticule cireuse et très épaisse, complète suppression des feuilles dans de nombreux cas, tapis de poils ou même d'épines. La forme ramassée des succulentes, limitant la surface d'évaporation, est un facteur défavorable à la déshydratation. Parfois, la plante se réduit à une sorte de truffe demi enterrée, qui capte la lumière par un petit hublot (*Lithops* du Kalahari). N'évaporant pas, les succulentes ont une température interne généralement plus élevée de 4 ou 5°C que celle de l'air ambiant, dans la journée.

Les déserts brumeux à fortes précipitations occultes nous offrent un cas bien particulier d'adaptation le cas des épiphytes. Alors que les xérophytes et les succulentes vivent de l'eau du sol et s'isolent de l'atmosphère, les épiphytes s'isolent du sol et vivent de l'humidité atmosphérique. Simplement posées par terre, ou sur d'autres végétaux, elles n'ont pratiquement aucun enracinement, mais leur appareil aérien s'imbibe de rosée ou de vapeur condensée, et elles supportent un ensoleillement atténué.

Vivaces et éphémères

Les modifications morphologiques imposées par le milieu aride sont donc la xéromorphie d'une part, la succulence d'autre part, et, accessoirement l'épiphytie. Dans tous les cas, cette adaptation concerne des plantes vivaces, capables de subsister de nombreuses années. Parmi les Phanérophytes, la dimension « arbre » est rare, à cause de la lenteur de la croissance, de l'effet mécanique du vent, etc. Curieusement, ce sont les grandes succulentes des semi-déserts qui ont un port quasi arborescent. La forme arbustive (Nanophanérophytes) et la forme buissonnante (Chaméphytes) sont prédominantes, si les facteurs édaphiques s'y prêtent.

Dans tous les cas l'enracinement est profond les entre-noeuds sont brefs, les tiges sont noueuses, ramifiées et souvent épineuses, les feuilles réduites, dures et nervurées, les fleurs sont pâles et les fruits ne sont pas charnus. La variété des modes de feuillaison est grande : la plante peut porter des feuilles pérennes, ou n'en avoir qu'en cas de pluie, ou bien n'en pas avoir du tout, ou bien ne pas produire le même type de feuille selon les saisons de l'année. La strate herbacée est également bien représentée.

Les racines sont à la fois profondes et traçantes, rhizomateuses ; les feuilles restent desséchées et recroquevillées aussi longtemps qu'il ne pleut pas. Ces plantes vivaces, en leurs différents états, sont l'élément permanent des déserts.

Mais il existe une autre catégorie de plantes qui s'adaptent au milieu désertique non pas en ralentissant leur croissance mais au contraire par la prestesse de leur développement. On les appelle des éphémères. Leurs graines, nombreuses et fortement déshydratées, sont protégées par un enduit dont, seuls, des lavages nombreux et les microblessures du traînage par ruissellement, pourront venir à bout. Leur capacité de dormance peut atteindre le demi-siècle. Vienne une pluie, après un an, deux ans, trois ans d'attente, et la graine brusquement, dans un délai de un à trois jours, émet des racines, fabrique quelques feuilles tendres, déploie des fleurs délicates aux couleurs éclatantes, fructifie, meurt. Grâce à la brièveté de son existence, quelques semaines en général, (dix jours pour *Boehavia repens* !) la plante a profité constamment de bonnes conditions de développement.

Ces pâturages dérobés, rudes, tendres et fugaces, appelés « acheb » au Sahara, sont une aubaine pour les troupeaux.

D'après DEMANGEOT J., *Les milieux naturels du globe*, Masson, Collection Géographie, Paris, 1987, pp 65-77.

Doc 3

Le palmier dattier

Le palmier dattier est une espèce thermophile mais qui peut supporter, avec un retard ou un arrêt du développement, des températures de -15°C . Selon le cultivar, l'activité végétative se manifeste à partir de 7 à 10°C et elle atteint son intensité maximale de végétation entre 30 et 37°C .

En général, le palmier dattier est cultivé à des altitudes ne dépassant pas quelques centaines de mètres ; certaines palmeraies sont situées à de très faibles altitudes et même à des altitudes inférieures au niveau de la mer.

Le palmier dattier est associé aux milieux arides et semi-arides, mais il ne peut s'installer que dans des endroits où les ressources hydriques souterraines compensent les précipitations insuffisantes. Les besoins en eau d'irrigation ont été estimés à $0,5\text{ m}^3$ par palmier ou 60 m^3 par jour et par hectare de palmeraie régulièrement plantée (à $9\text{ m} \times 9\text{ m}$).

Le palmier dattier est cultivé avec une densité de 100 à 120 pieds à l'hectare dans les exploitations organisées. En Algérie, cette densité est respectée dans les plantations industrielles alors que dans les jardins traditionnels, elle est beaucoup plus élevée ; elle atteint 350 palmiers par hectare dans les jardins du Mزاب et 500 palmiers/ha dans les palmeraies du Touat et du Gourara.

La durée de vie du palmier dattier peut dépasser 70 ans mais la période maximale d'exploitation en milieu oasien est en moyenne de 50 ans. La limite d'exploitation est souvent due à la difficulté d'entretenir des palmiers dont les tissus du stipe sont détériorés et/ou présentant un très faible diamètre (30 à 35 cm) et une hauteur très importante (plus de 15 mètres).

Le palmier dattier peut être multiplié par voie végétative ou par voie sexuée. Le processus de reproduction végétative est assuré par le développement des bourgeons axillaires, situés à l'aisselle des palmes, qui donne naissance à des rejets appelés drageons, lorsqu'ils sont produits dans la partie basale du stipe, et gourmands, lorsqu'ils sont produits à la partie moyenne de celui-ci.

Dans le cas de la reproduction sexuée, la graine, fruit de la pollinisation entre plant mâle et plant femelle, germe et donne naissance à une plantule ; à l'âge adulte, ces plants sont appelés Khalts. Ils ont 50% de chance d'être mâle ou femelle. Leur sexe ne peut être déterminé qu'à l'âge de 5 à 8 ans, date du développement des premières inflorescences.

En général, le palmier dattier est multiplié par voie végétative, grâce aux drageons qu'il produit (10 rejets en dix ans, en moyenne ; ce nombre varie selon l'âge et le cultivar). Les cultivars Jihel et Boufeggous produisent 40 à 50 rejets, dans leurs 5 premières années alors que le cultivar Bou Stammi n'émet que 5 à 10 rejets dans le même temps mais en émet pendant une période plus longue de sa vie. La réussite de la reprise des drageons varie en fonction de l'âge du drageon, de son poids à la plantation, des fréquences d'irrigation ainsi que de la technique de transplantation.

Diversité génétique

Dans les lits d'oued et même dans certaines palmeraies conduites selon le mode traditionnel, les agriculteurs laissent pousser des palmiers issus de graines dont ne sont connus ni le sexe, ni la qualité. Les palmiers femelles, de production dattière qualitativement et quantitativement acceptable, sont multipliés par récupération et plantation des rejets qu'ils produisent. C'est ainsi que la majorité des cultivars connus a été sélectionnée et constitue actuellement des clones de quelques centaines de pieds, pour les uns, et quelques milliers ou dizaines de milliers de palmiers, pour les autres. La distinction entre cultivars se fait, essentiellement, en se basant sur la vigueur du palmier et la morphologie des fruits (couleur et mensurations) et des palmes (couleur et longueur de la palme ainsi que la taille et l'insertion des épines sur celle-ci). Certains cultivars peuvent être identifiés grâce à des critères biochimiques.

L'aire phoénicicole algérienne couvre deux millions de kilomètres carrés. Huit cents cultivars ont été recensés pour une population de six à dix millions de palmiers dattiers. Au Maroc, 1300 cultivars ont été recensés ; 900 d'entre eux sont représentés par quelques pieds, uniquement. La diversité génétique du palmier dattier n'est pas uniformément répartie dans ses aires de culture. Elle est importante dans les oasis traditionnelles où les agriculteurs laissent pousser des plants issus de semis. Par contre, les aires de culture intensive du palmier comptent beaucoup moins de cultivars.

La répartition des cultivars de palmier dattier à travers les zones phoénicoles mondiales dépend directement des conditions bioclimatiques tolérées par chaque cultivar. Ainsi, les dattes de le cultivar Deglet Nour collectées, en Algérie, à Tolga ou à Biskra sont de très bonne qualité alors que celles, du même cultivar, provenant du Mزاب sont généralement plus sèches et plus petites, donc de qualité nettement inférieure.

Importance socio-économique

Certains cultivars produisent annuellement plus de 100 kg de dattes par palmier mais le rendement moyen mondial serait seulement de 20 kg par palmier. En Algérie, la production annuelle de dattes est, en moyenne, de 180.000 tonnes. En Algérie, la datte Deglet Nour, de bonne qualité, est souvent exportée ; elle constitue ainsi une source, non négligeable, de devises pour le pays. A titre d'indication, 4 à 6 kg de dattes Deglet Nour rapportent la même somme d'argent qu'un baril de pétrole (12 à 18 dollars). L'exploitation du palmier dattier constitue une source de revenus financiers appréciable pour les habitants des oasis ; toutes les parties du palmier dattier sont utilisables: les dattes de bonne à moyenne qualité servent à l'alimentation de l'homme, les folioles des palmes, les noyaux et les dattes de mauvaise qualité alimentent les animaux domestiques (dromadaire, chèvre, mouton et âne) et le bois dustipe ainsi que la nervure principale et le pétiole des palmes servent de matériaux de construction. Les populations des oasis considèrent le palmier dattier comme un membre de la famille. C'est un compagnon de longue date ; on le chante lorsqu'il produit et on est triste lorsqu'on le perd. L'importance qu'occupe le palmier dattier dans ces sociétés est due au rôle que joue cette plante dans le système oasisien: elle favorise le développement d'un microclimat propice à la culture d'arbres fruitiers, de plantes maraîchères, fourragères ou céréalières. Le palmier constitue, ainsi, le pilier sur lequel repose tout le système oasisien.

D'après www.apsnet.org/pd/+toc/2000/dma00lft.asp.

Doc 4

Le Bayoud, maladie du palmier dattier

Le Bayoud ou « Bayodh » est une maladie vasculaire du palmier dattier. Elle sévit uniquement au Maroc (depuis 1870) et en Algérie (depuis 1898). L'agent causal, *Fusarium*

oxysporum f. sp. *albedinis*, est un champignon du sol pouvant survivre durant des années en l'absence de son hôte. Le Bayoud constitue, sans aucun doute, la maladie la plus destructrice du palmier dattier. L'action du champignon débute au niveau des racines et les conséquences de l'attaque commencent par une diminution de la vigueur et finissent par la destruction totale du palmier. Toutes les parties végétales d'un palmier dattier infecté peuvent transmettre la maladie. Aussi, le sol infesté et les plantes « porteurs sains » peuvent servir de vecteur de la maladie. Cependant, la contamination d'une palmeraie se fait essentiellement par l'introduction de matériel végétal infecté ; la maladie se développe dans un premier jardin et sur un nombre réduit de palmiers (foyer primaire) ; des plants proches sont par la suite contaminés et des foyers secondaires se développent ; l'étape finale du développement de la maladie consiste en sa généralisation à toute la palmeraie (Brochard et Dubost, 1970) (Figure1).

D'après http://membres.lycos.fr/agromzab/contrib_mohamed3.htm

Moyens de lutte contre le Bayoud

Parmi les moyens de lutte entrepris contre le Bayoud, nous pouvons distinguer la lutte prophylactique, la lutte chimique et la lutte génétique.

Les moyens de lutte physique (solarisation) et biologique (utilisation d'antagonistes) sont généralement restés au stade de l'expérimentation.

La prophylaxie est un moyen de lutte préventif indispensable. Elle consiste à informer les occupants et des oasis sur la réalité du Bayoud et à surveiller de manière stricte le mouvement de tout échange de matériel (végétal, machine ou outil de travail) au sein d'une même palmeraie et entre palmeraias distinctes. Ainsi, ce moyen de lutte permet de limiter la propagation de la maladie dans une même palmeraie et éviter sa propagation vers de nouvelles palmeraias.

La lutte génétique se résume à la sélection de palmiers dattiers résistants au Bayoud. Ce travail se fait par le moyen de deux méthodes :

- rechercher, dans les palmeraias dévastées par la maladie, des palmiers ayant survécu après contact avec la maladie. Ces sujets sont collectés puis remis en contact avec l'agent pathogène (*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*) afin de confirmer ou infirmer la résistance constatée ;



Un palmier dattier atteint du bayoud. Au Maroc, un tiers des palmiers sont atteints de cette maladie dont on voit les conséquences sur les feuilles qu'elle nécrose.

- réaliser des croisements génétiques en vue d'accroître la résistance de cultivars économiquement intéressants (Zaki, 1991).

La lutte génétique exploite la diversité phytogénétique afin de cerner la maladie, peupler de nouveaux périmètres et repeupler les zones dévastées. Un travail de sélection amorcé depuis un demi-siècle a permis de mettre en évidence une quinzaine de cultivars de palmiers dattiers et quelques khalts (palmiers issus de la germination de noyaux) résistants au Bayoud (Pereau Leroy, 1958).

Depuis des décennies, les essais de lutte chimique et physique contre le Bayoud se sont multipliés : convaincus du pouvoir inhibiteur de produits chimiques vis-à-vis du Bayoud, certains agriculteurs ont procédé à des apports de fortes quantités de sel, au pied du palmier malade ; d'autres, pour les mêmes raisons, ont apporté de la chaux ; des trous réalisés au tronc (stipe) de palmiers ont servi pour injecter certaines substances (solution de fer, de sel ou autre) ; certains ont cessé d'arroser leurs palmiers, après avoir soupçonné la contribution de l'eau dans l'activation de la maladie.

En partant de ces essais, des chercheurs ont entrepris certains de ces aspects. Ainsi, le rôle de la diminution de l'eau d'irrigation dans le ralentissement de la maladie a été testé et confirmé. De plus, en isolant certains palmiers infectés en creusant des tranchées autour de ceux-ci, un groupe de palmiers a été maintenu indemne dans un jardin complètement dévasté par la maladie ; Ceci a permis de prouver la transmission de la maladie par contact de racines.

