



UNIVERSITE PARIS IV-SORBONNE

THESE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE PARIS IV

en «**Environnement Global**»

option : «**Hydrologie**»

soutenue publiquement par

Mohamed El Mehdi SAIDI

Le 17 janvier 1995

**CONTRIBUTION A L'HYDROLOGIE PROFONDE ET SUPERFICIELLE
DU BASSIN DU SOUSS (MAROC)**

*Climatologie, Hydrogéologie, crues et bilans hydrologiques
en milieu sub-aride*

La commission d'examen est composée :

du président du jury :

Jean-Paul BRAVARD, Professeur à l'Université de Paris IV.

du directeur de thèse :

Jean René VANNEY, Professeur à l'Université de Paris IV.

des rapporteurs :

Bernard BOMER, Professeur Emérite à l'Université de Paris X.

Fernand Joly, Professeur Emérite à l'Université de Paris VII.

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, je me suis rendu compte que tant est grand le nombre de ceux qui, avec compétence et gentillesse, m'ont aidé à le mener à bien.

Tout a commencé le soir d'un lundi 16 septembre 1991, lorsque Monsieur **VANNEY** m'a accueilli dans son bureau et a accepté de diriger cette recherche, après avoir scrupuleusement visionner ensemble l'objectif et la portée de l'étude. C'est à lui que je dois la préparation de cette thèse dans l'une des plus célèbres universités du monde. La clarté de son esprit et sa grande expérience m'ont toujours été à la fois un modèle et un soutien, que ce soit dans le raisonnement scientifique lui même, ou simplement dans l'expression écrite.

Monsieur **BRAVARD**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de la thèse, a gentiment accepté de relire mon texte. Ses remarques et suggestions m'ont été d'une grande utilité. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma profonde gratitude.

Messieurs **JOLY** et **BOMER**, qui ont rapporté ce mémoire, ont également relu de larges parties de ma thèse. Grâce à leurs idées et propositions, et suite aux entretiens que nous avons eus, j'ai pu améliorer à la fois le fond et la forme de mon travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

La collecte des données climatiques et hydrométriques n'aurait jamais été menée à son terme sans la collaboration de l'administration de l'hydraulique d'Agadir, je pense particulièrement:

- A son directeur, Monsieur **GEANAH**, qui m'a permis l'accès à la documentation et à la bibliographie disponible.

- A l'ex chef du service d'hydrologie, Monsieur **AZROU**, qui m'a accueilli dans son service pendant plus de trois mois, consacrés à la saisie des données et à la consultation de documents appropriés. Ce stage m'a été d'un très grand intérêt.

- Au responsable de la bibliothèque et des archives, Monsieur **ELMANSOURI**, qui, par sa disponibilité et sa patience, m'a facilité le dépouillement de la littérature liée de près ou de loin à l'hydrologie du Souss.

- Au responsable de l'équipement hydrologique, Monsieur **AHAJJI**, qui a eu la gentillesse de m'accompagner sur le terrain et de me montrer différentes installations hydrométriques du bassin versant.

Qu'ils soient tous sûrs que je suis parfaitement conscient du rôle qu'ils ont joué dans la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à exprimer ma grande gratitude à mes très chers parents pour leurs sacrifices matériels durant de longues années d'étude; ainsi qu'à mes frères Abdellatif, Youssef, Younouss et à ma soeur Asma pour leurs correspondances et leurs encouragements. Merci également à mon oncle Abd, qui a souvent été à mes côtés pour accomplir des formalités administratives en France.

Enfin je remercie tous mes amis en France, qui se reconnaîtront assurément, pour l'amitié qu'ils m'ont témoignée, ainsi que pour leurs aides et leurs encouragements, je pense par exemple à Abdellah, Abdelmajid, Ahmed, Ali, Bachir, Bobacar, Boubker, Fatima, Foy, Halima, Khadija, Laurent, Louisa, Mohamed, Naïma, Omar, Rachid, Zakaria..etc

Il y a certainement bon nombre d'autres personnes qui ont contribué, d'une façon ou d'une autre, à ce que cette étude progresse et se déroule dans de bonnes conditions. Sans pouvoir les nommer tous, j'espère qu'ils acceptent mes très vifs remerciements.

SOMMAIRE

Avant propos et introduction	4
------------------------------------	---

Première partie : Cadre de l'étude et présentation générale du Souss

I - Situation géographique et limites :	8
a- La montagne :	10
b- La plaine :	11
II - Morphologie et géologie générale :	12
* Introduction :	12
A- Hypsométrie, topographie et dimensions des bassins :	13
1- Introduction :	13
2 – Le bassin du Souss à Aoulouz :	14
3– Le bassin du Souss à Taroudant :	17
4 – Le bassin du Souss à Aït Melloul :	17
B - Géologie générale du bassin du Souss :	19
B- 1 : Résumé paléogéographique :	20
B- 2 : Cadre structural du bassin du Souss :	21
B-3 : Stratigraphie et géologie des aquifères :	22
III - Hydrographie générale et bassins élémentaires :	28
1- Introduction :	28
2- Le bassin amont (bassin du Souss à Aoulouz) :	29
3- Les sous-bassins haut-atlasiques (Rive droite) :	30
4- Les sous-bassins rive gauches :	32
5- Le cours principal du Souss :	33
IV- Géographie humaine et points d'eau :	34

Deuxième partie : Le milieu climatique et facteurs de l'écoulement

I- Postes d'observation et critique des données pluviométriques:	38
1 - Répartition des pluies annuelles de la station d'Agadir:	39
2 - Critique des précipitations annuelles:	42
2-1: Test des double-cumuls:	43
2-2: Résultats des tests: (fig. 20 à 33).....	44
II- L'apport pluvial.....	47
1- Introduction :	47
2- Précipitations moyennes annuelles :	48
a- Méthode de la moyenne arithmétique :	48
b- Méthode des polygones de Thiessen :	51
c- Méthode des isohyètes :	54
3 - Variation saisonnière des précipitations :	57
4 - Précipitations mensuelles :	60
5 - Nombre de jours de pluies, intensité et violence :	62
III - Les températures.....	65
IV - les vents dans le souss.....	69
V- Evaporations, aridité et étages bioclimatiques.....	69
VI- Sols, végétation et agriculture	75
A - Les sols dans le bassin du Souss:	75
A-1 : Eléments de pédogenèse:	76
A-2 : Essai de classification des sols:	76
B - Végétation et agriculture :	78
1 - Peuplements forestiers :	78
2 - Les steppes :	79
3 - L'agriculture :	79

Troisième partie : Le régime fluvial, l'oued Souss

I - Sources d'information et stations de mesure :	82
II - Abondance moyenne et variation des modules :	85
1- Station d'Aoulouz:	85
2- Station de Taroudant:	86
3- Station d'Aït Melloul :	88
III- Variations mensuelles et débits moyens journaliers :	89
A- Débits mensuels et coefficients d'écoulement :	89
B - Débits journaliers et débits classés :	95
IV- Les crues du Souss :	102
A - Estimation des probabilités de crues de l'oued Souss	103
1 - Ajustement de différentes lois à un échantillon de crues observées à Aoulouz :.....	103
2 – Les crues du Souss à la station de Taroudant :	108
3 – Les crues du Souss à Aït Melloul :	110
B - Genèse et propagation des crues du Souss :	114
1 - Repérage et inventaire des crues de souss :	114
2 - La crue dans l'année hydrologique :	116
3 - Mécanisme des crues:.....	119
4 - Evolution des crues d'amont en aval :	127
5 - Classification génétique des crues du souss.....	132

Quatrième partie : Hydrogéologie et fluctuations piézométriques

I - Choix de l'année hydrologique :	143
II - Corrélations entre les précipitations et les débits annuels :	144
A - Bassin du Souss à Aoulouz :	144
B - bassin du Sous à Taroudant :	146
C - bassin du Souss a Ait Melloul :	147
III - Les bilans particuliers :	149
A - Déficits d'écoulement :	150
B - Coefficients d'écoulement :	152
IV - Les bilans globaux :	156
V - Les bilans mensuels :	160
- Bassin du Souss à Aoulouz :.....	163
- Bassin du Souss à Aït Melloul :	168
Historique et introduction :	174
I - Ressources en eau et aquifères du Souss :	175
I-1 : Les nappes profondes :	175
I-2 : La nappe phréatique du Souss :	176
II - Etude hydrodynamique de la nappe du Souss:	178
II-1: Conditions aux limites et caractéristiques hydrauliques:	178
II-2: Piézométrie:.....	179
a- Analyse des cartes piézométriques:.....	179
b- Fluctuations piézométriques:	180
Conclusion générale	196
Bibliographie liée au bassin versant du Souss.....	202
Bibliographie relative aux milieux arides et semi-arides	204
Bibliographie générale	206
Liste des figures.....	208
Liste des tableaux	212

Avant propos et introduction

Le bassin hydrographique du Souss est une région du sud-ouest marocain soumise dans l'ensemble à un climat sub-aride, où interfère une aridité accrue en été et une grande variabilité spatio-temporelle des pluies. Les débits de l'oued sont généralement médiocres, mais ses crues sont souvent brutales, violentes et de courte durée. La région a connu pendant les trois dernières décennies un grand développement agricole et une importante poussée démographique. La demande en eau a par conséquent fortement augmenté, et il s'est avéré indispensable d'étudier tous les facteurs de l'écoulement d'eau, ses aspects (régime moyen, crues, tarissements..) et d'établir un inventaire fiable des ressources en eau connues afin de définir les mesures à prendre pour assurer l'adéquation ressources-besoins.

Plusieurs études, sommaires ou détaillées, ont été entreprises dans le Souss afin de cerner ce problème de l'eau. Les plus consistants étant sans doute les travaux d'Ambroggi, Bourgin, Dijon, Combes et Elhebil (fig.1). C'est lors d'un congrès géologique international à Alger en 1952 que Ambroggi et Bourgin ont présenté une première étude hydrogéologique de reconnaissance de la vallée du Souss. Elle entrait dans le cadre d'une étude généralisée des ressources en eau du Maroc. Cette étude, qui a eu un caractère de première investigation, a mis en lumière des éléments préliminaires permettant d'avoir une première idée sur les ressources hydriques du secteur et de voir l'intérêt de développer, pour approfondissement, des recherches et travaux détaillés. Les deux auteurs ont d'ailleurs remarqué que de tous les bassins hydrogéologiques du Maroc, celui de la vallée du Souss est certainement le mieux individualisé, grâce à un cadre montagneux vigoureux qui l'entoure. Et en préface de l'ouvrage rassemblant ces études régionales du Maroc (1952), nous relevons la citation de V.Bauzil, ingénieur en chef des ponts et chaussées: *"Et que dire du Souss dont l'économie agricole est toute entière basée sur l'utilisation, par galeries drainantes ou par pompage, des eaux du sous-sol. Le drain de Freija avec ses 800 l/s, les pompages d'Aït Melloul, qui portent sur plus de 6700 ha, témoignent des résultats acquis dans cette belle vallée si favorable à la culture des primeurs, ici par l'initiative privée, là par l'administration."*

En 1968, Robert Dijon achevait une thèse d'Etat sur l'hydrogéologie et l'inventaire des ressources en eau de la vallée du Souss. Il a minutieusement étudié les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères de la plaine du Souss, le régime de la nappe phréatique, son hydrochimie.. etc. Son travail constitue une référence majeure pour les travaux relevant de l'hydrogéologie de la plaine du Souss.

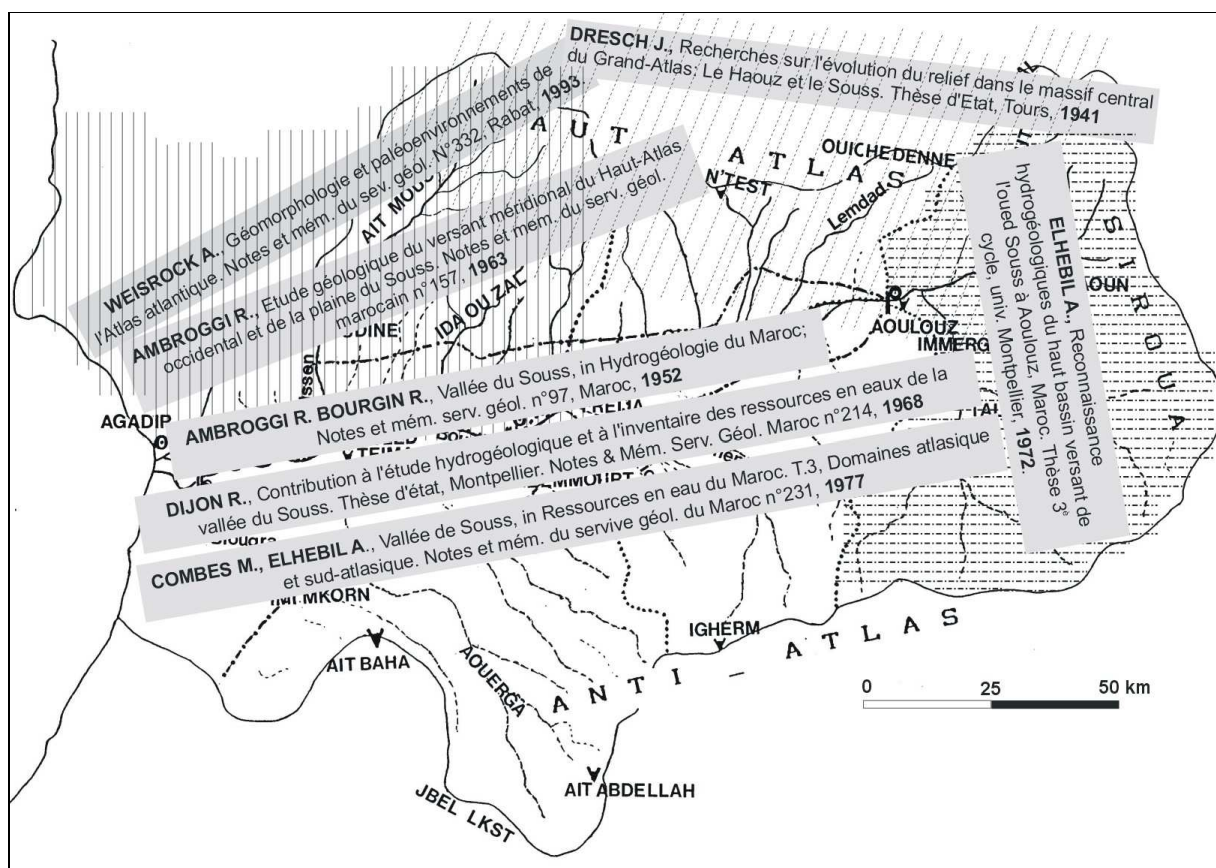


Figure 1 : Travaux antérieurs sur certains secteurs du bassin versant du Souss

Le bassin amont du Souss (fermé à Aoulouz) a, de son côté, fait l'objet d'une étude de reconnaissances hydrogéologiques en 1972 par A. Elhebil (ex responsable de la division des ressources en eau de Taroudant). Ce même auteur, en collaboration avec M. Combes, s'est occupé en 1977 de la partie traitant la vallée du Souss, dans le cadre d'un inventaire des ressources en eau du Maroc, ils y ont intégré un léger aperçu sur le climat de la région. Et on peut dire, comme l'a remarqué Dijon, que les études relatives aux eaux souterraines du Maroc ont toujours connu dans le Souss un développement privilégié; cependant, les études visant le régime de l'écoulement superficiel, particulièrement ses aspects extrêmes (crues et étiages), n'ont pas souvent été envisagées pour l'oued Souss et ses affluents, également pour certains éléments du climat et les relations entre les précipitations et l'écoulement. C'est pourquoi, lorsque je me suis présenté pour la première fois à la direction régionale d'hydraulique d'Agadir en août 1991, les responsables ont donné leur accord pour entreprendre, dans le cadre de la préparation d'une thèse, une étude hydrologique du bassin versant du Souss, en traitant les facteurs de l'écoulement, notamment la climatologie pour estimer l'aridité dans le bassin; et les aspects de cet écoulement, notamment la genèse, la propagation et les probabilités d'occurrence des crues de l'oued. Il a été convenu aussi d'établir des bilans hydrologiques à différents pas de temps, ainsi que la relation entre les pluies, les débits et les fluctuations piézométriques.

Pour ce faire, nous avons choisi de suivre une démarche qui consiste à analyser tout d'abord les caractères morphométriques et géologiques du bassin, notamment sa forme, ses pentes, la hiérarchisation du réseau hydrographique, la nature du substratum et sa perméabilité. Nous traiterons après des facteurs de l'hydrologie en décrivant le régime pluvial, les températures, l'aridité et les évapotranspirations. Nous décrivons ensuite le régime hydrologique fluvial, en y intégrant les caractéristiques des crues du Souss et leur fréquence, tout en insistant plus sur leur mécanisme et leur origine à partir d'une classification génétique. Nous établirons aussi des bilans hydrologiques globaux et particuliers des bassins élémentaires, en cherchant le degré de liaison et de corrélation entre les pluies du bassin et les débits de l'oued. Pour conclure, nous allons dresser une esquisse hydrogéologique des aquifères du Souss, en suivant l'évolution de la piézométrie pendant les trois dernières décennies. Nous allons alors voir dans quelle mesure la sécheresse des années 70 et 80 a influencé la ressource vitale qu'est la nappe phréatique, et quelles sont les mesures à prendre pour remédier à ces aléas naturels aux conséquences parfois calamiteuses.

Ce travail conduira donc à des connaissances plus détaillées sur le degré d'aridité du climat sud-atlasique, sur le régime d'un cours d'eau temporaire, ses intumescences et ses pulsations brutales ainsi que sur l'état et l'évolution des ressources en eau en un milieu subaride.

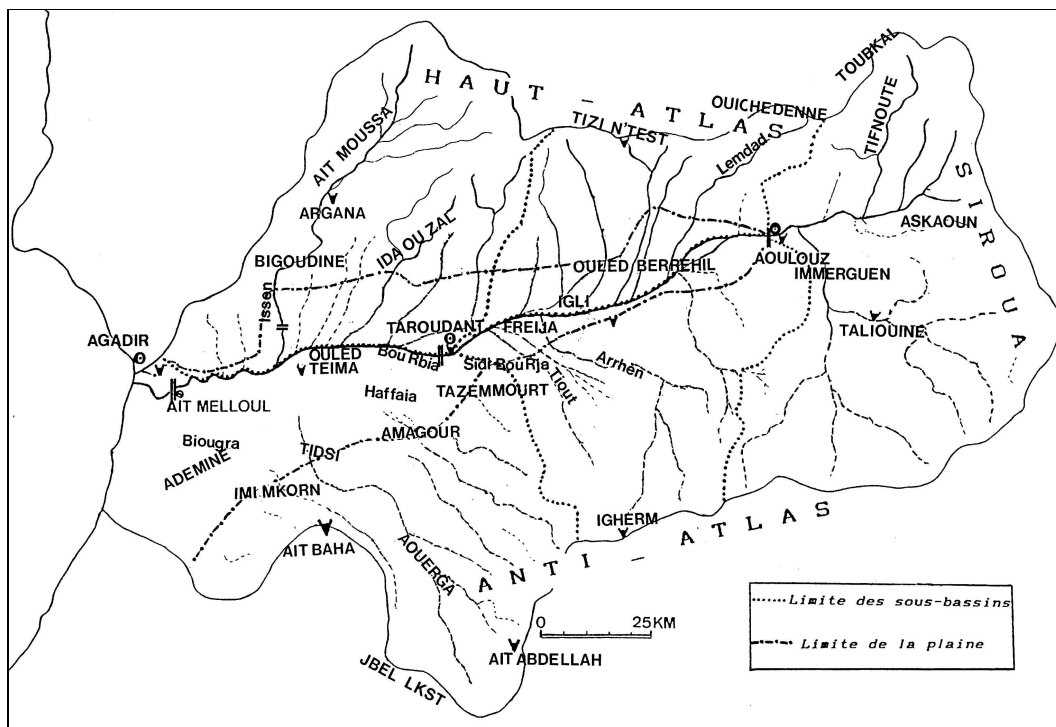



Figure 2 : Carte toponymique des régions du bassin du Souss



***CADRE DE L'ÉTUDE
ET
PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SOUSS***

I - Situation géographique et limites :

Le Souss est une région située au sud-ouest du Maroc sensiblement comprise entre le 30ème et le 31ème parallèle nord, et autour du 9è degré de longitude ouest de Greenwich (fig 3). Cette région comprend une plaine (la vallée du Souss), et un ensemble montagneux. La plaine du Souss, qui forme un triangle ouvert vers l'océan, est constituée de terrains récents isolés entre deux massifs montagneux où dominent des terrains paléozoïques. Ce cadre vigoureux comprend :

- Au nord : la chaîne alpine du Haut-Atlas qui culmine à 4167 m au jbel Toubkal, le plus haut sommet de l'Afrique du nord, et dont la crête marque la limite entre le Maroc atlantique et le Maroc présaharien .

- Au sud : Le bombement anticlinal de l'Anti-Atlas occidental, le socle cristallin y apparaît en de nombreuses boutonnières, où les pointements de roches dures peuvent atteindre une altitude assez forte, culminant à 2531 m (Adrar n'Aklim).

- A l'est : une zone de liaison : le Siroua, bombement cristallin abondamment faillé et recouvert de coulées éruptives tertiaires.

La vallée du Souss, dont la superficie est d'environ 4400 km², occupe à peu près le quart de l'ensemble du bassin de l'oued, qui s'étend également sur le versant sud du Haut-Atlas et le revers nord de l'Anti-Atlas, au total 16300 km².

Hydrogéographiquement, on peut subdiviser le bassin du Souss en trois parties successives (fig 4):

Une partie **amont** : entre le point culminant à l'est, le massif du Siroua (3000 m), jusqu'à Aoulouz où l'oued débouche sur la plaine par des gorges qui marquent la fin de son parcours montagneux, une partie **moyenne** entre Aoulouz et Taroudant où la vallée forme comme un rectangle de 60 Km sur 20 et une partie **aval** jusqu'à l'embouchure. Sur cette partie, la vallée s'élargie davantage vers l'ouest, la bordure de l'Anti-Atlas se dirigeant droit au sud.

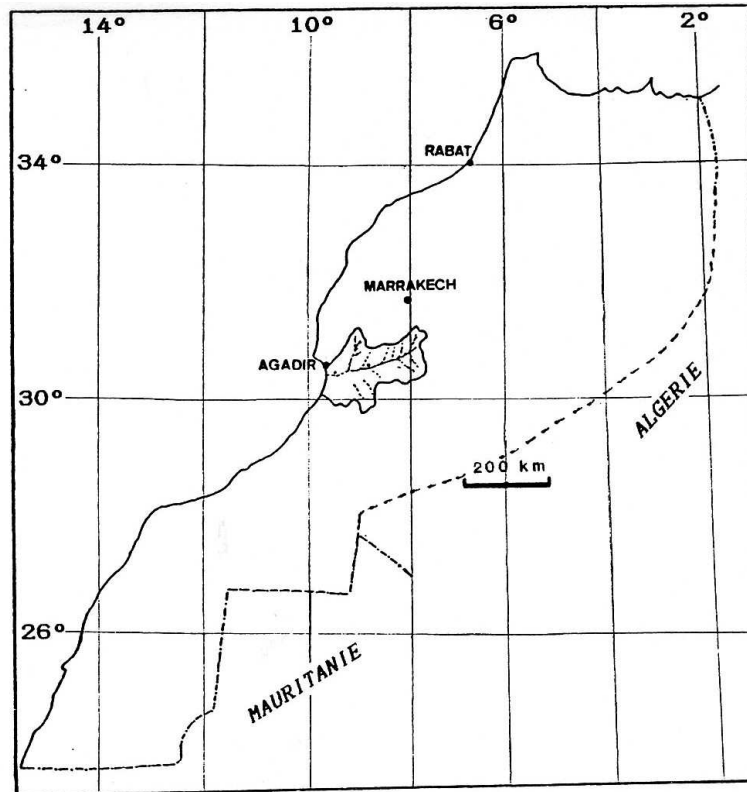


Figure 3 : Situation géographique du bassin du Souss

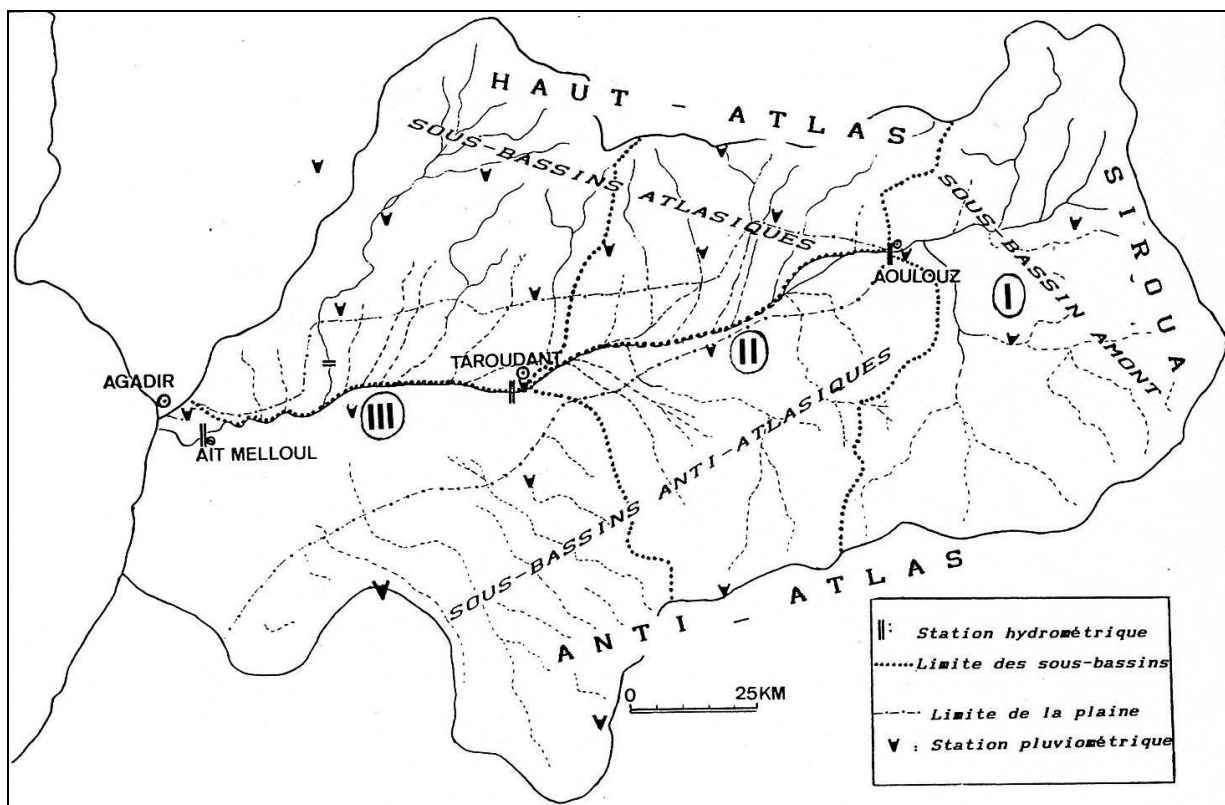


Figure 4 : Subdivisions du bassin versant du Souss

a- La montagne :

Le cadre montagneux de la vallée du souss comprend trois massifs très différents dans leur aspect et leur constitution :

- Le Haut-Atlas :

Au nord, le souss commence par le Haut-Atlas qui culmine à 4167 m au jbel Toubkal, cime la plus élevée d'Afrique du nord. Il s'agit d'une montagne du type pyrénéen dont le versant sud (bassin du souss) est beaucoup plus abrupt et étroit que le versant nord (bassin de Tensift). Selon un schéma de Neltner (fig 5), les crêtes du Haut-Atlas occidental présentent un alignement ininterrompu et dominant le versant sud ainsi que le laisse présager la vision qu'on en a à partir de la vallée.

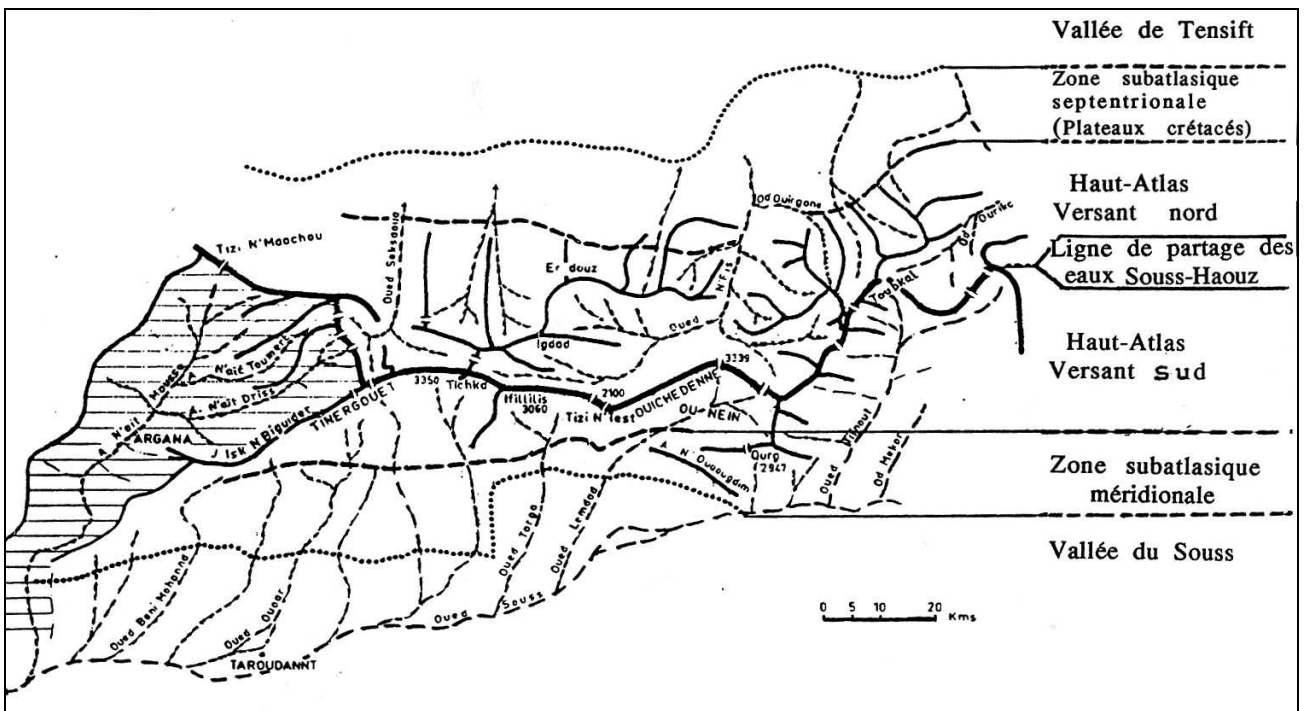


Figure 5 : Disposition des crêtes du Haut Atlas (Dresch, 1941)

Dans cette muraille formée d'est en ouest par les massifs de Boughioul (3517 m), Ouzellagh (3912 m), Toubkal (4167 m), Ouichedenne, Ifillilis (3080 m) et Tichka (3500 m). Il existe peu de passages aisément praticables, le plus connu -à part la récente route principale Agadir-Marrakech- est celui du col de Tizi-n'Test (2100 m) par lequel on va assez difficilement de Taroudant à Marrakech, et puis, il y a quelques autres passages secondaires empruntés par les chemins muletiers. Vers l'ouest, la chaîne est moins élevée, et au-delà de la vallée de l'Assif n'Ait Moussa (branches supérieures d'Issen), creusée dans les argiles permotriasiques, c'est le pays des Ida-ou-Tanane et des Haha. "C'est le Haut-Atlas qui confère au bassin son individualité, contribuant à entretenir dans la vallée un climat relativement clémente, à une latitude où les déserts prédominent". (Dijon, 1968).

- L'Anti-Atlas :

L'Anti-Atlas constitue un vaste massif montagneux moins élevé que le Haut-Atlas, raboté par une longue érosion et qui s'étend au sud de la plaine du Souss. La zone axiale de la chaîne est constituée de roches cristallines et métamorphiques qui présentent par endroit des formes dures et variées: le jbel Iguelguil (2320 m) qui domine les plateaux dénudés environnant, falaises de l'Adrar n'Aklim (2512 m) point culminant de l'Anti-Atlas, dôme du Fidoust (2200 m), boutonnières des Ait Abdellah (2092 m), l'arc puissant de jbel Lkst (2500 m). L'axe de la chaîne a donc une altitude qui dépasse souvent 1800 m.

A partir de la bordure qui plonge sous la plaine de Souss, la surface du plateau, qui est calcaire, se relève rapidement jusqu'à une altitude avoisinant 1100 m. Ce plateau calcaire est entaillé par des vallées d'oueds aux profils raides, orientés perpendiculairement à la zone axiale vers les piémonts; la circulation est par conséquent aisée transversalement au massif, mais elle est très difficile dans le sens longitudinal. Ces vallées, assez bien protégées par l'ardeur du soleil, sont fertiles lorsqu'ils s'y manifestent des sources.

- Le Siroua :

Entre le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas, s'étend un pont gigantesque: le massif éruptif du Siroua, recouvert de coulées de laves récentes en forme de dôme, il est enneigé pendant plusieurs mois d'hiver, et s'élève jusqu'à une altitude de 3300 m. Les pentes sont beaucoup plus raides à l'ouest et au sud, où dominent les granites creusés de larges vallées peuplées.