D'après http://membres.lycos.fr/agromzab/contrib_mohamed2.htm

Doc 5

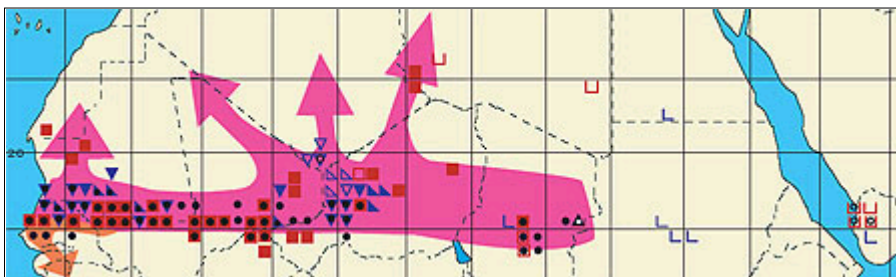
CRIQUETS PÈLERINS : comment arrêter l'invasion ?

Depuis l'automne 2003, les criquets pèlerins rencontrent au Sahel et en Afrique du Nord, des conditions idéales pour leur reproduction. Les pays des zones concernées luttent contre cette invasion. En vain.

Une invasion exceptionnelle

La saison estivale, une fois de plus, aura été favorable à la reproduction des criquets pèlerins. Ils ont ainsi été des milliards à investir – pour la seconde année - le Sahel. Selon les estimations de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), trois à quatre millions d'hectares ont d'ores et déjà été infestés, la Mauritanie étant le pays le plus touché avec près de 1,6 million d'hectares dévastés.

Pour les populations, la menace est réelle : une tonne de ces insectes, soit une fraction d'un essaim moyen, consomme en un jour autant de nourriture que 2500 personnes ! Selon les pays, jusqu'à 40% des pâturages et 10% des cultures de légumineuses ont été ravagés.



La situation actuelle et les prévisions pour mi-novembre 2004

Avec l'arrivée de la saison sèche, les criquets migrent désormais vers le Maghreb. « C'est la pire des situations que l'on ait connue depuis quinze ans, affirme ainsi Annie Monard, acridologue à la FAO, si les conditions s'y prêtent, les insectes se reproduiront dans des proportions bien plus grandes que l'année dernière. » Extrêmement prolifique, l'insecte est en effet capable de multiplier ses effectifs par dix à chaque nouvelle génération !

Les raisons du fléau

Vivant la plupart du temps en solitaire sur le pourtour des massifs montagneux du Sahara, le criquet pèlerin ne représente habituellement aucune menace pour les cultures ou les pâturages.

Mais en octobre 2003, des pluies abondantes, bien réparties dans l'espace et dans le temps, ont permis aux criquets de se reproduire dans des conditions idéales.

« Leur effectif a dès lors augmenté de manière considérable, explique Annie Monard, ce qui a eu pour effet de les faire passer d'une phase solitaire à une phase grégaire ».

À la fin de la période estivale (qui correspond à la période des pluies), les essaims sont passés dans le Maghreb où ils ont rencontré, une fois de plus, des conditions très favorables à leur reproduction. Malgré des traitements effectués sur des superficies considérables – presque 6 millions d'hectares –, les insectes ravageurs sont revenus massivement vers les pays du Sahel à partir de fin juin début juillet 2004, envahissant la Mauritanie, le Sénégal, le Mali, puis le Niger, le Tchad, le Burkina Faso, quelques essaims atteignant même les îles du Cap Vert.

« Une fois de plus, les insectes ont rencontré dans ces régions des conditions favorables, note Annie Monard, et c'est à leur descendance que nous avons affaire aujourd'hui. »

Des essaims trop diffus

La meilleure arme pour combattre les criquets est la lutte préventive. Elle consiste à évaluer régulièrement les populations de criquets existantes et en cas de densité élevée, à traiter les zones concernées.

En 2003, l'alerte a été donnée par la FAO. Plusieurs pays dont le Mali ou la Mauritanie ont alors commencé les traitements.

« Des traitements sans doute insuffisants, note Annie Monard, mais les essaims – très diffus – étaient difficilement traitables : on ne peut pas se permettre de répandre des insecticides sur des surfaces immenses lorsque seulement quelques insectes existent au mètre carré. »



Au Maghreb, de nombreux essaims suffisamment denses ont pu être traités. Mais, d'autres, trop diffus, ont échappé au traitement, si bien que l'invasion n'a pu être enrayerée.

100 millions de dollars

Dès le début de la crise, la FAO a tenté de mobiliser les bailleurs de fonds afin de financer la lutte contre l'invasion qu'elle jugeait imminente.

En février 2004, elle estimait ainsi les besoins à 9 millions de dollars. Mais en août, ce chiffre s'élevait à 100 millions de dollars. Or, à la mi-septembre, la FAO n'avait reçu que 2 millions de dollars !

Suite à un nouvel appel, le montant reçu au 19 octobre 2004 s'élève désormais à près de 47 millions de dollars, auxquels s'ajoutent 6 millions de dollars sur les fonds propres de la FAO. L'organisme attend encore 17 millions de dollars supplémentaires, promis par les bailleurs de fond, et négocie encore 4,6 millions de dollars supplémentaires.

Mais alors que la lutte actuelle n'a pas encore bouclé son financement, il est déjà temps de se mobiliser pour 2005.

D'après http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/magazine/article.php?id_mag=3&id_article=3463&lang=fr

Les criquets arrivent au Maroc

« *La sécheresse dans le Sahel ainsi que les vents du sud ont favorisé la remontée d'essaims de criquets vers le Maroc* », a expliqué à l'AFP Moha Bagari, un responsable du Poste central de coordination de la lutte anti-acridienne (PCCLA), ajoutant que cette remontée était survenue « *particulièrement tôt cette année* ».

Cette vague de criquets « *n'a jusqu'à présent provoqué que des dégâts minimes* », a-t-il assuré, assurant que « *dès qu'un essaim est localisé, une intervention terrestre ou aérienne a lieu* ». Une partie du Sahara occidental et de la région de l'Anti-Atlas ont ainsi été traitées.

« *Le Maroc va probablement connaître d'autres remontées de criquets* » au cours de l'hiver, a ajouté le responsable du PCCLA.

La presse marocaine s'est inquiétée mardi de l'avancée des criquets pèlerins. Le Matin a signalé une « *vaste invasion acridienne dans les régions sud et est du royaume* ».

« *C'est le Souss (la région d'Agadir) qui est menacé, plus que n'importe quelle autre région du sud* », a notamment relevé Al Bayane. Ce journal rappelait qu'il s'agit d'une importante région agricole d'où sont exportés « *80% de la production nationale de légumes et plus de 55% des agrumes du Maroc* ».

En juillet, le Maroc avait déjà connu « *une invasion d'une ampleur exceptionnelle* » de criquets pèlerins. Quelque 106.000 hectares étaient alors infestés quotidiennement, avaient indiqué les autorités qui ont déployé d'importants moyens de lutte aériens et terrestres contre ces insectes.

Le 28 octobre 2004

D'après http://www.sahariens.info/spip_sahara/article.php3?id_article=536

Doc 6

Criquet pèlerins : photos



Près de Kaedi, dans le sud du pays, un Mauritanien regarde le ciel obscurci par l'un des nombreux essaims de criquets pèlerins qui envahissent actuellement le pays.



Un avion répand un pesticide sur un essaim de criquets pèlerins qui s'est abattu sur les pâturages dans le nord-est du Maroc.



Un criquet pèlerin consomme tous les jours l'équivalent de son propre poids en végétation. Aussi, du fait qu'un essaim est constitué de milliards d'insectes, le criquet représente-t-il une grave menace tant pour les cultures que pour les pâturages.



Cet agriculteur montre les dégâts causés par les criquets pèlerins à son verger de pommiers, près d'Ain-Beni Mathar, au Maroc. Il a perdu toute sa récolte de fruits, et sa femme et lui devront compter sur leurs enfants qui travaillent pour se nourrir l'année prochaine.



Un troupeau de chèvres fuit un essaim de criquets pèlerins près de Kaedi, en Mauritanie. Le bétail doit disputer aux criquets pèlerins les pâturages disponibles.



Sa houe en main, ce jeune homme observe un essaim dense de criquets pèlerins près d'Aleg, en Mauritanie.

D'après http://www.fao.org/french/newsroom/field/locust_photo_gallery/locust1.htm et suivantes

Thème : le climat

Doc 1

Le climat saharien

Le climat saharien se caractérise avant tout par de très fortes variations de température. Entre le jour et la nuit, d'une part, l'amplitude peut atteindre 50°C : le refroidissement nocturne est très brusque aussitôt le soleil couché, cette soudaine différence de température fait éclater pierres et rochers. Entre l'hiver et l'été, d'autre part : l'écart entre les moyennes de janvier et de juillet varie de 25°C environ. L'amplitude absolue dépasse partout 50°C sauf dans le Sahara atlantique et méridional, régions plus constamment chaudes. Le climat du désert dépend de trois facteurs principaux : l'air, le vent, la pluie.

L'air

La sécheresse de l'air au désert peut être considérée comme le phénomène fondamental, le Sahara étant la région du monde possédant l'évaporation la plus forte : à Tamanrasset, par exemple, la teneur du mètre cube d'air en vapeur d'eau varie de 1 à 4 g.

On sait d'autre part qu'il existe à l'Équateur, où l'atmosphère est constamment surchauffée, une barre de basses pressions qui attire les masses d'air des deux hémisphères et donne naissance en contre-partie, au niveau du Tropique, à une zone de hautes pressions résultant des accumulations d'air de retour de l'Équateur et arrêtées, vu la rotation de la terre, dans leur cheminement vers le pôle. Delà deux zones principales d'anticyclones, établies l'une sur l'Atlantique dans la région des Açores, et l'autre sur le Sahara central ; ces anticyclones sont en grande partie responsables de l'absence de pluies au désert. A l'intérieur des zones d'anticyclones s'établit un courant qui se dirige du Tropique vers l'Équateur dans les couches inférieures de l'atmosphère et, dans ses couches supérieures, de l'Équateur vers le Tropique. Il en résulte des vents variant avec l'altitude.

Les vents

Le vent dirigé vers l'Équateur est l'alizé qui se lève en général vers 9 h du matin, souffle pendant la journée et tombe au soleil couchant. Au-dessus de 2 000 m, on trouve le courant de retour, bien connu des pilotes de ligne. Si le contre-alizé n'intéresse pas directement le climat du désert, l'alizé s'avère par contre l'un des grands responsables de son aridité. C'est en effet un vent très desséchant qui, dans sa course vers le sud, vaporise l'eau sans la restituer.

Le désert est non seulement la région du monde où l'évaporation est la plus forte, il est aussi celle où il pleut le moins.

Les pluies

Dans la majeure partie du désert, c'est-à-dire exception faite du Sahara du Nord et du Sud, il pleut moins de 100 mm par an. Les zones élevées -Hoggar, Tassili, Adrar des Iforas, Aïr, Tibesti - connaissent une meilleure pluviosité, tandis que les zones basses constituent des régions d'aridité extrême : d'un côté du Hoggar, l'erg Chech reçoit moins de 10 mm par an (Reggan : 5,8 mm) ; de l'autre, le Ténéré et le Kaouar n'en reçoivent guère davantage (Bilma : 22 mm).

Plus que la faiblesse des pluies annuelles, c'est leur irrégularité qui caractérise le régime du désert : à Tamanrasset il est tombé une année 160 mm, une autre 6 ; à Ouargla 70 mm une année et rien l'année suivante. La durée extrême des périodes sans pluie atteint trois ans au Tademaït et cinq dans le Hoggar. Nul ne s'étonnera, dans ces conditions, que l'hydrographie du Sahara présente des caractères spéciaux.

L'hydrographie

Il n'y a pas au Sahara de rivières à débit continu, exception faite du Guir qui coule pendant toute l'année sur la moitié environ de son cours, puis, après avoir conflué avec l'oued Zousfana pour former la Saoura, se perd dans les sables aux confins de l'erg Chech et du Tademaït. Il n'y existe que des oueds, c'est-à-dire des cours d'eau qui coulent de temps à autre après la pluie. Les deux seuls oueds sahariens qui parviennent à la mer sont la Seguiet el Hamra et le Dra, qui la plupart du temps se résout en aval de son coude ; les oueds en provenance de l'Atlas (oued el Abiod, oued Mzi, Guir) coulent en général plusieurs fois par an ; les vrais oueds sahariens restent parfois plusieurs années à sec. Encore ces oueds ne coulent-ils pas longtemps (quelques jours, voire quelques heures) et aboutissent-ils - trait spécifique des régions arides, étant donné la faiblesse de leur débit - à des bassins fermés, zones encombrées d'alluvions où l'eau disparaît par évaporation et infiltration.

Ce ne sont donc pas des oueds de si faible importance qui ont creusé les vallées apparaissant en bien des points du désert. La plupart des bassins et golfes ainsi dessinés datent du temps des invasions marines, celles du Secondaire notamment. Bien des vallées - les gorges d'Arak, par exemple, si profondément burinées, ou les terrasses de la Saoura, dans la région de Beni-Abbès particulièrement - laissent à penser que le Sahara devait être autrefois infiniment plus humide qu'il ne l'est aujourd'hui. Les découvertes effectuées ces derniers temps et concernant tant la population que la faune et la flore de l'ancien désert semblent d'ailleurs confirmer cette hypothèse.

Extrait de Bruno VERGLET, *Le Sahara*, collection « Que sais-je ? », n°766, P.U.F., 5^{ème} édition, 1984, p. 22 à 26.

Doc 2

Pluviométrie annuelle au Sahara

Lieux	Maximum (en mm)	Minimum (en mm)	Lieux	Maximum (en mm)	Minimum (en mm)
Piémont sud atlantique			Libye-Egypte		
- Beni Abbès	80,1	0,3	- Mourzouk	30,9	0
- Ghardala	120,5	18	- Koufra	3,3	0
- Touggourt	119,6	7,9	- Le Caire	62	3
Sahara Occidental			- Suez	58,9	0,7
- Port-Etienne	104,4	1	- Assouan	8,4	0
- Fort-Gouraud	99,6	1,5	Soudan		
- Cap Juby	113,3	5,6	- Atbara	242	0
- Tindouf	102,5	0	- Port Soudan	422	19
Sahara Central			- Ennedi	191,5	1
- Tamanrasset	159	8,6			
- Timimoun	47,5	0,3			
- In Salah	64	0			
- Aoulef	23	0			

Nombre de mois sans la moindre pluie

Ouargla	10
Timimoun	10
In Salah	23
Adrar	19
Aoulef	17
Reggan	7
Koufra	21
Assiout	34

D'après BENCHETRIT M., CABOT J. et DURAN DASTES F., *Géographie zonale des régions chaudes*, Nathan, FAC, Paris, 1971, pp 157-158.

Doc 3

Noyade au désert

Pendant des heures et des heures nos voitures parcourent une piste que coupent, de temps à autre, les lits desséchés des anciens fleuves : dépressions sinistres recouvertes de sable, qui rappellent la richesse vivante et mouvante de l'eau désormais disparue.

La nuit, les nomades campent dans ces lits de sable profonds. Ils y cherchent un abri contre le vent, et ignorent que le lieu où leurs tentes se dressent peut brusquement se transformer en un piège horrible. En effet, dans les zones désertiques, il peut arriver très brusquement, et surtout de nuit, que les nuages s'accumulent et qu'une pluie torrentielle se déverse sur les sables; phénomène très rare mais qui se produit pourtant dans toutes les régions arides du monde, en Inde comme en Afrique et en Amérique. Lorsqu'elle se déchaîne, cette pluie, en se répandant sur des terrains que la sécheresse a rendus imperméables, s'accumule dans les anciens lits des cours d'eau qui, rendus à leur fonction originelle, deviennent pour

quelques heures des fleuves d'occasion charriant une eau boueuse qui coule le long du lit profond creusé dans les sables.

Seule la chaleur du jour peut arrêter leur course, par évaporation rapide. Mais auparavant, pendant la nuit, la masse liquide parcourt en grondant des kilomètres et arrive ainsi subitement où l'on n'avait pas même perçu l'orage et la pluie torrentielle. Si cette masse d'eau surprend dans son sommeil un campement de nomades, les tentes sont balayées et tout le monde est submergé avant même que l'on ne parvienne à s'échapper. La lecture des statistiques est stupéfiante : on y apprend qu'au désert il y a plus de morts par noyade que par soif.

Références perdues

Doc 4**Les vents en Afrique****Le Harmattan**

Nom donné aux alizés du Nord-Est qui soufflent durant la saison sèche (novembre à mars) sur la côte d'Afrique, dans la région qui s'étend du cap Vert au golfe de Guinée. Sa limite moyenne sud est d'environ 50° nord en janvier et 181° nord en juillet.

Etant donné qu'il est sec et relativement froid la nuit, il apporte un changement agréable aux vapeurs continues des tropiques et son pouvoir bienfaisant sur la santé lui a mérité le surnom de « docteur », en dépit du fait qu'il transporte avec lui depuis le désert, de grandes quantités de poussières impalpables qui pénètrent dans les maisons par chaque ouverture. Ces poussières sont toujours en quantités suffisantes pour former une brume épaisse.

Le Sirocco

Vent chaud qui souffle du Sud ou du Sud-Est à l'avant des dépressions qui se déplacent d'Ouest en Est à travers la Méditerranée. Comme ce vent est originaire du désert du Sahara, il est très chaud et très sec lorsqu'il atteint la côte Nord de l'Afrique, d'autant plus que l'air a subi une descente des plateaux de l'intérieur vers les côtes. En traversant la Méditerranée, l'évaporation intervient et lorsque le vent atteint Malte, la Sicile et l'Italie, il est chaud et humide. Le terme Sirocco est utilisé dans certaines régions méditerranéennes pour désigner un vent chaud du Sud, quelle que soit l'humidité de l'air.

Le Simoun

Vent chaud et sec qui souffle dans les déserts d'Afrique et d'Arabie, ordinairement au printemps et en été. Il transporte généralement une grande quantité de sable et ne souffle habituellement pas plus de vingt minutes.

D'après DE VUYST, *La météorologie*, éd Visscher-Eyrolle, Bruxelles-Paris, 1972, p. 52.

Une des autres caractéristiques du climat saharien est l'existence de grands vents. Le vent est fréquent, dû à l'air surchauffé au contact des vastes espaces rocheux ou sablonneux, qui donne naissance à des courants violents et multiples. L'Ahaggar n'échappe pas à ce phénomène, toutefois beaucoup moins intense que dans les parties basses des régions limitrophes. Il est plus fort l'été que l'hiver et, à Tamanrasset, commence à se faire sentir vers le mois d'avril. Il trouve une prise facile dans les éléments désagrégés des roches et se transforme en vent de sable obligeant bêtes et gens à se mettre à l'abri. Dans le Tanezrouft, il acquiert une violence inouïe, surtout en été, se lève avec le soleil et ne s'apaise qu'à tombée de la nuit. Il transporte une quantité prodigieuse de poussières argileuses et de grains de quartz qui viennent aveugler les voyageurs et leur cribler le visage au point de leur élimer la peau. Impossible de voir au-delà de quelques mètres devant soi.

Son action est désastreuse à l'égard du caravanier : non seulement parce qu'il le gêne au point de lui faire perdre sa route, mais parce qu'il augmente ses besoins de se désaltérer tout en activant l'évaporation de l'eau des outres. C'est un danger réel dans ces régions où les points d'eau sont distants les uns des autres de 180, 200, voire 220 km. On a eu tendance à exagérer en décrivant des caravanes englouties par le sable. Il n'en est pas moins vrai qu'il ne se passe pas d'année sans que des individus isolés, parfois des familles entières, s'égarent à cause du vent de sable et meurent de soif. Les chameaux ne sont pas plus épargnés que les gens. et les pistes principales, de l'Ahaggar au Soudan, sont jalonnées de leurs ossements.
Ce vent constant, chaud et sec, est l'un des principaux facteurs de la désertisation.

D'après LHOTE H., *Le Hoggar*, éd. Armand Colin, Paris, 1983, pp 23 et 24.

Doc 5

Les vents au Sahara

Le Sahara est faiblement affecté par les perturbations d'ouest qui agitent la zone tempérée et par les afflux humides, -la mousson -, qui en été baignent le Soudan. Si les pressions baissent près du sol, elles ne provoquent pas la pluie : hautes pressions et situation anti-cyclonale se maintenant en altitude, la stratification de l'atmosphère place en dessous un air plus chaud et plus sec, au-dessus un air relativement frais ; cette inversion, vers 1 000 m, arrête la montée des convections avant qu'elles aient donné naissance à la pluie. Une cause supplémentaire de l'immensité du désert : le Sahara n'a pas de rivage oriental ; un océan oriental créerait une bande pluvieuse.

Extrait de Bruno VERGLET, *Le Sahara*, collection « Que sais-je ? », n°766, P.U.F., 5^{ème} édition, 1984.

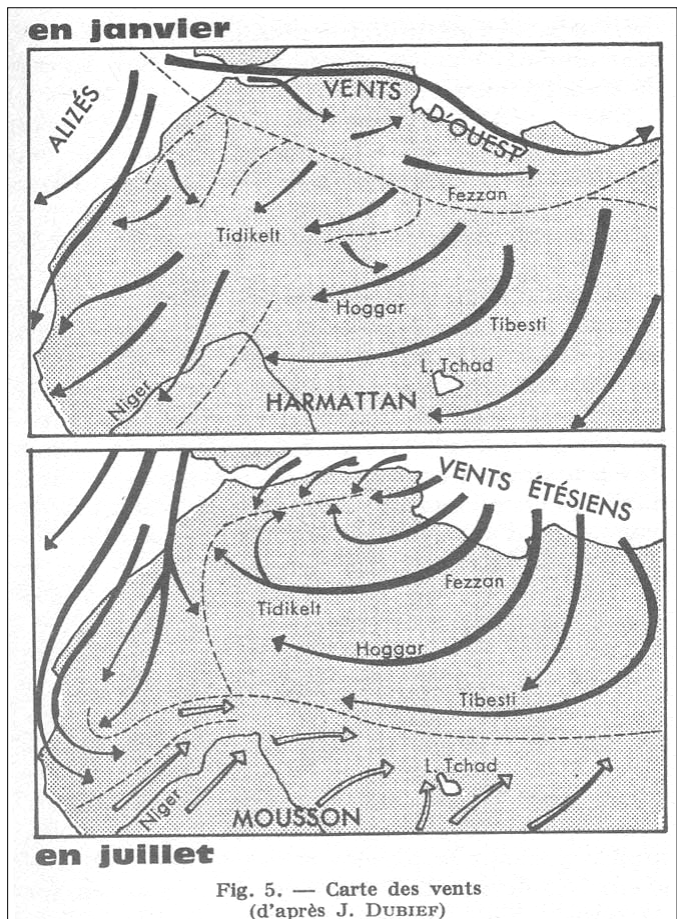


Fig. 5. — Carte des vents (d'après J. DUBIEF)

Doc 6

Le bilan économique provisoire des inondations **Autant en emporte l'oued**

Des milliards de dirhams engloutis par les inondations, des milliers de maisons inondées, des centaines d'hectares détériorés,... Le bilan est lourd et interpelle le gouvernement .

Par Youssef Chmirou

Un oued en crue et plus de route.

Après les inondations, les feux, l'heure est aux bilans. Le bilan d'un week-end, du 23 au 24 novembre 2002, meurtrier et coûteuse. Aussi bien en vies humaines qu'en dégâts matériels. On enregistre 63 morts et 26 disparus au niveau de toutes les zones sinistrées. Alors qu'en pertes matérielles, on compte plusieurs millions de dirhams.



Pénurie

Des millions de dirhams engloutis par les débordements des deux oueds de la région de Settat et Mohammedia. En l'occurrence le barrage de oued El Maleh et celui de Bengueribi. Le premier, édifié en 1931 et qui approvisionnait la ville de Casablanca en eau potable, s'est attaqué à la ville de Mohammedia et les régions pour ne laisser derrière lui qu'une cité endeillée et sinistrée.

En tout et pour tout, ce sont 1.334 maisons endommagées, 373 autres inondées dans différents quartiers de la ville et des centaines d'hectares de terres agricoles détériorées et jusqu'à présent sous l'eau. Au niveau de la zone industrielle de Mohammedia, ce sont plus de 24 unités de production qui observent un arrêt total d'activité. Engendrant par là plusieurs centaines d'emplois perdus.

Selon les données de la conférence de presse tenue vendredi 29 novembre par une délégation gouvernementale, conduite par le ministre de la Communication, Nabil Benabdallah, les pertes seraient de l'ordre de 45 millions de dirhams. Et ce n'est là qu'un bilan provisoire. Toujours du côté de Mohammedia, les dégâts qui ont résulté de l'incendie de la Samir ont atteint officiellement 1,5 milliard de dirhams. Version contredite et contestée par le bureau syndical de la raffinerie, qui avance par contre des chiffres dépassant de loin ceux de la direction. Dans sa déclaration, le porte-parole du gouvernement a déclaré que les dégâts ont touché la centrale thermoélectrique qui alimente toutes les unités de production de la raffinerie.

Aujourd'hui, le Maroc dispose encore de réserves suffisantes en produits pétroliers. Les stocks stratégiques peuvent satisfaire la demande de 80 jours de consommation locale. Donc, selon les déclarations des membres du gouvernement, il n'y aura pas de pénurie en la matière. De plus, la Samir, n'est pas la seule raffinerie à alimenter le pays. Celle de sidi Kacem peut prendre la relève, ce qui va minimiser les risques d'une pénurie. Les pétroliers disposent de leur part des stocks de sécurité. À ce stade, une commission chargée du suivi de l'approvisionnement du marché en hydrocarbures a été créée.

Cependant, personne n'exclut la possibilité d'importer des hydrocarbures pour satisfaire les besoins du marché. Surtout si l'on sait que la Samir a fermé ses portes jusqu'à nouvel ordre.

Chômage

Coté assurance, des sources dignes de foi estiment que l'incendie de la Samir absorbera plus de 25% des fonds propres du secteur.

Dans la région de Berrechid, les autorités locales n'ont pas retenu la leçon des inondations du 25 décembre 2001. Si les industriels ont estimé à l'époque les pertes subies à 4 milliards de dirhams, cette fois-ci les dégâts sont tellement illimités que l'Association industrielle de Berrechid (AIB) n'arrive toujours pas à avancer de chiffres sur l'ampleur de la catastrophe survenue le week-end dernier sur cette région du pays.

L'immense terrain de la zone touchée est sous l'eau et les opérateurs ne savent à quel saint se vouer. Toute l'activité économique que connaissait la région s'est brusquement estompée. Sur les 85 unités existantes, 17 sont entièrement envahies par l'eau et plusieurs autres restent à ce jour inaccessibles. Selon un bilan provisoire, on signale que 7500 ouvriers sont actuellement sans travail dans la zone industrielle de Berrechid.

Le désastre est immense. Des hectares et des hectares sont submergés par l'eau, au grand malheur des industriels qui ont injecté plusieurs millions de dirhams pour s'installer dans une région réputée stratégique, vu sa proximité avec la métropole économique et de l'aéroport Mohammed V. D'énormes quantités de matériel et des marchandises immobilisées à jamais.

Pis encore, la voie d'accès principale (l'autoroute reliant Berrechid à Marrakech) et les routes secondaires qui mènent à Berrechid ont été coupées pendant toute la durée des travaux d'évacuation des eaux.

Derrière ce drame économique, se trouve la crue de l'oued Bengueribi qui traverse la région de Settat et qui saillit la zone industrielle, par défaut de réseaux de canalisation. Une infrastructure nécessaire et que doivent mettre en place les autorités locales en contre-partie des impôts et des taxes que les opérateurs paient normalement. «Cet état d'esprit n'existe nulle part ailleurs. Depuis les inondations de décembre 2001, nous avons entrepris plusieurs démarches auprès des responsables locaux pour mettre sur pied l'équipement nécessaire. Leurs promesses sont restées lettre morte et c'est à nous de payer les pots cassés, à présent», avance un industriel de la région.

Engagement

En effet, le ministre de l'Intérieur de l'époque, Driss Jettou, s'était engagé à trouver une issue favorable pour débloquer la situation, mais rien n'a été fait pour autant. Les mêmes engagements sont émis aujourd'hui par Mustapha Sahel, qui a réitéré à l'association des industriels les mêmes cautions que son prédécesseur. Cette association ne compte pas rester les bras croisés et prévoit un recours en justice contre l'Etat. C'est du moins ce qui ressort des déclarations de certains industriels de la région encore sous le choc.