L'Anti-Atlas et le Siroua protègent la plaine du Souss contre une influence de conditions climatiques sahariennes, qui s'exercent sur leurs flancs sud et oriental; ils contribuent ainsi à modérer le climat de la vallée, tout en lui apportant les eaux qui ruissellent sur les versants nord et occidental, mais encore moins que le Haut-Atlas plus élevé, ils ne peuvent s'opposer en été au déplacement vers le nord des fronts chauds sahariens.

b- La plaine :

La plaine présente l'aspect d'une gouttière à très faible courbure, redressée vers les piémonts montagneux et dans l'axe de laquelle l'oued Souss a tracé son lit, ramifié et large dans la partie amont, faiblement encaissé dans la partie aval.

De l'est à l'ouest, la pente est de 1 % vers Aoulouz, descend à 0,5 % près de Taroudant puis 0,3 % dans la partie aval. D'Aoulouz à l'océan, la dénivellation est ainsi de 700 m sur 150 km.

Le modelé actuel est le résultat d'un nivellement opéré par érosion sur des matériaux d'épandage d'âge divers, et qui sont dans l'ensemble de plus en plus récents d'aval en amont; c'est ainsi que les formations marnocalcaires du quaternaire ancien affleurent aux abords d'Ait Melloul; la dalle calcaire qui les surmonte est apparente à Ouled Teima. Le Quaternaire moyen à récent s'étend largement vers

Taroudant. Enfin la partie amont de la vallée est recouverte en grande partie par des alluvions actuelles et sub-actuelles. Il faut noter cependant que la majorité de la vallée est recouverte de limons rougeâtres d'âge grimaldien.

Sur la partie sud de la plaine, des formations dunaires s'étendent largement prenant l'aspect de dunes basses peu mobiles. Le couloir côtier au sud d'Agadir est occupé par des formations dunaires très développées, une haute dune ancienne se développe parallèlement au rivage, atteignant une altitude de 100 m. Les sables dunaires côtiers sont entraînés par le vent en direction du sud-est, ils sont abondants autour de Biougra et dans la partie sud de la forêt d'Ademine.

II - Morphologie et géologie générale :

* Introduction :

De nombreux auteurs s'accordent à dire que de tous les bassins du Maroc sud-atlasique, celui du Souss est le plus clairement individualisé (cf Ambroggi, Bourg in, Dijon, Combes..). Ceci grâce à un cadre montagneux élevé et vigoureux qui l'entoure, jusqu'à l'embouchure par le Haut-Atlas et jusqu'à la plaine de Biougra, par l'Anti-Atlas. S'ajoutant à cela l'orientation Est-Ouest du bassin et son ouverture vers l'océan, contrairement aux autres bassins du domaine aride marocain (Ziz, Rheris, Guir, Draa...) qui prennent leurs sources sur les versants sud-est du Haut et Anti-Atlas. Ces bassins ont tous un trait commun, celui de l'abondance hydrologique en amont et des conditions climatiques clémentes, avec une relative humidité et des précipitations notables. Ce schéma s'inverse à l'aval de ces bassins, où les oueds trouvent un caractère temporaire et un écoulement diffus en nappe.

L'aridité s'accroît de plus en plus vers l'aval, et l'écoulement peut disparaître dans des terrains caillouteux, sableux et désertiques. Pour le Souss -et c'est ce qui met encore plus en saillie son individualité- l'aridité est plutôt élevée au sud-est du bassin: toute la moitié sud du bassin amont d'Aoulouz connaît une grande sécheresse par rapport au reste du bassin, notamment la partie aval. A la station de Taliouine, située dans cette moitié, les pluies moyennes n'étant que de 227 mm par an et les températures de l'ordre de 20 °C, avec des écarts diurnes et saisonniers très élevés en ce milieu sub-continental. Les températures extrêmes dépassent souvent 40° en été et la région connaît des vents chauds desséchants soufflant de l'est appelés "Chergui". Dans la zone aval, l'oued Souss peut être fortifié par différents affluents atlasiques et quelques émergences de la nappe phréatique. C'est pourquoi le module hydrologique est plus élevé à Aït Melloul (près de l'embouchure). De plus, une brise de mer souffle de l'ouest et son influence se fait sentir jusqu'à une profondeur de 30 km à l'intérieur du bassin. Elle augmente l'humidité relative de l'air et tend à diminuer les maxima de températures. C'est donc l'orientation E-W du bassin du Souss, son cadre montagneux et sa large ouverture vers l'océan, qui

semblent être les facteurs déterminants qui le distinguent des autres bassins du Maroc pré-saharien; et on verra, dans ce qui va suivre, comment les caractéristiques morphométriques des bassins du Souss favorisent-elles la concentration des eaux dans le cours principal et vers l'exutoire du bassin.

A- Hypsométrie, topographie et dimensions des bassins :

1- Introduction :

Toute approche du milieu naturel doit s'efforcer dans un premier temps à fournir des indications chiffrées permettant de caractériser le milieu étudié. C'est pourquoi, nous allons analyser dans ce chapitre les principales caractéristiques morphométriques et hydrographiques des bassins du Souss. Ces informations, essentiellement descriptives, nous paraissent indispensables pour l'étude du fonctionnement de ceux-ci.

L'étude de la répartition des altitudes s'effectue à partir d'une carte en courbes de niveau. En planimétrant et en cumulant les aires situées entre deux courbes, on obtient un histogramme des fréquences des altitudes et la courbe hypsométrique. L'intérêt de la carte hypsométrique serait aussi de connaître les portions du bassins qui connaissent des chutes (voire des retentions) nivales en hiver.

Dans le bassin du Souss, cette carte hypsométrique (fig. 6) se présente sous forme de mosaïque où se succèdent des zones de très hautes altitudes (dépassant 2000 m) et des étendues planes peu élevées ; et nous allons, dans ce qui va suivre, chercher les proportions de chaque tranche d'altitude au niveau de chaque bassin versant, et en déduire le degré des pentes des talwegs et des versants.

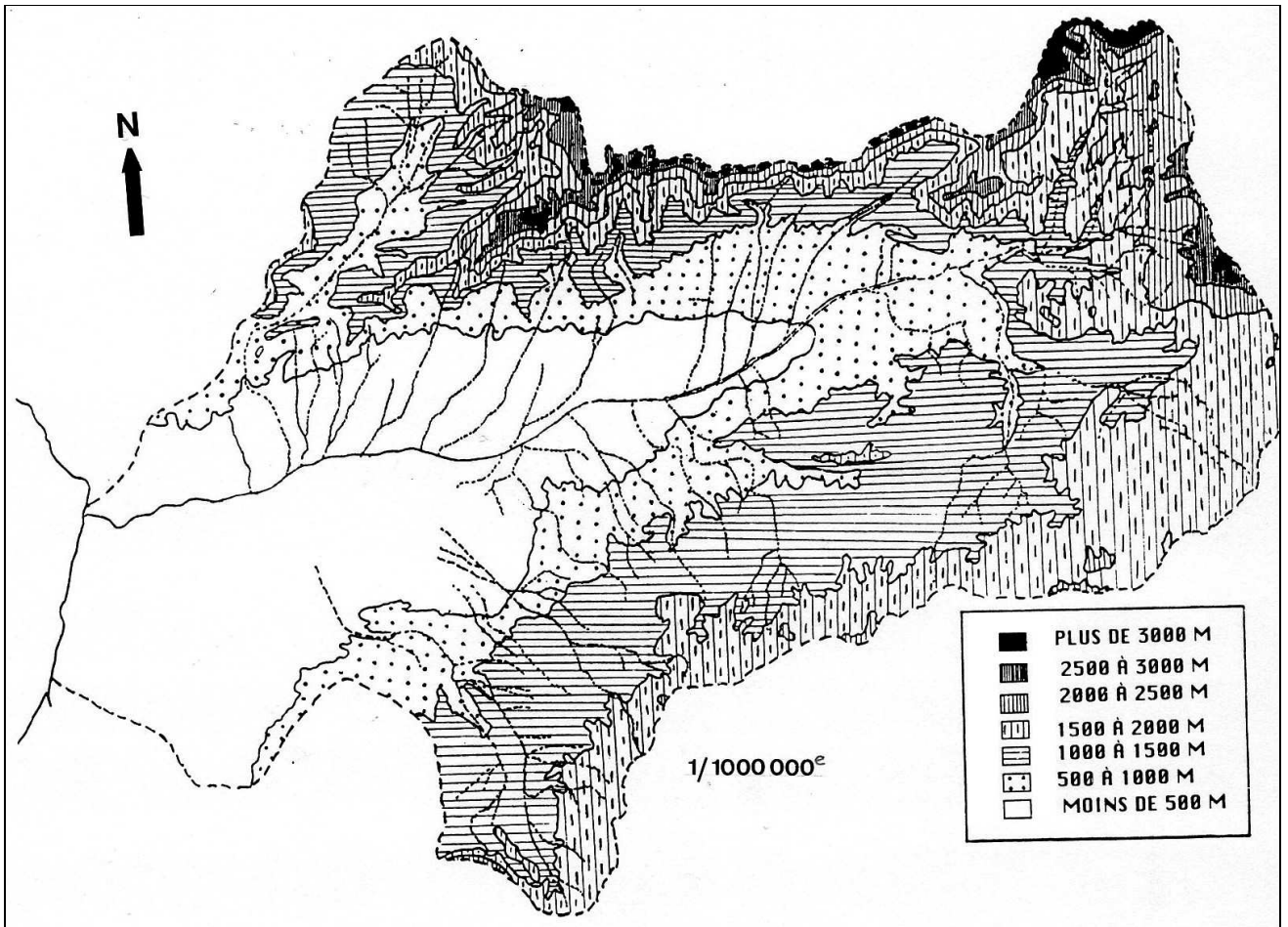


Figure 6 : Carte hypsométrique du bassin versant du Souss

2 – Le bassin du Souss à Aoulouz :

La forme d'un bassin versant peut avoir des conséquences hydrologiques importantes, notamment sur la fonction de transfert des eaux, elle est en partie responsable de l'évolution des crues et la forme des hydrogrammes observés à l'exutoire. Il existe plusieurs formules permettant de chiffrer cette caractéristique tel que l'indice de compacité de Gravelius k_c ($K_c = P/2.S^{1/2} = 0,28 P/S^{1/2}$), qui permet de mieux connaître la forme géométrique du bassin et la comparer à celle d'un cercle pour lequel $k_c = 1$.

Les caractéristiques physiques du bassin du Souss à Aoulouz sont résumées sur le tableau suivant :

Superficie du bassin	4450 km ²
Périmètre du bassin	355 km
Indice de forme (kc)	1,49
Altitude moyenne	1750 m
Altitude médiane	1800 m
Altitude de fréquence max	1700 m
Pente moyenne	17 %
Longueur de l'oued principal	72 km
pente moyenne de l'oued principal	3,3 %

Tableau I : Caractéristiques physiques du bassin de Souss à Aoulouz.

"L'altitude du bassin versant varie entre 700 et 4100 m, cette topographie marquée, confère aux oueds le caractère torrentiel. Les hauts reliefs précambriens sont le siège d'un ruissellement élevé que n'atténue pas la pente relativement faible des formations adoudouniennes." (EL HEBIL, 1972)

La courbe hypsométrique (fig.7), montre un relief important avec une pente très raide dans la zone où l'altitude est supérieure à 2000 m. On constate, par ailleurs, une importante fréquence de la tranche d'altitude comprise entre 1200 et 2000 m (70 %), traduite sur le terrain par des régions tabulaires connues dans le sous-bassin anti-atlasique de l'Immerguène. Ceci est également mis en lumière par le profil en long des cours d'eau du bassin de Souss à Aoulouz (fig. 8). Cette figure montre aussi la différence physique entre les affluents atlasiques et anti-atlasique sur cette partie du Souss: le Tifnoute, le Kouch et Mekour, qui prennent naissance à des altitudes respectives de 3400, 2800 et 2300 m, accusent des pentes assez raides sur la quasi-totalité de leurs parcours (jusqu'au gué des rhyolites). L'Immerguène et Zagmouzen qui prennent naissance dans l'Anti-Atlas, à des altitudes de 2100 et 2300 m, suivent des pentes douces et faibles à partir de 1800 m, sur les calcaires tabulaires de l'adoudounien.

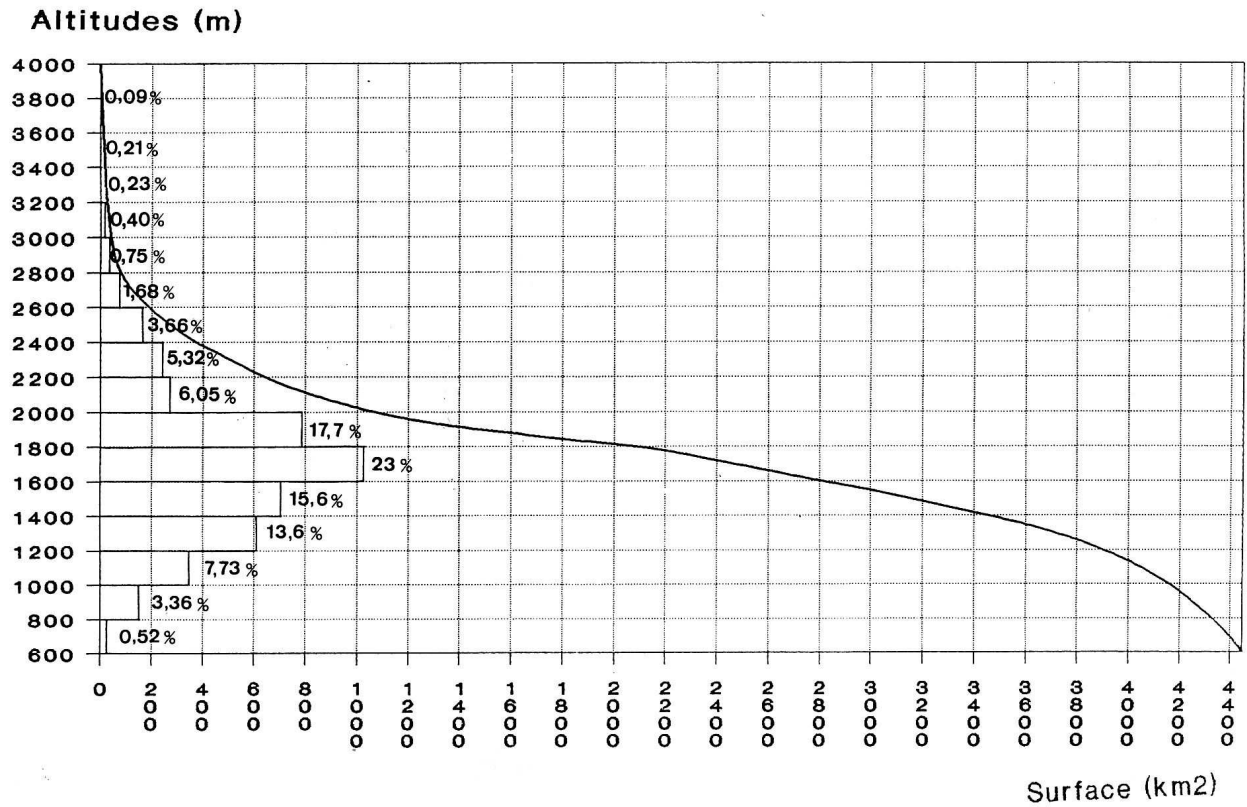


Figure 7 : Courbe hypsométrique du bassin du Souss à Aoulouz

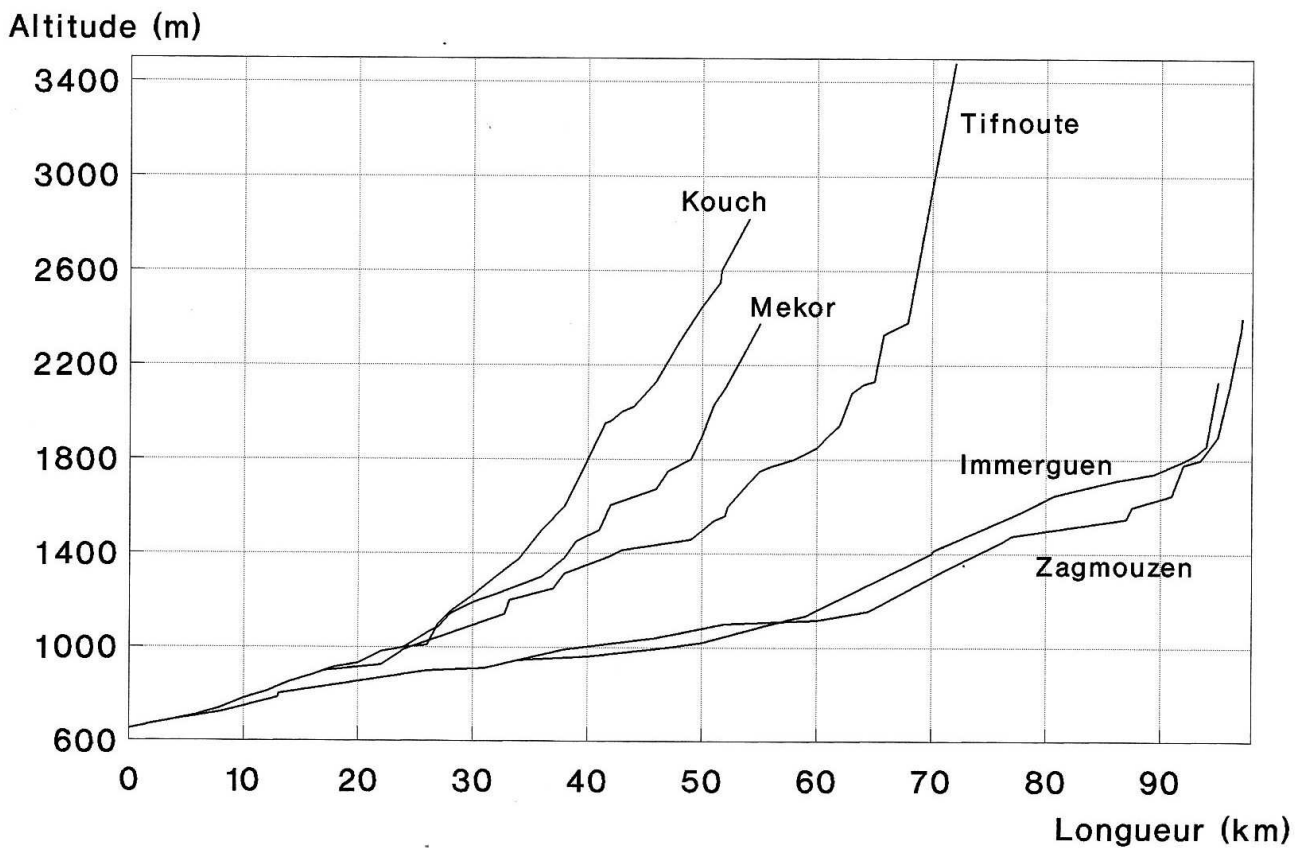


Figure 8 : Profil en long des oueds du bassin du Souss à Aoulouz

3– Le bassin du Souss à Taroudant :

Le bassin du Souss qui se ferme à Taroudant est vaste de 9350 km². Les altitudes y varient de 209 à 4100 m. Ce bassin, qui inclut aussi celui du Souss à Aoulouz, a un périmètre de 430 km. L'indice de forme étant ici de 1,24, cette compacité serait la meilleure des trois bassins du Souss. La plus grande longueur L du bassin est de 132 km, et la plus grande largeur l perpendiculaire à L est de 95 km, ce qui donne un indice d'allongement $la = L/l = 1,39$.

Ce secteur du Souss se situe dans un éperon qui s'abaisse d'est à l'ouest et vers le cours principal en général. Il est délimité au nord par la ligne de crête du Haut-Atlas, longue ligne de partage des eaux séparant les bassins du Souss de ceux de Tensift (fig.5). La topographie générale est variée : très marquée et développée vers la rive droite, avec des abrupts et des pentes importantes, ce qui a conféré un trait violent aux crues des affluents rive atlasiques du Souss. Les pentes sont beaucoup moins fortes vers l'Anti-Atlas à la rive gauche, les affluents provenant de ce versant carbonaté peuvent encore tous atteindre -dans cette partie du bassin- le cours principal pendant les crues.

4 – Le bassin du Souss à Aït Melloul :

La station hydrométrique d'Aït Melloul est située à une altitude de 15 m, à 12 km de l'embouchure de l'oued Souss à l'océan atlantique. La surface de réception du Souss à Aït Melloul est vaste de 16100 km², celle du bassin fermé à l'embouchure est estimée à 16300 km². Les altitudes varient ici de zéro au niveau de la mer, à 4167 m environ au pic le plus élevé du Souss et de l'Afrique du nord, le jbel Toubkal. Les principales caractéristiques physiques du bassin sont résumées sur le tableau suivant :

Superficie du bassin	16100 km ²
Périmètre du bassin	600 km
Indice de forme (kc)	1,32
Altitude moyenne	1110 m
Altitude médiane	1175 m
Altitude minimale	15 m
Altitude maximale	4167 m
Longueur de l'oued principal	215 km
pente moyenne de l'oued principal	0,9 %

Tableau II: Caractéristiques physiques du bassin du Souss à Aït Melloul

Il ressort de ces chiffres que la compacité du bassin n'est pas très excellentes, il est trois fois plus long que large, ce qui est ordinaire pour les oueds qui ont un long parcours subrectiligne, qui est ici de 215 km. L'indice d'allongement est de 1,4. Le bassin du Souss est donc un bassin très allongé, et en forme d'une gouttière à forte courbure vers les montagnes, mais relativement plane sur la plaine, dans l'axe de laquelle l'oued Souss a tracé son lit, ramifié et large dans la partie amont, faiblement encaissé dans la partie aval.

* La plaine du Souss accuse une pente très faible d'Aoulouz à l'embouchure :

- elle baisse d'Aoulouz à Loulija de 270 m sur 27 km, soit 1 %
- de Loulija à taroudant : 200 m sur 43 km, soit 0,5 %
- de Taroudant à Ouled Teïma : 110 m sur 35 km, soit 0,3 %
- D'Ouled Teïma à l'océan : 150 m sur 40 km, soit 0,3 % .

Soit d'Aoulouz à l'océan 700 m sur 150 km, c'est à dire une pente moyenne de l'ordre 0,5 %.

* A partir du piémont de l'Anti-Atlas en direction NW-SE :

- De Tiout à Freïja: 200 m sur 15 km (1,3 %).
- D'Amagour à Ouled Bou-R'bia : 300 m sur 25 km (1,2 %).
- De Tidsi à Ouled Teïma : 100 m sur 23 km (0,4 %).
- D'Imi Mkorn à Aït Melloul : 210 m sur 35 km (0,6 %).

Les pentes sont donc fortes vers l'est à partir de Taroudant, elles concernent dans leurs parties élevées les cônes de déjection très étalés qui flanquent l'Anti-Atlas, massif tabulaire qui domine son piémont d'une manière assez abrupte, avec une hauteur de 200 à 300 m. (Dijon,1968).

* A partir du piémont du Haut-Atlas, en direction du S et du SW, les pentes sont ici encore plus fortes, notamment sur les cônes de déjection :

- De Tafingoult à Loulija : 300 m sur 20 km (1,5 %).
- De Tamaloukt à Taroudant : 180 m sur 15 km (1,2 %).
- De Menizla à Ouled Teïma : 275 m sur 30 km (0,9 %).

La courbe hypsométrique de l'ensemble du bassin du Souss à son embouchure (fig. 9), confirment les hauteurs très élevées des pics montagneux (généralement du Haut-Atlas), bien que les reliefs dépassant 2000 m n'occupent que 7,5 % de la superficie totale du bassin versant; par contre la moitié de la surface du bassin est comprise entre 1000 et 2000 m d'altitude. Les terres basses sont peu fréquentes : 15% seulement du bassin sont situés en dessous de 250 m. La courbe hypsométrique alterne donc -en général- des fortes altitudes avec des pentes importantes et des étendues planes avec des altitudes modérées.

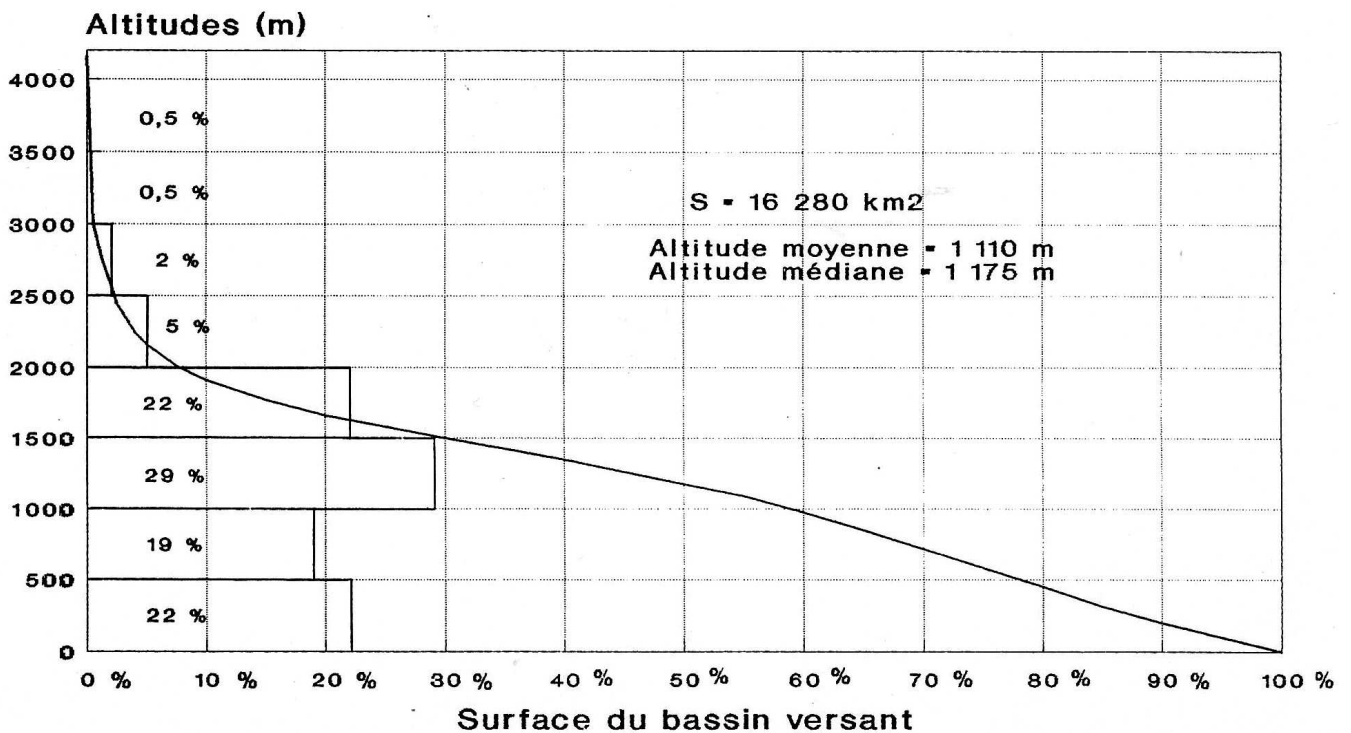


Figure 9 : Courbe hypsométrique du bassin du Souss à son embouchure

L'oued Souss draine donc un ensemble de régions très élevées, à l'exception de la plaine et quelques plateaux de l'Anti-Atlas, il y gagne des eaux abondantes pour la latitude, des profils en long et en large irréguliers et tendus assurant l'évacuation rapide des eaux. Enfin, les crêtes du cadre montagneux sont assez élevées pour recevoir des neiges, mais pas pour abriter des névés notables ou des glaciers. Ces neiges font bénéficier l'écoulement vernal d'une part des précipitations d'hiver reçues par les massifs, elles contribuent légèrement (notamment à Aoulouz) à la régularisation des débits saisonniers, secondant ainsi la fonction exercée principalement par les plateaux calcaires de l'Anti-Atlas.

B - Géologie générale du bassin du Souss :

La limite entre le domaine atlasique et le domaine anti-atlasique est marquée par un sillon profond: le sillon préafricain, dont la partie occidentale constitue la vallée du Souss. La structure de cette vallée est caractérisée par l'opposition de deux grands massifs à matériel primaire, lithologiquement différents, encadrant une large plaine alluviale. Ceci nous amènera dans les exposés stratigraphiques et structurales à examiner séparément: le versant nord de l'Anti-Atlas, le revers sud du Haut-Atlas et la plaine de Souss.

B- 1 : Résumé paléogéographique :

Trois grandes phases tectoniques ont affecté diversement les différents domaines du Souss: la phase précambrienne, la phase calédonno-hercynienne et la phase alpine.

a- Le précambrien :

Cette orogénie comprend trois phases successives : les précambriens I, II, et III (respectivement pk1, pk2 et pk3). Le pk1 affleure dans l'Anti-Atlas en des aires réduites d'anciens granites et micaschistes intensivement métamorphisés. C'est le pk2 qui a donné naissance à l'Anti-Atlas. Celui-ci forme un premier bourrelet frontal orienté ENE-WSW en bordure NW du "bouclier africain". Le matériel sédimentaire comprend des quartzites et schistes en séries très épaisses dans l'Anti-Atlas occidental. Le pk3 a fourni des complexes grésos-conglomératiques ou laviques où dominent les rhyolites.

b - Le cycle calédonno-hercynien est marqué par une nouvelle phase d'extension vers le nord du "bourrelet africain". La chaîne précambrienne de l'Anti-Atlas reçoit sa couverture infracambrienne et paléozoïque. Plus au nord, dans une fosse de subsidence, s'accumule le matériel qui formera la chaîne hercynienne.

Alors que les puissantes séries infracambriennes sont principalement constituées de calcaires dolomitiques, le paléozoïque se caractérise par la puissance considérable de l'ordre de 10000 m de sédiments où prédomine le matériel schisteux et grésos-quartzitique.

c - L'orogénèse alpine :

A la fin du cycle hercynien, l'Anti-Atlas est déjà émergé, et jusqu'au début du tertiaire, les transgressions ne franchiront pas sa limite nord.

- Dans la partie extrême occidentale du Haut-Atlas, la fosse subsidente des Haha-Ida-ou-Tanane se constitue. Cette fosse, ainsi que la basse vallée du Souss, ont connu des dépôts marins au jurassique supérieur.

- Au crétacé, la sédimentation s'est poursuivie, les mers du crétacé et du début du tertiaire se sont largement étendues vers l'est, surtout au crétacé moyen, dont les mers ont recouvert la partie nord de l'Anti-Atlas.

- Au Lutécien, la mer a quitté le domaine atlasique qui a connu dès lors une évolution continentale. Seule le golfe d'Agadir se trouvera à nouveau submergé au pliocène. Les premières phases atlasiques provoquent l'érection de la chaîne du Haut-Atlas et l'exhaussement de l'Anti-Atlas. Ensuite, ces reliefs furent affectés par une forte érosion allant jusqu'à l'arasement en pénéplaine.

- Au Miocène puis au Pliocène, le Haut-Atlas se soulève: les grands accidents qui l'affectent rejouent à plusieurs reprises. Les effets de l'érosion continentale continuent à s'exercer intensément.
- Au Villafranchien, le réseau hydrographique s'encaisse profondément, la vallée connaît un régime lacustre dans son centre, et reçoit des dépôts continentaux sur ses bordures. Le synclinal crétacé se trouve alors presque entièrement enfoui.

d - Le Quaternaire :

Au Quaternaire, quelques mouvements tectoniques, marqués de failles, se produisent encore. L'accident sud-atlasique a rejoué à Agadir, pendant que le Souss s'est affaissé. La côte est affectée par des transgressions marines de faible portée. Vers l'intérieur, les changements climatiques donnent les phases alternées de creusement et comblement provoquées par les "pluvieux" et "interpluvieux".

B- 2 : Cadre structural du bassin du Souss :

Les phases orogéniques qui ont donc affecté le bassin du Souss étaient successivement :

- Le dernier cycle orogénique précambrien, qui a donné naissance à l'ossature de l'Anti-Atlas.
- Le cycle calédonno-hercynien, qui en agissant sur le matériel primaire, a formé les chaînes du domaine atlasique.
- Le cycle alpin, qui a remanié une partie du domaine atlasique calédonno-hercynien et ses sédiments, qui s'y étaient déposés au secondaire et au tertiaire.

La structure générale des trois domaines du bassin du Souss est donc la suivante :

- **Domaine de l'Anti-Atlas occidental** : Après les mouvements précambriens, s'est établie une phase de sédimentation marine, marquée par le dépôt de puissantes séries calcareo-dolomitiques infra-cambriennes et géorgiennes, qui atteignent localement 5000 m d'épaisseur. Le socle précambrien cristallin apparaît ici en boutonnières.

- **Domaine du Haut-Atlas (versant sud)** : comprend deux blocs : le massif ancien du Haut-Atlas, formé de roches éruptives précambriennes qui culminent au jbel Toubkal et le bloc occidental, avec des puissantes formations cambro-ordoviciennes, pénétrées par des granites hercyniens.