De toutes les façons, les maux dont souffrent les opérateurs de Berrechid sont bien définis et chacun doit assumer ses responsabilités.

En attendant, plusieurs mesures ont été adoptées au niveau du gouvernement pour remédier à de telles situations. À n'en citer que le plan national de prévention des catastrophes naturelles qui est à l'étude aujourd'hui. Opérationnel dès le début de 2003, celui-ci touchera presque 390 sites menacés par les inondations et permettra la mise en place d'une série de mesures visant notamment l'augmentation des capacités de stockage des barrages et l'amélioration et la régulation des apports en eau.

D'après http://www.maroc-hebdo.press.ma/MHinternet/Archives_536/html_536/autant.html

Doc 7

L'aridité

Il est malaisé de fixer les limites de l'aridité. Ce n'est pas simplement une question de volume des précipitations annuelles; tout dépend, en effet, de la distribution saisonnière des pluies : ainsi, à la limite nord du Sahara, les pluies d'hiver, en période d'évaporation réduite, peuvent apporter, certains mois, des bilans d'eau favorables. Pour exprimer cette aridité, de Martonne avait établi une formule simple, reliant précipitations et températures :

$$I \text{ (indice d'aridité)} = P/T+10$$

où P représentait les précipitations de l'année, T la température moyenne annuelle. Lorsque la valeur de I est inférieure à 5, c'est l'aridité absolue (hyperaridité). Pour une valeur comprise entre 5 et 10, c'est encore le désert; de 10 à 20 : on est en milieu semi-aride, et tout dépend ici de la répartition saisonnière des pluies. Pour la limite nord de l'Afrique, on obtient les valeurs suivantes :

$$\text{Hélouan (Égypte)} : 25/(21+10) = 0,8$$

$$\text{Biskra} : 148/(22+10) = 4,6$$

$$\text{Gabès} : 183/(19+10) = 6$$

$$\text{Tunis} : 466/(18+10) = 16$$

Dans le cas de Gabès et de Tunis, les valeurs mensuelles font apparaître, pendant la saison d'hiver, des valeurs supérieures à 20, donc hors de l'aridité qui tend à devenir, pour Tunis, un phénomène saisonnier. De même, au Soudan, lorsqu'on se rapproche de l'équateur, on voit la valeur de l'indice se relever :

$$\text{Abu-Hamed (19,5° N.)} I : \text{peu différent de } 0$$

$$\text{Khartoum (15,4° N.)} I = 4,2$$

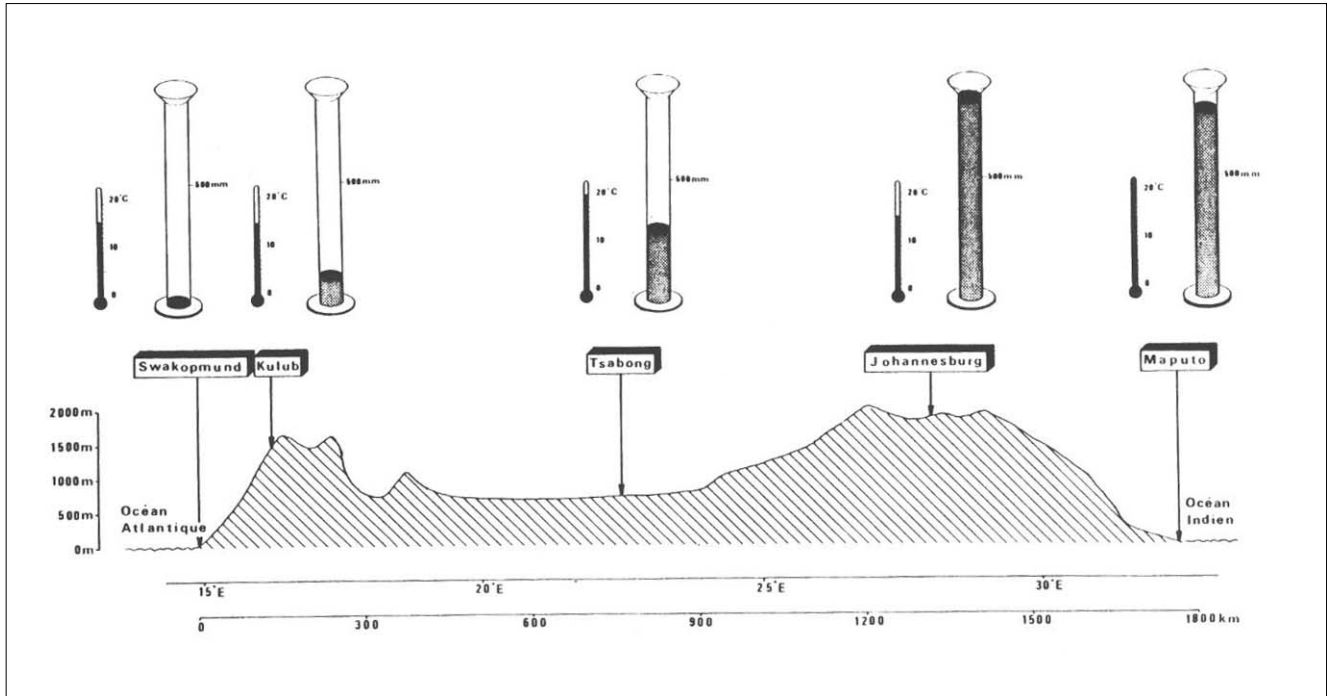
$$\text{El Obeid (13,1° N.)} I = 11$$

$$\text{Malakal (9,3° N.)} I = 21$$

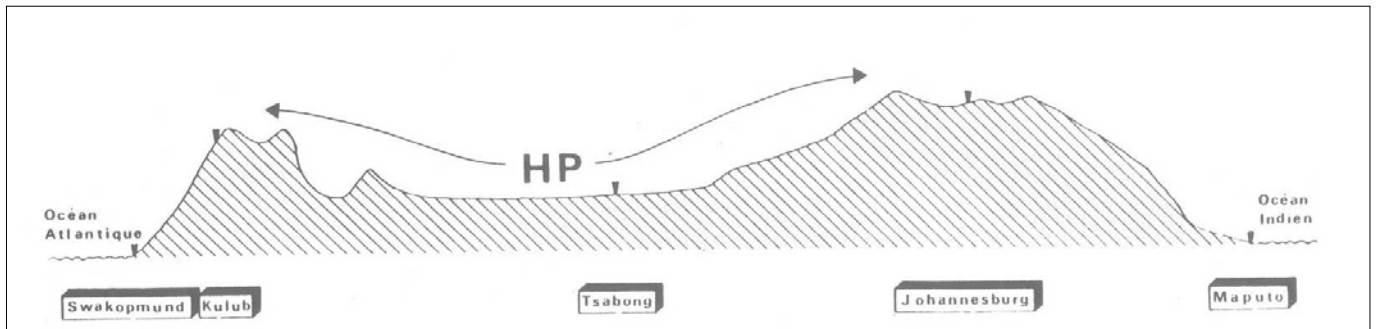
D'après ESTIENNE P. et GODARD A., *Climatologie*,
Armand Colin, Paris, 1970, pp 201 et 202.

Doc 8

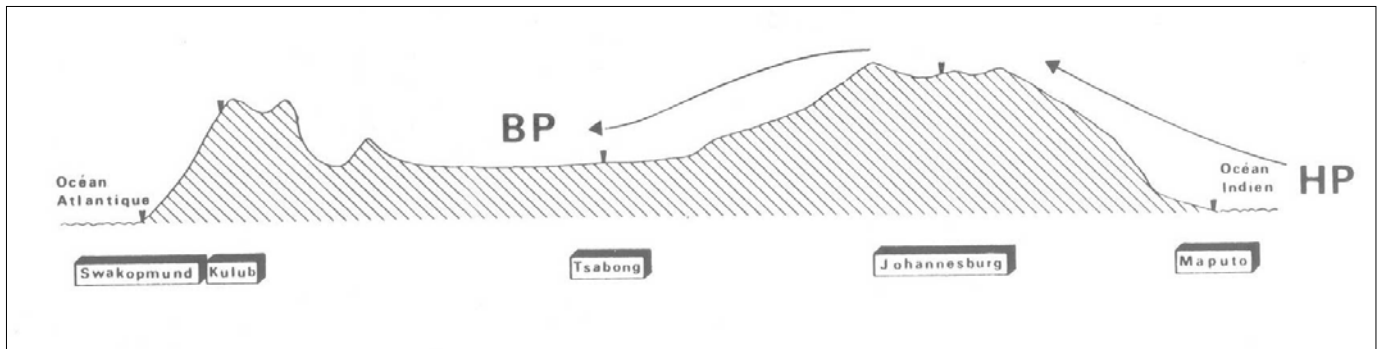
Coupe à travers l'Afrique Austral à hauteur du 26^{ème} parallèle
Températures moyennes annuelles et précipitations totales annuelles (normales)



Régime des pressions et circulation des vents au sol en janvier



Régime des pressions et circulation des vents au sol en juillet



Thème : l'hydrographie

Doc 1

L'eau, défi de l'agriculture égyptienne

Pour nourrir une population qui explose, l'Égypte doit au plus vite irriguer de nouvelles terres. En économisant d'abord sa seule ressource en eau, le Nil.

Depuis plus de deux millénaires la célèbre phrase d'Hérodote, « *l'Égypte est un don du Nil* » a acquis le statut d'un cliché inusable. Au début du XXI^{ème} siècle, les quelque soixante-sept millions d'habitants de ce pays d'un million de kilomètres carrés, où il ne pleut jamais sauf, un peu, le long de la côte méditerranéenne, n'ont toujours pas d'autre ressource en eau que celle que leur apporte le plus long fleuve du monde. Au fil des ans, cependant, ce don est devenu bien insuffisant. Certes, la surface utile en Égypte se confond encore, pour l'essentiel, avec cet étroit ruban vert s'étirant le long des berges du cours d'eau providentiel. Mais, avec une population qui a doublé en moins de quatre décennies et continue de progresser de 1,5 % par an, elle a des besoins que les eaux du Nil semblent aujourd'hui bien incapables de satisfaire.

Il y a donc beau temps que l'agriculture de ce vieux pays rural ne parvient plus à nourrir les Égyptiens. Elle assure aujourd'hui moins de la moitié des besoins de la population en blé, environ les deux tiers de ses besoins en sucre et en viande, et n'arrive à rendre le pays à peu près autosuffisant que pour le riz et les légumineuses. L'Égypte importe aujourd'hui pour environ quatre milliards de dollars de denrées alimentaires par an, dont un milliard pour les six à sept millions de tonnes de blé qu'elle se procure à l'étranger, essentiellement aux États-Unis. A elle seule, elle achète près de 4 % des céréales importées dans le monde, alors qu'elle n'abrite que 1 % de la population mondiale.

Depuis les années cinquante, pourtant, l'augmentation des surfaces cultivables du pays a fait figure de véritable obsession pour ses dirigeants successifs. A coups de réalisations pharaoniques, tous ont tenté de maximiser les capacités d'irrigation du Nil. Depuis la mise en service du haut barrage d'Assouan en 1970 et la réalisation de canaux capables d'amener de plus en plus loin les eaux de son gigantesque lac, la surface agricole irriguée par le fleuve a été portée de 2,26 à 3,1 millions d'hectares, soit une augmentation de plus du quart. Mais en y ajoutant les 80 000 hectares d'oasis et de rares terres arrosées par la pluie, la surface cultivable n'atteint même pas 4 % de la superficie du pays. Avec le démarrage en 1997 du projet « Nouvelle Vallée », qui devrait permettre d'irriguer une partie du désert à l'ouest du lac Nasser, les autorités espèrent gagner encore 420 000 hectares.

En 2025, il y aura près de 100 millions d'Égyptiens à nourrir

Juste de quoi retarder de quelques années l'inquiétant morcellement des exploitations égyptiennes. Car si l'agriculture n'est plus comme jadis la principale source de richesse, puisqu'elle ne contribue en 1997 qu'à 18 % du produit intérieur brut et n'arrive qu'en troisième position après les services et l'industrie, elle continue d'employer le tiers de la population active et la moitié des Égyptiens vivent toujours dans les campagnes. C'est dire l'importance sociale de ce secteur et les menaces que fait peser sa fragilisation sur la stabilité du pays. Or, 95 % des exploitants disposent de moins de 5 feddans (1 feddan = 0,42 hectare) pour nourrir leur famille. Même si, comme dans toutes les civilisations hydrauliques, ils pratiquent une agriculture très intensive qui leur permet en général d'engranger deux récoltes par an, la modestie de leurs lopins accroît la pauvreté rurale dans des proportions alarmantes. Et la libéralisation de l'économie risque de l'aggraver davantage.

Depuis 1997, en effet, le prix des baux ruraux a été dé plafonné sous la pression des organisations financières internationales, ce qui, en augmentant le loyer de la terre et en favorisant la concentration foncière, risque de jeter à la rue des dizaines de milliers de métayers avec leurs familles. Dès la promulgation de la loi sur la libéralisation des fermages, des émeutes rurales éclatèrent d'ailleurs en Haute-Egypte, région la plus pauvre du pays, déjà en proie à des troubles sporadiques.

On voit mal comment la situation pourrait s'améliorer. En 2025, les paysans devront en effet nourrir près de cent millions d'Égyptiens dans un pays qui ne disposait en 2000 que d'un peu moins de cinq cents mètres carrés cultivables par habitant. Mais, si l'indépendance alimentaire est hors de portée de l'Égypte, la mise en place d'une véritable politique de l'eau pourrait au moins retarder les échéances. Mal utilisé, le précieux liquide est aujourd'hui gaspillé dans des réseaux d'irrigation vétustes, des techniques obsolètes et des cultures trop gourmandes pour la modicité de la ressource. S'il est impossible, pour des raisons sociales, de faire payer l'eau à son prix de revient par les agriculteurs, il est urgent d'en rationaliser l'utilisation et de réduire la part des cultures de canne à sucre et de fruits, qui en sont les plus grosses consommatrices avec le riz.

Desserrer la dépendance alimentaire vis-à-vis de l'extérieur et permettre à la population rurale de vivre dignement, sans manquer de l'essentiel, voilà le double défi lancé à l'agriculture égyptienne. Elle ne semble pas encore, pour l'heure, prête à le relever.

D'après GEO, juin 2001.

Doc 2

L'hydrologie souterraine

Son importance économique considérable dans les déserts chauds a suscité de très nombreuses recherches et, bien que l'inventaire soit loin d'être achevé, des connaissances assez précises ont été acquises sur cette question capitale.

Les sous-écoulements ou inféro-flux, associés aux lits d'oueds ou au cours des fleuves allochtones, sont les plus accessibles. Ils permettent parfois le maintien de mares (les *guelta* au Sahara) qui jalonnent les lits de quelques grands oueds, mais seulement dans des sites exceptionnellement favorables (quand une roche imperméable peu profonde fait barrage et provoque la résurgence du sous écoulement). Plus fréquemment, ils alimentent simplement des puits autour desquels se sont organisés les rubans d'oasis. Dans la vallée du Nil, un « affluent souterrain » long d'environ 900 km et large de 10 km double le grand fleuve à une profondeur variant semble-t-il de 100 à 300 m. La capacité d'accumulation de cette nappe aquifère est évaluée par les hydrauliciens égyptiens à quelque 500 milliards de m³, soit 6 fois plus que le volume total de l'eau apportée par le Nil en Égypte, en année moyenne. Cette évaluation est peut-être très optimiste, mais il semble bien que le volume de la charge et de la perte de charge annuel soit de l'ordre de 9 milliards de m³. Sur ce total, 2,5 milliards de m³ sont déjà soutirés par des puits, 1,5 retournent au Nil après la crue. Même déduction faite des pertes par percolation ascendante et évapotranspiration, il est certain qu'un énorme volume, évalué à 3,5 milliards de m³, se perd chaque année par déversement dans la branche occidentale du delta et, de là, en Méditerranée.

Les *nappes souterraines*, généralement beaucoup plus profondes, sont inaccessibles aux techniques artisanales de forage, mais non aux puissants moyens de l'industrie moderne. Leurs réserves sont énormes, qu'il s'agisse d'eaux fossiles héritées des paléoclimats humides et conservées dans ces immenses bassins intérieurs (de la même façon que des réserves d'hydrocarbures) à l'abri de l'évaporation, ou qu'elles proviennent des précipitations

actuelles, régionales ou, surtout, périphériques. Aussi faibles et irrégulières que soient ces dernières, aussi forte que soit l'évaporation, il faut en effet tenir compte des effets de l'accumulation sur des milliers d'années et à partir de surfaces couvrant des centaines de milliers ou des millions de km² disposés en cuvettes endoréiques. Une des plus arides qui soit, celle du Tanezrouft, doit recevoir au total, sur ses 2.400.000 km², un total moyen annuel de l'ordre de 80 milliards de m³ (Drouhin) : un pourcentage infime de cet apport suffit, cumulé sur plusieurs milliers d'années pour constituer les 400 milliards de m³ qui représentent la capacité du bassin aquifère.

D'après BENCHETRIT M., CABOT J., et DURAN DASTERS F.,
Géographie zonale des régions chaudes, Nathan, FAC, Paris, 1971, pp 160 à 163.

Doc 3

Débits mensuels et annuels du Nil et de ses principaux affluents à diverses stations (en m ³ /s)														
Fleuves	Stations	Jv	Fe	Ma	Av	Ma	Jn	Ju	Ao	Se	Oc	No	De	An
NIL VICTORIA	Chutes Ripon	560	560	570	620	700	710	660	610	580	560	560	580	610
BAHR EL JEBEL	Monjalia	800	740	700	740	870	900	980	1120	1120	1030	880	920	900
NIL BLANC	Centf. Sobat	560	480	480	440	430	430	440	460	490	500	490	500	470
SOBAT	Nasir	370	250	160	110	150	320	490	620	710	770	770	640	450
NIL BLANC	Khartoum	930	730	610	570	570	640	590	590	1060	1430	1260	1120	840
NIL BLEU	Khartoum	350	230	160	120	140	420	1900	5670	5720	3210	1250	620	1650
NILS REUNIS	Khartoum	1290	960	770	660	680	1060	2470	6120	6760	4620	2500	1700	2470
NIL	Ouadi Hatfa	1450	1050	790	640	570	670	1700	7030	8520	5958	3120	1940	2790
NIL	Assouan	1171	910	794	739	753	941	1520	6055	7891	5647	2974	1608	2590

D'après LOUP J., Les eaux terrestres, Masson, Paris, 1974, p. 148

Thème : l'homme et la nature

Doc 1

Localisation et description de la vallée du Todra (Maroc)



Le massif du Haut Atlas traverse tout le Maroc, de l'Atlantique à la frontière algérienne, divisant le pays en deux zones climatiques: au Nord, les terres fertiles et au Sud, le désert. Mais dans ce désert s'écoule l'eau des montagnes à l'occasion des tempêtes ou lors de la fonte des neiges, permettant l'existence de vraies oasis longues et étroites, dans lesquelles se concentrent la vie, l'agriculture et la population sédentaire.

La vallée du Tdought (Todra) est une des plus belles de ces oasis. Elle s'étend sur une trentaine de kilomètres de longueur sur une largeur de quelques sept cents mètres en moyenne. L'eau lui parvient par voie souterraine, à travers les fameuses gorges du Todra, prenant origine des sommets du Grand Atlas central, comme l'Irril n'Tizi Mkorn (3.223 m), le Jebel Ouzil (2.884 m), le Jebel Tiguioelt (2.785 m) et d'autres, tous à composition calcaire.

A la sortie des gorges, le fleuve affleure à la surface avec un important débit, lequel est aussitôt utilisé pour l'arrosage. Sur une trentaine de kilomètres, cette intense irrigation donne naissance à une forêt verdoyante où se mêlent les palmiers dattiers de grande taille, les amandiers, les grenadiers, les pêchers, les oliviers, les figuiers, les peupliers, les pruniers et d'autres arbres plantés par la main de l'homme.

Au delà, la vallée s'élargit, en quittant le Haut Atlas pour un plateau qui précède une autre chaîne de montagnes arides et rocheuses appelée Jebel Saghro. Le fleuve avance alors dans une simple dépression d'une dizaine de mètres de profondeur, dans laquelle se concentre la vie. Son débit reste très réduit à cause de l'irrigation citée ci-dessus, de sorte que les palmiers deviennent moins nombreux. L'olivier prend la prédominance et les graminées, avec la luzerne, remplacent peu à peu les vergers.

Un peu plus loin, à un point qui peut changer suivant le degré de sécheresse et l'époque de l'année, l'eau disparaît absolument de la surface. Pourtant, les puits et les canalisations souterraines (khatara) permettent de prolonger encore quelques kilomètres la surface cultivable, celle-ci ne se concentre plus sur les rives du Todra, mais aux confluences des différents ravins. La dépression est finie, ne donnant plus lieu au moindre dénivellement. Les palmiers, maintenant rachitiques et secs, se trouvent chaque fois plus espacés entre les graminées. Les tamaris abondent. Plus loin la terre reste désertique, à défaut de n'importe quel moyen d'irrigation.

Dans la vallée du Todra, la pluie se fait rare et, lorsqu'elle se produit, c'est d'une manière irrégulière. Dans une année, il est possible de constater cinquante ou soixante journées de pluie, durant lesquelles peuvent s'enregistrer plus de 250 mm., tandis que l'année suivante peut se réduire à une dizaine de journées de pluie, totalisant 70 mm. Les grandes tempêtes ont lieu vers la deuxième quinzaine du mois d'Août. Alors les gorges du Todra deviennent pour quelques heures un véritable entonnoir, qui doit engloutir toute l'eau provenant des montagnes. La crue, dans ces cas, s'avère dévastatrice. En revanche, les pluies d'hiver sont très bénéfiques pour l'agriculture, surtout lorsqu'elles se produisent en Janvier ou en Février.

Parfois des inondations surviennent au printemps et durent trois à quatre jours, après lesquelles les paysans profitent des terres imbibées -en dehors de l'oasis- pour y semer des graminées qui donneront une récolte extraordinaire. Il s'agit d'une méthode très ancienne, utilisée d'habitude en Afrique subsaharienne.

Les températures dans la vallée du Todra varient entre les + 45° C habituelles en Juillet et les - 5° C que peuvent atteindre certaines nuits de Janvier. Cependant, l'hiver est court et le froid intense se produit seulement lorsque la neige couvre les sommets du Haut Atlas sur la face sud, c'est à dire pendant deux ou trois jours après chaque chute de neige. Le printemps, tout comme l'automne, sont longs et agréables. Enfin l'été, malgré les températures extrêmes, demeure supportable grâce à la sécheresse du climat et au mouvement de l'air. La vallée se situe entre 1.130 et 1.420 m d'altitude.

D'après <http://www.siteavie.com/tinghir/>

Doc 2**Les oasis**

L'oasis est un espace habité, cultivé et irrigué dans une région désertique. Dans l'imagerie populaire, l'oasis est souvent prise comme le symbole du havre, de l'île, du lieu accueillant au sein d'un monde hostile, mais ce symbolisme repose sur une image du passé. Les oasis se sont étendues, ont beaucoup changé et présentent aujourd'hui des physionomies très diverses.

Les oasis traditionnelles

Les oasis qui correspondent le mieux à l'image classique sont les petites oasis sahariennes depuis longtemps exploitées, entourées par le désert et qui, par leur végétation touffue, donnent une impression de luxuriance. L'eau utilisée ici vient parfois de petits cours d'eau issus de la montagne (vallée du Draa, au Maroc), le plus souvent de sources abondantes (Djerid, en Tunisie) ou de nappes phréatiques exploitées par des puits (Mzab, en Algérie), voire des drains souterrains (Touat, en Algérie). On distingue plusieurs strates cultivées superposées: les palmiers-dattiers, les arbres fruitiers tels que les figuiers et les abricotiers, enfin les cultures au sol telles que les céréales, la luzerne, les fèves, les piments et les courges.

La densité est forte. L'habitat est groupé et les maisons, construites en terre, ont une architecture caractéristique. Avec la modernisation et l'apport de nouvelles ressources liées à l'émigration vers l'Europe et les zones d'exploitation pétrolière, les systèmes d'irrigation ne sont plus entretenus et nombre de jardins sont aujourd'hui abandonnés.

Dans les oasis, également anciennes, situées le long des cours d'eau allogènes qui traversent les déserts chauds (Nil, Tigre, Euphrate, Indus), le paysage est comparable, mais l'agriculture est généralement moins intensive et la population moins dense. Les arbres sont moins nombreux et les céréales occupent plus de place. Les motopompes sont fréquemment utilisées. Dans ces oasis, qui peuvent s'étendre sur de grandes distances sans interruption, les processus de modernisation agricole et d'urbanisation sont encore plus accentués.

Dans les «oasis froides» d'Afghanistan et du Turkestan chinois, le paysage est particulier car l'hiver est rigoureux. Les palmiers-dattiers sont absents et les autres arbres fruitiers peu nombreux; les arbres les plus communs sont les peupliers. L'irrigation sert ici à faire pousser des céréales essentiellement. La densité de population est modérée.

Les oasis modernes

Quant aux oasis de création récente, elles présentent des aspects encore différents. Dans les régions arides des États-Unis (Arizona, Nouveau-Mexique), d'importants travaux ont permis l'installation de vastes périmètres irrigués modernes utilisant surtout l'irrigation par aspersion et dont les pièces maîtresses sont les grands barrages le long des cours d'eau, spécialement le Rio Colorado, et des canaux d'irrigation bétonnés longs de plusieurs centaines de kilomètres. Les travaux ont servi à développer des cultures spéculatives, comme les agrumes et les primeurs, pour les marchés d'Amérique du Nord. Les exploitations sont grandes, l'habitat est dispersé et le parcellaire est géométrique.

Les mêmes techniques ont été utilisées ailleurs grâce à une politique hydraulique très poussée, en particulier en Égypte, en Iraq, au Turkménistan, en Ouzbékistan et au Pakistan. De grands ouvrages ont été construits depuis deux ou trois décennies, dont le plus connu est le gigantesque barrage d'Assouan sur le Nil. Les périmètres irrigués ont pu être ainsi étendus considérablement. On retrouve ici la géométrie des parcelles et des canaux d'irrigation, mais l'agriculture est plus diversifiée et les systèmes agraires sont variés.

Cultures vivrières et cultures commerciales sont mélangées: les principales sont les céréales et le coton.

L'exemple le plus remarquable de ces nouveaux périmètres irrigués est celui des vastes champs circulaires créés en plein désert, en Libye et surtout en Arabie, avec les systèmes à pivot central distribuant de l'eau venue des profondeurs grâce à des forages, et servant à produire du blé et des légumes. On est ici très loin de l'image traditionnelle des oasis.

D'après Hachette Multimédia / Hachette Livre, 2000.

Les oasis traditionnelles



Taghit fournit un exemple typique de l'implantation du village, construit à l'écart de l'oasis, afin de préserver les terres cultivables.

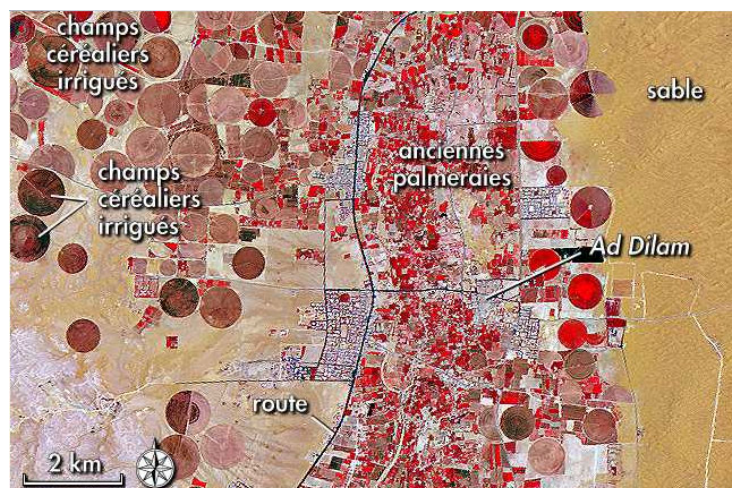


Oasis près d'Assouan au nord du haut barrage (Haute-Égypte). C'est au sud de cette région que commence la Nubie, aujourd'hui engloutie sous les eaux du lac Nasser, région dont les habitants se sont repliés vers Assouan ou au Caire.