Ces blocs sont flanqués, au sud, par la zone sub-atlasique méridionale, formée de plateaux crétacés et tertiaires, et à l'ouest, par la vallée permo-triasique du sous-bassin d'Issen, et les formations jurassico-crétacées des Haha-Ida-ou-Tanane.

Remarque: Entre le Haut et l'Anti-atlas, le massif volcanique du Siroua constitue une zone de liaison.

- **La plaine du Souss** : Elle est comblée entièrement par des alluvions et limons quaternaires qui surmontent des formations crétacées et éocènes, constituant un synclinal orienté E-W. Le flanc nord de ce synclinal apparaît en bordure du Haut-Atlas et à l'est d'Aoulouz, le flanc sud apparaît dans l'alignement des collines crétacées (Haffaia, Ouled Bou Rbia, Sidi Bou Rja, Tagdrant et Igoudar). Ce synclinal est faillé abondamment et de manière complexe en profondeur.

B-3 : Stratigraphie et géologie des aquifères :

a- Le domaine du Haut-Atlas : (fig.10)

Le matériel paléozoïque de la zone axiale du Haut-Atlas est généralement formé sur plus de 10000 m d'épaisseur de roches imperméables: schistes et grès quartzitiques. Le seul niveau aquifère qui donne des sources est constitué par des calcaires cambriens alternant avec des schistes.

Le Permo-Trias est connu dans le bassin amont d'Issen, il est constitué de séries relativement tendres : conglomérats, grès, argilogrès et marnes rouges, sur 1000 m, à la base; argiles salifères et basaltes sur 500 m au sommet. Seules les grès peuvent se comporter, localement, en aquifères.

Le Jurassique affleure essentiellement dans La partie extrême occidentale du Haut-Atlas. Les niveaux aquifères y sont représentés par les marno-calcaires et calcaires Callovo-Oxfordiens (20 à 50 m) et les calcaires portlandiens (70 à 80 m). L'ensemble du Jurassique inférieur et moyen, est de faciès continental, marneux, grèso-argileux et relativement imperméable.

AGE		LITHOLOGIE	EPAISSEUR
TRIAS		Basaltes	
		Argiles rouges	1500 m
		Marnes Argiles	1000 m
		Grès Conglomérats	100 à 200 m
STEPHANO - AUTUNNIEN		Schistes gréseux	1500 m
		Conglomérats rouges	100 à 500 m
DEVONIEN		Argilogrès	200 m
SILURIEN	GOTHLANDIEN	Schistes à bancs calcaires	500 à 1000 m
	ORDOVICIEN	Schistes +/- gréseux	1500 m
CAMBRIEN	ACADIEN	Schistes a grès quartzeux	+ 600 m
		Schistes clairs & verdâtres	600 m
		Schistes violacés & verts	600 m
	GEORGIEN	Tufs remaniés	1200 m
		Schistes calcarifiés	200 m
		Calcoschistes verts avec lentilles de marbres	2100 m
INFRA-CAMBRIEN	ADOUDOUNIEN	Laves et tufs à intercalations calcaires	2300 m
	SERIE DE BASE	Marbres intercalés d'Arkoses	1200 m

Figure 10 : Log stratigraphique des Ida-ou-Zal (Haut Atlas)

b- Le domaine de l'Anti-Atlas :

Mr G.Choubert a décrit dans le puissant ensemble infra-cambrien de l'Anti-Atlas, les séries suivantes (fig 11) :

- série "de base", (environ 100 m): calcaires et schistes.
- calcaires "inférieurs": dolomies et calcaires dolomitiques à gros bancs (1000 m à l'est, 3000 m à l'ouest).

- Série "lie de vin" (500 à 700 m) : calcaires se chargeant abondamment en schistes.
- Les calcaires "supérieurs" (300-500m), disposés en minces bancs.
- Série "schisto-calcaire" (300m): schistes et calcaires alternés.

AGE		LITHOLOGIE	EPAISSEUR
ACADIEN		Schistes	500 À 1000 m
GEORGIEN		Grès terminaux	500 à 600 m
		Shistes verts/viol	
		Schistocalcaires	450 m
INFRA-CAMBRIEN	Calc.Sup	Calcaires Dolomitiques	425 m
	Série Lie de vin	Calcaires lités	350 m
		Calcaires et Schistes	300 m
	Calcaires Inférieurs	Calcaires Dolomitiques	1000 à 1500 m
	Série de base	Schistes calc.	100 m
PRECAMBRIEN III		Grès et Conglomérats	2 à 500 m
		Rhyolites	500 à 1000 m
PRECAMBRIEN II		Quartzites	1000 à 2000 m

Figure 11 : Log stratigraphique d'Amagour (Anti-Atlas occidental)

Les eaux souterraines sont localisées dans les synclinaux et les zones de fractures, les circulations présentant un caractère karstique dans toutes les formations calcaires.

L'ensemble Géorgien supérieur- Acadien- Ordovicien comprend une masse de sédiments imperméables essentiellement schisteux, sur une épaisseur supérieure à 2500 m.

c- Les piémonts des montagnes :

- **Le long du Haut Atlas**, la dénivellation est en général du même ordre. La bordure montagneuse est tourmentée et se présente parfois comme une falaise, ou apparaissent les séries crétacées surmontées de terrains éocènes avec pendage vers le nord. Cette bordure se présente parfois aussi comme une flexure. Les couches éocène ou oligocène d'origine lacustre plongeant sous les conglomérats miocène et pliocène du piémont. En d'autres secteurs, enfin, les massifs primaires dominant directement la plaine.

- **En bordure de l'Anti Atlas**, les formations terminales du géorgien plongent sous la plaine du Souss avec un pendage assez fort en général. Le plateau domine ainsi de plusieurs centaines de mètres les cônes de déjection, jointifs et largement aplatis, qui le bordent au nord et que traversent parfois des buttes de terrains primaires, couronnées par des surfaces d'érosion ou des formations lacustres villafranchiennes. Les cônes de déjection sont ici beaucoup moins nombreux et, en général, avec des pentes analogues à celles observées vers le Haut Atlas. (Dijon, 1968)

d- La plaine du Souss :

Les formations de remplissage de la plaine de Souss comprennent les sédiments qui se sont accumulés dans le sillon subsident, formés au sud du Haut-Atlas, lors des phases orogéniques du Néogène et Quaternaire. Ces sédiments reconnus par sondage sont formés de: marnes sableuses et grès coquilliers dans le golfe d'Agadir; conglomérats, marno-calcaires, calcaires, grès, limons et alluvions dans l'ensemble du Souss; formations surtout conglomératiques, de cônes de déjection sur les bordures montagneuses. Le Néogène continental est représenté par de puissants dépôts conglomératiques au pied du Haut-Atlas. Plus au sud, il s'agit de formations fluviolacustres essentiellement marnocalcaires, argileuses, gréseuses avec intercalations conglomératiques. C'est la fameuse "formation de Souss" (R.Ambroggi 1963), son épaisseur est de 250 à 300 m au sud de l'oued Souss, à l'aval de Taroudant et de plus de 500 m en direction du Haut-Atlas et vers Aoulouz.

"La lithologie est très complexe dans le détail. Cependant il semble possible de distinguer deux niveaux principaux : un faciès "lacustre" calcaro-argileux et surtout marno-calcaire, de couleur rose saumon dans sa partie supérieure ; et un faciès fluviolacustre sablo-gréseux et argileux dans sa partie inférieure dont la puissance tend à se réduire vers l'est."(R.Dijon, 1968).

La formation de Souss admet dans ses niveaux supérieurs, des circulations d'eaux souterraines, car les marnocalcaires sont creusés de nombreux canalicules. Les formations récentes sont souvent les plus perméables: dunes, étendus sableuses et surtout alluvions de lits d'oueds actuels et fossiles dont

l'épaisseur atteint plusieurs dizaines de mètres. Ces alluvions absorbent en amont les eaux de crues et les restituent en aval sous forme de débits importants et réguliers.

La synthèse de tous ces renseignements stratigraphiques, ainsi que la consultation de travaux antérieurs (Choubert, Ambroggi,..) ont permis de dresser une carte géologique schématique du bassin versant du Souss. Le résultat est illustré sur les figures 12 et 13.

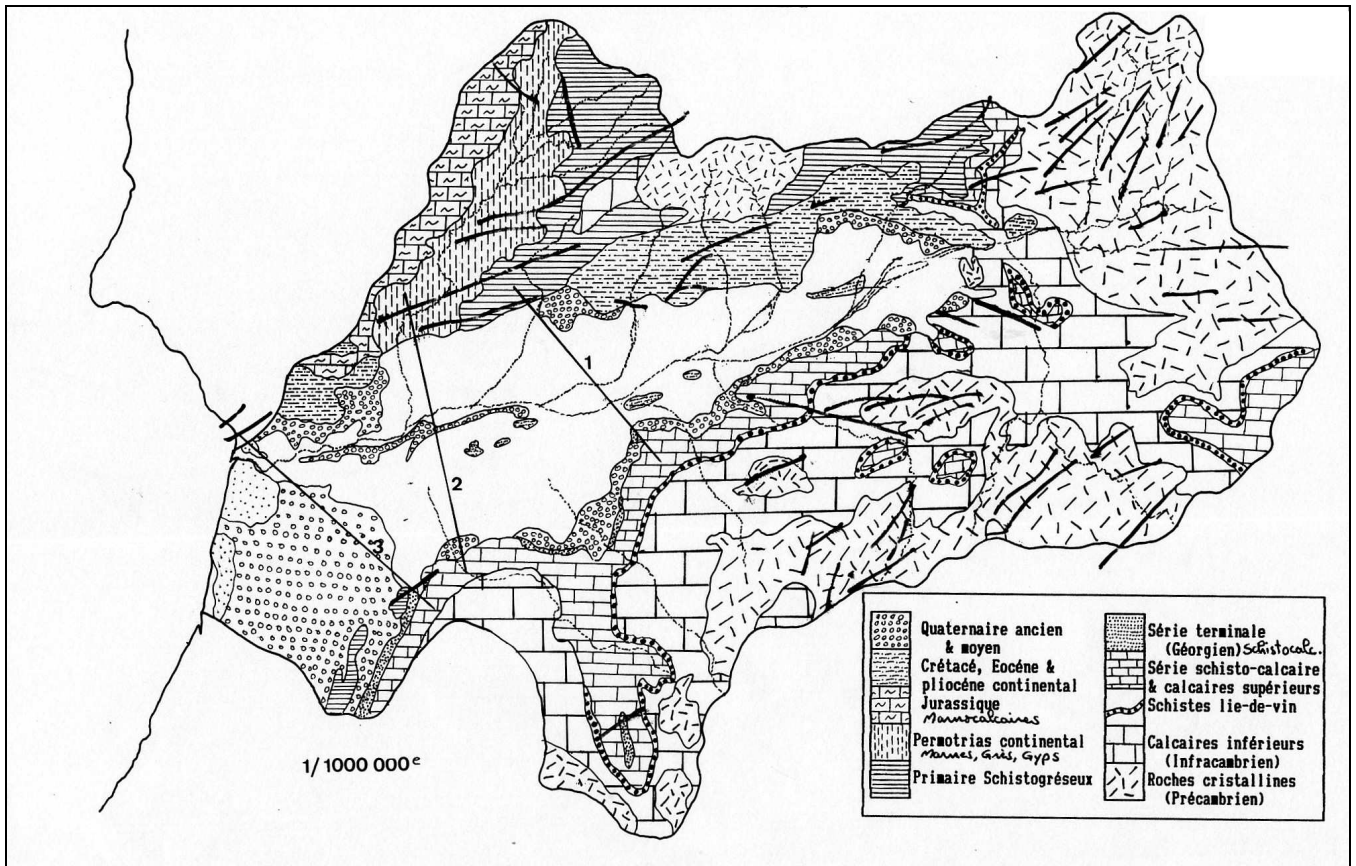


Figure 12 : Carte géologique schématique du bassin du Souss

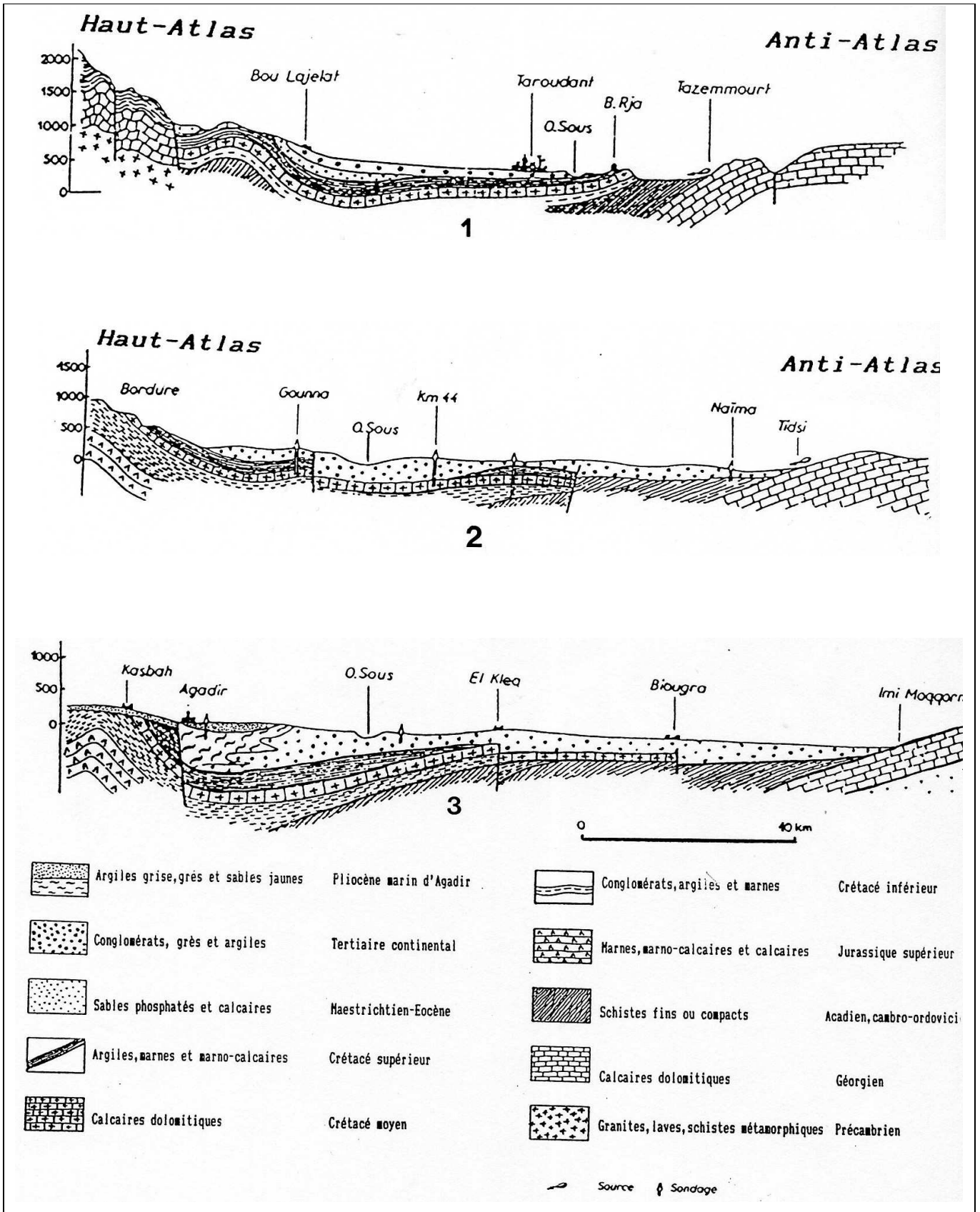


Figure 13 : Coupes géologique N-S à travers la plaine du Sous

III - Hydrographie générale et bassins élémentaires :

1- Introduction :

Le présent tracé du chevelu hydrographique dans le bassin du Souss (fig. 14), résulte de nombreux facteurs, notamment l'alluvionnement, l'abondance et la violence des crues. Ce tracé a été établi d'après les données des cartes topographiques au 1/200 000^e d'Agadir, Argana, Tafraout, Taliouine, Tamanart, Taroudant et Tizi N'test. La figure 14 illustre cette hiérarchie en classant l'ordre des affluents selon la méthode de Schumm-Strahler. L'examen de cette figure appelle les remarques suivantes :

- Le cours principal du Souss est d'ordre 6 à l'exutoire, mais cet ordre pourrait être encore plus important si l'on avait utilisé des cartes topographiques plus détaillées, au 50 000^e par exemple. C'est un ordre relativement élevé résultant de la vaste superficie drainée (16300 km²) et du caractère montagneux de la plupart de cette superficie (les trois quarts).

- La densité du chevelu hydrographique et sa ramification sont surtout importants sur les versants montagneux encadrant la plaine, soit à partir de 500 m d'altitude. A l'amont de ces versants, à proximité de la ligne des crêtes, on note une fréquence assez élevée des tronçons d'ordre 1. Ceux-ci sont courts et nombreux.

La plaine du Souss, qui s'étend aussi vers le sud-ouest du bassin, est très mal drainée. En effet, à leur débouché en plaine, les affluents cessent d'être alimentés des deux rives et se dirigent droit vers la confluence avec l'oued Souss. L'absence de ramification en plaine contribue donc à diminuer la densité du réseau.

- On note une forte ramification dans le bassin de l'Immerguène, ce qui a entraîné un ordre élevé (5) à la confluence avec l'oued Louzioua, lui-même d'ordre 5 grâce également à une densité de drainage particulièrement importante des oueds Tifnoute et Oumzaourou.

- Les principaux affluents du Souss étant au moins d'ordre 4 à leur confluence avec celui-ci : Issen, Lemdad et Tifnoute issus du Haut Atlas ; Immerguène, Arrhène et Aouerga qui proviennent de l'Anti Atlas.

En conclusion, on peut dire que l'aspect du réseau hydrographique est dans l'ensemble de forme arborescente et dendritique sur les reliefs. Ceci pourrait accentuer la brutalité des crues sur le cours principal, surtout en cas de pluies homogènes arrosant une grande partie du bassin versant.

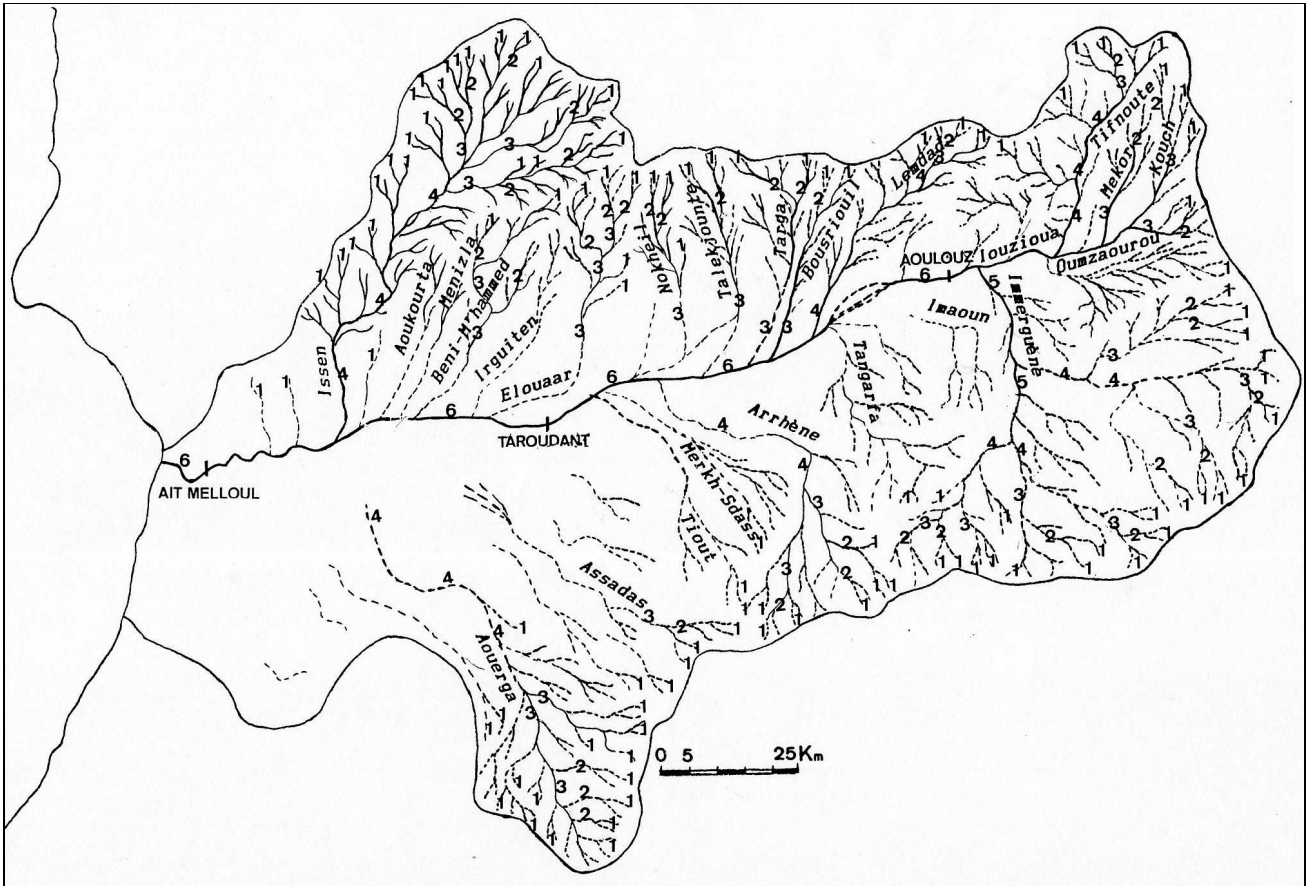


Figure 14 : Réseau hydrographique du bassin du Souss

Ce bassin de Souss est en effet formé de la juxtaposition de sous-bassins très différents, s'articulant en trois ensembles principaux (fig. 4):

- Un bassin amont se fermant à Aoulouz.
- Les bassins haut-atlasiques où les pentes sont fortes.
- Les bassins rive-gauche qui drainent avec difficulté les plateaux de l'Anti-Atlas.

2- Le bassin amont (bassin du Souss à Aoulouz) :

A l'amont d'Aoulouz, l'oued Souss prend le nom d'Assif **n'louzioua**, collecteur commun de trois troncs principaux : **Tifnoute**, **Immerguène** et **Oumzaourou**.

Le Tifnoute draine un couloir compris entre le versant sud des massifs les plus élevés du Haut-Atlas et les immenses entablements à faibles courbures du Siroua, dominés par quelques pitons volcaniques; les branches supérieures du Tifnoute sont assez profondément enfoncées dans le massif de Toubkal; l'une d'elles est issue d'un lac très peu connu : le lac d'Ifni, seul lac de la région situé à une altitude de 2400 m. Cette retenue large de 500 m, longue de 800 m et profonde de 60 m est due à l'existence d'un barrage naturel constitué d'éboulis rocheux et boueux.

- Le Tifnoute accuse, à son aval, une pente régulière de l'ordre de 1.5 %, mais se relève fortement dans les branches supérieures.

- L'Immerguène couvre un large bassin de forme arborescent sur les plateaux calcaires de l'Anti-Atlas; l'abondance des formations meubles et la vaste superficie des terrains calcaires sont des facteurs qui favorisent l'infiltration des ruissellement provenant des roches imperméables: conglomérats et rhyolites des boutonnières précambriennes de l'Anti-Atlas et phonolites du Siroua .

- Entre le Tifnoute et l'immérguène, l'oued Oumzaourou et quelques autres petits affluents drainent, sur un bassin réduit, le versant occidental du Siroua, formé de roches éruptives ou métamorphiques imperméables : phonolites, rhyolites et quartzites.

La convergence du réseau hydrographique à l'amont d'Aoulouz est responsable de la largeur des gorges et de la violence des crues. C'est à Aoulouz que le bassin de Souss reçoit les plus importants et les plus utiles apports d'eau.

3- Les sous-bassins haut-atlasiques (Rive droite) :

De l'est à l'ouest, on peut inventorier les affluents suivants: (fig. 14)

Le Lemdad, oued Bousriouil, oued Targa, oued Talekjounte, oued Aguerd el Had (ou Nokheil), oued Mentaga (= Aït el Haj + Elouaar), Assif n'Irguiten, oued Beni-M'hammed, Menizla, Aoukourta et oued Issen

- Le **Lemdad** draine les vastes cuvettes schisteuses de Tadourkht et de l'Ouneïn-Adouz, encadrées par des crêtes calcaires dépassant 2500 m, puis il s'encaisse en gorge étroite dans le pli déversé de l'Adrar n'Ouaougdim, formé de calcaires infracambriens; ceci fait que l'oued Lemdad débite jusqu'en juin, à son piémont, des eaux de crues et semi-pérennes bien régularisées. La pente est de 1 à 3 % en aval et de 10 à 20 % plus en amont.

- Oued **Bousriouil** a son origine sur des crêtes rocheuses avoisinant 3000 m. Dans les premiers kilomètres de son cours, il dévale des pentes très raides dépassant 55 %, puis il atteint un profil régulier n'excédant pas 10 %. La lithologie et une forêt clairsemée font que Bousriouil a des crues notables.

- Oued **Targa** à son haut bassin limité au nord par les crêtes montagneuses qui s'étendent à l'ouest de Tizi-n'Test. Son cours amont (Assif n'Aït Souab) a des pentes assez accusées: 30 à 25 %, puis deviennent environ 5 % à l'oued Targa proprement dit dans les formations rouges et tendres du créacé inférieur.

- Oued **Talekjointe** débute au pied des hautes crêtes calcaires et des plateaux des Tichka (3300 m), sur des roches éruptives et granitiques, creusées de vallées profondes. En aval, la vallée, très large, est creusée dans des formations crétacées et éocènes de la zone sub-atlasique, au sortir desquelles elle débouche sur une vaste cuvette (des Aït Talemt) puis ressort dans le piémont de la vallée du Souss.

- Oued **Aguerd-el-Had** (ou Nokheil) draine la haute vallée de Medlaoua sur le versant occidental du massif granitique du Tichka, et aussi celle des Agounssane dominée par les crêtes calcaires cambriennes redressées à la verticale. A l'aval il s'étale dans les argiles rouges de l'éocène peu avant d'atteindre la vallée du Souss à Ida-ou-Gaïlal.

- Oued **Mentaga** (Assif n'Aït el Haj + l'oued l'Ouaar) commence son cours sur un versant très escarpé (3555 m), formé de calcaires cambriens, il compte deux vallées principales: celle d'Aït Boubker à l'ouest et Ouarouken à l'est, creusées dans des sédiments tendres: schistes siluriens et marnes du crétacé supérieur.

- Assif **n'Irguiten** a un bassin peu étendu drainé par une vallée au profil heurté, généralement encaissé.

- Oued **Beni M'hammed** s'encaisse en amont en décrivant des méandres dans les calcaires cambriens du jbel Isk n'Biguider; il a creusé alternativement des gorges dans des roches dures, tel les conglomérats stéphaniens, et des bassins dans les formations tendres tel les schistes cambro-ordoviciens. A son débouché dans la plaine, l'Assif des Beni M'hammed reçoit sur sa rive gauche un affluent important : Assif n'Aït Makhlof.

- Les oueds **Menizla** et **Aoukourta** ont un bassin d'extension réduite dans des terrains primaires où prédominent les schistes stéphaniens.

- Oued **Issen** : Le dernier grand affluent rive droite du Souss, son cours supérieur en montagne prend le nom d'Assif n'Aït Moussa. Il s'étend sur une très vaste dépression creusée en très grande partie dans les formations gréseuses et argileuses permo-triasiques du couloir d'Argana. Dans sa partie amont, ce couloir comprend une série de cuvette: Aguelgal, Timezgadiouine, Argana, Bigoudine, creusées dans les argiles. Plus à l'aval, il est barré par deux reliefs transversaux constitués de grès permo-triasiques : le Jbel Askal et l'Adrar Tkhenkine. La vallée d'Issen ne reçoit pas d'affluents notables sur sa rive droite, cependant les affluents rive gauche sont nombreux. Le profil en long de tous ces affluents est assez régulier avec des pentes plus ou moins fortes (fig. 15).

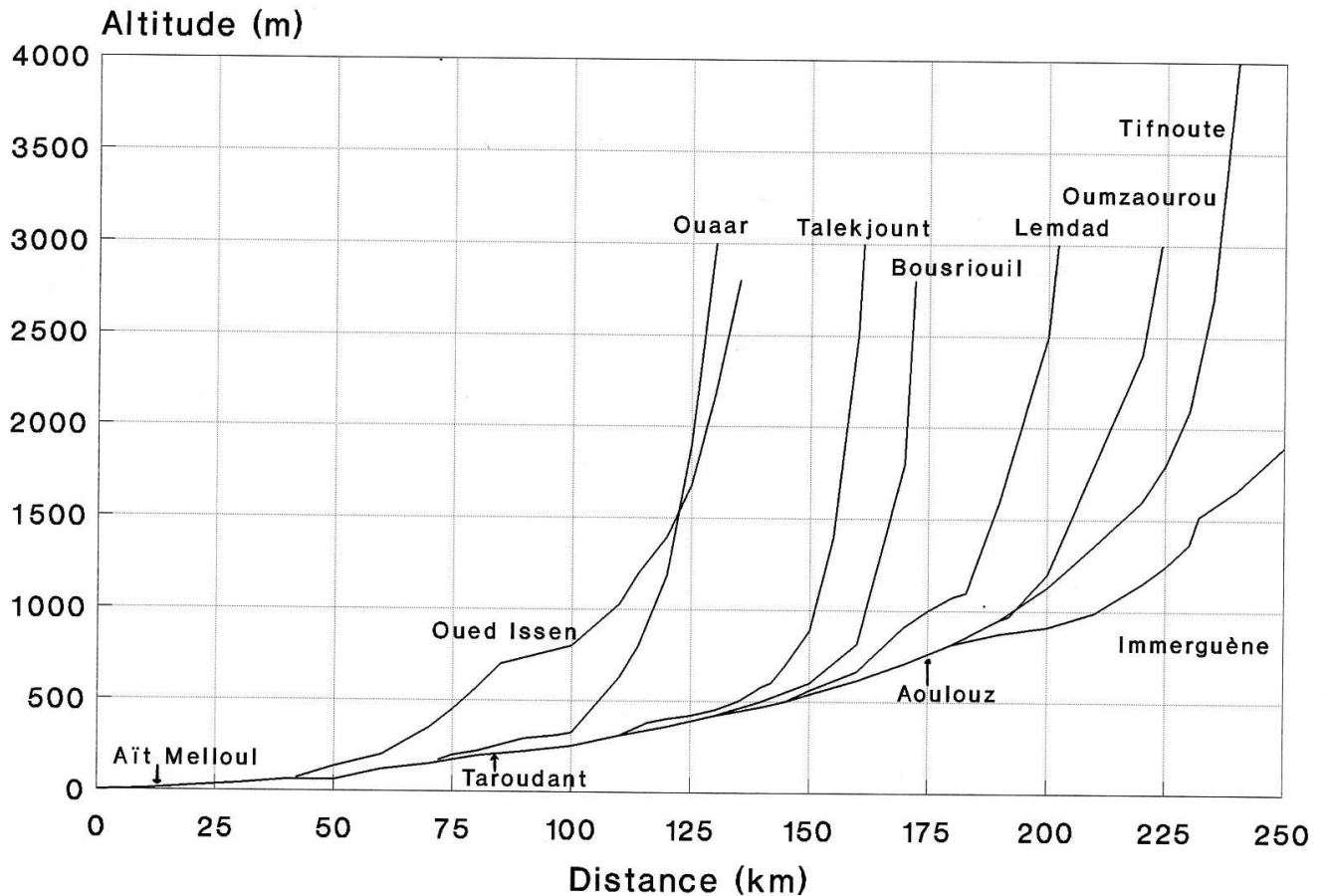


Figure 15 : Profil en long du Souss et de ses principaux affluents

4- Les sous-bassins rive gauches :

Les oueds débouchant du versant nord de l'Anti-Atlas n'atteignent pas tous l'oued Souss, car ils drainent des bassins médiocrement arrosés où prédominent les entablements calcaires:

- Oued **Imaoun** et Oued **Aït Hosseïn** ont un bassin entièrement compris dans les formations calcaires de l'infra-cambrien. Leurs reliefs ont des pentes assez faibles: 1,5 à 4,5 %, atteignant 14 % sur les reliefs calcaires les plus élevés.

- Oued **Tangarfa** présente un bassin arborescent, qui draine à l'amont une boutonnière précambrienne (rhyolites et conglomérats de base cambriens), et s'encaisse à l'aval avec de fortes pentes dans les "calcaires inférieurs".

- Plus à l'ouest, (au niveau d'Ouled Berrehil), l'oued Souss tend à se rapprocher du plateau calcaire de l'Anti-Atlas où celui-ci est entaillé par une série de petits torrents: les oueds **Amaoun**, **Tamaout**, **Aouknit**.

- Oued **Arrhène** est le plus important affluent rive gauche du Souss, son bassin arborescent s'étend en grande partie sur la zone axiale de l'Anti-Atlas. Sa vallée suit une zone faillée. Il s'y manifeste de nombreuses sources.

- Oued **Merkh-Sdass** a un bassin étroit et allongé, c'est cet assif qui fournit au Souss les derniers apports qu'il reçoit sur sa rive gauche, car plus en aval, tous les issafen issus de l'Anti-Atlas épandent leurs faibles crues sur le piémont et les étendues planes, parfois sableuses, situées au sud de l'oued Souss sans atteindre ce dernier.