Les oasis modernes

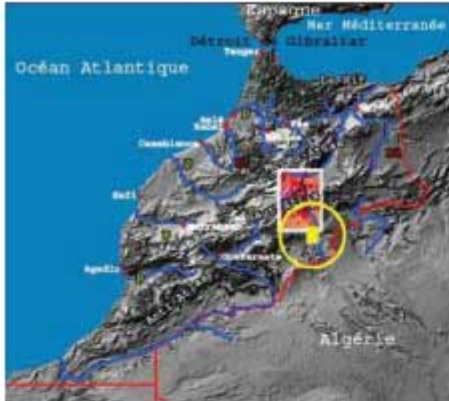


Sur la première cataracte du Nil, les barrages d'Assouan ont pour fonction de contrôler le débit du fleuve et l'irrigation de ses rives. La surface cultivable a été accrue de 800.000 hectares depuis la réalisation du colossal haut barrage en 1971. Celui-ci double un premier barrage, beaucoup plus modeste, élevé en 1902.

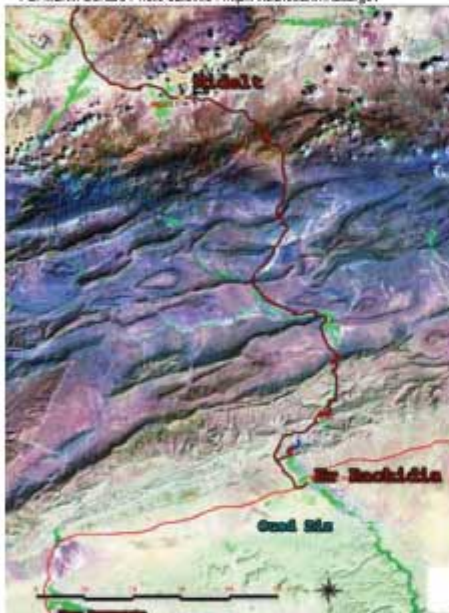


Afin de pallier le manque d'eau (70 mm de pluie/an), un système d'irrigation pivotant a été créé sur l'oasis de ad-Dilam (Arabie Saoudite), situé à 100 kilomètres au sud-est de Riyad; les champs céréaliers sont de ce fait aisément reconnaissables, par leur forme concentrique adaptée, leur diamètre pouvant atteindre 600 mètres. Les anciennes palmeraies sont regroupées autour de la route.

Les paysages marocains



Position géographique de la photo du bas (carré blanc)
Par Martin Bérubé Photo satellite : <http://visibleearth.nasa.gov>



Vue transversale satellite de l'Atlas.
Au centre, en vert, l'oeuvre végétal du Oued ziz
Par Martin Bérubé Photo satellite : <http://visibleearth.nasa.gov>

... LE OUED ET LES PAYSAGES MAROCAINS

Le Maroc possède beaucoup de cours d'eau (*oueds*) comme le Sebou, le Sous, la Moulouya, le Draa et le Dadès. Ces cours d'eau se propagent vers les grands fleuves et éventuellement vers l'océan et la mer. Cependant, dépendamment des saisons, la quantité d'eau qu'ils contiennent varie. En fait, en hiver ils sont sujet au gel, et en été, ils sont plutôt susceptibles à la sécheresse. Ils n'offrent donc pas toujours une source sur laquelle on peut compter sans préoccupation. Cela représente d'ailleurs un grand problème pour le Maroc, surtout pour l'agriculture.

Ceci étant dit, je vous offre une lecture paysagère du Oued Ziz sur cette page et sur une partie de la page suivante. Nous pouvons y voir ce qu'un oued peut faire surgir du sol, soit la végétation naturelle ou celle contrôlée par l'homme dans les oasis, mais

lorsqu'on atteint en aval l'extrémité du oued, la vie peut disparaître et devenir un paysage désertique.



Vue en plongée de la Vallée du Ziz www.maion.com



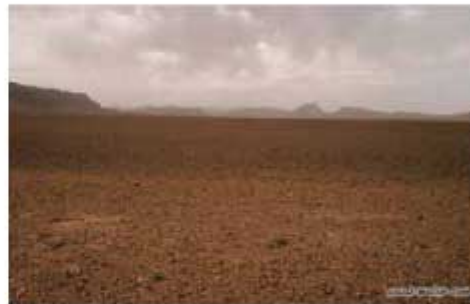
Vallée du Oued Ziz www.maion.com



Village et oasis dans la Vallée du Ziz www.maion.com



Des hommes entretiennent la tuyauterie d'irrigation dans la Vallée du Ziz www.maion.com



Désert de roches dans la Vallée du Ziz www.maion.com



Routes descendantes dans le canion tortueux du Oued Dades dans le Haut-Atlas www.maion.com



Oued Dades dans le Haut-Atlas www.maion.com

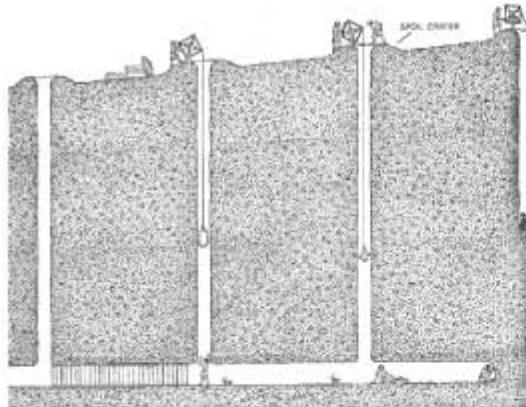


Oued fossile, Tafraoute, Anti-Atlas Photo : Delacré et Tarnier



Oasis de Merzouga www.maion.com

LA KHETTARA ET LES PAYSAGES MAROCAINS



La construction des khetarras demande des anneaux de renforcement
www.waterhistory.org

Les principaux espaces hydrauliques qui permettent l'irrigation sont :

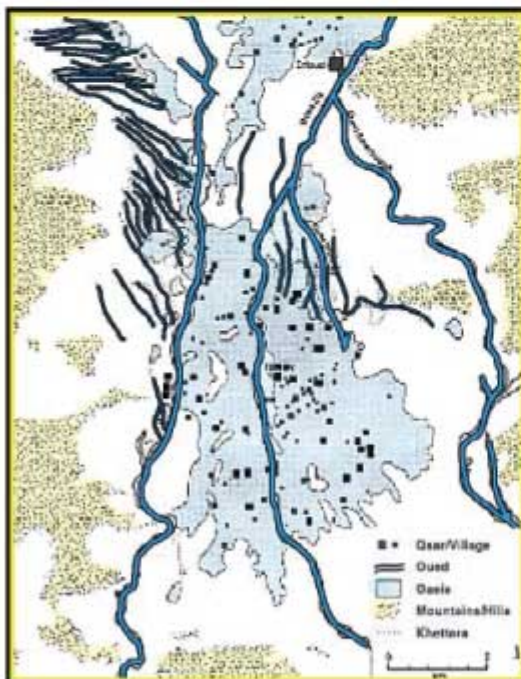
- Les canaux d'irrigation, les seguias, et les petits barrages-
- Les puits
- Les khetarras

Les seguias sont des canaux à ciel ouvert qui acheminent l'eau vers la ville et les khetarras sont des lignes de puits régulières, sorte de taupinières géantes alignées avec une rigueur extrême. Le principe est simple : il s'agit d'aller capter l'eau dans la nappe phréatique et de l'amener par gravité jusqu'aux jardins de la palmeraie. Certaines khetarras peuvent mesurer jusqu'à 15 km de long. Le diamètre de la canalisation souterraine est de l'ordre de 1m pour permettre à un homme courbé en deux afin d'en assurer l'entretien. L'ingéniosité du

système réside dans sa conception et son adaptation aux exigences de la vie dans le désert : cette méthode évite les corvées d'eau, épuisantes tant pour les hommes que pour les animaux ; elle assure un débit constant sans risque de tarir la nappe, et limite l'évaporation. L'eau, dès sa sortie des khetarras, emprunte les seguias pour être distribuée selon un système conventionnel basé sur la gravité. Mais pendant la sécheresse, les seguias et les khetarras sont moins bien entretenus. Le système ancien avait aussi pour but de réguler le cours du bouillart du cours d'eau. Il résulte de ce désordre une salinisation liée à la dégradation chimique des sols.

Les avantages du réseau souterrain :

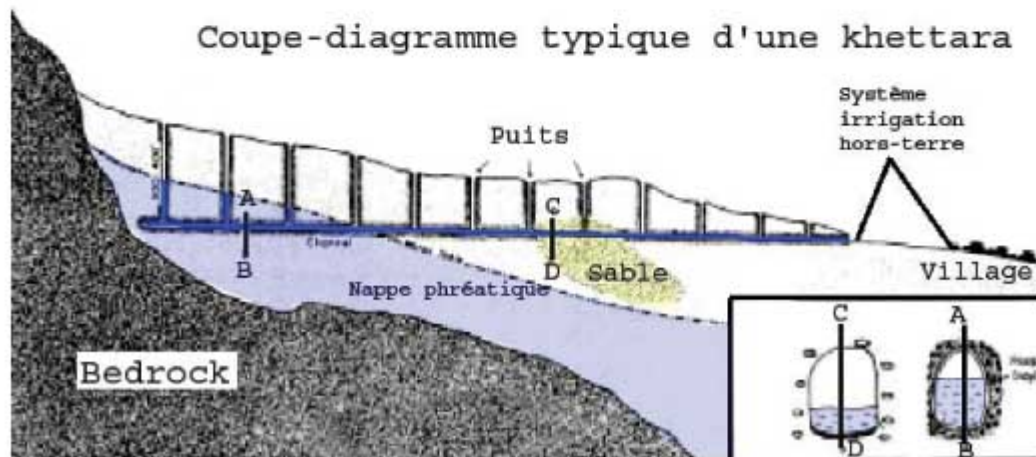
- Réduit l'évaporation lors du transport
- Nul besoin de pompes
- Utilise une ressource renouvelable



Tafilalet oasis, Rheris/ Bassin du Ziz, Sud du Maroc
 Pour position géographique, voir deux pages plus haut
Libro.uca.edu/irrigation/irrigation6.htm



Système de Khetarras dans la Vallée Tafilalet
www.Waterhistory.org





· IRRIGATION MODERNE

Au Maroc, la maîtrise et la mise en valeur des ressources en eau sont une pratique très ancienne et depuis toujours un facteur déterminant de la structuration de l'espace et du développement des terroirs, car le contexte et les conditions climatiques y sont variables et irréguliers.

L'irrégularité spatiale et temporelle des conditions climatiques, l'impact des sécheresses et des inondations successives, la distorsion entre les courbes de progression démographique et celles des productions agricoles et la nécessité absolue d'amélioration du bien être des populations, sont autant de facteurs qui font de la maîtrise de l'eau un impératif technique, et économique et une voie privilégiée pour le développement économique et social.

Il tombe actuellement 150km³ d'eau au Maroc. L'eau utile, dite l'eau renouvelable, est de 30km³, soit 1/5 du total. L'eau mobilisable, soit l'eau que l'on est capable de capter à l'aide des différentes techniques modernes est de 20km³, soit 66% de toute l'eau renouvelable.



L'eau mobilisable souterraine est 4km³ et l'eau mobilisable de surface est de 16km³. Actuellement, cette eau mobilisable est disposée à 66%(11km³) pour l'eau de surface et à 35%(2,65 km³) pour l'eau souterraine. Globalement, 46% de l'eau renouvelable est consommée. Les prélèvements en eau pour l'agriculture représentent 89% du total, l'industrie et la collectivité se partagent l'autre 11% à part égale.

Par ailleurs, les volumes mobilisés par les 94 barrages sont de 9,4km³ et ceux par des prises au fil de l'eau sont de 1,6km³. Durant les trois dernières décennies, la capacité totale des barrages est passée de 2,2km³ à 14,5km³, et les volumes régularisés de 2,1km³ à 9,4km³, soit un taux d'accroissement annuels moyens respectifs de 6% et 5%. La production hydro-électrique était de 1 600 GWh en 1991, soit 15% de la production énergétique totale du pays.