- L'Assif **Tiout** et Assif **Assadas** ont un cours encaissé qui coupe transversalement la bordure calcaire de l'Anti-Atlas à partir de la zone axiale où ils prennent naissance.

- Oued **Aouerga**, profondément encaissé dans les formations "lie-de vin" qui constituent au sein de la masse calcaire-dolomitique un niveau plus tendre, draine un vaste bassin allongé qui couvre partiellement, dans sa partie haute, le flanc nord du massif quartzitique du Lkst culminant à 2500 m.

Plus à l'ouest, la bordure de l'Anti-Atlas s'infléchit vers le sud à la cluse d'Imi M'korn; au-delà et sur un front de 25 km, il n'existe plus d'oued important traversant cette bordure ici schisto-gréseuse.

Alors donc que les affluents du Haut-Atlas atteignent tous le Souss au moment des crues, les affluents de l'Anti-Atlas ne l'atteignent que rarement, il faut sûrement en chercher l'explication dans les causes suivantes :

- * Pluviométrie plus élevée sur le Haut-Atlas que sur l'Anti-Atlas.
- * Relief du Haut-Atlas plus marqué que le relief de l'Anti-Atlas.
- * Prédominance des terrains schisteux ou marneux relativement imperméables dans le Haut-Atlas et de terrains calcaires très perméables dans l'Anti-Atlas (perte par infiltration), d'où différence de ruissellement.
- * Trajet en plaine, c'est à dire dans des terrains perméables plus court sur la rive droite que sur la rive gauche.

5- Le cours principal du Souss :

A partir de la station d'Aoulouz, où il termine son cours montagneux, le Souss étale largement son lit qui se divise en plusieurs bras, dont trois principaux enserrant des sortes d'îles entre Aït M'barq et Tinikt, sur une largeur avoisinant quatre kilomètres. Le plus important est celui situé au nord, il contourne le cône de déjection dont les pentes n'excèdent pas à 2 % .

Par leur pression, les affluents rive-droite repoussent l'oued Souss vers le sud jusqu'à Iqli où il tend à s'orienter vers l'ouest. Peu avant d'atteindre Freija, le Souss décrit autour de Taroudant un arc à forte courbure qui tend à se diriger vers le sud; la largeur du lit atteint ici un kilomètre. La prospection géophysique a permis de détecter au nord de Freija et au sud immédiat de Taroudant, un lit fossile du quaternaire moyen, également reconnu par sondage.

Il est à remarquer que les inflexions à vaste rayon de courbure que le lit du Souss décrit, avec convexité vers le sud, font face approximativement aux anticlinaux créacés qui flanquent le Haut-Atlas.

A l'ouest de Taroudant, le Souss s'insinue entre les collines d'Ouled Bou-R'bia et El Aricha; à partir de ce seuil, il s'encaisse de 10 à 20 m et se dirige plein ouest sur une dizaine de kilomètres, il se trouve ensuite rejeté vers le sud au confluent de l'oued Issen, avant de finir son parcours dans l'océan atlantique.

IV- Géographie humaine et points d'eau :

Le fond de la population du Souss est d'origine berbère et parle le dialecte tachelhit. Depuis le 14^{ème} siècle, des tribus arabes se sont installées dans la vallée et s'y ont fixées. Les populations berbères et arabes se sont brassées intensivement au cours des siècles pour aboutir à une certaine homogénéité: type, moeurs et au bilinguisme: arabe-berbère.

Pendant les années 60 et 70, le Soussi émigrat volontier pour un temps soit dans les grandes villes du pays, soit à l'étranger, afin de se constituer un petit capital permettant à sa famille d'acquérir un certain patrimoine. Plus récemment, les soussis se sédentarisent et occupent de plus en plus des postes, soit dans la fonction publique, soit dans les fonctions libérales (commerce, tourisimes ...). Environ la moitié de la population de Souss habite dans des villages ou "douars" qui s'étendent soit sur les deux rives de l'oued auprès des terrasses irriguée, soit sur les montagnes.

Sur le littoral, la ville d'Agadir compte 170 000 habitants non compris les agglomérations satellites d'Inezgane (70 000), Ben Sergao (23 000), Dcheira (78 000) et Aït Melloul (40 000). Agadir est la capitale administrative et économique du Souss (et le deuxième port du Maroc). Au centre de la plaine, Taroudant (130 000 habitants) est la capitale historique, religieuse et culturelle.

La population ouvrière est localisée dans les villes, notamment à Agadir et ses banlieues. Beaucoup de salariés (dont les deux tiers de femmes) travaillent dans les conserveries de poissons, ou dans les stations d'emballage de légumes et primeurs, d'autres sont employés dans des industries ou entreprises diverses ou dans l'hôtellerie et restauration.

En milieu urbain, le revenu moyen varie donc considérablement selon les secteurs de l'économie, alors qu'en milieu rural, le revenu annuel dépend surtout de l'abondance ou la pénurie en eaux profondes et/ou superficielles. Ces eaux étant issues soit des sources, des drains, des seguias ou des puits :

- **Les sources** s'égrènent tout au long des piémonts, et se manifestent également dans les vallées d'oueds, aux murs de formations imperméables.

En bordure de l'Anti-Atlas, on trouve d'ouest en est:

Le groupe des sources de Tidsi et Oumdikht, les petites sources d'Amagour, Tinouaïnane, les grandes sources de Tazemmourt et de Tiout. Plus à l'est, il faut remonter les oueds Arrhène et Tangarfa pour trouver des eaux courantes qui, sous forme d'émergences ou sources, en jalonnent les cours avec des débits importants dans l'oued arrhène, et très faibles dans l'oued Tangarfa.

Sur les piémonts du Haut-Atlas, les sources sont beaucoup plus nombreuses tout au long de la bordure montagneuse, avec des débits divers pouvant atteindre ou dépasser la cinquantaine de litres par seconde.

- **Les séguias** : D'Aoulouz à l'océan, de nombreuses émergences se manifestent dans le lit du Souss, dans certains cas de manière spontanée, en d'autres, dans des tranchées drainantes peu profondes pratiquées par des riverains. Les eaux apparaissent en générale là où le profil en long présente des ruptures de pente, à l'aval de seuils déterminés par les confluents. Les irrigants disposent en travers du lit de souss des digues éphémères en terre et galets (qui seront emportées par les crues suivantes). Ainsi se forment des petits biefs qui bloquent l'écoulement des eaux vers des prises de séguias rive droite ou gauche, qui vont irriguer les terrasses de l'oued souss.

- **Les drains**: Il en existe deux sortes: les traditionnels et les modernes. Les drains traditionnels sont nombreux au bassin de Souss, beaucoup d'entres eux tarissent par effondrement ou épuisement de la nappe et sont abandonnés. Ces drains ou "khattara" ont en général un débits faible: un à quelques litres par seconde. Pour leur majorité, les khattara sont groupées dans la région d'Ouled Berrehil au nord et au sud des collines formant le pli d'Igouder, à Ouled Teïma, à Ouled Aïssa et surtout à Aoulouz.

Parmi les drains modernes, on a surtout "Le drain des dunes" qui a longuement alimenté la ville d'Agadir en eau potable; et le drain de Freija dont la longueur totale dépasse 4 km, construit de 1939 à 1946 par les services des travaux publics dans le remplissage alluvionnaire d'un lit fossile au nord du lit actuel du Souss, son débit variait de 500 à 1200 l/s.

- **Les puits** : Les puits sont très nombreux dans le bassin de Souss, et sont de types très divers, ils ne peuvent pas tous être recensés, mais pourront être estimés à plusieurs milliers. Les puits traditionnels sont, en majorité, des puits d'irrigation, ils sont beaucoup plus denses et nombreux dans les zones où l'eau est à une faible profondeur par rapport au sol (moins de 15 m), et sur les terrains où le creusement n'est pas rendu difficile par la présence de bancs rocheux durs: dalles ou croûtes calcaires affleurant, ou à faible profondeur par exemple. Les puits sont rares dans la forêt d'arganier et vers les piémonts où il existe de vastes zones sans puits (sauf parfois quelques ouvrages exceptionnels atteignant ou dépassant la centaine de mètres). Les puits sont également rares là où les eaux de surface abondent (terrasses de Souss). Les plus fortes densités se rencontrent autour de Biougra à l'est d'Aït

Melloul jusqu'à Ouled Teima, et au-delà, le long de la bordure orientale de la forêt d'Ademine dans le périmètre urbain de Taroudant (environ un par maison pendant les années soixante).

La plupart des puits d'irrigation étaient équipés de "naoras". Depuis les années cinquante, trois mille d'entre eux ont été munis de petits groupes motopompes.

Les secteurs d'agriculture modernes sont irrigués par des puits creusés à l'explosif qui comportent des galeries très développées, ces puits sont équipés de groupes de pompage puissant pouvant débiter jusqu'à 60 l/s.

Les stations de pompage se répartissent dans la plaine d'ouest en est en cinq zones: Aït Melloul, Ouled Teima, km 65, Taroudant et Ouled Berrehil; et prélèvent au total un débit de l'ordre de 5 m³/s.

On peut ajouter aussi quelques rares forages artésiens à faible débit (El Kléa, Gounna, Ouled Teima) et plusieurs puits témoins réalisés par le service d'Hydraulique en 1945-46.

***LE MILIEU CLIMATIQUE
ET
FACTEURS DE L'ÉCOULEMENT***

I- Postes d'observation et critique des données pluviométriques:

Le bassin versant de l'oued Souss est vaste de 16300 km². Sur cette large superficie, ont été installées plusieurs stations pluviométriques à la fois en plaine qu'en montagne. Ces stations ont fourni des données à différents pas de temps d'une façon plus ou moins continue. Pour l'étude de l'hydrologie de ce bassin, nous avons retenu 21 postes d'observation selon leurs situations géographiques et leurs périodes d'observation (fig.16). Les très hautes montagnes restent dépourvues de stations climatiques ou demeurent très peu couvertes par un réseau d'observation important. Des pluviomètres totaliseurs sont installés sur les très hauts pics du bassin amont, notamment sur les versants du Toubkal. Ils ont offert des données discontinues et peu fiables. Quant à la plaine du Souss, elle est mieux couverte, mais d'une façon générale, la densité du réseau de mesure est plutôt modérée: elle est d'environ une station pluviométrique pour 775 km². Trois stations principales seulement ont été équipées de pluviographes dont l'intérêt est très précieux pour l'étude instantanée des averses; ce sont celles d'Agadir, Taroudant et Aoulouz, qui sont aussi les mieux suivies et les plus anciennement installées.

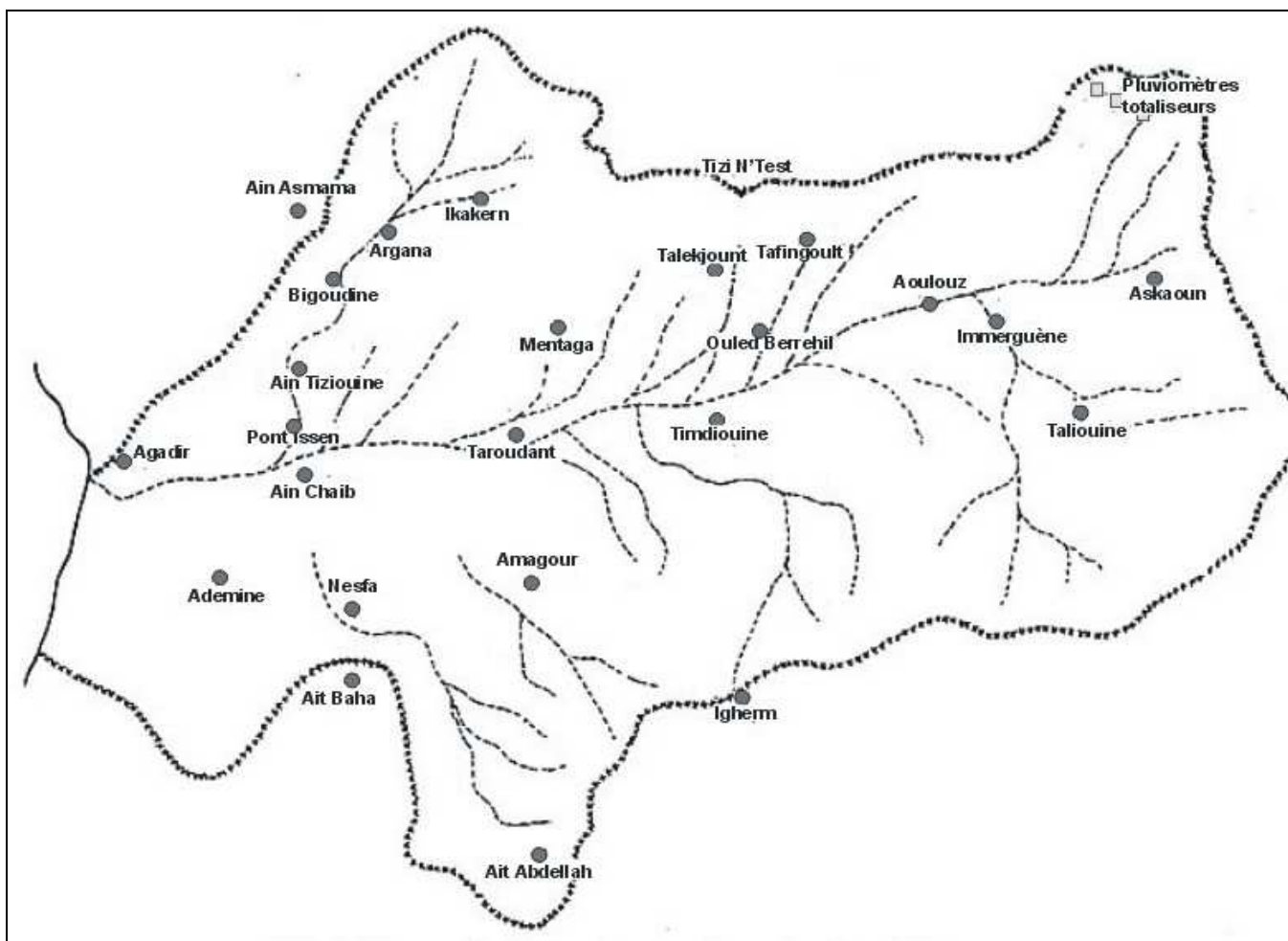
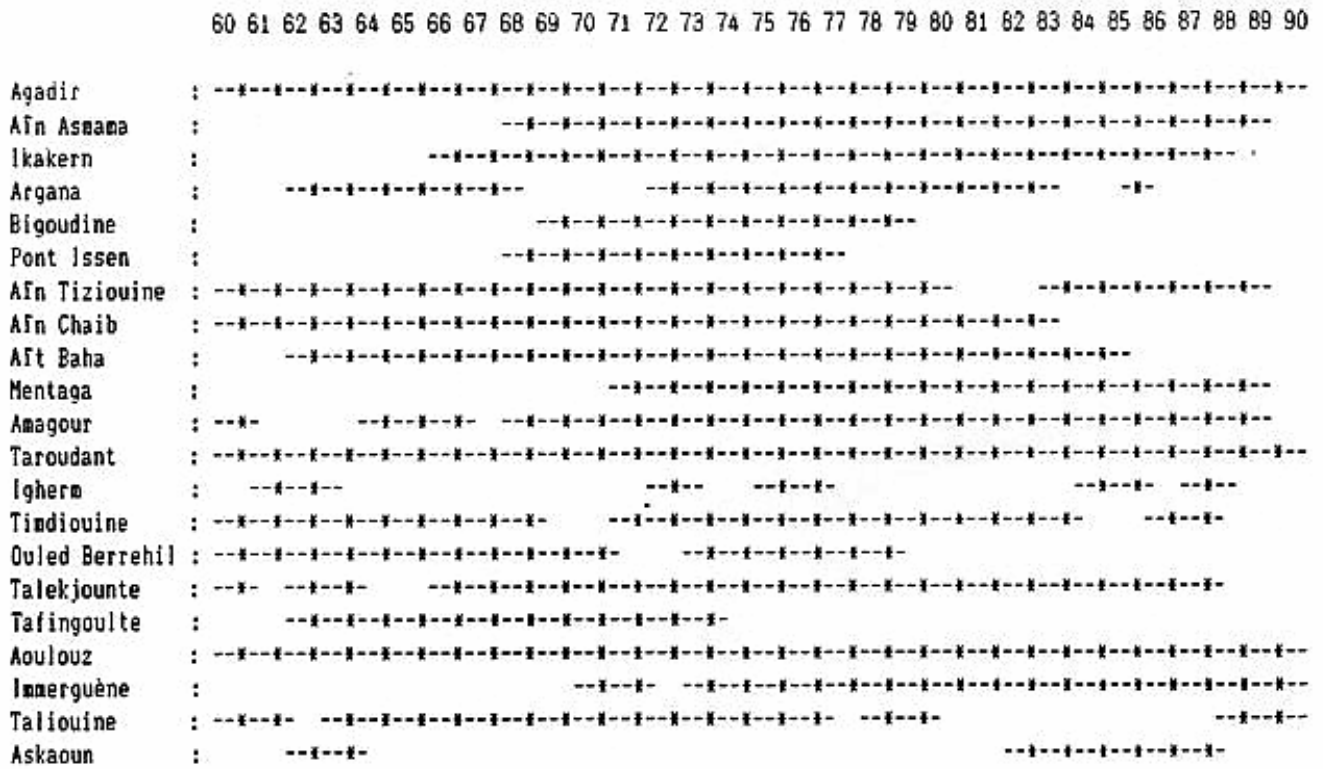


Figure 16 : localisation des stations pluviométrique dans le bassin du Souss

Les stations qui vont nous concerner dans le bassin du Souss, et qui ont fourni des données plus ou moins nombreuses, sont au nombre de 21, dont quatre en amont d'Aoulouz, et six entre Aoulouz et Taroudant. Les données de ces stations couvrent des périodes variables de 1960 à 1990. Elles se présentent comme suit :



1 - Répartition des pluies annuelles de la station d'Agadir:

Nous disposons d'un échantillon de 30 valeurs de pluies annuelles de 1960 à 1990, auxquelles nous allons appliquer un ajustement de la loi normale. Après les avoir classées par ordre décroissant, nous avons déterminé pour chaque valeur la fréquence empirique de dépassement, $F = (n - 1/2) / N$, n étant le rang de chaque valeur, et N est le nombre de données.

n	Hauteur en mm	Fréquence	n	Hauteur en mm	Fréquence
1	469,6	0,0167	16	258,9	0,516
2	447,8	0,05	17	232,4	0,55
3	447	0,083	18	226,9	0,583
4	432,5	0,116	19	215,5	0,616
5	397,9	0,15	20	207,8	0,65
6	373,2	0,183	21	203,5	0,683
7	356,8	0,216	22	195,7	0,716
8	346,1	0,25	23	171,7	0,75
9	322,8	0,283	24	166,2	0,783
10	321,9	0,316	25	158,4	0,816
11	314,5	0,35	26	149,1	0,85
12	284,8	0,383	27	122,8	0,883
13	282	0,416	28	95,3	0,916
14	278	0,45	29	89,8	0,95
15	276,6	0,483	30	46,7	0,983

Tableau 3: Hauteurs des précipitations annuelles à la station d'Agadir de 1960 à 1990, et leurs fréquences expérimentales.

La moyenne de l'échantillon $m = 263,1$ mm, et l'écart type $\sigma = 112,3$.

Si nos observations s'ordonnent et se répartissent selon la loi de Gauss:

- 50% des observations seront comprises entre $m - 2/3 \sigma$ et $m + 2/3 \sigma$, soit ici entre 188,2 et 338 mm.
- 68% des observations seront comprises entre $m - \sigma$ et $m + \sigma$, soit ici entre 150,8 et 375,4 mm.
- 95% des observations seront comprises entre $m - 1,96 \sigma$ et $m + 1,96 \sigma$, soit ici entre 43 et 483,2 mm.

En fait, dans notre série, les intervalles ci-dessus représentent respectivement 46,7 , 66,7 et 100 % des observations relevées. L'écart entre les fréquences observées et celles que donnait la loi de Gauss est assez faible. Les hauteurs annuelles des précipitations à Agadir semblent donc s'ordonner à peu près suivant la loi normale qui régit les phénomènes dus uniquement au hasard.

Le résultat graphique (fig. 17) confirme cette conclusion. Il en est de même pour les stations de Taroudant et Aoulouz (fig. 18 & 19).

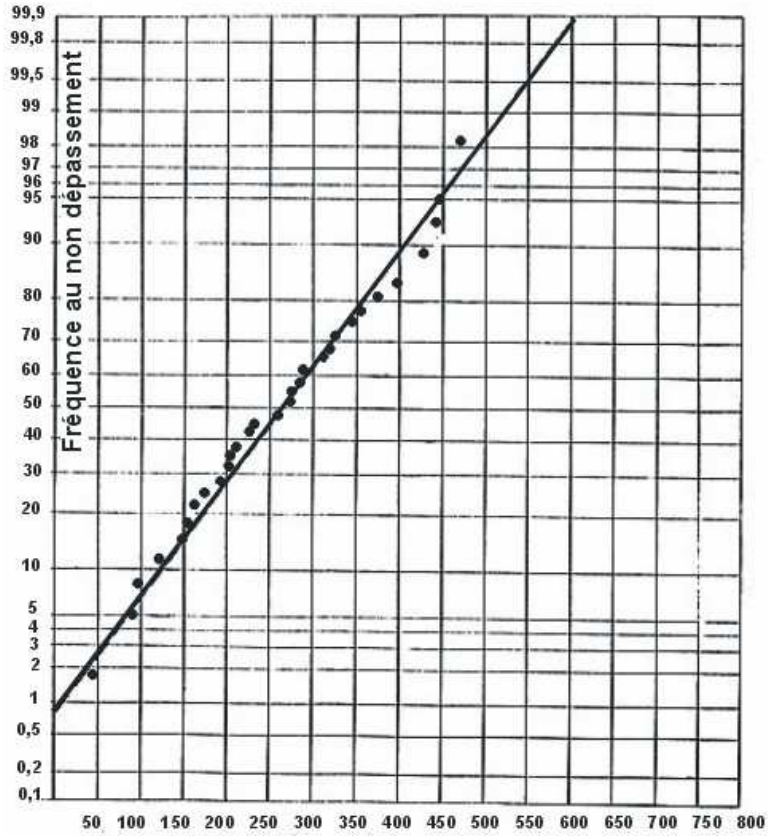


Figure 17 : Ajustement de la loi normale aux pluies annuelles d'Agadir

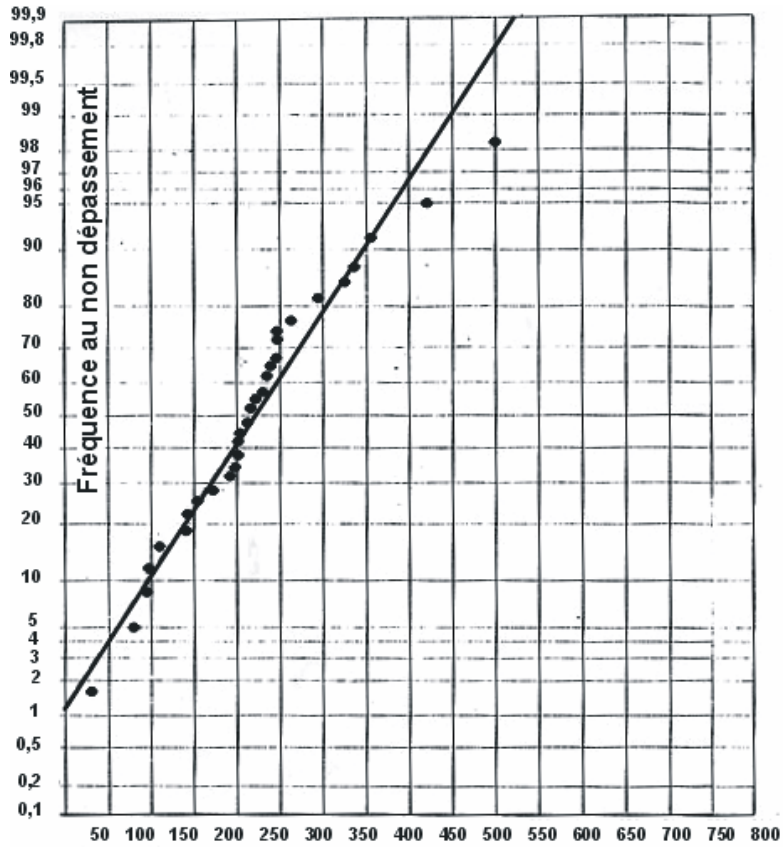


Figure 18 : Ajustement de la loi normale aux pluies annuelles de Taroudant

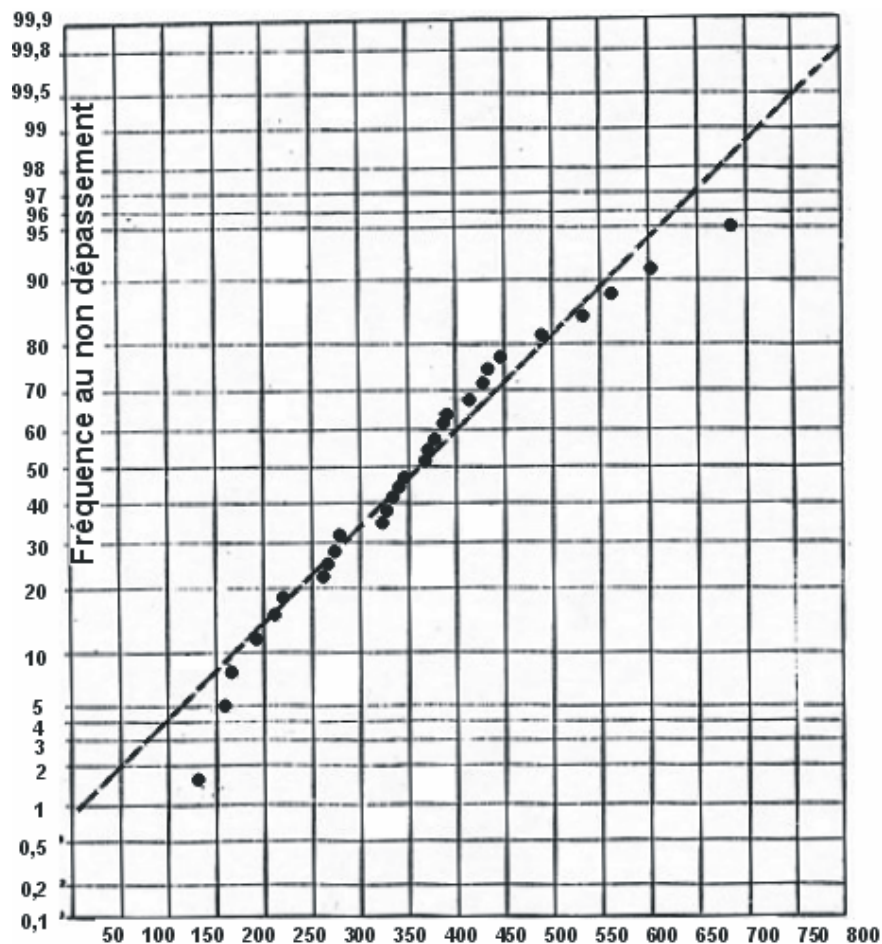


Figure 19 : Ajustement de la loi normale aux pluies annuelles d'Aoulouz

2 - Critique des précipitations annuelles:

Sur le bassin versant du Souss, vaste de 16300 km², le régime des pluies est très irrégulier dans le temps et dans l'espace. Pour un régime aussi variable d'un point à l'autre, le réseau pluviométrique n'est pas assez dense; en plus plusieurs postes présentent des observations interrompues pendant certaines années ou plusieurs mois d'une année, ce qui rend parfois les séries inexploitable. Le versant anti-atlasique est très peu couvert par un réseau de mesure, et des régions difficilement accessibles du Haut Atlas ont été équipées de pluviomètres totaliseurs. Quelques stations principales sont en revanche munies de pluviographes, et les autres stations sont équipées de pluviomètres observés de façon continue en cas de précipitations.

Avant leur utilisation, il importe donc de vérifier l'homogénéité et la fiabilité des données pluviométriques dont on dispose. Celles-ci couvrent une période de 30 ans, de 1960 à 1990, parsemée, parfois, de quelques lacunes plus ou moins nombreuses.

Dans une étude du plan d'aménagement des eaux du bassin du Souss (1986), des ingénieurs d'hydraulique avançaient que d'éventuelles séquences erronées seraient dues à des lacunes

d'observations non signalées, ou pis encore, comblées arbitrairement par l'observateur. Ils les ont observées en périodes troublées, à la mise en place d'une station ou d'un nouvel observateur. Parfois encore, une importante erreur de saisie ou de copie peut fausser le résultat d'une année.

Il faut reconnaître, cependant, qu'il est assez délicat, dans le travail de détection d'anomalies, de distinguer entre des fluctuations naturelles et des erreurs.

2-1: Test des double-cumuls:

Ce test suppose que l'homogénéité des précipitations annuelles d'une station quelconque, soit vérifiée par comparaison avec les données d'une station de référence, sur une même période. La notion de cohésion spatiale implique donc une évolution similaire des cumuls annuels dans les deux postes. On a admis que dans les zones sud-atlasiques, la corrélation entre deux postes demeure élevée jusqu'à 100 Km de distance entre eux.

Le test des double-cumuls permettra donc de déceler d'éventuelles ruptures dans l'homogénéité des séquences relevées, et de déterminer graphiquement la relation entre les données de deux points du bassin. La fonction est linéaire pour une corrélation parfaite. En cas d'erreur d'estimation ou de déficit systématique, nous avons une cassure dans la courbe, dont la cause reste à déterminer.

Les postes de référence sont généralement choisis en fonction de leur période d'observation qui doit être la plus longue, ainsi que par rapport aux coefficients de corrélation qui doivent être élevés entre ces postes et les autres.

Pour notre exemple, nous avons évidemment choisi les trois stations principales d'Agadir, de Taroudant et d'Aoulouz, dont les données, testées précédemment par la loi normale, ont déjà été revues et corrigées par l'administration d'hydraulique d'Agadir. Ces stations sont aussi les seules qui ont fourni des séries complètes de 1960 à 1990.

Par ailleurs, nous avons cherché les coefficients de corrélation liant les hauteurs de pluies annuelles à Agadir, Taroudant et Aoulouz d'une part, et celles des stations avoisinantes d'autre part :

Agadir - Aïn Asmama	0,84	Taroudant - Mentaga	0,59
Agadir - Ikkern	0,63	Taroudant - Amagour	0,88
Agadir - Argana	0,71	Taroudant - Timdiouine	0,86
Agadir - Aïn Tiziouine	0,84	Taroudant - Talekjounte	0,85
Agadir - Aïn Chaib	0,89	Taroudant - Tafingoulte	0,88
Agadir - Aït Baha	0,71	Taroudant - Ouled Berrehil	0,89

Aoulouz - Immerguène	0,93
Aoulouz - Taliouine	0,86

Tableau 4: Coefficients de corrélation entre les pluies annuelles des stations du Souss

On remarque que dans l'ensemble, les coefficients de corrélation sont importants entre les diverses stations. Ils témoignent de l'existence d'une liaison significative entre les différentes séries de précipitations annuelles dans le bassin.

Nous avons cependant noté deux coefficients modérés : celui d'Ikakern par rapport à Agadir et celui de Mentaga par rapport à Taroudant. Ces deux postes présentent une pluviométrie plutôt faible (214 et 153 mm) par rapport à leurs altitudes (respectivement 1100 et 900 m). Ceci est dû à un effet d'abri connu pour ces deux stations du Haut Atlas. Le test des double-cumuls permettra néanmoins de vérifier la vraisemblance de leurs données et de déceler d'éventuelles anomalies.

2-2: Résultats des tests: (fig. 20 à 33)

Sur les figures 20 à 33, nous avons illustré les résultats des tests des double-cumuls entre les diverses stations. Après leur examen, il ressort que la quasi-totalité des postes offrent des données plutôt homogènes et ne présentant pas d'anomalies notables. L'exception est cependant celle du poste d'Ikakern (fig.21) qui présente deux pentes très différentes: une pente initiale ($a= 1,08$) de 1977-78 à 1987-88 qu'on retrouve aussi en fin de graphique pour les années 67-68 et 66-67. Entre les deux, on trouve une rupture pendant 9 années de 1968-69 à 1976-77, avec une nouvelle pente ($a'=0,46$). Il importe donc de chercher à quelle période on doit accorder une confiance quant à ses données de pluies annuelles. A première vue, nous avons remarqué que les hauteurs des précipitations de 1968-69 à 1976-77 étaient curieusement trop faibles par rapport à celles des stations avoisinantes, notamment Argana, Aïn Tiziouine ou Agadir pendant la même période: de 1977-78 à 1987-88, le rapport des pluies annuelles entre Agadir et Ikakern est de 0,98. Ce rapport passe brusquement à 2,2 de 1968-69 à 1976-77, ce qui veut dire que les précipitations à Agadir, située en plaine et à une latitude et altitude plus faibles qu'à Ikakern, sont de plus de deux fois supérieures qu'à Ikakern située à 1100 m d'altitude sur un versant atlasique. Il est assez clair donc que les données de cette période ont été sous-estimées à Ikakern; ceci est très probablement dû à un nouvel emplacement du pluviomètre qui favorise plus l'effet d'abri, ou à un emplacement à proximité d'obstacles naturels ou artificiels. Cet emplacement a été corrigé en 1977 vers un environnement moins perturbé. C'est ainsi que nous avons assisté à un redressement des hauteurs de pluies enregistrées à la station. Ceci s'est traduit par une cassure sur la courbe des totaux cumulés comparés, et par la mise en évidence de deux droites d'ajustement, dont le rapport des pentes a/a' est égal à 2,34. La solution la plus judicieuse serait donc de multiplier les pluies annuelles d'Ikakern de 68-69 à 76-77 par 2,34. On obtient ainsi une droite d'ajustement rectiligne (fig.21). Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre Agadir et Ikakern passe, après la correction, de 0,63 à 0,71.

Les autres stations ont fourni des données annuelles relativement homogènes, bien que pour la station de Mentaga (fig.26), les points paraissent légèrement dispersés, mais l'homogénéité semble y être vraisemblable.

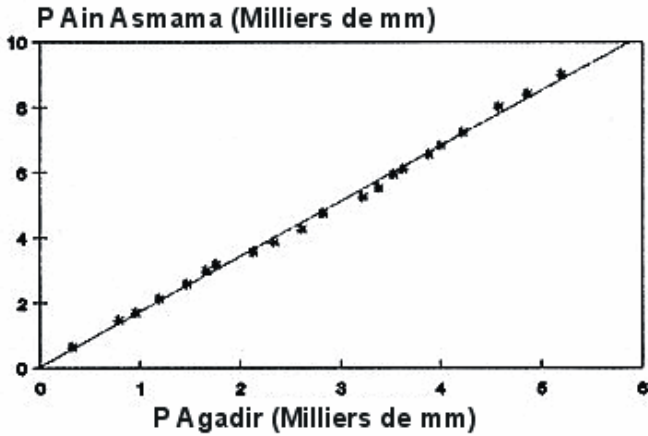


Figure 20 : Homogénéisation par le test des double-cumuls des pluies annuelles d'Agadir de Ain Asmama

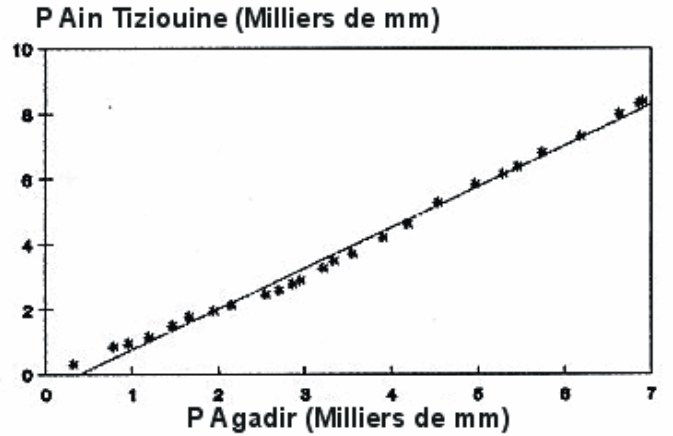


Figure 23 : Homogénéisation par le test des double-cumuls des pluies annuelles d'Agadir et de Ain Tiziouine

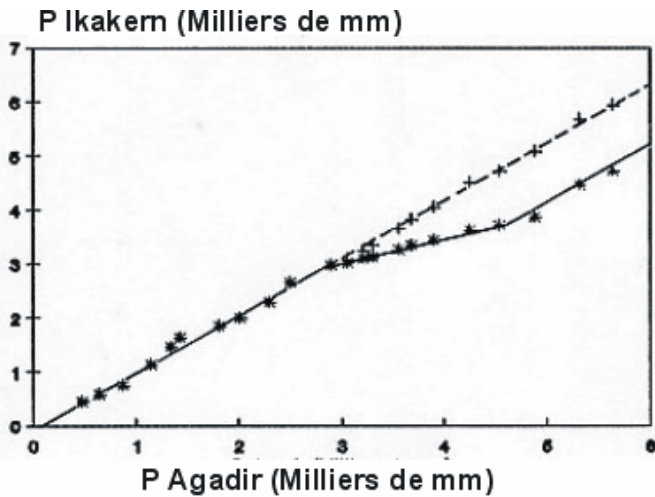


Figure 21 : Homogénéisation par le test des double-cumuls des pluies annuelles d'Agadir et d'Ikakern

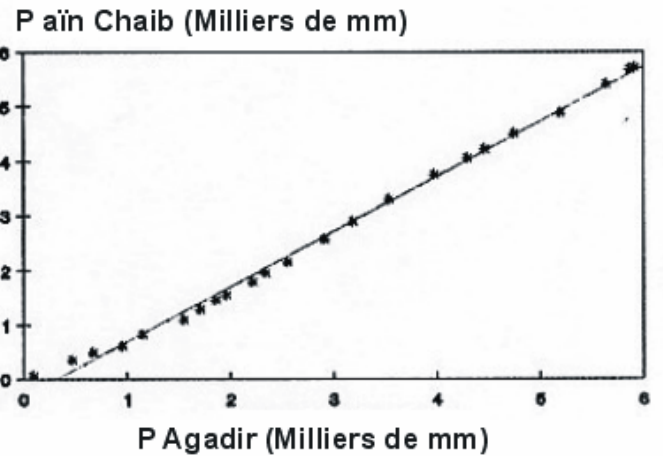


Figure 24 : Homogénéisation par le test des double-cumuls des pluies annuelles d'Agadir et de Ain Chaib

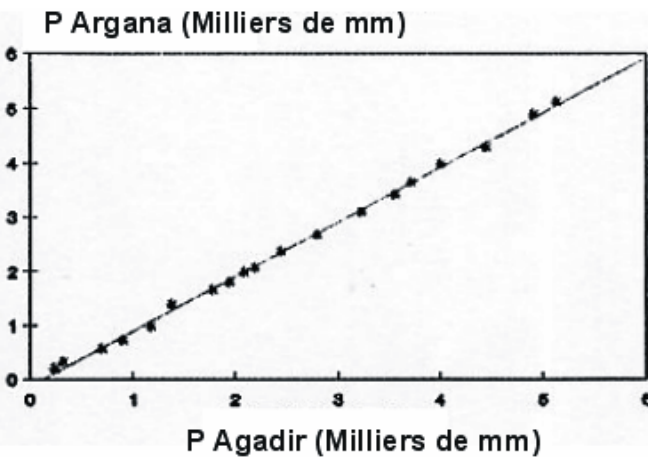


Figure 22 : Homogénéisation par le test des double-cumuls des pluies annuelles d'Agadir et d'Argana

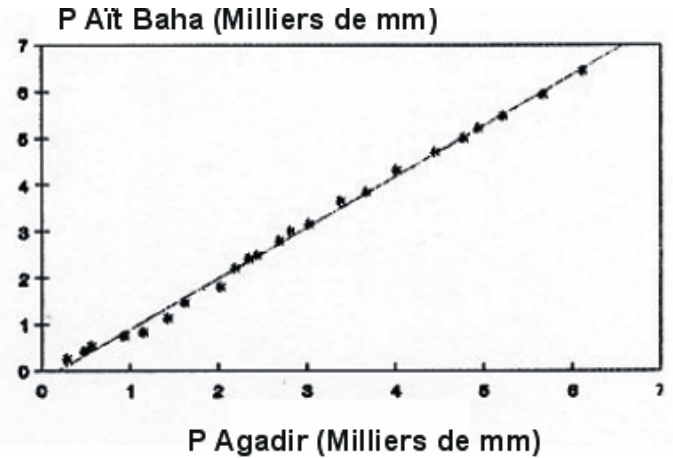


Figure 25 : Homogénéisation par le test des double-cumuls des pluies annuelles d'Agadir et d'Aïn Baha

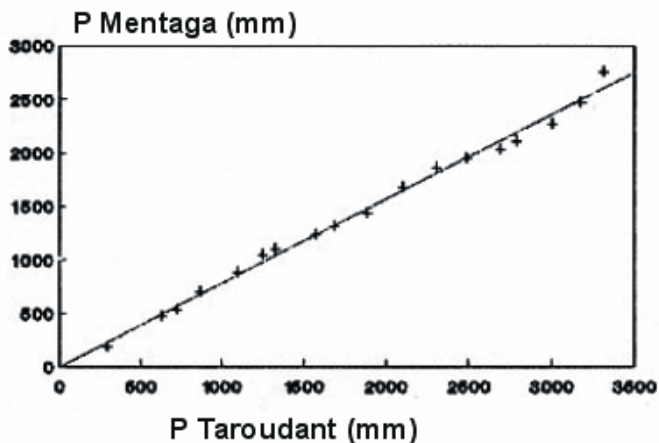


Figure 26 : test des double-cumuls des pluies annuelles de Taroudant et de Mentaga

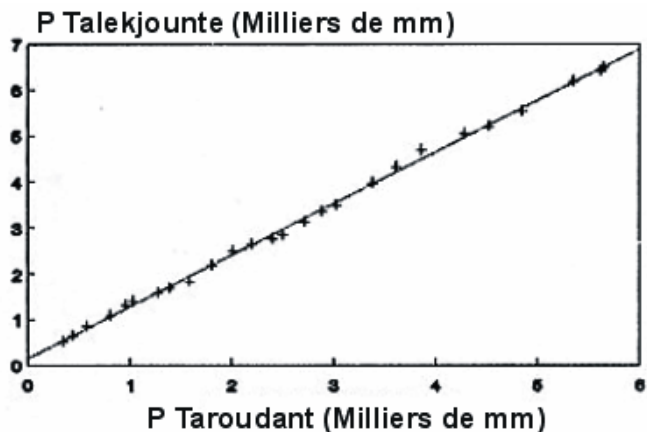


Figure 29 : test des double-cumuls des pluies annuelles de Taroudant et de Talekjoute

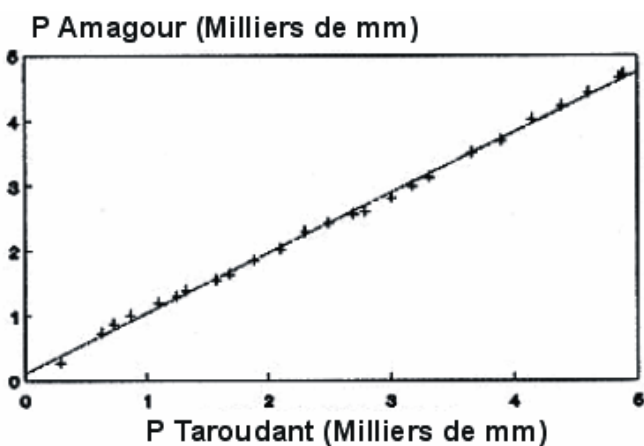


Figure 27 : test des double-cumuls des pluies annuelles de Taroudant et d'Amagour

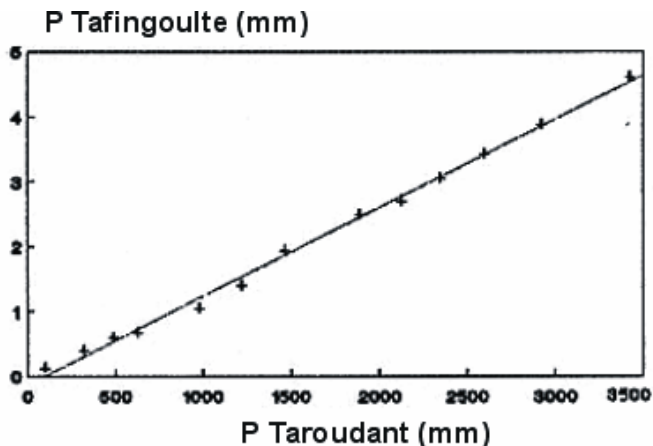


Figure 30 : test des double-cumuls des pluies annuelles de Taroudant et de Tafingoulte

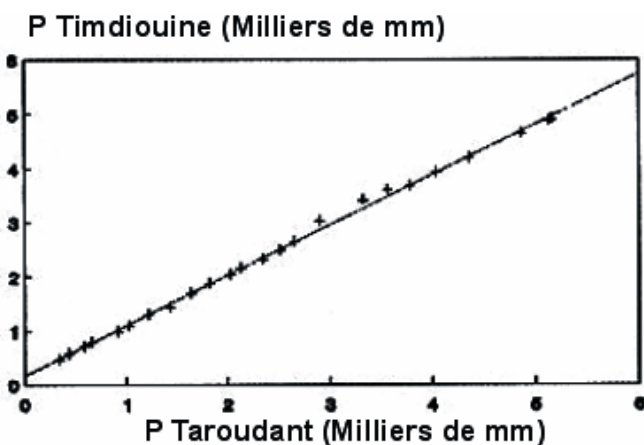


Figure 28 : test des double-cumuls des pluies annuelles de Taroudant et de Timdiouine

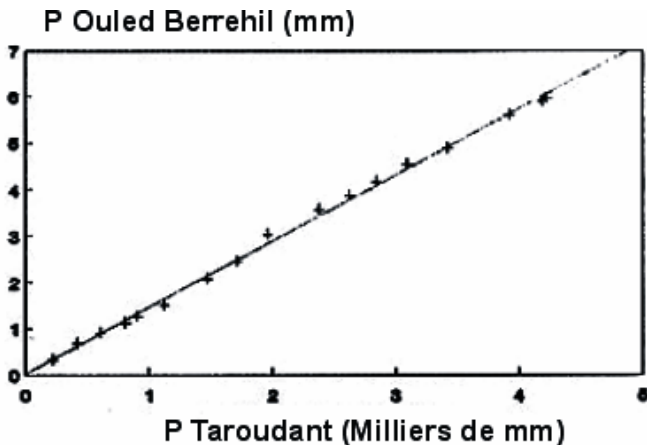


Figure 31 : test des double-cumuls des pluies annuelles de Taroudant et d'Ouled Berrehil

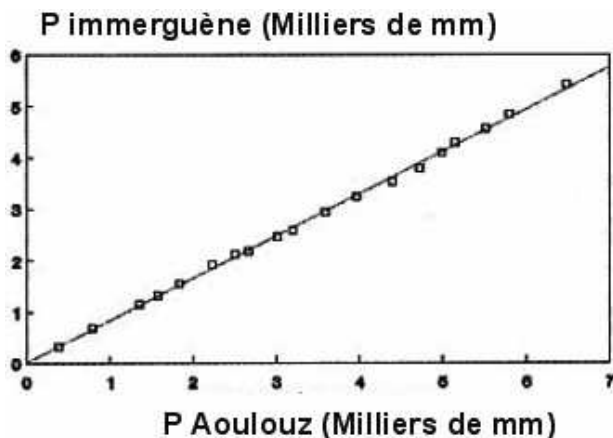


Figure 32 : test des double-cumuls des pluies annuelles d'Aoulouz et d'Immerguène

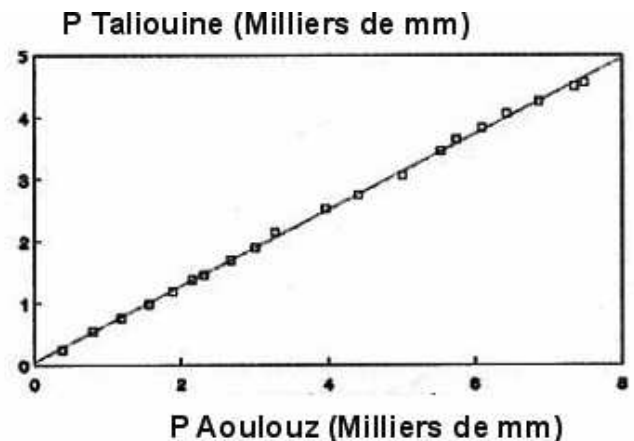


Figure 33 : test des double-cumuls des pluies annuelles d'Aoulouz et de Taliouine

II- L'apport pluvial

1- Introduction :

Les précipitations forment un paramètre hydrologique de grande importance dans le fonctionnement d'un bassin versant. Cependant, l'estimation exacte de la lame d'eau précipitée sur la totalité du bassin, reste une opération particulièrement délicate, et nécessite l'utilisation de différentes méthodes, afin de prendre en compte toutes les contraintes géographiques qui peuvent exister, notamment l'altitude, la topographie, l'exposition ou l'orientation des versants.

Dans cette étude de l'hydrologie du Souss, nous avons choisi de dépouiller et étudier les données thermométriques, pluviométriques et hydrométriques, des différentes stations, sur une même période, et la plus longue possible. Nous avons remarqué par ailleurs que ces données hydroclimatiques s'interfèrent et se couvrent suffisamment pendant une même période de 30 ans, de 1960 à 1990. Ceci nous permettra de mener à bien une étude comparative dans le temps et l'espace, et une étude des bilans hydrologiques à différents pas de temps.

Les données pluviométriques dans le bassin du Souss, sont fournies soit par le service d'hydraulique (rattaché au ministère des travaux publics), soit par les services de la météorologie nationale. Les précipitations sont, le plus souvent, recueillies par des pluviomètres de type association, de 400 cm² de surface. Les très hautes montagnes difficilement accessibles, sont équipées de nivopluviomètres totaliseurs. Les stations principales, telles Agadir, Taroudant ou Aoulouz sont munies de pluviographes enregistreurs dont l'avantage est d'offrir les déroulements temporels des précipitations et les modalités des chutes de pluies.

2- Précipitations moyennes annuelles :

a- Méthode de la moyenne arithmétique :

a-1: Bassin versant du Souss à Aoulouz:

Le bassin du Souss en amont d'Aoulouz, contient quatre stations pluviométriques, et quelques pluviomètres totaliseurs, placés sur les hautes montagnes au-dessus de 2000 m. Les quatre stations ont fourni chacune, des données qui couvrent des périodes variables de huit à trente ans: Askaoun de 1962-63 à 1964-65, et de 1982-83 jusqu'en 1987-88, dont la moyenne s'élève à 366 mm. A Taliouine, les données commencent avec l'année hydrologique 1960-61 jusqu'en 1979-80, la moyenne annuelle y est de 239 mm. A Immerguène, la moyenne de 1970-71 à 1989-90 est de 285 mm. A Aoulouz, qui constitue une station principale équipée aussi d'un pluviographe, la série des données pluviométriques est continue et complète. Elle constituera un outil précieux pour l'étude de la relation pluie-débit. La moyenne des précipitations annuelles de 1960-61 à 1989-90 est ici de l'ordre de 370,7 mm. Nous constatons cependant que ces quatre stations sont toutes localisées dans des zones pas très élevées du bassin. La pluviométrie est ici moins importante que sur les hauts reliefs du Haut-Atlas, au nord du sous-bassin, où les pluviomètres totaliseurs n'ont offert que des totaux annuels discontinus et peu précis.

En tenant compte des données des quatre stations, la moyenne annuelle des pluies tombées sur le bassin amont du Souss, de 1960 à 1990, est de 315 mm; cependant on remarque que des périodes de forte pluviosité (notamment les années 60), ne sont pas représentées dans les stations d'Askaoun, d'Immerguène et même de Taliouine. La moyenne arithmétique n'est donc pas significative, tant que les séries ne sont pas complètes. En revanche, les données d'Aoulouz répondent parfaitement à cette condition, c'est pourquoi nous allons nous servir de ces données et considérer que cette station peut, pluviométriquement, être représentative du bassin du Souss à Aoulouz. La pluviométrie annuelle varie ici de 135 mm en 1960-1961, à la plus grande hauteur, 802 mm, pendant l'année hydrologique 1962-63. La moyenne interannuelle de 1960 à 1990 est de l'ordre de 370 mm : (fig. 34).

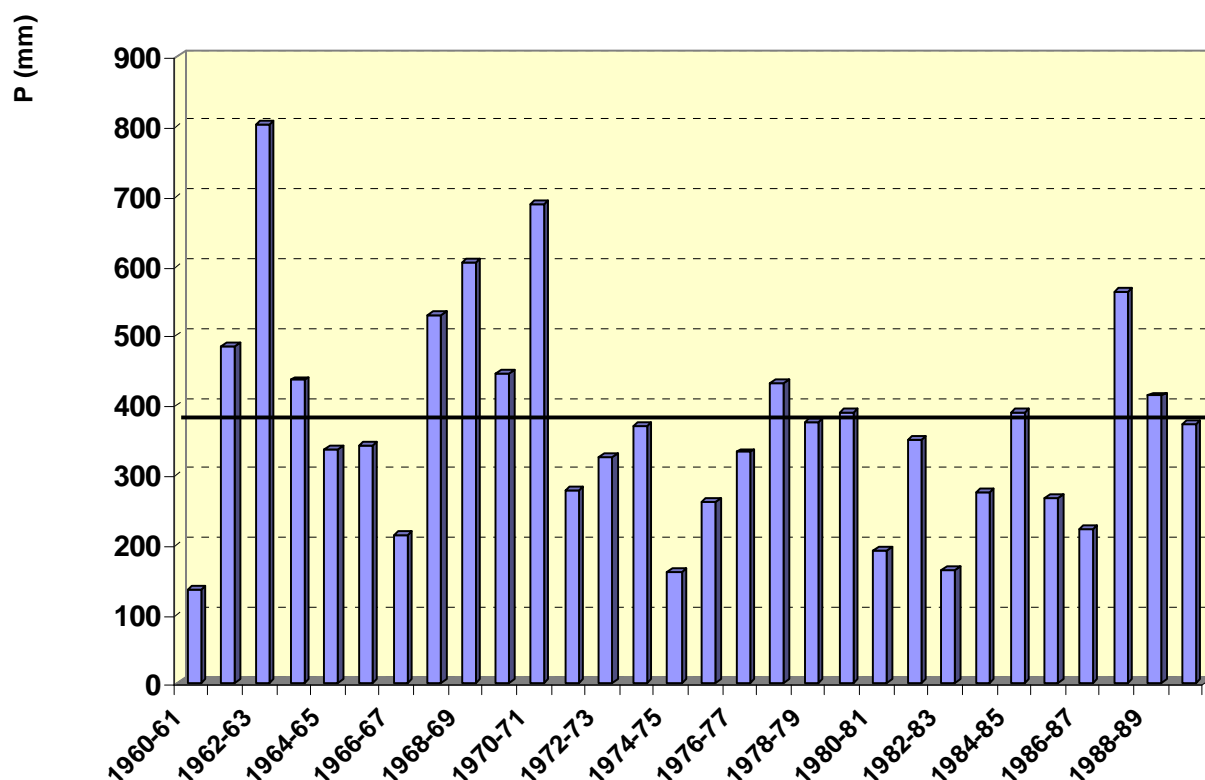


Figure 34 : Hauteurs des précipitations moyennes annuelles à Aoulouz

La figure illustre la très grande variation dans le temps des hauteurs de pluies annuelles à Aoulouz; variation mise en relief aussi par quelques paramètres de dispersion, tel que l'écart-type égal à 152,8, ainsi que l'écart moyen qui est de 113,8 ou encore le coefficient de variation, égal à 41,2 % .

a-2 : Bassin versant du Souss à Taroudant :

En plus de la station d'Aoulouz, représentant le bassin amont, six autres stations concernent le bassin du Souss fermé à la station hydrométrique de Taroudant. Ces stations se présentent comme suit :

Stations	Coordonnées Lambert		Altitude	Equipement	Hauteur surface/sol	Période de données	Moyenne annuelle
	X	Y					
Tafingoulte	213,9	-422,5	790 m	pluviomètre	1,5 m	1962-1974	354,9 mm
Talekjounte	198,8	-418,9	725 m	pluviomètre	1,5 m	1960-1988	249,5 mm
Ouled Berrehil	205,6	-408,0	450 m	pluviomètre	1,5 m	1960-1979	351,1 mm
Timdiouine	197,4	-395,4	380 m	pluviomètre	1,5 m	1960-1988	204,3 mm
Amagour	167,3	-365,0	450 m	pluviomètre	1,5 m	1960-1989	187,7 mm
Taroudant	164,1	-386,4	225 m	pluviomètre + pluviographe	1,5 m	1960-1990	219,7 mm

Tableau 5 : Stations pluviométriques entre Aoulouz et Taroudant

La moyenne arithmétique des pluies annuelles, abattues sur le bassin, de 1960 à 1990, est de l'ordre de 262,6 mm. La variation des hauteurs de précipitations est, ici aussi, importante. Les deux valeurs extrêmes s'étalent de 65 mm en 1960-61, à 643,6 mm en 1962-63, d'autres valeurs se rapprochent plus ou moins bien de la moyenne, et comme à Aoulouz, nous distinguons aussi une période de haute pluviosité annuelle, de 1961-62 à 1970-71, suivie d'une période de pluviosité médiocre. (fig. 35).

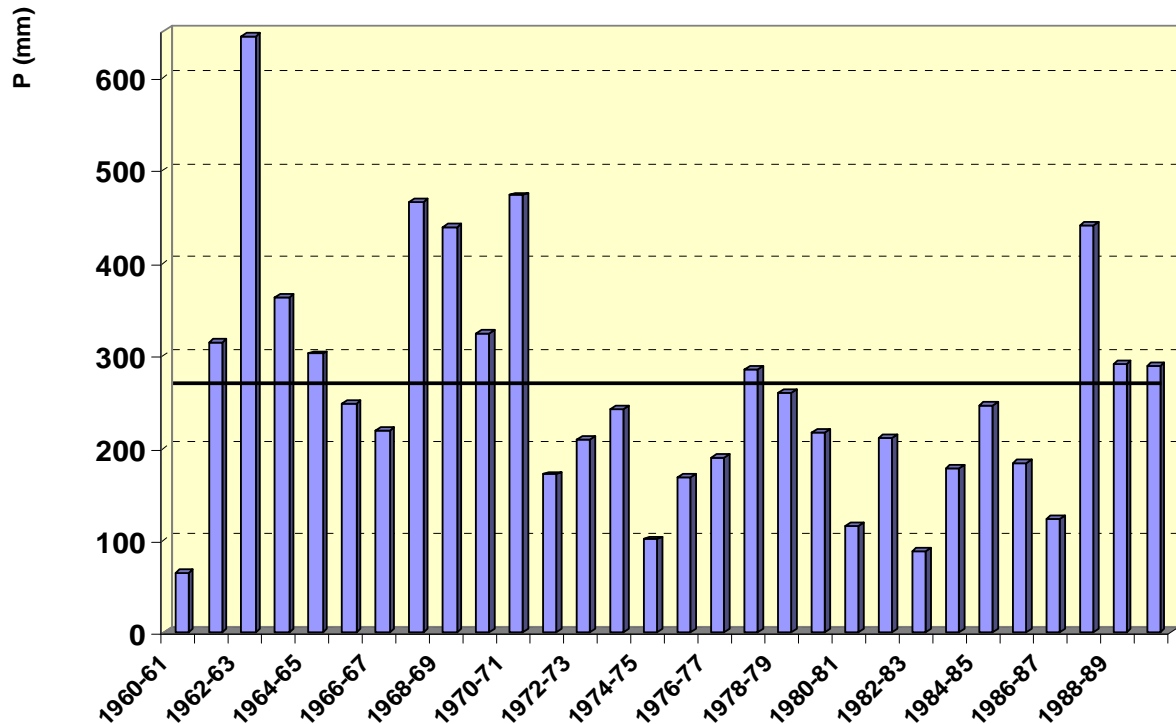


Figure 35 : Hauteurs des précipitations moyennes annuelles sur le bassin du Souss à Taroudant

L'écart-type de ces hauteurs pluviométriques s'élève à 128,5 et l'écart moyen à 98,8. Le coefficient de variation est de l'ordre de 0,49. Ces chiffres témoignent donc, de la grande variation annuelle des précipitations dans le bassin du Souss à Taroudant.

a-3 : Bassin du Souss à Aït Melloul :

Une dizaine de stations pluviométriques s'ajoutent aux stations d'amont de Taroudant pour constituer le réseau pluviométrique du bassin versant du Souss, vaste de 16300 km². Il s'agit de Mentaga, Amagour, Aït Baha, Aïn Chaïb, Argana, Bigoudine, Aïn Tiziouine, Pont Issen, Ikakern, Aïn Asmama et Agadir. Ces stations ont fourni des données plus ou moins continues, couvrant des périodes qui s'interfèrent de 1960 à 1990. Seule la station d'Agadir a offert une série complète de 30 ans.

La lame d'eau moyenne annuelle, précipitée sur la totalité du bassin du Souss, calculée arithmétiquement, varie de 59 mm en 1960-61 à 603 mm en 1962-63; le module pluviométrique s'établit à 276 mm. La variation annuelle suit, à peu près, les mêmes fluctuations qu'au bassin amont, ou celui de Taroudant:(fig.36)

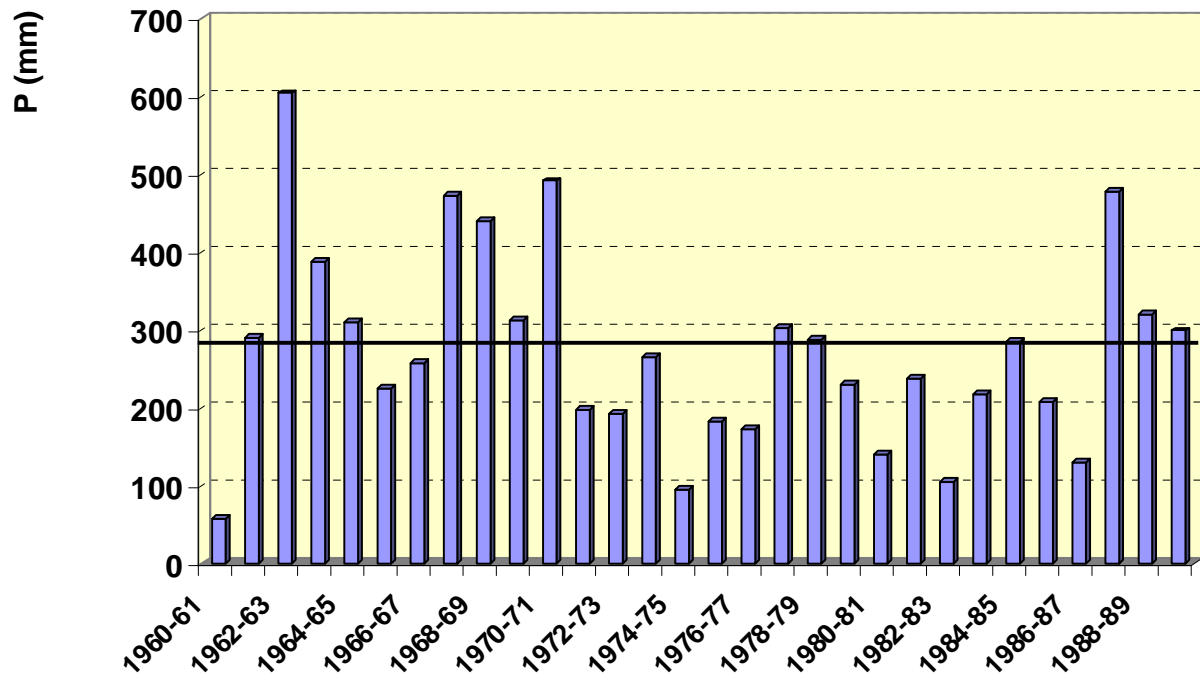


Figure 36 : Hauteurs des précipitations moyennes annuelles sur le bassin du Souss à Aït Melloul

L'écart-type est de l'ordre de 122,8 et le coefficient de variation de 0,45. Ces chiffres confirment la variation temporelle des pluies, similaire à celle observée à Taroudant et à Aoulouz.

b- Méthode des polygones de Thiessen :

La pondération de Thiessen, est une méthode d'estimation de la lame d'eau moyenne précipitée sur un bassin versant. Elle consiste à attribuer à chaque station de mesure, une zone qu'elle peut pluviométriquement représenter.

La méthode des polygones de Thiessen, est généralement réputée meilleure et plus fiable que celle des moyennes arithmétiques, relativement hasardeuse et qui ne tient pas compte des zones de représentativité de chaque station pluviométrique. En revanche, le problème avec la méthode de Thiessen, c'est les nombreuses lacunes de hauteurs de pluies annuelles, que comptent les stations de mesure; ce qui nous empêche de calculer les précipitations moyennes sur le bassin de chaque année. La pondération de Thiessen ne servira donc qu'à connaître la hauteur moyenne inter-annuelle des pluies (ou le module pluviométrique) du bassin versant. La méthode des moyennes arithmétiques garde cependant l'avantage de calculer séparément les hauteurs des pluies annuelles et leur variation, à partir des stations en service. C'est pour cela que nous nous servirons, dans l'étude des bilans particuliers, des résultats de l'estimation des lames d'eau précipitées à partir des moyennes arithmétiques de toutes les stations du bassin.

b-1: Bassin du Souss à Aoulouz :

Les trois stations d'Askaoun, d'Aoulouz et de Taliouine peuvent représenter chacune, une zone géographique appropriée, comme l'illustre la figure 37.