Chute d'eau
<http://www.geru.ucl.ac.be/>

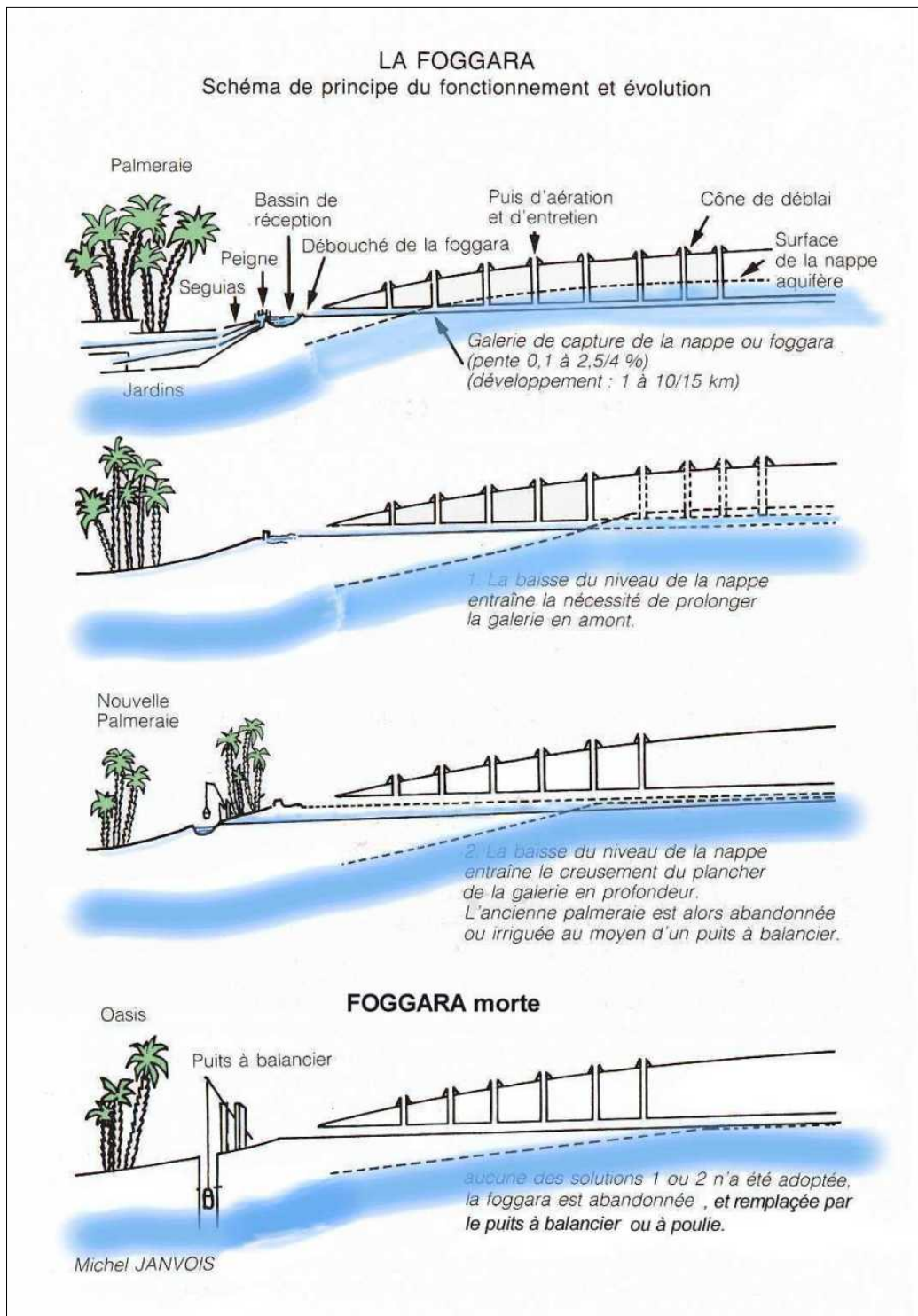
En 1990, 236 000 points d'eau (puits 91%, sources 8%, points d'eau de surface 1%) étaient recensés en zone rurale, soit environ 1 point d'eau pour 50 habitants, dont 16% équipés d'un moyen d'exhaure, mécanique ou motorisé. Une enquête sanitaire a montré que 84% des points d'eau fournissent de l'eau non potable. Finalement, 10% de la population rurale est desservie de manière satisfaisante par des systèmes collectifs et 8% bénéficient de réseaux de distribution, soit Ainsi 80% de l'eau des lacs de barrages est acheminée par les rivières existantes avant d'être redirigée. Pour parer à la perte d'eau lors de l'arrosage, la technique du compte goutte peut être exemple, l'eau qui passe à travers des ouvertures plus petites qu'1 mm de diamètre doit être extrêmement exempt de toutes saletés afin de ne pas boucher le mécanisme.

Chiffres: http://www.billy-globe.org/fr_2001/eau/persoons.htm

D'après M. BERUBE, *l'eau et les paysages marocains*, in *Workshop de la CUPEUM Marrakech 2004*, sous la direction de P. Poulleouec-Godinec et S. Tischer, *La palmeraie de Marrakech, un paysage périurbain*, Université de Montréal, chaire UNESCO.
www.unesco-paysage.umontreal.ca

Doc 5

L'irrigation : les foggaras



Les Foggaras : "UN SYSTÈME D'IRRIGATION ORIGINAL: LES FOGGARA" (d'après J.Oliel , Les juifs au sahara ; le Touat au moyen-âge , CNRS-histoire , 1994)

D'après : http://zoumine.free.fr/tt/sahara/donnees_geo_clim_bota/foggara.jpg

Le système de la foggara

Certaines régions du Sahara sont riches en eaux souterraines. Cela a permis, vers le premier siècle, le percement d'un extraordinaire système de captage et d'adduction d'eau sur le modèle existant dans certaines régions de la Mésopotamie. Pour couvrir les besoins en eau et lutter contre l'aridité importante de la terre sans laisser prise à l'évaporation, parfois considérable dans le Sahara, il a fallu trouver un moyen d'irrigation adapté :

C'est le système des « foggaras » (ou « foguagir » au pluriel arabe maghrébin) qui « *semble être originaire de la Perse et remonter à une antiquité reculée. On en trouve déjà la mention au Vème siècle av.J.-C., dans Hérodote (Melpomène 120) [...]. On possède également, grâce aux narrations de Polybe (X-23.25), des renseignements détaillés sur les foggaras de la Perse du IIIème et du IIème siècle av. J.-C.* » (J.M.Solignac).

Une foggara est une canalisation souterraine construite pour alimenter les jardins dans les palmeraies, lorsqu'il n'est pas possible de creuser des puits. Elle peut avoir un développement de 2 à 10, voire 15 kilomètres. Les canalisations suivent une pente légère (quelques millimètres de dénivelé par mètre) et courent à environ 5 ou 10 mètres sous la surface du sol. La foggara proprement dite a un diamètre suffisant (1 m à 1,20 m) pour permettre le déplacement d'un homme courbé, travailleur progressant d'aval en amont au moment du percement, et ouvrier circulant pour effectuer des travaux d'entretien.



Ligne de puits

Le mot "*fogaguir*" est la forme plurielle de "*foggara*" dont l'étymologie reste des plus incertaines : ce mot rappelle la forme verbale de l'arabe "*f'qr*" (= creuser), qui a son équivalent "*f'ar*" en hébreu. Selon Et Tamentiti, *foggara* serait une altération du mot *fedjara* (dj > g), qui signifie donner une issue à l'eau, la faire couler.

En surface, les cônes de déblais ou les ouvrages maçonnés jalonnent le trajet de la foggara (et de l'eau) entre la nappe et le bassin de réception. Construits tous les 12 à 15 mètres, ces cônes protègent l'orifice en même temps qu'ils permettent de surveiller l'écoulement et, au besoin, de descendre dans la foggara pour débayer le point précis de la galerie qui viendrait à être obstrué. Au débouché de chaque canalisation dans la palmeraie, l'eau est reçue dans un bassin.

Son débit sera soigneusement mesuré avant qu'elle ne reparte pour être parcimonieusement redistribuée entre les jardins, moyennant le versement d'un écot par les propriétaires. A la sortie du bassin de réception, l'eau passe alors par une « *chebka* » (= grille), qui est une plaque de cuivre - ou de terre cuite - percée de trous, le « *kassis* » ou « *kesra* » (= peigne), dispositif répartiteur, qui permettra la redistribution de l'eau de la foggara calculée en doigts ou en demi-doigts, selon le cas; elle peut alors s'en aller par de minuscules rigoles (« *seguia* ») qui parcourent la palmeraie et la conduisent vers les jardins.

L'ingéniosité du procédé réside dans sa conception et son adaptation aux conditions de la vie et du climat sahariens : il supprimait les corvées d'eau épuisantes, qui prenaient l'essentiel du temps des habitants, et assurait un approvisionnement à débit constant, sans risque de tarir la nappe d'eau et en limitant l'évaporation au minimum.

La réussite de cette technique continue aujourd'hui encore à faire l'admiration des observateurs. « *Il ne pleut pour ainsi dire jamais au pays des fgagir. Et cependant, depuis plus de dix siècles, à chaque heure, la moindre foggara soutire plusieurs mètres cubes d'eau souterraine dont le remplacement pluviométrique est manifestement impossible.* » (J.Savornin).

« *En utilisant quelques suintements après un labeur énorme et une dépense stupéfiante d'ingéniosité, l'homme [...] a fait naître une agriculture savante, intensive, ce qu'on connaît de plus évolué en matière d'agriculture [...] au Touat seulement [...] ce serait au moins 2000 kilomètres de cheminement souterrain* ».

On perce encore à l'époque actuelle des foggaras : la dernière au Touat date de 1984. Nieger, au début de ce siècle en avait dénombré 372 dans cette région, dont beaucoup, hélas, obstruées, sont aujourd'hui considérées comme mortes. On estime à environ 4000 kms (la moitié au Touat) la longueur totale des canalisations de ce type existant dans l'ensemble saharien.

A qui revient le mérite de ces réalisations, les hommes qui ont fait la gloire et la fortune des Oasis?

Le système vient sans doute de l'orient où il était connu sous le nom de « *qanat* » en Iran et en Arabie.

Mais il a été adapté aux besoins et aux conditions de la région. Les terrassiers de ces gigantesques travaux, ce furent les milliers d'esclaves noirs, qui ont constitué l'essentiel de la main-d'œuvre ; les maîtres d'œuvre étaient des Juifs, sans doute avant le Xème siècle, et leurs successeurs musulmans ensuite, qui ont développé considérablement le réseau existant à partir des Xème et XIème siècles.

Selon L.C.Briggs, « *le système des foggaras est très fortement développé dans la partie occidentale du centre du Sahara. Le Touat comporte environ neuf cent cinquante de ces galeries.[...]. Certains estiment que ce sont des Juifs ou des Berbères judaïsés réfugiés de la Cyrénaïque qui auraient introduit les foggaras au Sahara occidental il y environ deux mille ans. [...] Elles peuvent se rencontrer tout au long d'une ligne partant du Sud Marocain en direction du sud-est et traversant le Hoggar puis en direction de l'est traversant le Fezzan,*

mais celles du sud ne sont que de grossières miniatures comparées aux systèmes sophistiqués du Touat. [...] Il est vraisemblable que certains de ces réfugiés furent les premiers colonisateurs juif du Touat [...] et il se pourrait bien que ce fussent eux qui ont introduit l'idée des foggaras dans la partie occidentale du Sahara » .

E.F. Gautier, qui a interrogé les habitants, a appris que « *le travail de creusement progressait d'aval en amont, c'est-à-dire qu'on a attaqué la nappe souterraine à son point d'affleurement et qu'on a poussé la galerie horizontale jusqu'à ce que le débit soit devenu suffisant* » .

Au Touat, toutes les foggaras sont orientées dans le sens est-ouest issues de la région du plateau de Tademaït, elles se dirigent vers la ligne perpendiculaire des palmeraies et sont partagées en volume.

Quatre des foggaras de Tamentit sont très particulières; sans doute des vestiges d'un « *système primitif* », comme le note J. Vallet , trois d'entre elles passent sous le ksar, la quatrième dans son voisinage et sont toutes orientées dans le sens sud-nord. La foggara *Hennou* - une de plus anciennes - en est l'exemple type : contrairement aux autres, elle n'est pas alimentée par l'eau de la nappe souterraine, mais par une source. Il faut noter que son niveau d'eau a baissé à plusieurs reprises au cours des siècles, au point qu'on a dû la recreuser plus profond chaque fois. Or, elle passe sous le ksar de Tamentit, à une profondeur considérable - ce qui atteste son ancienneté, puisqu'on ne peut imaginer que son percement ait été réalisé après la construction de la ville fondée en 517. Là encore, certains auteurs n'hésitent pas à voir la main de la communauté juive.

Ainsi, pour J.-C. Echallier, « *a foggara Hennou de Tamentit [...] serait l'ouvrage des Juifs* ». Hypothèse reprise avec insistance par E-F. Gautier, qui écrit : « *Au Gourara et dans tout le Touat septentrional, les beaux travaux d'irrigation, orgueil des oasis, aqueducs souterrains, puits artésiens, les traditions en font honneur aux Juifs.* " *La gloire des oasis ce sont leurs fgagir. [...] La foggara Hennou de Tamentit et toutes les foggara mortes comprises entre*



Zaouiet Sidi Bekri et Beni Tameur seraient l'ouvrage des Juifs ».

Le système de distribution de l'eau dans la palmeraie de Tamentit est du reste différente de ce qui existe ailleurs ; ici il s'agit d'une « *foggara horaire* » : la répartition ne se fait pas en quantité et en volume; nul besoin de « *peignes* » d'où partiraient des « *séguias* » (canaux d'irrigation) plus ou moins importantes. La foggara est obstruée une ou deux fois le jour, pour permettre de reconstituer le niveau requis, puis libérée pour un temps

donné, proportionnel à la contribution versée par le bénéficiaire. Nous pouvons supposer



que la nature de cette foggara issue d'une source est peut-être à l'origine du nom de Tamentit donné à la capitale du

Touat, à partir de " *aman* " (l'eau) et de " *tit* " (la source).

D'après <http://www.prolove.ch/oasen/html/foggaraoasen.html>

Doc 6

Stratégies d'emploi par l'homme des ressources hydrologiques en milieu semi-aride

Les états du sud-ouest des Etats-Unis sont soumis à un régime climatique semi-aride à aride. L'origine des précipitations varie d'une région à l'autre. En Californie, l'essentiel des précipitations ont lieu sous forme d'orages en hiver et proviennent du golfe de l'Alaska. Les Etats de l'Arizona et du Nouveau Mexique reçoivent leurs pluies sous forme de "mousson d'été" alors que les précipitations du Nevada, de l'Utah et du Colorado ont une origine variable.

Une des principales caractéristiques de ces précipitations est le haut degré de variabilité saisonnier ou interannuel. En outre, au niveau décennal, la fréquence du phénomène "El Niño" de même que celle des sécheresses joue un rôle non négligeable. On notera à ce propos une importante sécheresse à la fin des années 80 dans ces états. La répétition de périodes de faibles précipitations auxquelles s'associent la diminution du niveau des rivières nécessitent donc la construction d'importants réservoirs pour satisfaire en tout temps la forte demande en eau.

Les principaux aménagements hydrauliques

Dans les zones arides du Sud-Ouest américain, les rivières constituent les seules ressources hydrologiques pérennes avec des volumes d'eau importants. Le Colorado est le principal fleuve de cette région des Etats-Unis. Suite aux grands aménagements entrepris sur son cours, il assure désormais la majorité de l'approvisionnement en eau de l'Arizona, du Nevada, du Nouveau-Mexique, de l'Utah et d'une partie de la Californie. Lors de notre voyage, nous avons eu l'occasion de visiter les deux principaux ouvrages barrant le Colorado, à savoir le *Glen Canyon Dam* et l'*Hoover Dam*, qui ont entraîné respectivement la formation du lac Powell et du lac Mead. Ces réservoirs ont des dimensions considérables ; lorsqu'il est plein, le lac Powell a une longueur de 300 km et un volume de 33,3 milliards de m³, tandis que le lac Mead mesure 177 km de longueur et contient 39,9 milliards de m³. Outre le fait qu'ils fournissent de l'eau destinée aux diverses utilisations mentionnées ci-dessous, les barrages permettent également de protéger les basses terres contre les crues et assurent un apport en eau plus ou moins constant tout au long de l'année. L'eau est généralement transportée sur de longues distances jusqu'aux lieux d'utilisation, nécessitant ainsi la création d'un réseau de canaux très étendu.