Selon cette représentativité, la lame d'eau moyenne annuelle abattue sur le bassin serait :

$$(P_{\text{Askaoun}} * S1) + (P_{\text{Aoulouz}} * S2) + (P_{\text{Taliouine}} * S3) / S$$

La valeur trouvée étant **292,6 mm**. Cette valeur est très peu significative, car la série de données d'Askaoun ne contient que huit ans de hauteurs de pluies, de 1962 à 1964, et de 1982 à 1988, qui correspondent à une période de pluviosité médiocre. C'est pourquoi nous préférons garder jusqu'ici, l'hypothèse que seule la station d'Aoulouz peut représenter ce bassin amont du Souss.

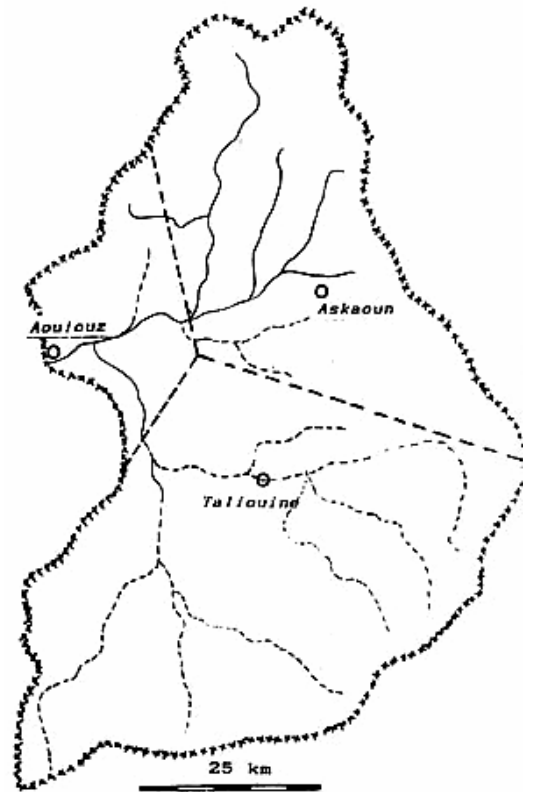


Figure 37 : Polygones de Thiessen sur le bassin du Souss à Aoulouz

b-2 : Bassin du Souss à Taroudant :

Les stations représentant les polygones de Thiessen dans le bassin de Taroudant, sont au nombre de neuf : Aoulouz, Tafingoult, Talekjounte, Ouled Berrehil, Timdiouine, Igherm, Mentaga, Taroudant et Amagour. (fig 38).

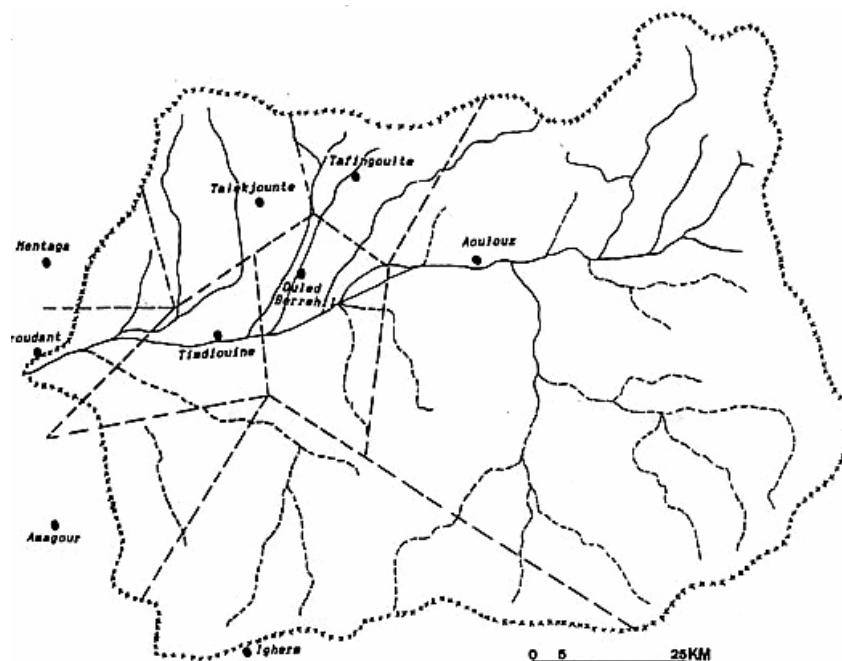


Figure 38 : Polygones de Thiessen sur le bassin du Souss à Taroudant

La moyenne des pluies annuelles selon la méthode de Thiessen étant :

$$(370 \cdot 5056) + (355 \cdot 429) + (250 \cdot 629) + (351 \cdot 581) + (204 \cdot 436) + (148 \cdot 1462) + (180 \cdot 171) + (219 \cdot 175) + (188 \cdot 438) / 9377 = \mathbf{303 \text{ mm.}}$$

Cette valeur serait plus fiable que celle offerte par la moyenne arithmétique, du fait de la bonne répartition des stations sur le bassin. L'attribution de zones appropriées pour ces stations a évité la sous-estimation de la lame d'eau moyenne, comme c'était le cas avec la méthode arithmétique.

b-3 : Bassin du Souss à Aït Melloul :

Les polygones de Thiessen forment ici, une sorte de mosaïque illustrée par la figure 38. La lame d'eau moyenne annuelle précipitée sur la totalité du bassin du Souss (16 300 km²), serait la somme des hauteurs d'eau tombées sur toutes les parcelles représentées par les stations pluviométriques :

	Aval de Taroudant	Amont de Taroudant
Agadir (263 mm)	667 km ²	
Aïn Asmama (428 mm)	304 km ²	
Aïn Tiziouine (321 mm)	420 km ²	
Aïn Chaib (248 mm)	789 km ²	
Argana (269 mm)	367 km ²	
Aït Baha (280 mm)	1510 km ²	
Ikakern (268 mm)	857 km ²	
Mentaga (180 mm)	532 km ²	171 km ²
Taroudant (220 mm)	537 km ²	175 km ²
Amagour (188 mm)	1215 km ²	438 km ²
Talekjounte (250 mm)		629 km ²
Ouled Berrehil (351 mm)		581 km ²
Timdiouine (204 mm)		436 km ²
Igherm (148 mm)		1462 km ²
Tafingoulte (355 mm)		429 km ²
Aoulouz (371 mm)		5056 km ²
S totale = 16575 km ²	7198 km ²	9377 km ²

Tableau 6: Superficies des polygones de Thiessen dans le bassin du Souss

Le module pluviométrique dans le bassin du Souss, calculé par cette pondération de Thiessen est de l'ordre de 279 mm, qui serait donc la lame d'eau moyenne précipitée annuellement sur ce bassin.

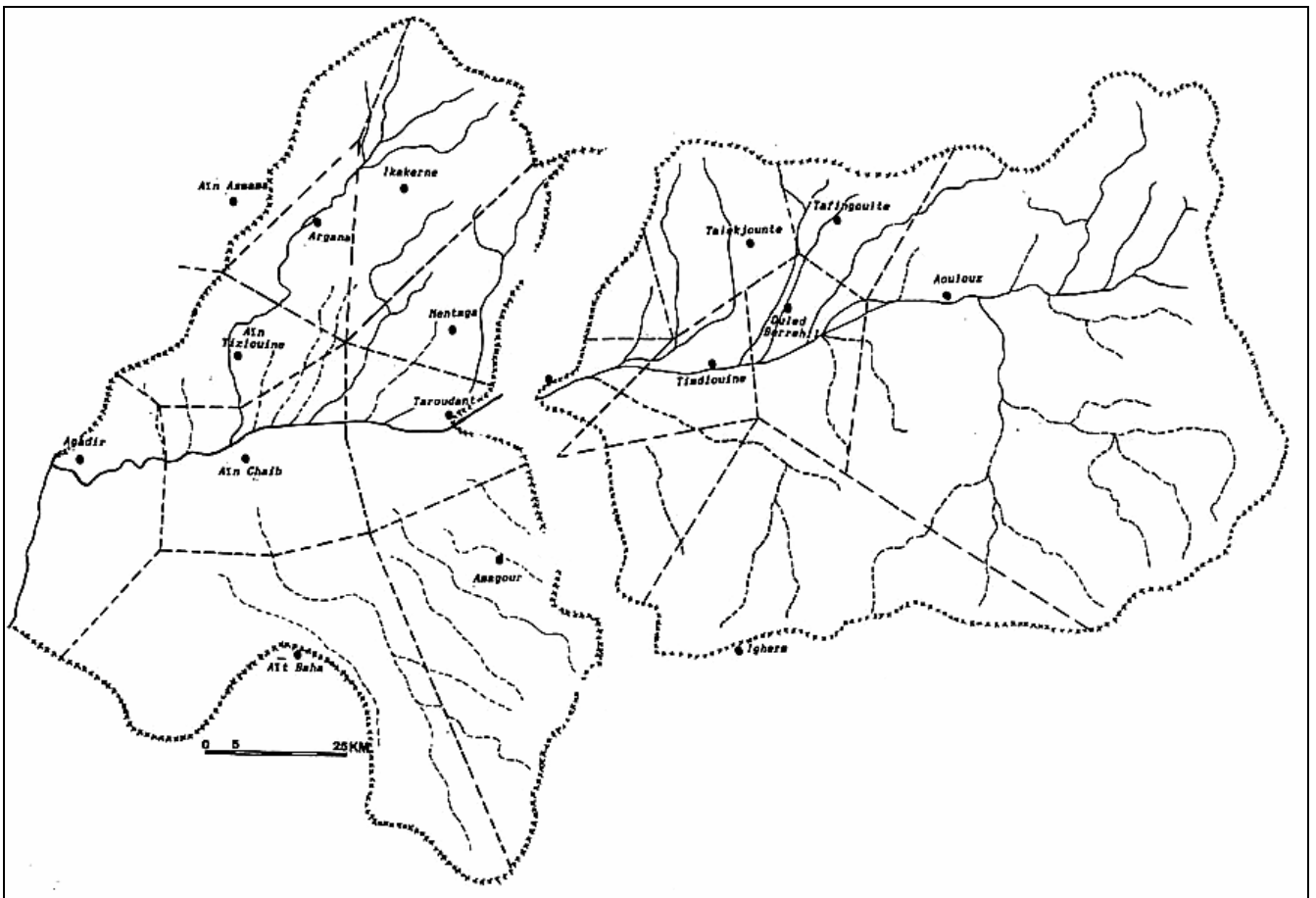


Figure 39 : Polygones de Thiessen au bassin entier du Souss

c- Méthode des isohyètes :

Les isohyètes sont des lignes d'égale précipitation. Elles sont tracées sur des cartes sur lesquelles ont été reportées des données pluviométriques pour des laps de temps choisis. Pour les tracer avec un maximum de précision, on s'appuie sur les données des postes pluviométriques, dont le réseau doit être particulièrement dense, en couvrant bien la totalité du bassin versant, surtout les régions montagneuses. On peut utiliser aussi la relation altitude-pluies ou gradient pluviométrique, ainsi que la carte de végétation.

La hauteur moyenne des précipitations "P" sur un bassin, sera la somme des hauteurs partielles "p" sur chaque tranche de terrain comprise entre deux isohyètes, et retenue pour le planimétrage. Ces hauteurs partielles de pluies s'obtiennent en multipliant les surfaces partielles "s" par la moyenne arithmétique des hauteurs de pluies des deux isohyètes qui les limitent :

$$p_i = s_i * (p_1 + p_2) / 2 .$$

Les précipitations moyennes sur tout le bassin versant, sont donc : $P = \sum p_i . s_i / S$

(S est la surface du bassin).

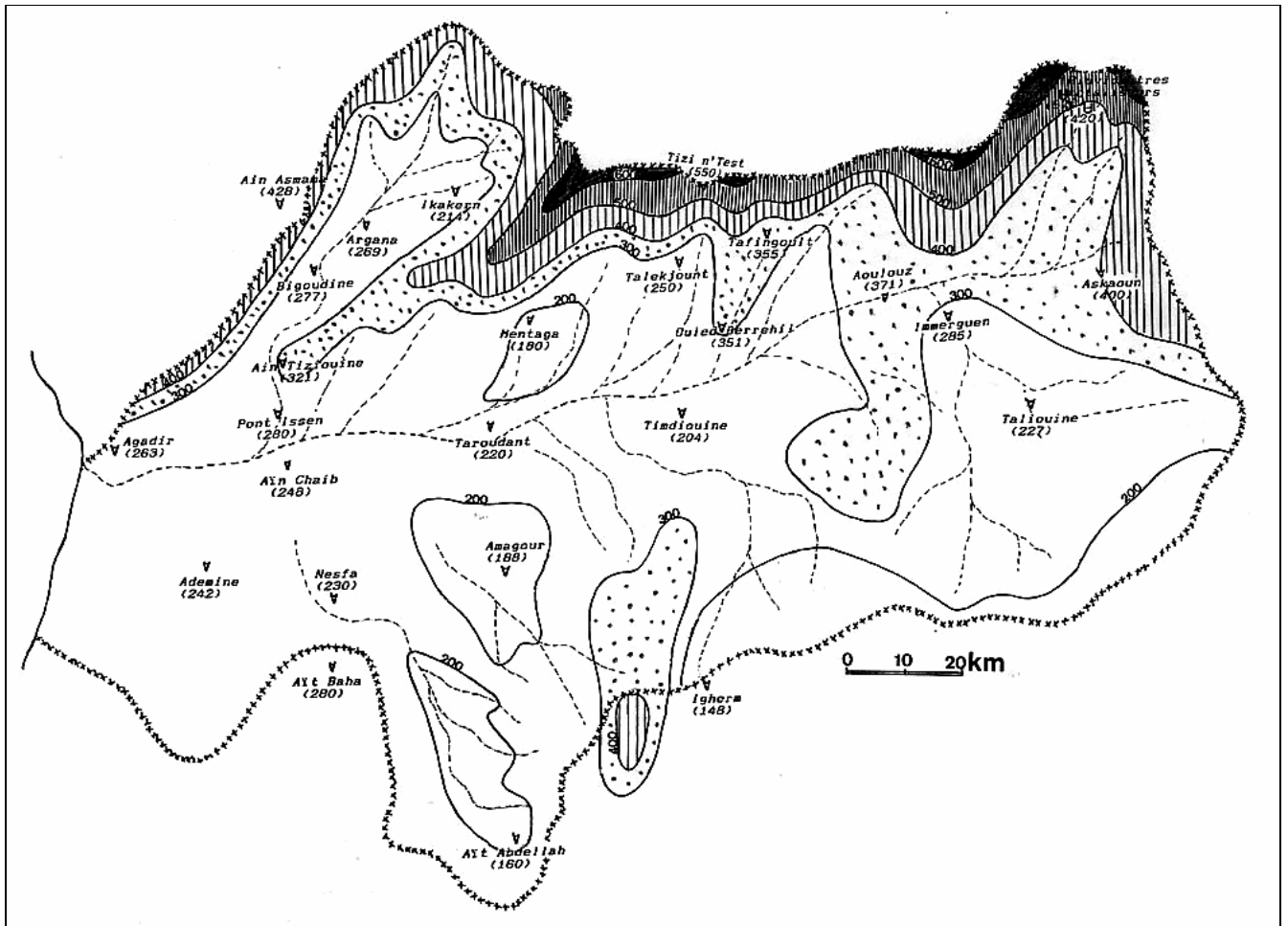


Figure 40 : Carte des isohyètes du bassin de Souss de 1960 à 1990

Sur la figure 40, nous avons tracé la carte des isohyètes moyennes du bassin du Souss de la période 1960-1990, à partir des données de 28 stations pluviométriques, ainsi qu'à partir de différentes cartes d'isohyètes, établies pour différentes périodes. La lecture de cette carte appelle les constatations suivantes:

- Le Haut Atlas est très pluvieux au-delà de 1000 m. Il reçoit en moyenne entre 400 et 650 mm par an.
- La pluviosité sur la plaine est faible et relativement homogène, elle varie de 200 à 350 mm par an.
- La pluviométrie sur l'Anti-Atlas est beaucoup plus faible que sur le Haut Atlas. Elle est médiocre par rapport à ses altitudes, mais relativement conforme à la latitude pré-saharienne.
- L'effet d'abri a atténué les hauteurs de pluies annuelles dans certaines stations du Haut Atlas, tel Ikakern, Talekjounte, ou Argana, qui ne reçoivent que 270, 250 et 269 mm, bien qu'elles soient situées à des altitudes élevées: respectivement 1100, 725 et 700 m.

Le calcul des lames d'eau moyennes précipitées sur les bassins du Souss se présente alors ainsi :

*** Bassin du Souss à Aoulouz :**

$$P = (150 \cdot 568,9) + (250 \cdot 1876,7) + (350 \cdot 1126) + (450 \cdot 599) + (550 \cdot 192) + (650 \cdot 84) / 4446,6$$

$$= 310 \text{ mm.}$$

*** Bassin du Souss à Taroudant :**

Les surfaces planimétrées étant :

	Bassin moyen	bassin d'Aoulouz	Totalité du bassin
moins de 200 mm	493,8 km ²	568,9 km ²	1062,3 km ²
de 200 à 300 mm	2547,6 km ²	1876,7 km ²	4424,3 km ²
de 300 à 400 mm	1261,6 km ²	1126 km ²	2387,6 km ²
de 400 à 500 mm	255,1 km ²	599 km ²	854,1 km ²
de 500 à 600 mm	259,6 km ²	192 km ²	451,6 km ²
plus de 600 mm	46,7 km ²	84 km ²	130,7 km ²
	4864,4 km ²	4446,6 km ²	9311 km ²

Tableau 7: Résultats du planimétrage de la carte des isohyètes du bassin de Taroudant

La lame moyenne précipitée est par conséquent :

$$P = (150 \cdot 1062,7) + (250 \cdot 4424,3) + (350 \cdot 2387,6) + (450 \cdot 854,1) + (550 \cdot 451,6) + (650 \cdot 130,7) / 9311$$

$$= 302 \text{ mm.}$$

*** Bassin du Souss à Aït Melloul :**

	Bassin aval	bassin moyen	bassin amont	total bassin
Moins de 200 mm	816 km ²	493,8 km ²	568,9 km ²	1878,7 km ²
200-300 mm	4963 km ²	2547,6 km ²	1876,7 km ²	9387,3 km ²
300-400 mm	668 km ²	1261,6 km ²	1126 km ²	3055,6 km ²
400-500 mm	532 km ²	255,1 km ²	599 km ²	1386,1 km ²
500-600 mm	147 km ²	259,6 km ²	192 km ²	598,6 km ²
Plus de 600 mm	38 km ²	46,7 km ²	84 km ²	168,7 km ²
	7164 km ²	4864,4 km ²	4446,6 km ²	16475 km ²

Tableau 8: Résultats du planimétrage de la carte des isohyètes du bassin d'Aït Melloul

$$P = (150 \cdot 1878,7) + (250 \cdot 9387,3) + (350 \cdot 3055,6) + (450 \cdot 1386,1) + (550 \cdot 598,6) + (650 \cdot 168,7) / 16475$$

$$= 289 \text{ mm}$$

Sur le tableau suivant, nous allons récapituler tous ces résultats d'estimation de la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin:

Bassin du Souss....	à Aoulouz	à Taroudant	à Ait Melloul
Altitudes moyennes	1750 m	1450 m	1100 m
Moyenne arithmétique	370 mm	262 mm	276 mm
Polygones de Thiessen	293 mm	303 mm	279 mm
Carte des isohyètes	310 mm	302 mm	289 mm
Coefficient de variation	9,3 %	6,2 %	1,8 %

Tableau 9: Estimations des précipitations moyennes annuelles

L'examen du tableau, met en lumière la légère variation des résultats des trois méthodes, et il est évident que c'est la méthode des isohyètes, qui tient compte de tous les facteurs géographiques, notamment l'altitude, qui peut offrir les résultats les plus sûrs et les moins contestables. Les précipitations moyennes annuelles augmentent logiquement -comme le montre le résultat des isohyètes- avec l'altitude moyenne du bassin. Elles sont plus élevées dans le bassin amont, puis diminuent légèrement vers l'aval. Et globalement, on peut dire que la pluviométrie dans le Souss, est très moyenne pour une zone subaride, et l'essentiel des pluies s'abat sur les reliefs du Haut-Atlas.

Nous avons, enfin, calculé, à l'aide de la carte des isohyètes, la hauteur moyenne des précipitations dans le sous-bassin d'Issen, pour lequel nous disposons aussi de données hydrométriques. La valeur trouvée, 336 mm, nous servira plus loin, dans l'étude des bilans globaux.

3 - Variation saisonnière des précipitations :

La variation saisonnière des pluies dans le bassin versant du Souss, sera calculée à partir des valeurs moyennes mensuelles de la lame d'eau précipitée sur les sous-bassins hydrographiques, afin de quantifier la part moyenne de chaque saison, à savoir :

- **L'automne** qui compte les mois de septembre, octobre et novembre.
- **L'hiver**, qui compte les mois de décembre, janvier et février.
- **Le printemps**, qui compte les mois de mars, avril et mai.
- **L'été**, qui compte les mois de juin, juillet et août.

* **Bassin du Souss à Aoulouz :**

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy. mensuelle	17,1	32,1	56,1	52,8	52	53	44,8	39	13	6,6	1	2,2
Moy. saisonnière	105,3 mm			158,4 mm			97 mm			9,8 mm		

Tableau 10: Précipitations saisonnières à Aoulouz

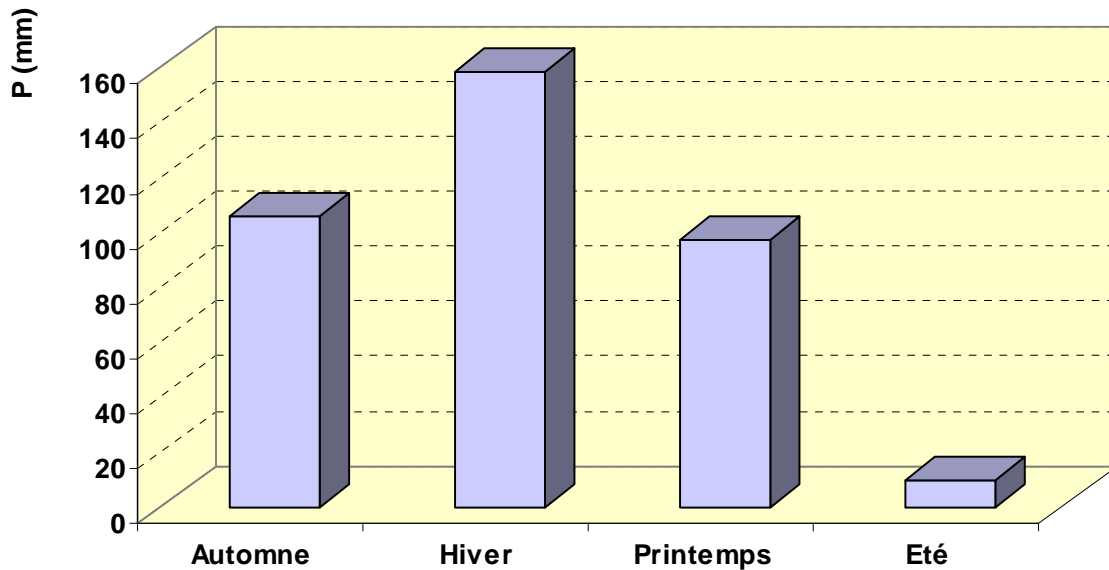


Figure 41 : Précipitations moyennes saisonnières à Aoulouz

Dans le bassin amont du Souss, c'est la saison d'hiver qui reçoit un maximum de chutes de pluies, suivie de l'automne et le printemps, avec une centaine de millimètres chacun. (fig. 41). En fait, à Aoulouz, les mois de novembre à mars sont les plus arrosés, avec des hauteurs d'eau très voisines. Ces cinq mois reçoivent, à eux seuls, 70 % des pluies annuelles. De ce fait, l'hiver, qui compte les mois de décembre, janvier et février, se trouve très arrosé. En ce domaine semi-continentale, c'est l'hiver qui constitue la saison pluvieuse. Remarquons aussi, que l'été, qui constitue la saison sèche, reçoit quand même une dizaine de millimètres de pluies, grâce à quelques orages qui éclatent généralement au mois de juillet.

* Sur le bassin du **Souss à Taroudant**, l'évaluation de la lame d'eau saisonnière, à partir des polygones de Thiessen, a donné les résultats suivants :

L'automne:

$$P = (PAoulouz * 5056) + (PTafing * 429) + (POuled B * 581) + (PTalek * 629) + (PTimd * 436) + (PIgherm * 1462) + (PMentaga * 171) + (PTaroud * 175) + (PAmagour * 438) / 9377$$

P = 88,5 mm.

L'hiver :

$$P = 800870 + 80266 + 94122 + 71643 + 46303 + 85235 + 11149 + 18830 + 39551 / 9377 = 133,1 \text{ mm.}$$

Le printemps :

$$P = 668\,541 / 9377 = 71,3 \text{ mm.}$$

L'été : $P = 62\,399 / 9377 = 6,65 \text{ mm.}$

La variation saisonnière (fig. 42), paraît identique à celle du bassin amont, bien que les hauteurs de pluies soient ici moins importantes. L'hiver reste la saison la plus arrosée, largement devant l'automne et le printemps, qui totalisent des hauteurs semblables. Les pluies d'été sont très faibles, elles s'abattent généralement en amont du bassin.

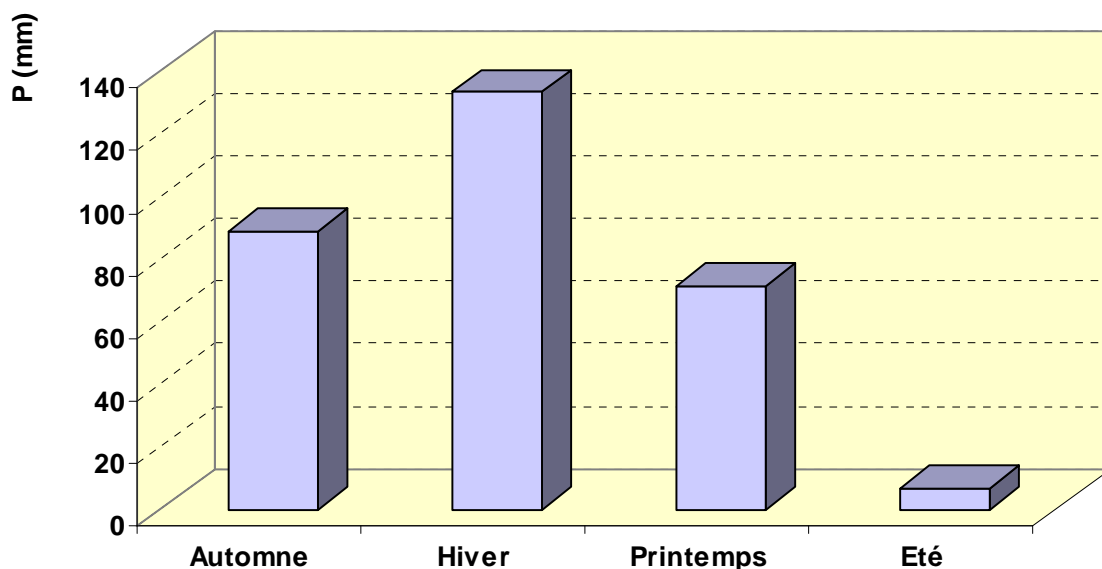


Figure 42 : Variation des pluies saisonnières dans le bassin du Souss à Taroudant

* Pour le bassin du **Souss à Aït Melloul**, les polygones de Thiessen se présentent sur la figure 39.

La lame d'eau moyenne précipitée en automne, serait donc :

$$P = 1\,350\,862 / 16575 = 81,5 \text{ mm.}$$

En hiver $P = 127,5 \text{ mm}$, au printemps $P = 64 \text{ mm}$ et en été, la lame moyenne précipitée est de l'ordre de **4,8 mm**. (Figure 43).

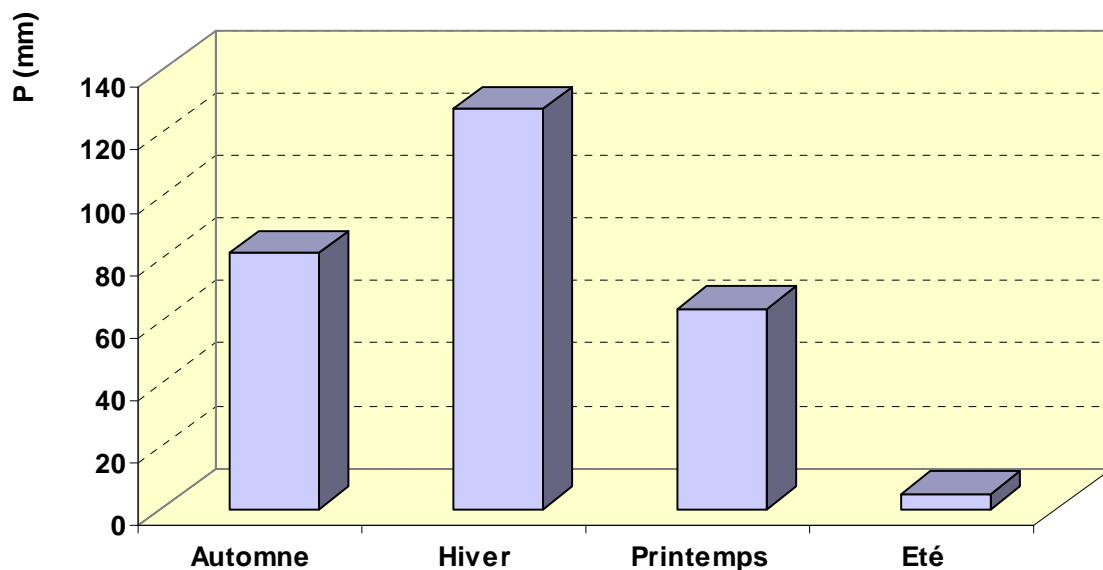


Figure 43: Variation des pluies saisonnières dans le bassin du Souss à Aït Melloul

Cette figure semble "calquée" sur les deux précédentes. Les proportions des saisons en précipitations sont assez semblables sur les trois bassins versants. L'hiver est partout, en ces milieux arides et subarides, la saison d'abondance pluviale, et l'été représente la saison de pénurie.

L'irrégularité interannuelle se double donc de l'irrégularité saisonnière des pluies. L'hiver reçoit à lui seul, 45 % des chutes d'eau annuelles, et environ 74 % avec l'automne.

Dans toutes les stations, c'est l'hiver qui l'emporte toujours (sauf à Ikkern, 94 mm pour l'automne, contre 81 mm en hiver). Le printemps totalise encore une part appréciable des pluies annuelles: en moyenne 24 %, parfois même 29 %, comme dans les stations de Mentaga et Pont Issen. En revanche, le printemps se contente seulement de 15 % des pluies annuelles à la station de Tafingoult, et 17 % à Ikkern.

L'été est partout sec, il reçoit à peine 2 % en moyenne. Le maximum est établi à l'amont du bassin, avec 2,7 % à Aoulouz, et le minimum s'enregistre souvent sur la plaine du Souss comme à Aïn Chaib, ou sur les piémonts du Haut-Atlas, comme à Talekjounte, avec seulement 0,2 % des précipitations de l'année.

4 - Précipitations mensuelles :

Les lames d'eau moyennes mensuelles précipitées sur les bassins du Souss sont résumées sur le tableau suivant et sur la figure 44.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Bassin d'Aoulouz	17,1	32,1	56,1	52,8	52,3	53,3	44,8	39,5	12,7	6,6	1,00	2,20
Coefficients	0,55	1,04	1,82	1,71	1,69	1,73	1,45	1,28	0,41	0,21	0,03	0,07
Bassin de Taroudant	14,0	25,7	48,9	45,1	44,3	43,7	34,4	28,0	8,87	3,97	0,95	1,72
Coefficients	0,56	1,03	1,96	1,81	1,77	1,75	1,38	1,12	0,35	0,16	0,04	0,07
Bassin d'Aït Melloul	10,4	23,5	47,5	43,9	42,5	40,6	32,6	24,5	6,8	2,79	0,70	1,29
Coefficients	0,45	1,02	2,06	1,90	1,84	1,76	1,41	1,06	0,29	0,12	0,03	0,06

Tableau 11 : Précipitations mensuelles (en mm) et leurs coefficients dans les bassins du Souss

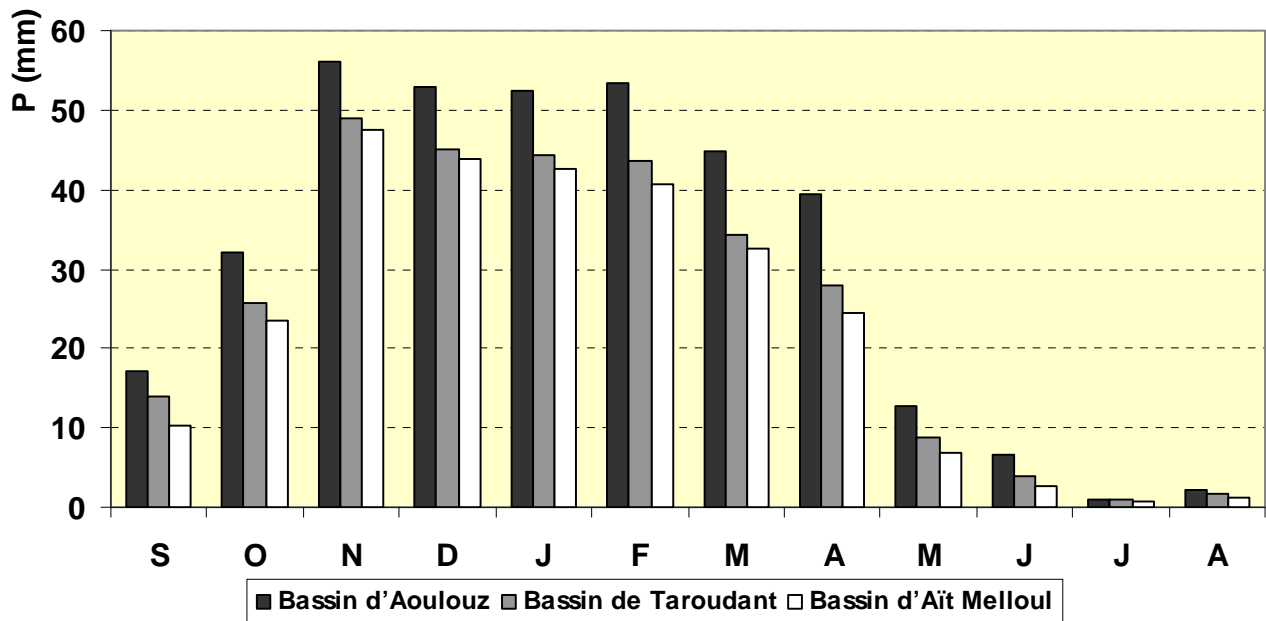


Figure 44: Variation mensuelle des précipitations dans les bassins du Souss

A première vue, nous remarquons que la variation mensuelle des pluies sur les trois bassins est identique: le maximum se situe au mois de novembre dépassant de très peu les mois de décembre, janvier et février. Ces quatre mois totalisent 60 % des précipitations de l'année, et 90 % de ces précipitations tombent pendant sept mois, d'octobre à avril.

Les coefficients mensuels permettent de préciser encore mieux les caractères de la répartition de la pluie dans l'année: sept mois, d'octobre à avril inclus, dépassent la moyenne mensuelle; le maximum se situe d'une façon globale en novembre, mais plusieurs stations reçoivent leur maximum au mois de décembre, en particulier dans la plaine, comme Ouled Berrehil, Taroudant, Aïn Chaib, Aïn Tiziouine, Pont Issen ou Agadir. Selon les stations, les coefficients mensuels maxima oscillent généralement entre 2 et 2,4, mais peuvent atteindre trois fois la moyenne dans le Haut-Atlas occidental (au bassin d'Issen): 2,9 à Ikakern et Aïn Tiziouine, et 3 à Bigoudine et pont Issen. Toutes les stations offrent un maximum secondaire, qui est variable selon le mois du maximum principal. Il se situe presque toujours entre novembre et février.

Le minimum absolu s'établit toujours au mois de juillet, durant lequel, nous n'avons pas du tout enregistré de précipitations à Taroudant, à Mentaga, à Aïn Chaib, à Aït Baha et à Pont Issen (toutes des stations de plaine excepté Aït Baha). Le total pluviométrique n'excède qu'exceptionnellement 2 mm pendant ce mois, il constitue avec juin et août, les mois les plus secs de l'année, à cause de la rareté des phénomènes orageux dans le bassin: le Haut-Atlas constitue sans doute par son élévation, une barrière assez étanche à la progression des perturbations orageuses qui sont connues dans le Maroc nord-atlasique.

5 - Nombre de jours de pluies, intensité et violence :

Un jour de précipitation est considéré comme le jour où l'on a mesuré au moins 0,1 mm dans les pluviomètres. Et sur ce point, il faut signaler que "la hauteur réelle précipitée devrait dépasser ce chiffre, car une partie de la pluie tombée ne ruisselle sur l'entonnoir, que lorsque celui-ci est suffisamment mouillé. La quantité d'eau nécessaire au mouillage de l'entonnoir est de 0,1 à 0,3 mm pour des appareils en bon état". (Loup, 1960).

Sur l'ensemble du bassin versant, le nombre de jours de pluie est très faible. Il ne dépasse pas 35 en moyenne sur la plaine et les piémonts, et même dans quelques stations de montagne, comme Askaoun (à 1750 m), ou Tafingoult (à 800 m). Ce nombre s'élève cependant à 51 à Aoulouz, et peut atteindre plus dans le haut bassin du Tifnoute (en amont d'Aoulouz).

Les mois qui comptent généralement le plus de journées pluvieuses, s'étalent de novembre au mois d'Avril. A Agadir, Taroudant et Aoulouz, qui offrent de longues séries de données, c'est le mois de février qui l'emporte souvent. Il compte en moyenne 4 jours de pluie à Taroudant, 5 à Agadir et 6 à Aoulouz. Cette dernière station offre un autre maximum situé au mois d'avril, avec 6,5 comme moyenne de nombre de journées pluvieuses. (Tab. 12).

Stations	Périodes		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Askaoun (1950 m)	1962-1964 & 1982-1988	J	2,2	3,4	4,6	3,9	3,6	3,6	2,2	2,4	1,9	0,9	0,2	0,4	29,3
		I	7	11	15,7	16,6	11,5	14,7	11,1	11,1	8,6	5,5	2,4	4	12,5
Tafingoult (800 m)	1962-1975	J	1,9	2,8	4,7	4,1	3,2	3,8	2,6	2,8	0,9	0,7	0,3	0,2	28
		I	8	12,2	14,2	18,4	18,6	19,6	10,6	7,8	7	4,3	5,5	3,3	13,3
Aoulouz (700 m)	1960-1990	J	2,7	4,6	5,8	5,2	5,1	6,2	5,6	6,5	4,1	2,7	0,9	1,3	50,7
		I	6,3	7	9,7	10,2	10,2	8,6	8	6,1	3,1	2,4	1,1	1,6	7,3
Taroudant (225 m)	1967-1990	J	1,3	2,6	4	3,1	3,7	3,8	3,7	2,5	1	0,1	0	0,2	26
		I	3,8	6,6	10,4	7,1	9,7	7,7	7,4	8,5	2,5	2	0	1,6	7,95
Bigoudine (620 m)	1969-1978	J	1,8	3,3	3,8	5,4	4,6	4,1	4	3,7	1,4	0,3	0,1	0,7	33,2
		I	6	4,5	6,4	10,1	10,7	8,4	10	6,3	3,9	1,7	1	1,3	7,82
Issen Pont (142 m)	1968-1977	J	1	2,3	2,8	4,1	3,7	3	3,8	3	0,5	0,4	0	0	24,6
		I	9,3	3,8	10,9	16,7	9,3	12,9	11,5	10,6	6,3	9,2	0	0	11
Agadir (32 m)	1960-1987	J	1,5	3,3	4,6	4,6	4,8	5,1	4,8	3,4	1,5	1,3	0,1	0,4	35,4
		I	2,1	5,3	9,3	10,6	8,7	7,8	5,8	7,6	2,4	1	0,3	0,5	7,2

Tableau 12 : Nombres moyens de jours de pluies (J) et intensités moyennes journalières (I) en mm/j

Sur ce tableau, nous avons porté aussi l'intensité journalière moyenne de la pluie, qui s'obtient en divisant les totaux pluviométriques mensuels ou annuels, par le nombre moyen de jours de pluies, respectivement, dans le mois ou l'année; ce qui nous donne l'intensité moyenne mensuelle et annuelle, par jour pluvieux.

L'intensité moyenne annuelle des journées pluvieuses, est globalement modérée, et peu variable dans la plaine et les stations peu élevées. Elle va de 7,2 mm/jour à Agadir, 7,3 à Aoulouz, 7,95 à Taroudant à 11 mm/jour au Pont Issen; elle augmente cependant en montagne: 12,5 mm par jour pluvieux à Askaoun et 13,3 mm à Tafingoulte.

Les intensités journalières mensuelles moyennes sont très faibles en été, mais se relèvent à partir du mois d'octobre. Les maxima interviennent en décembre, janvier ou février, et varient de 10,2 à 19,6 mm/jour et sont toujours plus forts en montagne qu'en plaine.

Le dépouillement des registres des précipitations journalières de 1960 à 1990, nous a permis de connaître et d'analyser les lames d'eau maxima tombées en 24 heures. Le record de la pluie journalière est enregistré à Tafingoulte avec 112 mm le 6 février 1963. C'est un chiffre relativement élevé pour la région, puisque l'intensité journalière n'excède ici qu'exceptionnellement 100 mm. Ce fut le cas de deux autres journées seulement: le 4 janvier 1970 à Bigoudine avec 104 mm, et le 25 mars 1974 au Pont Issen (100,5 mm). La station d'Agadir détient le record de 48 heures les 12 et 13 avril 1982 avec respectivement 97,9 mm et 97,2 mm, soit 195,1 mm en deux jours successifs (ce qui représente plus que la moyenne annuelle à Mentaga, Amagour, Aït Abdellah ou Igherm).

Au milieu du bassin, Taroudant a reçu 70 mm le 9 novembre 1988, et le maximum à Aoulouz a été enregistré les 20 mars 1962 et 16 novembre 1983, avec 75 mm de pluie.

Concernant toujours la violence et l'intensité des averses sur le bassin, nous aurions été sûrement mieux informés, si les régions montagneuses avaient été équipées de pluviographes ou pluviomètres enregistreurs, afin d'y suivre le déroulement instantané des précipitations. Il est enfin certain qu'en ce milieu relativement sec, l'intensité légèrement élevée des pluies, compense la faiblesse et la médiocrité du nombre de jours de pluie dans l'année, ce qui ramène les hauteurs moyennes annuelles aux environs de 300 mm, chiffre que nous pouvons qualifier d'important pour une latitude pré-saharienne.

Les maxima quotidiens, relevés dans le bassin du Souss, ne sont pas moins importants que ceux observés plus au nord du pays : sur le bassin d'Oum-Er-Bia par exemple (latitude 33° N), qui reçoit en moyenne 540 mm de précipitations par an, le maximum journalier relevé par J. Loup sur une série de 1925 à 1949, se situe à Khenifra avec seulement 108 mm; et puis, sur le Moyen-Atlas, Ifrane, une des villes les plus humides du Maroc (fig. 53), a reçu pour son maximum de pluie par jour pendant 25 ans, une hauteur de 144 mm. Ces records restent, cependant, moins élevés que ceux observés en Tunisie Tellienne ou dans le Rif marocain: l'Ouergha, un affluent rifain du Sebou, a reçu pour la crue du 28 et 29

décembre 1956, dans ses branches supérieures, environ 300 mm, et même 400 mm sur son affluent "l'oued Aoudour" (ce qui suppose 200 mm ou plus en un jour). Pour la Tunisie, les maxima journaliers sont de 224, 231 et 264 mm/j à quelques stations.

Dans le Souss, les averses ne s'étendent pas toujours à la totalité du bassin versant: pendant une période de 20 ans, de 1967 à 1987, les stations d'Agadir, de Taroudant et d'Aoulouz n'ont connu leurs plus fortes averses annuelles en même temps que deux fois: le 5 février 1976 et le 6 juillet 1985. En revanche, les dates des averses maxima à Agadir et Taroudant ont concordé 7 fois en vingt ans, et trois fois entre Aoulouz et Taroudant.

Une étude statistique des précipitations journalières maximales de chaque année, nous a permis de connaître la période de retour d'une intensité particulière, ainsi que l'intensité des averses décennales ou centennale. Nous avons ajusté, pour cela, une loi statistique à un échantillon de pluies journalières maximales observées à Agadir pendant 36 ans, à Taroudant pendant 23 ans et à Aoulouz pendant 35 ans. Le résultat est résumé dans le tableau suivant :

Période de retour	Aoulouz	Taroudant	Agadir
Deux ans	42 mm/jour	33,3 mm/j	39,7 mm/j
Cinq ans	52,9 mm/jour	44 mm/j	58 mm/j
10 ans (Averse décennale)	60,1 mm/jour	51 mm/j	70 mm/j
50 ans	76 mm/jour	66,5 mm/j	97 mm/j
100 ans (Averse centennale)	82,8 mm/jour	73 mm/j	108 mm/j

Tableau 13: Estimation de la hauteur des averses maxima dans le bassin du Souss

Il ressort de ces chiffres que les averses les plus importantes s'abattent sur la station côtière d'Agadir, qui reçoit des influences océaniques. Les perturbations pluvieuses proviennent presque toujours du large de l'Atlantique, quand le front polaire se déplace vers les basses latitudes, et plusieurs dépressions traversent le littoral marocain vers l'intérieur des terres.

L'averse centennale à Agadir, ne paraît cependant pas très élevée, mais signalons que la hauteur quotidienne la plus importante observée à Agadir, est relevée en décembre 1939 (qui n'entre pas dans le cadre de l'étude statistique ci-dessus) avec 123,3 mm/jour; ce chiffre reste cependant exceptionnel, puisque jusqu'en 1990, l'averse quotidienne qui vient en seconde position, n'a fourni que 97,9 mm le 12 Avril 1982.

Nous avons constaté, par ailleurs, que les maxima quotidiens relevés à Aoulouz, se sont situés sept fois en 35 ans aux mois d'avril et de mai. Ces averses se manifestent à l'est du bassin, généralement quand la dépression saharienne couvre le Maroc et se soude avec les dépressions du front polaire. Les

invasions d'air polaire maritime et d'air tropical maritime au contact de l'air tropical continental, provoquent des pluies orageuses importantes (perturbations dites du front des Alizés).

Les averses du Souss qui sont donc d'une violence passablement excessive, se combinent avec la concentration des précipitations en un seul semestre, et les pluies ont un caractère très local, ceci engendrera des grandes variations des débits, avec des écoulements temporaires et des crues locales ou régionales, qui peuvent avoir une extension à tout le bassin versant.

III - Les températures

L'étude hydrologique d'un bassin versant, devrait comporter l'analyse de son bilan thermique, dans lequel interviendraient, non seulement les calories apportées par le rayonnement solaire, mais aussi les échanges de chaleur entre le sol, l'atmosphère et les nappes d'eau.

Généralement, comme c'est le cas dans le bassin du Souss, on ne dispose que de mesures de température effectuées sous abri au voisinage du sol dans des stations météorologiques. En fait, un thermomètre placé en un lieu donné, peut subir de nombreuses influences capables de modifier sa température: la température propre de l'air ambiant bien sûr, mais aussi les différents rayonnements qui peuvent atteindre l'appareil. Une mauvaise installation par exemple, peut laisser passer un rayonnement réfléchi ou diffusé par le sol ou par les obstacles situés à proximité de l'abri. Il y a aussi le rayonnement propre à l'abri chauffé par le soleil et le rayonnement propre au thermomètre. Le rôle d'un abri météorologique très bien installé est donc de réduire au maximum l'influence des rayonnements perturbateurs.

Dans les stations de mesure du Souss, les relevés du thermomètre à minima sont faits à 7h et le thermomètre à maxima est lu à 21h. Les résultats sont portés et consignés sur des tableaux. Ces postes thermométriques sont relativement peu nombreux dans le bassin du Souss. Seules les stations d'Agadir et Taroudant ont été mises en service depuis longtemps (années 20) par les services de la météorologie et continuent toujours à fonctionner. La station d'Aoulouz a été mise en service en janvier 1969 et gérée par l'administration de l'hydraulique. D'autres stations ont fourni des données et des mesures en quelques années, mais ont, pour la plupart, été abandonnées.

A la station d'Aoulouz, dans le bassin amont du Souss, les températures moyennes annuelles sont très peu variables; elles fluctuent entre 17,9 et 21,1°C et la moyenne interannuelle étant de 19,7°C. A l'échelle mensuelle, ce sont les mois d'août et de juillet qui connaissent les plus hautes températures de l'année: respectivement 28,5 et 27,5°C en moyenne, alors que janvier et décembre sont les mois les plus frais avec des moyennes respectives de 13,3 et 13,9°C (fig.45). Les amplitudes thermiques sont ici

assez élevées, et on verra plus loin que plus on s'approche de la côte atlantique, et plus ces amplitudes tendent à s'atténuer.

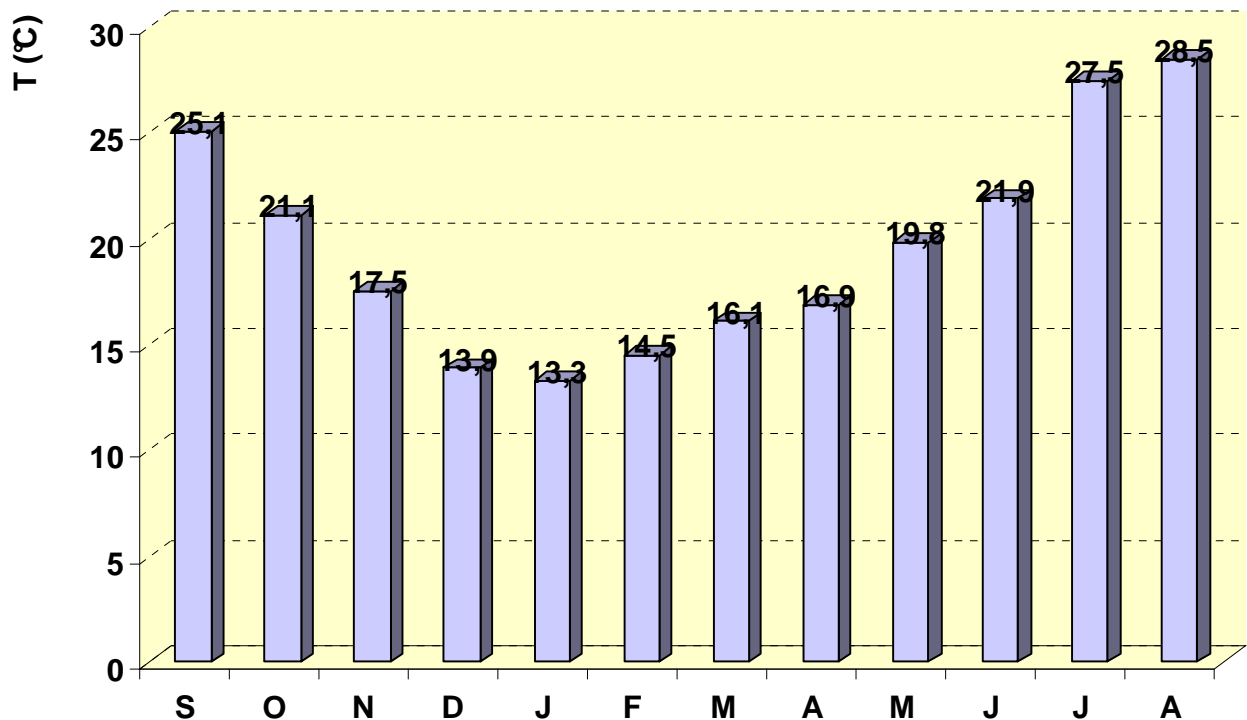


Figure 45: Variation des températures mensuelles à Aoulouz

A Aoulouz, à 150 km du littoral (en vol d'oiseau), les températures maximales absolues mensuelles varient en moyenne de 24,3°C en janvier à 42,4°C en juillet. Le maximum absolu s'élevait à 48,1°C en juillet 1986. Quant aux températures minimales moyennes extrêmes, elles varient de 3,8°C en janvier à 14,2°C au mois d'août, avec un minimum absolu moyen de 0,1°C en janvier 1980.

A Taroudant, à 70 Km de la côte, où la température moyenne est de 19,7°C, les écarts thermiques sont encore élevés. Les amplitudes diurnes sont en moyenne de 17°C en hiver, et de l'ordre de 20°C en été. Les moyennes mensuelles des maxima extrêmes varient de 20,4°C en décembre 1973, à 49°C en juillet 1979, et les minima extrêmes de -3,2°C en décembre 1979 à 17,4°C en août 1968.

A l'échelle interannuelle, la variation des températures moyennes est très faible: de 18,6° en 71-72 à 20,8° en 86-87, à l'opposé de la variation mensuelle qui va de 13,6° en janvier à 26,5° au mois d'août comme l'illustre la figure 46.

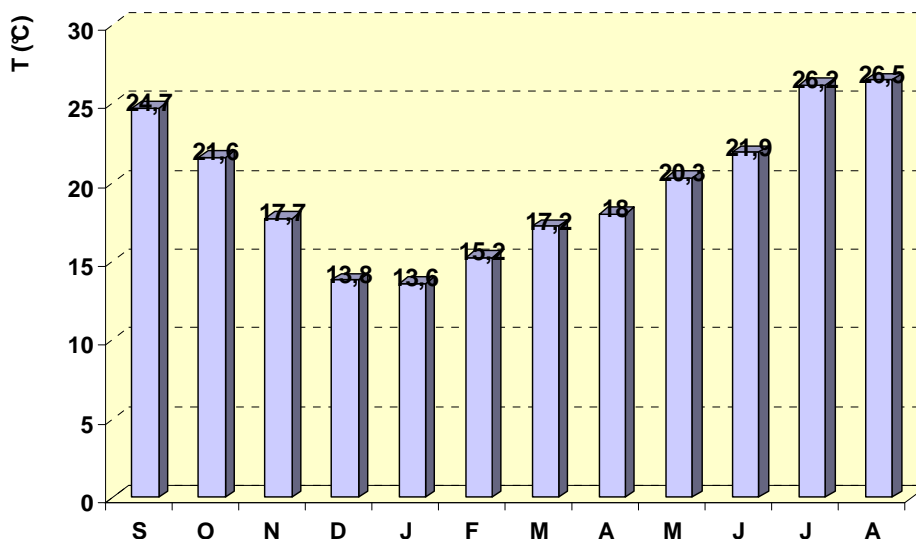


Figure 46: Variation des températures mensuelles à Taroudant

A Agadir -au bord de la mer- les températures ont généralement des moyennes moins élevées qu'à Taroudant ou Aoulouz, surtout en été. En revanche les mois de novembre, décembre et janvier sont plutôt légèrement moins frais à Agadir. Les températures minimales et les minima extrêmes y sont, cependant, plus élevés toute l'année de 2 à 3°C en moyenne. Grâce aux influences océaniques donc, les amplitudes diurnes sont relativement faibles: environ 12° en hiver et 10° en été. Il en est de même pour les écarts saisonniers (4,85° contre 7,62 à Taroudant et 8,62 à Aoulouz).

Les moyennes mensuelles des températures minimales varient de 8° en janvier à 18,2° au mois d'août, et les températures maximales de 20,3 à 26,4°C. La moyenne des minima mensuels la plus faible a été enregistrée en janvier 1961 avec 4,7°C, et le maximum des températures maximales est enregistré en août 1976, avec une moyenne de 38°C. La température annuelle varie de 17,5° en 1970-71 à 19,3° en 1989-90. La moyenne s'établit à 18,4° et la variation mensuelle est illustrée par la figure 47.

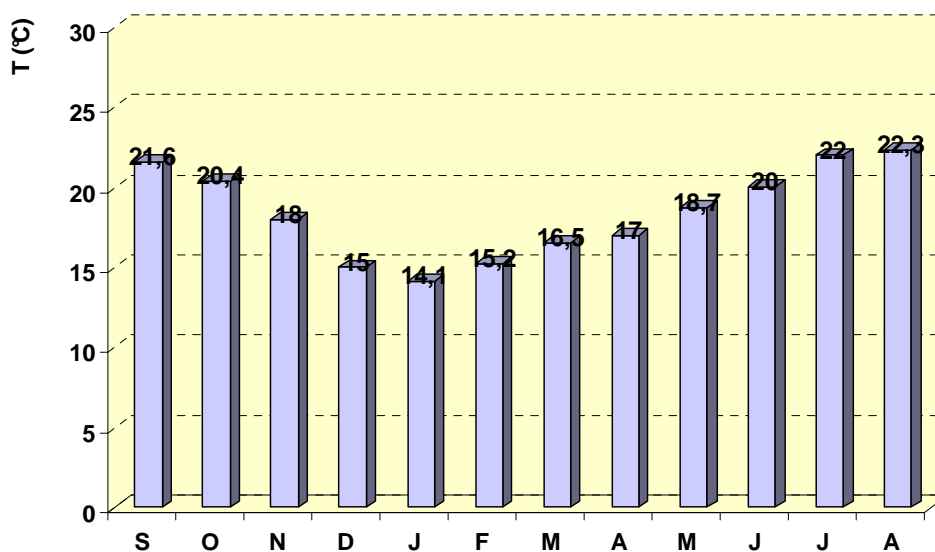


Figure 47: Variation des températures mensuelles à Agadir

Comme à Aoulouz et à Taroudant, mais d'une façon beaucoup moins accusée, on peut aussi distinguer ici une saison chaude continue de mai au mois d'octobre, qui fait suite à un semestre plus frais, de novembre à avril.

Deux postes thermométriques ont été installés sur les hautes montagnes: Tizi N'Test sur le Haut-Atlas (à 2100 m), et Igherm sur l'Anti-Atlas (à 1700 m). Ces deux postes ont fourni des informations -certes peu nombreuses- mais très précieuses sur les conditions thermiques du cadre montagneux du bassin du Souss. La température moyenne annuelle à Igherm est de l'ordre de 14,5°C, et elle n'est que de 13,1° à Tizi N'Test. Les données des deux postes nous ont permis de constater que les écarts de températures moyennes entre l'hiver et l'été sont très élevées dans l'Anti-Atlas que dans le Haut-Atlas (14° contre 9°) pour des moyennes annuelles très peu différentes; et que les températures descendent souvent à des minima inférieurs à zéro pendant l'hiver au-delà de 1800 m d'altitude.

Concernant la plaine du Souss, nous avons porté sur la figure 48, un schéma comparatif des températures mensuelles à Agadir, Taroudant et à Aoulouz. Il montre une certaine concordance entre les températures à Aoulouz et à Taroudant. Là nous trouvons en moyenne, 3 mois très chauds: juillet, août et septembre, avec une moyenne nettement supérieure à 25°C, et une moyenne des maxima supérieurs à 30°C; 6 mois relativement chauds: de mars à juin, et octobre-novembre, avec une moyenne de 20°, et des maxima supérieurs à 25°C; et enfin 3 mois doux: de décembre à février avec 14°C de moyenne.

La station d'Agadir, qui jouit d'un climat doux, de littoral, se démarque des deux autres stations concernant les températures d'été, qui sont largement plus fraîches à Agadir :

de juillet à septembre, la moyenne n'est que de 21,9°. En revanche, les températures de novembre à février sont légèrement plus élevées à Agadir. Signalons, enfin, que durant toute l'année, les minima sont constamment plus élevés à Agadir d'environ 2°. Egal e ment pour les minima extrêmes et d'une manière plus nette encore.

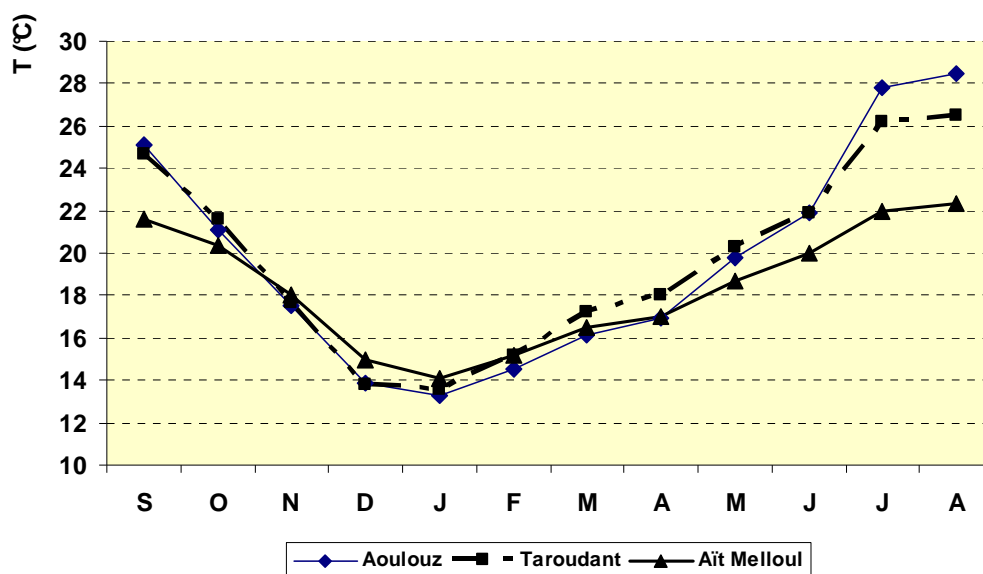


Figure 48: Températures moyennes mensuelles à Aoulouz, à Taroudant et à Agadir

En conclusion nous pouvons dire que les écarts de températures diminuent visiblement en se rapprochant de l'océan. Les zones côtières jouissent d'un climat océanique, marqué par une douceur en hiver et un rafraîchissement en été, alors qu'en amont de Taroudant, les écarts diurnes et saisonniers sont de plus en plus importants vers le fond du bassin, et ils le sont, paraît-il, davantage vers l'Anti-Atlas que vers le Haut-Atlas.

IV - les vents dans le souss

Les vents connus dans le bassin du Souss sont généralement des vents d'E et d'W qui soufflent dans l'axe de la plaine. Les vents d'est, connus sous le nom de "Chergui", sont des vents chauds desséchants. Ils se manifestent de la fin du printemps jusqu'au milieu de l'automne, en apportant la sécheresse et des températures excessives. Ils doivent leur origine à la présence combinée, d'une part, de hautes pressions sur la région méditerranéenne, et d'autre part, à une extension vers le nord de la dépression saharienne: l'air continental progresse dans la région, soit lentement soit en rafales violentes selon que le gradient barométrique est lâche ou serré.

De l'ouest, l'océan donne naissance à une brise de mer dont l'influence se fait surtout sentir dans la zone côtière et sur une profondeur de 25 à 30 km à l'intérieur des terres. Cette brise de mer diminue les maxima de températures de 3 à 4°C et augmente l'humidité relative de 30 à 40 % .

Les effets climatiques de ces vents dépendent donc de l'origine de ceux-ci; ils accentuent ou atténuent le degré d'aridité selon qu'ils soufflent d'est ou d'ouest. Quand à leurs effets topographiques, ils sont illustrés par des formations dunaires observées dans la zone côtière et au SE d'Aït Melloul, ainsi qu'à l'intérieur des terres, particulièrement dans les zones déboisées, comme au sud de Taroudant où on trouve de nombreuses nebkhas.

V- Evaporations, aridité et étages bioclimatiques

Le terme d'évaporation désignera l'ensemble des phénomènes qui transforment en vapeur -par un processus spécifiquement physique- l'eau apportée par les précipitations et la renvoient dans l'atmosphère. On associe souvent à cette évaporation le phénomène de transpiration, qui est une évaporation biologique effectuée par les plantes, lesquelles, par leurs racines, vont puiser dans le sol l'eau nécessaire à leur développement et à leur vie.

On groupe donc sous le nom d'évapotranspiration, l'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration. La hauteur de la lame d'eau évapotranspirée dans le bassin versant pendant une période déterminée, est donc, son évaporation "totale" au cours de cette période.

L'évapotranspiration constitue -après les précipitations- le terme le plus important du bilan hydrologique. Et nous verrons plus loin que dans le bassin du Souss, l'évapotranspiration occupe la plus grande part de ce bilan, suite à des températures excessives, et un apport pluvial généralement insuffisant.

L'évaporation est mesurée dans les stations du Maroc à l'aide de l'évaporomètre de Piche, parfois - comme à Agadir- avec le bac Colorado, légèrement modifié pour l'adapter aux conditions marocaines. Ce bac Colorado est une cuve métallique de 1 m² de section, remplie d'eau et enterrée de 80 cm environ à l'écart de toute ombre portée. La hauteur d'eau évaporée est régulièrement relevée. A Taroudant et à Aoulouz, on utilise -hormis l'évaporomètre de Piche- un bac dit bac classe A, qui est une cuve étanche en forme de cylindre, de 25 cm de hauteur, et 120 cm de diamètre intérieur. Ce bac est posé sur des poutrelles en béton.

L'évaporomètre de Piche est constitué par un tube cylindrique en verre de 25 cm de long et 1.5 cm de diamètre suspendu à l'intérieur de l'abri météorologique. Ce tube gradué est fermé à sa partie supérieure, tandis que son ouverture inférieure est obturée par une feuille circulaire de papier filtre, fixée par capillarité. Le tube ayant été rempli d'eau distillée, celle-ci est évaporée progressivement par le papier buvard. La diminution du niveau d'eau permet de calculer le taux d'évaporation (généralement en mm/jour). Les stations de mesure sont gérées, soit par la météorologie nationale, soit par l'administration de l'hydraulique.

A Aoulouz, l'évaporation annuelle -mesurée avec le Piche- varie de 1636 mm en 1970-71, à 2934 mm en 1983-84; la moyenne annuelle est de l'ordre de 2256 mm. Le résultat diffère légèrement de celui donné par le bac classe A, avec lequel l'évaporation annuelle mesurée varie de 1658 mm à 3139 mm (toujours en 70-71 et 83-84), et la moyenne est ici de 2094 mm.

L'évaporation est plus accentuée à Aoulouz qu'à Taroudant (où la moyenne annuelle est de 1896 mm), bien que les moyennes des températures annuelles ne soient pas différentes. La cause en est certainement les vents chauds desséchants provenant de l'est (Chergui), et affectant les régions orientales et les montagnes de l'Anti-Atlas.