Le barrage du Glen Canyon Dam

Les différentes utilisations de l'eau

Sur la base de nos observations, les paragraphes suivants sont consacrés aux diverses utilisations de l'eau dans les régions traversées lors de notre périple.

- **Approvisionnement en eau des villes**

L'approvisionnement en eau de métropoles s'accroissant rapidement est un problème toujours plus lancinant, qui comprend à la fois l'utilisation domestique et industrielle de l'eau.

A Las Vegas, Los Angeles ou San Francisco, cela a nécessité la réalisation d'un système d'approvisionnement gigantesque, complexe et fort coûteux.

Las Vegas reçoit l'eau du lac Mead. Cependant, si la ville continue de croître à un rythme aussi rapide que durant les deux dernières décennies, les eaux du Colorado ne suffiront bientôt plus. C'est pourquoi les autorités ont développé des projets consistant à pomper l'eau du désert. Elles veulent se brancher avec 146 forages dans le vaste aquifère du désert de Mojave et du désert du Grand Bassin. Ces nappes, vieilles de 600.000 ans, seront perforées grâce à des pipe-lines. Des milliers d'associations ont protesté, mais Las Vegas a juridiquement l'avantage, car les lois du Nevada autorisent la mainmise de la ville sur toute "eau inutilisée".

San Francisco reçoit une grande partie de son eau de la Sierra Nevada, d'où elle est acheminée vers la métropole par deux canaux, le canal Mokelumne et le canal Hetch-Hetchy.

A Los Angeles, les ressources locales en eau sont modestes, en raison de faibles précipitations. Les réserves fournies par le Los Angeles River ne tardèrent pas à être épuisées. Il fallut donc amener l'eau de très loin, au prix de beaucoup de peine. Trois immenses systèmes d'aqueducs acheminent aujourd'hui le précieux liquide vers la Californie du Sud et en assurent l'approvisionnement au moyen d'un réseau de distribution cohérent d'une longueur de 700 km.

Le système le plus ancien, l'aqueduc de Los Angeles, fut construit de 1907 à 1913. Il est alimenté par les rivières limpides du revers occidental de la Sierra Nevada, de l'*Owens Valley* au lac Mono. La majeure partie de l'eau est captée dans la montagne même et amenée dans des conduites en partie ouvertes, en partie fermées, sur une distance de 550 km, à Los Angeles. Pour accéder à cette eau, la municipalité de Los Angeles fit l'acquisition de presque toutes les terres dans l'*Owens Valley*, s'appropriant par là les droits des eaux et des cours d'eau sur ces territoires. Elle put ainsi disposer à sa guise de l'eau qui s'y trouvait et la capter à son profit. Ce faisant, elle priva toute une vallée de ses conditions d'existence et causa la ruine des riverains, car, sans irrigation des champs, l'agriculture devint impossible.

A peine 20 ans plus tard, la ville constamment assoiffée se vit contrainte de chercher une nouvelle source de ravitaillement. Cette fois-ci, on eut recours au Colorado. Grâce à la régularisation du cours du fleuve suite à la construction du *Hoover Dam*, l'aqueduc construit de 1930 à 1941 achemine quelque 40 millions d'hectolitres d'eau par jour à travers le désert vers la région de Los Angeles. Les usines hydroélectriques construites sur le fleuve fournissent, de plus, l'énergie nécessaire à l'actionnement des pompes. Mais en 1964 une décision prise par les autorités fédérales restreignit fortement les droits de la Californie sur les eaux du Colorado et en attribua une quote-part plus élevée à l'Arizona. Cet arrêt fut un coup dur pour la population, en croissance rapide, de Los Angeles.

Mais on avait déjà élaboré auparavant un plan pour assurer l'approvisionnement en eau jusqu'à l'an 2000. Il fallut, pour cela, mettre au point et réaliser un gigantesque projet, le *California Aqueduct*. On barra la rivière Feather dans la Sierra Nevada septentrionale. Grâce au lac de retenue d'Oroville, une amenée d'eau régulière peut être effectuée durant toute l'année. L'eau coule dans le lit naturel du fleuve Sacramento vers l'arrière-pays deltaïque de la baie de San Francisco. De là, 67,7 millions d'hectolitres par jour sont refoulés, au moyen de pompes, dans un gigantesque canal artificiel d'environ 700 km et coulant vers l'amont dans la vallée centrale de Californie. Les dimensions de cet aqueduc sont imposantes : 78 m de largeur à la surface, 34 m au sol et 11 m de profondeur. Environ la moitié de cette masse d'eau est acheminée, au moyen de trois puissantes installations de pompage, par-dessus les monts Tehachapi (1000 m d'altitude) vers la région de Los Angeles. Il aurait été plus

simple de faire passer le canal sous la montagne au moyen d'un tunnel, mais la situation tectonique de la région interdisait cette solution, car pratiquement tout le tracé de l'aqueduc est parallèle à la faille de San Andreas et à proximité directe de celle-ci. En cas de mouvements tectoniques, le tracé par-dessus la montagne est bien moins menacé qu'un tunnel et pourrait être réparé en peu de temps.

▪ **Irrigation**

En raison de l'aridité du climat au Sud-Ouest des Etats-Unis, la culture n'est possible dans cette région qu'au prix d'une irrigation artificielle. C'est pourquoi la construction de grands barrages de retenue est d'une importance décisive. En 1998, le *Glen Canyon Dam* a fourni 8,6 milliards de m³ pour l'irrigation. Le *Hoover Dam* irrigue notamment la vallée de Palo Verde, la réserve indienne du fleuve Colorado, les périmètres de Yuma et Gila en Arizona, ainsi que la vallée Impériale et celle de Coachella en Californie. Grâce à l'irrigation, les régions arides des Etats du Sud-Ouest se sont transformées en terres agricoles fertiles à haute productivité ; c'est d'ailleurs à l'agriculture qu'elles doivent leur viabilité économique, d'où l'importance de l'irrigation.

Nous avons traversé à plusieurs reprises des terres agricoles irriguées. Peu avant d'entrer dans la région des Needles (parc de Canyonlands), le fond de la vallée de l'*Indian Creek* est irrigué artificiellement par un système relativement archaïque ; les prairies ainsi formées servent de pâturages pour le bétail du *Dugout Ranch*, auquel appartient cette vallée.

Lorsque nous sommes remontés de Los Angeles vers le nord, nous avons traversé la partie méridionale de la grande vallée centrale de Californie, où les cultures s'étendent à perte de vue avec une grande régularité. Grâce à la platitude du terrain et à l'immensité des champs, l'agriculture y est très fortement mécanisée. Elle nécessite cependant une irrigation intensive. En effet, la plaine centrale californienne reçoit peu de précipitations en raison de l'effet de barrage des chaînes côtières ; la zone méridionale que nous avons traversée possède même un climat semi-aride. Pour pallier ce déficit de précipitations et pouvoir exploiter ces terres agricoles de manière intensive, on a construit des barrages dans la Sierra Nevada ; ces derniers permettent de constituer des réserves d'eau de fonte pour leur usage en été et de régulariser l'écoulement des rivières. Le reste de l'eau destinée aux cultures provient du *California Aqueduct*, dont la moitié de l'eau sert à irriguer le sud de la vallée centrale et l'autre moitié à alimenter Los Angeles.

▪ **Production d'électricité**

Les barrages présentent un autre intérêt économique évident, puisqu'ils produisent de l'énergie électrique à bon marché. Dans la centrale électrique du *Glen Canyon Dam*, les huit génératrices ont une capacité totale de production de 1288 MW, soit quatre fois 165 MW et quatre fois 157 MW. Toutefois, la centrale électrique est actuellement soumise à des restrictions ; en effet, le débit maximal du fleuve en aval du barrage est fixé à 20'000 pieds³/s (566 m³/s), limitant ainsi la production électrique à 767 MW. Ces restrictions de débit vont devenir permanentes pour des raisons environnementales. En 1998, la production nette d'électricité s'est élevée à 6,6 milliards de kWh. L'énergie est principalement distribuée aux compagnies électriques rurales, aux petites municipalités, aux réserves indiennes et aux établissements gouvernementaux. La centrale électrique du *Hoover Dam* produit environ 4 milliards de kWh par an et approvisionne quelque 500'000 foyers du sud de la Californie, du sud du Nevada et de l'ouest de l'Arizona. Elle fournit notamment une partie de l'électricité consommée à Las Vegas, le reste provenant d'une centrale nucléaire. Les lignes électriques vers Los Angeles sont les plus grandes jamais construites ; deux rangées de pylônes hauts de 33,5 m et espacés de 250 à 300 m conduisent le courant électrique sur 370 km, tandis qu'une ligne unique avec des pylônes hauts de 44 m assure les 65 derniers kilomètres.

▪ **Autres utilisations de l'eau**

Les trois domaines précédents concernent les principales utilisations de l'eau qui ont motivé la construction d'ouvrages de régulation sur le fleuve Colorado ou dans la Sierra Nevada. Toutefois, les ressources hydrauliques sont également destinées à d'autres emplois tels que le refroidissement des centrales nucléaires et des usines à combustibles fossiles, l'extraction des minerais ou l'abreuvement du bétail. En outre, il faut mentionner que le traitement des eaux usées permet de réutiliser de grandes quantités d'eau. Confrontées à des problèmes de disponibilité en eau, les collectivités publiques et privées ont construit de nombreuses stations d'épuration ces dernières années.

Depuis le *Dead Horse Point State Park*, nous avons par exemple pu voir des mines de potasse en contrebas. En effet, la ville de Moab exploite des mines de potasse à ciel ouvert. De l'eau, puisée dans le Colorado, est injectée dans les filons à 1000 m de profondeur puis envoyée dans les bassins de décantation. Après un an d'exposition au soleil, il ne reste que des cristaux de potasse. Les couleurs d'un bleu intense sont dues à l'emploi d'un catalyseur.

D'après <http://membres.lycos.fr/date/usw.htm>

Doc 7

Démographie et désertification au Soudan.

La croissance démographique et les progrès techniques du XX^e siècle n'ont pas été sans dégrader la couverture végétale : la population soudanaise est passée de 2 millions en 1898 à 24 millions en 1983. (...) La pression humaine et animale s'est traduite de diverses façons sur l'environnement.

Dépourvus de moyens permettant d'augmenter les rendements, les paysans ont raccourci les jachères, ce qui a épuisé les sols, tandis que les terres les moins propices étaient mises en exploitation. La couverture végétale une fois décapée pour faire place aux cultures de sorgho ou de mil, la terre est laissée à nu après la récolte ; la mince pellicule de terre arable, ayant perdu toute structure à la suite des labours, est vite emportée par le vent. L'agriculture mécanisée a des effets au moins aussi désastreux par ses déboisements méthodiques, ses labours profonds, son souci de rentabilisation à court terme qui exclut toute jachère (...).

Le bétail a crû au même rythme que la population, et il se trouve confronté à l'extension des cultures, qui le prive des meilleurs pâturages ; il est donc repoussé vers des terres marginales... De son côté, le cheptel caprin des villageois contribue à supprimer toute végétation autour des cases menacées par le sable.

La consommation de bois de feu et de construction est aussi responsable de cette désertification ; les villageois, outre leurs besoins domestiques, doivent alimenter les boulangeries et les fours à briques ; Khartoum fait venir son bois et son charbon de bois de plus de 700 km.

M. Lavergne, Le Soudan contemporain, Karthala, 1989.

Doc 7

LIBYE, Grand Fleuve Artificiel

Plus grand projet d'exploitation de nappes aquifères fossiles au monde, le "Grand Fleuve Artificiel", dont les travaux ont débuté en 1984, a été inauguré par le Président Khadhafi en août 1991. Il vise essentiellement à l'irrigation, par un vaste système de canalisations, des zones agricoles du littoral libyen, en utilisant de l'eau située à grande profondeur dans le Sahara, au sud du pays.

Pour l'instant, seule la phase I du projet est terminée. Avec elle, ce sont environ 2 millions de m³ d'eau par jour sont acheminés - par un pipe-line de 1200 km - de la grande nappe aquifère située au sud-est du pays - dite "nappe continentale intercalaire" - (à As-Sarir et Taberzo) vers le réservoir d'Adjabiya, pour ensuite assurer l'irrigation des régions de Benghazi et Syrte, sur la côte. Cette exploitation devrait se poursuivre pendant deux siècles au moins.

Le projet comporte quatre autres phases:

- la phase II avec le pompage de la nappe aquifère du sud-ouest - dite "nappe continentale terminale" - (au Fezzan) pour l'irrigation de la région de Tripoli;
- la phase III doit compléter la phase I du projet pour accroître le débit de la partie orientale du "Grand Fleuve Artificiel" - qui augmenterait de 1,68 millions de m³ d'eau par jour - en étendant le réseau de pompage plus loin vers le sud, jusqu'à Koufra;
- la phase IV visera à prolonger les possibilités de distribution par la construction d'un pipe-line reliant le réservoir d'Adjabiya à Tobrouk au nord-est du pays;
- la phase V verra la jonction du système oriental et occidental à Syrte en un seul réseau.

Les travaux d'achèvement du "Grand Fleuve Artificiel" devraient encore durer 25 ans. Le coût total du projet est estimé à 25 milliards de \$; la phase I a, à elle seule, coûté 14 milliards de \$. Ce projet a été conçu à l'origine par deux bureaux d'études américains (Brown & Root et Price Brothers Cy) et sa réalisation est entreprise par la société sud-coréenne de travaux publics Dong Ha.

Les autres ressources en eau de la Libye - pays désertique à 95% - proviennent de réserves renouvelables (700 millions de m³/an) ou, pour une faible part, du dessalement de l'eau de mer.

D'après <http://www.medeia.be/?page=2&lang=fr&doc=122>



<http://www.infres.enst.fr/~clement/images-satellite/pages/irrigation-libye.htm>