Les mesures relatives à la partie aval, sont fournies par la station d'Issen-pont située à 142 m d'altitude et à 40 km d'Agadir; elle couvre une dizaine d'années de 1968 à 1977. L'évaporation moyenne annuelle est ici de 2120 mm. A l'échelle mensuelle, les évaporations potentielles s'établissent comme suit :

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
184	210	162	137	119	127	154	156	166	146	203	216

Tableau 14: Evaporations mensuelles à la station d'Issen-pont

La figure 49 illustre le pouvoir évaporant mensuel de l'atmosphère à Aoulouz, à Taroudant et à Issen. Elle permet de tirer les conclusions suivantes:

- l'évaporation est légèrement plus élevée à Aoulouz qu'à Taroudant durant toute l'année (sauf en mai), et que, pendant l'hiver, l'évaporation est plus élevée à proximité de l'océan, que profondément à l'intérieur des terres, et inversement pendant l'été.
- On remarque aussi qu'à Taroudant et Issen, le mois de juin est plus clément que le mois de mai qui comporte souvent des jours de Chergui. L'évaporation atteint son maximum pendant la saison sèche, de mai à septembre. Juillet est souvent le mois le plus desséchant.

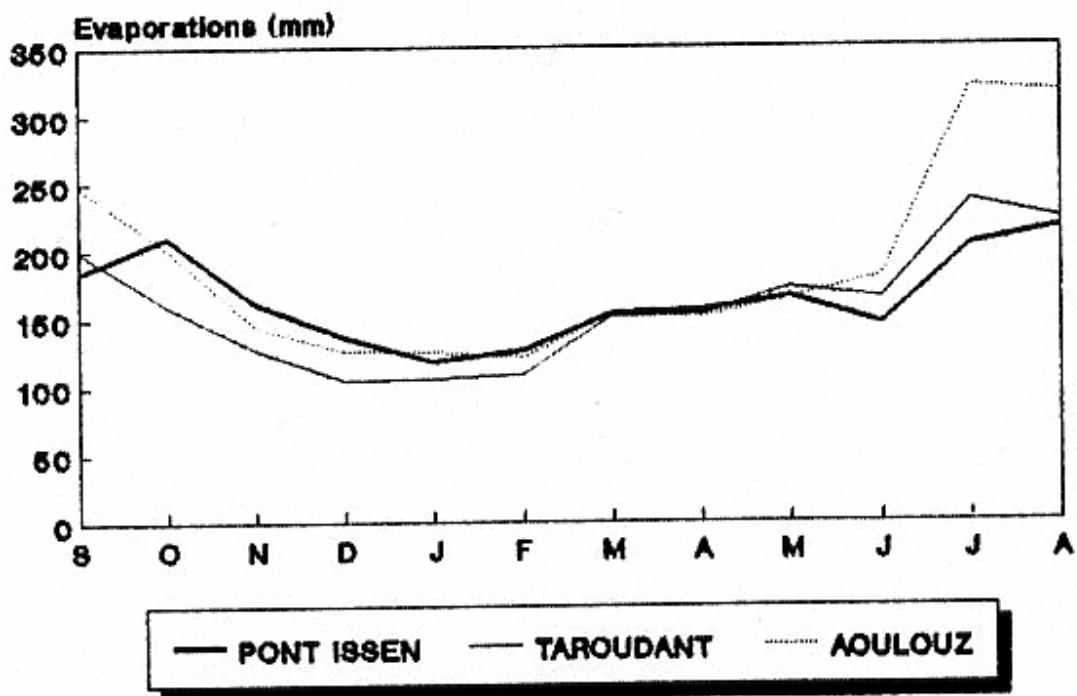


Figure 49: hauteurs des évaporations mensuelles au Piche dans le bassin du Souss

Plusieurs formules et indices permettent d'évaluer le degré d'aridité, et d'exprimer la relation chaleur-humidité dans une région. L'indice d'E.de Martonne en est un, il est fonction de la hauteur annuelle des précipitations en mm, et de la température moyenne annuelle en degrés centigrades :

$$I = P / (T+10)$$

	P	T	I	Type de climat
Aoulouz	370,5	19,7	12,4	Semi-aride
Taroudant	219,7	19,74	7,4	Aride
Agadir	263	18.4	9,2	Aride (à semi-aride)

Tableau 15: Indices de De Martonne dans le bassin du Souss

On constate que l'aridité est marquée au milieu de la plaine du Souss, à Taroudant, où les précipitations sont faibles et les températures souvent élevées. Plus tard, des élèves de De Martonne

ont imaginé un indice mensuel d'aridité qui pourrait situer l'aridité dans l'année : $i = 12p / (t+10)$ où p représente les précipitations moyennes mensuelles (en mm), et t la température moyenne mensuelle (en °C). (Ils ont multiplié le total des pluies mensuelles par 12 pour que l'indice mensuel reste comparable à l'indice annuel). Le calcul des indices mensuels a mis en évidence cinq mois d'aridité à Aoulouz, de mai à septembre inclus, où l'indice est inférieur à 6. A partir d'octobre, l'humidité semble être vraisemblable (l'indice atteint 26,9 en janvier). A Taroudant, l'aridité s'étend au moins sur sept mois, d'avril à octobre, avec un degré sévère entre mai et septembre où l'indice en question est strictement inférieur à 1,5. La valeur la plus élevée (de décembre) reste inférieure à 20. A Agadir nous avons une situation intermédiaire entre Aoulouz et Taroudant; mais nous y trouvons quand même l'aridité excessive de la saison sèche de mai à septembre, où l'indice mensuel reste, comme à Taroudant, inférieur à 1,5. Les mois de novembre à février sont les moins arides grâce à une pluviosité importante.

Sur les versants des montagnes atlasiques, et dans le bassin amont d'Aoulouz, on peut estimer que les valeurs mensuelles feront apparaître, pendant la saison froide, des valeurs supérieures à 20, donc hors de l'aridité qui tend à y devenir un phénomène saisonnier.

La saison aride sera encore mieux mise en lumière par le diagramme ombrothermique, ou l'indice xérothermique de Gaussen. Cet indice met en évidence la saison sèche en définissant les mois secs comme ceux où le total mensuel des précipitations, exprimé en mm, est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle en degrés centigrades. Les représentations graphiques (fig. 50, 51 et 52) montrent que l'ombre xérothermique s'étend, pour Taroudant et Agadir, sur huit mois secs, de mars à octobre. Cette ombre est cependant plus vaste à Taroudant qu'à Agadir, à cause des températures d'été plus élevées à Taroudant, et une pluviométrie mensuelle, dans l'ensemble, plus importante à Agadir. La saison humide s'étend sur quatre mois, de novembre à février.

A Aoulouz, il y a six mois secs, de mai à octobre, et six mois humides, de novembre à Avril, grâce essentiellement à des précipitations suffisantes en automne et en hiver.

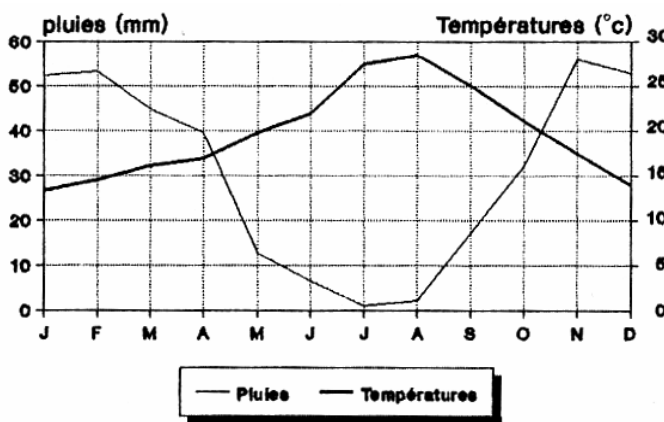


Figure 50 : Diagramme ombrothermique de la station d'Aoulouz

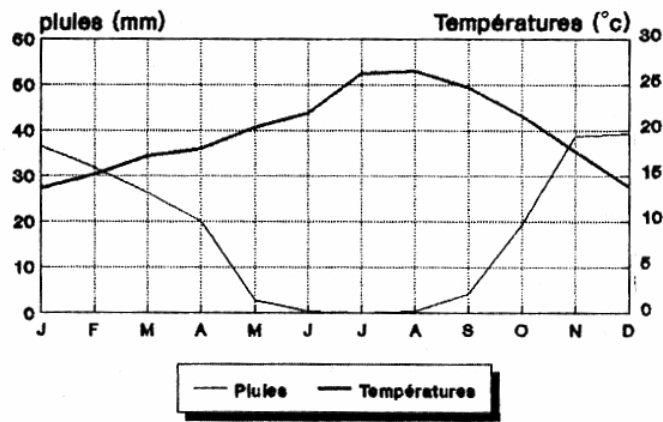


Figure 51: Diagramme ombrothermique de la station de Taroudant

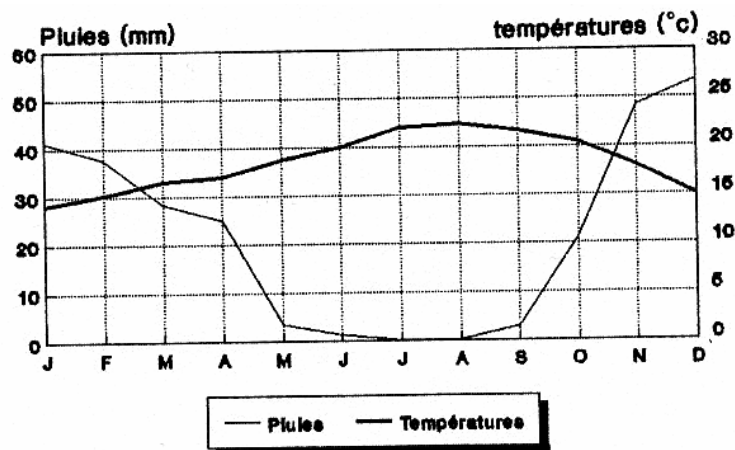


Figure 52 : Diagramme ombrothermique de la station d'Agadir

Les travaux de Gaussen l'ont conduit à définir un indice pour caractériser l'intensité de la sécheresse. Cet indice représente le nombre de jours biologiquement secs pour les plantes, c'est à dire les jours où il ne pleut pas. Le résultat pour le bassin du Souss confirme les conclusions de la formule de De Martonne: en se référant à la station d'Aoulouz, on se trouve sous un climat subaride (de 200 à 300 jours secs). A Taroudant et à Agadir, nous avons plus de 300 jours secs, ce qui les place dans un climat de zone aride.

Le quotient pluviothermique est une autre façon de juger le climat du bassin, ou de délimiter "les étages bioclimatiques" définis par L. Emberger avec la formule :

$Q = 1000 P / [(M-m)(M+m)/2]$ qui peut être simplifiée à:

$$Q = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

P = moyenne des précipitations annuelles en mm.

M = moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K ($T^{\circ}C + 273$).

m = moyenne des minima du mois le plus froid en °K.

Ce quotient croit évidemment avec les hauteurs de pluies, mais aussi en fonction des amplitudes thermiques: plus les écarts saisonniers de températures sont importants, plus le quotient est faible. On s'attendra donc à une valeur élevée à proximité du littoral. A Agadir, par exemple, le quotient pluviothermique est de l'ordre de 45. Ce quotient est aussi légèrement élevé à Aoulouz, en amont du bassin, grâce surtout à des précipitations importantes ($Q = 35$); tandis qu'à Taroudant, les écarts saisonniers sont élevés, et les pluies ne sont pas particulièrement abondantes; le quotient est ici relativement faible ($Q = 26$) et place le secteur de Taroudant dans un étage aride. La station d'Agadir est située dans un domaine semi-aride, et celle d'Aoulouz, dans une zone intermédiaire. (fig. 53).

Remarque : Sauvage avait trouvé en 1963 un quotient $Q = 40$ pour Agadir, 23,1 pour Taroudant et a supposé 30 pour Aoulouz.

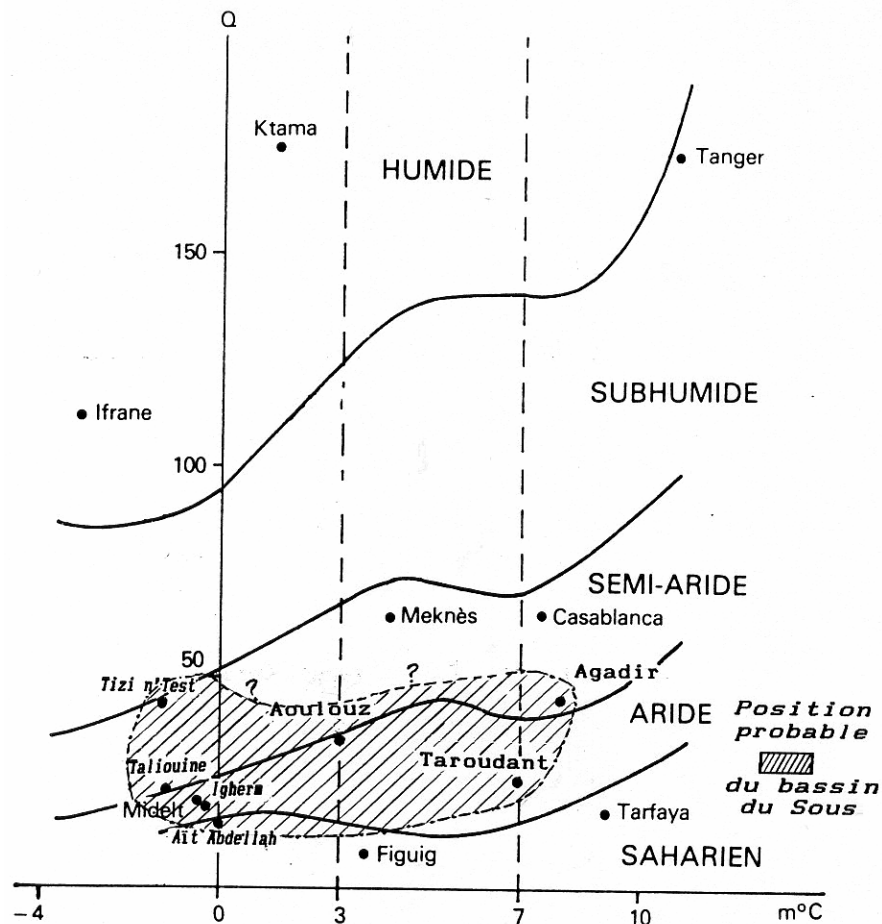


Figure 53: Etages climatiques des stations du Souss et de quelques stations du Maroc

D'autre part, la valeur de la moyenne des minima du mois le plus froid (m) permet de subdiviser en sous-étages, chacun des grands étages bioclimatiques: saharien, aride, semi-aride, subhumide, humide et haute montagne.

Quand m est inférieure à 0°C, on est dans un sous-étage à hiver froid. Entre 0 et 3°C, le sous-étage est à hiver frais. De 3 à 7°C, on est dans un sous-étage à hiver tempéré. Et quand m est supérieure à 7°, l'hiver est chaud.

Concernant le bassin du Souss, c'est la région littorale (représentée par la station d'Agadir) qui compte un hiver chaud. Taroudant, au milieu du bassin se trouve dans un sous-étage à hiver tempéré, alors qu'un peu plus en amont, Aoulouz se situe dans une région à hiver frais.

Dans un atlas du Maroc, Brignon et Sauvage ont, malgré la rareté des données en 1963, délimité des différents étages et sous-étages bioclimatiques dans le bassin du Souss (fig. 54).

Cette représentation suppose que tous les terrains situés en dessous de 1000 m d'altitude, appartiennent au domaine aride; mais on pense qu'il y a lieu d'affiner cette classification, en introduisant une différenciation du domaine aride. Car au sein de ce domaine peuvent encore être différenciés des sous

étages distincts par leur degré d'aridité. On peut, en effet, distinguer des régions où les pluies sont aléatoires et où la sécheresse peut dépasser 12 mois consécutifs; et celles où les averses reviennent périodiquement, même si le total annuel est faible. Fernand Joly a justement suggéré, dans ses travaux, de subdiviser ce domaine aride en zones subaride, aride subdésertique, aride franc et hyperaride. Ce dernier terme a été préconisé pour des régions où les pluies peuvent être séparées par plus d'un an de sécheresse.

Pour les parties du bassin du Souss classées en milieu aride, nous pouvons donc dire qu'ils peuvent appartenir sans difficulté au sous étage subaride. Ici tombent généralement plus de 200 mm de pluies par an; et celles-ci reviennent chaque année pendant la saison froide.

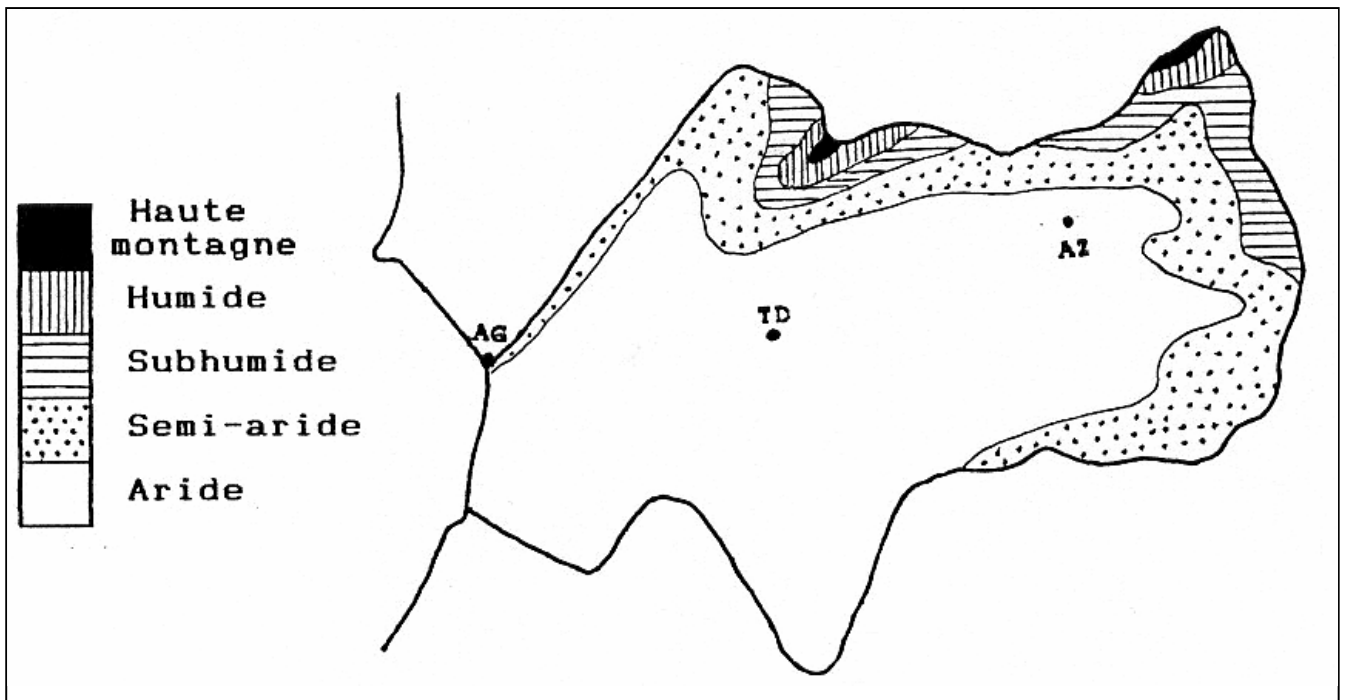


Figure 54 : Etages climatiques dans le bassin du Souss selon Brignon et Sauvage (1963)

VI- Sols, végétation et agriculture

A - Les sols dans le bassin du Souss:

Dans le bassin du Souss, en particulier dans sa plaine, les études pédologiques sont généralement menées en lien étroit avec les périmètres d'irrigation. Ces études sont souvent réalisées pour le compte de la recherche agronomique. De la synthèse de quelques uns de ces travaux, nous avons pu relever une répartition schématique des sols dans la plaine du Souss (fig. 55).

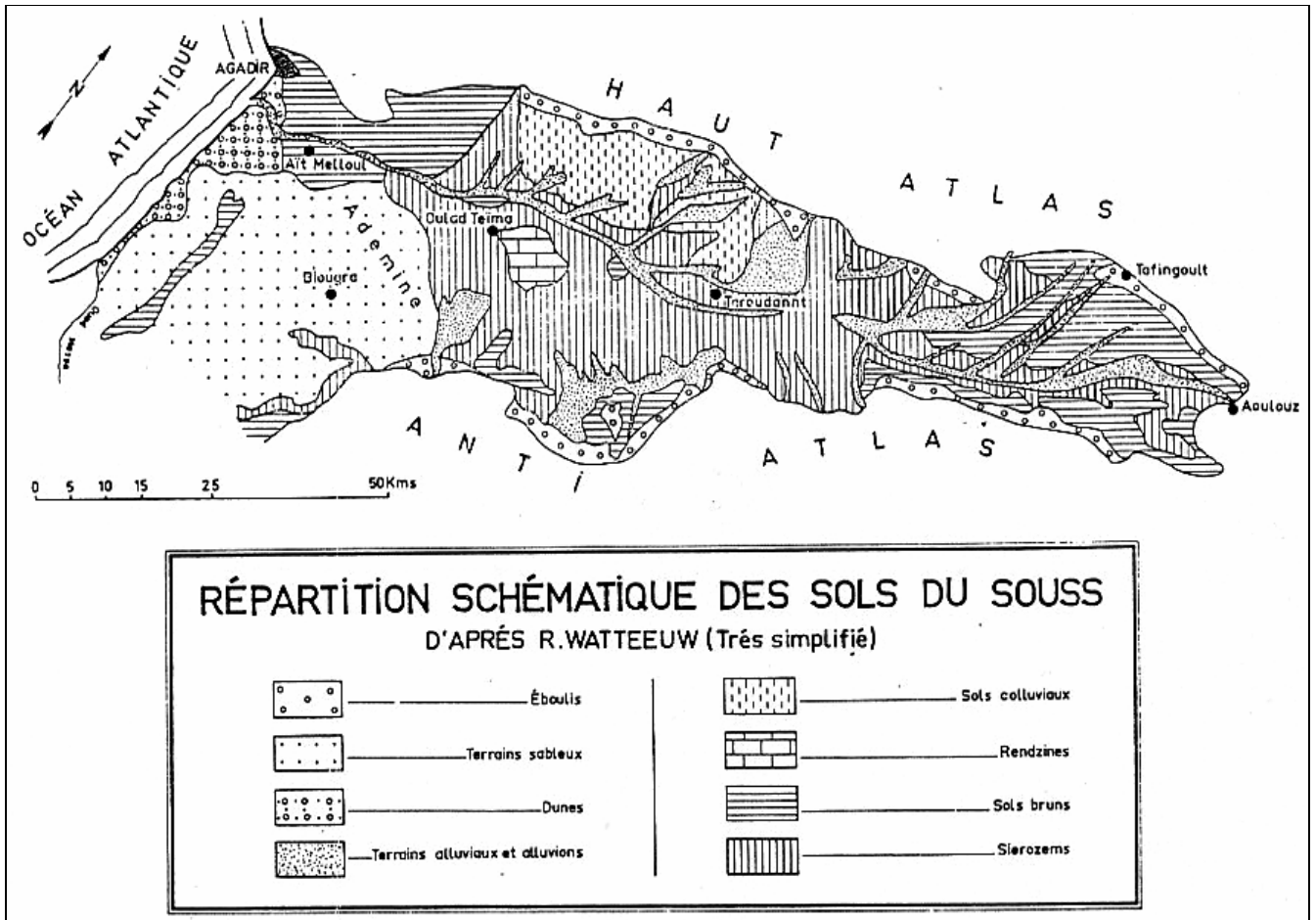


Figure 55: Répartition schématique des sols sur la plaine du Souss (Watteeuw, 1964)

A-1 : Éléments de pédogenèse:

L'évolution des sols dans le Souss est liée aux actions des eaux et des températures. Les pluies étant peu abondantes sur la plaine (250 mm par an) et sont concentrées dans la saison froide; les températures sont généralement élevées, notamment en été, et les évaporations sont accrues. Le ruissellement peut être actif sur toute l'étendue de la plaine; la végétation est faible et clairsemée; l'eau pénètre faiblement dans le sol, dont les horizons de surface facilitent le ruissellement. Les sols ont subi, pour la plupart, très peu d'évolution; les plus évolués témoignent de pédogenèses plus intenses à des époques antérieures.

A-2 : Essai de classification des sols:

a- Sols sans horizons diagnostiques majeurs:

Ce sont des sols formés sur des alluvions actuelles ou sur des apports éoliens. Leur évolution est limitée par le climat actuel aride et par leur érosion hydrique ou éolienne, qui rajeunit ou dégrade ces sols (respectivement par l'apport ou le décapage). Ces sols d'apport alluvial se répartissent sur les terrasses actuelles de l'oued Souss et ses affluents. Leur texture est sablo-limoneuse dans les horizons de surface, avec des horizons plus argileux à partir de 20-50 cm. Ce sont des sols provenant d'altérations de roches, et donc formés de matériel importé d'amont par les ruissellements.

b- Sols calcomagnésomorphes:

Deux groupes sont distingués: les rendzines et les sols bruns calcaires. Les sols rendziniformes se situent à la limite de la forêt d'arganier à l'est d'Ouled Teima. Ces sols, bien qu'ils aient une structure de rendzine et une teneur en calcaire, ont une teneur en matière organique nettement inférieure à celle d'une rendzine type. C'est pourquoi ce sol a été appelé rendzine sableuse.

Les sols bruns calcaires se rencontrent au NE de la plaine du Souss sur un grand cône de déjection du pliocène. Le matériel à partir duquel s'est développé le sol est un limon très calcaire, tendre et assez riche en sable grossier. La perméabilité de ces sols est grande (6 à 7 cm/h selon Watteeuw). Des sols bruns calcaires rouges ont été localisés sur le piémont de l'Anti-Atlas (cône de l'Assadas, Tidsi). La couleur rouge semblait bien être un héritage des produits d'altération de la montagne, et témoigne donc de l'importation des formations de l'amont.

c- Sols isohumides:

Ce sont soit des sols châtaîns, des sols bruns ou des siérozems. Les sols châtaîns ne se rencontrent qu'en amont de l'oued Souss ou sur les piémonts du Haut-Atlas, soit sur des limons calcaires soit sur des schistes. Les sols bruns se développent essentiellement sur les alluvions de la vallée; ils sont surtout sablo-argileux et sont assez dispersés dans la plaine. Les siérozems ont une répartition généralisée du nord au sud et d'est à l'ouest; ils sont en général limono-sableux, et c'est sur ce sol que se développe la culture des agrumes grâce à sa texture homogène et sa bonne capacité de rétention. Il présente en outre l'avantage d'être facilement irrigable.

Des sols halomorphes sont répartis sur les terrasses aval et les zones d'épandage des eaux de crues de l'oued Issen, qui draine un permo-trias argileux, gypseux et salifère.

La plaine du Souss offre donc une gamme assez variée des sols, la pédogenèse de certains sols était liée à des climats chauds et humides alternant avec des saisons sèches. Ces sols ont pour cela subi une rubéfaction prononcée, les calcaires ont été parfois très lessivés. Une importante superficie de la vallée du Souss est couverte par des sols peu évolués; ceux-ci s'étendent sur les piémonts du Haut-Atlas et de l'Anti-Atlas. Ils sont assez intéressants puisqu'ils peuvent profiter des eaux de crues des affluents du Souss.

B - Végétation et agriculture :

L'interférence de plusieurs domaines climatiques différents dans le bassin du Souss (méditerranéen, atlantique, saharien et de haute montagne), s'exprimerait avec évidence dans sa végétation. Celle-ci présenterait une sorte de mosaïque qui suivrait, dans une certaine mesure, les étages bioclimatiques du bassin. C'est ainsi que l'arganier -par exemple- occupe l'étage aride, le thuya l'étage semi-aride, le chêne vert l'étage subhumide. Quand ces arbres disparaissent (généralement sous l'action de l'homme), l'étage se caractérise par des végétaux ligneux buissonnants, notamment les euphorbes cactoïdes en milieu aride et vers les zones côtières, et le palmier nain dans l'étage semi-aride. Les forêts sont partout dégradées et clairsemées. L'arganeraie constitue le peuplement arboré le plus important et le plus étendu. Par ailleurs, la formation naturelle la plus répandue dans l'étage aride est la steppe, constituée de quelques graminées, buissons ou plantes épineuses.

1 - Peuplements forestiers :

L'arganeraie couvre la plupart des versants montagneux proches de l'océan ou exposés à son influence, jusqu'à une altitude pouvant dépasser 1500 m; et aussi dans la plaine du Souss, surtout dans sa partie aval, où il forme des forêts: forêt d'Ademine, à l'est d'Aït Melloul, ou la forêt des Haffaïa plus à l'est (Fig. 56). *Argania spinosa* est une espèce endémique appartenant à la famille des sapotacées, "c'est l'arbre le plus remarquable du Maroc, tant par son intérêt botanique que par sa valeur économique,(...) sa qualité de genre monotype, sa morphologie archaïque et son isolement géographique affirment sa haute ancienneté" (Emberger, 1938).

"On s'accorde à dire qu'il est apparu au tertiaire, époque à laquelle il se serait réparti sur une grande partie du pays.

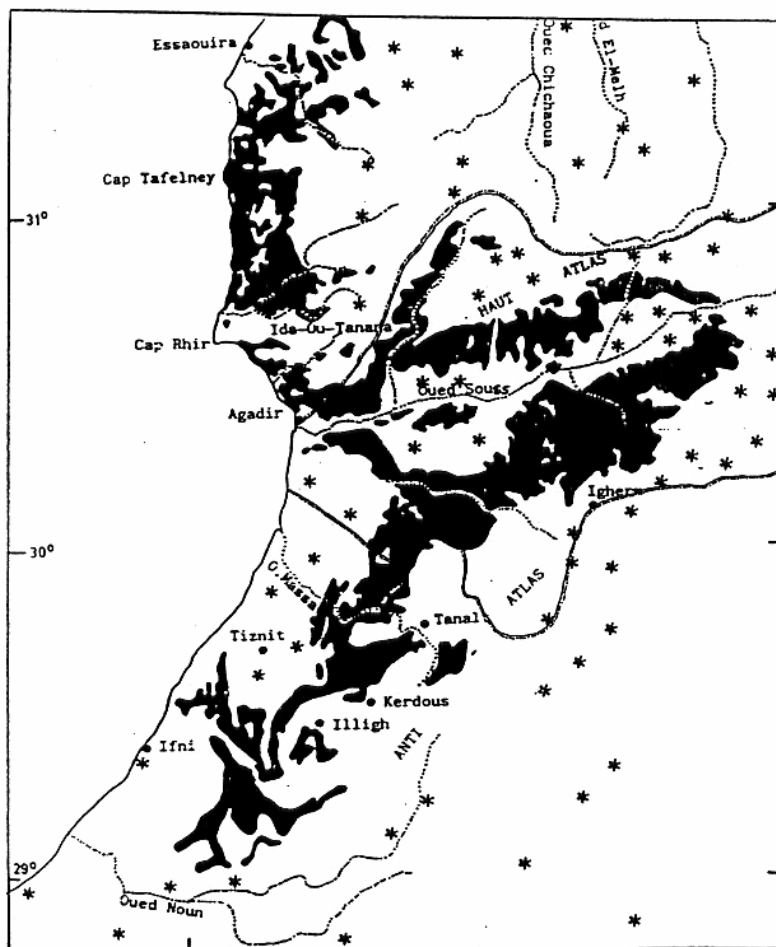


Figure 56: Répartition de l'arganeraie dans le bassin du Souss

Ce sont les froids et les pluies quaternaires, par lesquelles se sont traduites en Afrique du Nord les glaciations, qui ont refoulé l'arganier vers le SW où il s'est maintenu" (Peltier, 1982). Dans les plaines, l'arganier protège le sol et les cultures du vent, et entretient dans l'air un certain taux d'humidité.

Par ailleurs, le thuya est assez répandu sur les versants sud du Haut-Atlas, et quelques rares secteurs de l'Anti-Atlas occidental. Ce conifère caractérise l'étage semi-aride.

Le genévrier et le chêne vert sont rares; on les trouve en très haute altitude (1500 à 2000 m) dans des étages subhumides et humides. Enfin, dans le lit de l'oued Souss, on rencontre souvent le laurier rose ou parfois des tamaris.

Il faut signaler que la dégradation des peuplements forestiers, en particulier l'arganier, avait, et a encore, pour cause l'augmentation de la population qui provoque la destruction des arbres et des buissons pour le bois, le surpâturage ou même pour mettre en place des constructions diverses. Ceci entraîne l'érosion des sols, la baisse des nappes et la disparition de nombreuses plantes:"c'est l'Anti-Atlas qui a souffert le plus de la dégradation. Par exemple, aux Aït Abdellah et à Tiout, sur de grandes surfaces, il ne reste plus que la dolomie et le calcaire sans végétation arbustive du tout". (Peltier, 1982)

2 - Les steppes :

Les steppes ligneuses se rencontrent surtout dans les régions soumises à l'influence océanique, dans l'étage aride, notamment sur les plateaux. La plus caractéristique en terrain généralement calcaire semble être celle à "euphorbe cactoïde", associée le plus souvent à l'arganeraie dont elle prolonge l'aire d'extension actuelle. La steppe comporte souvent quelques végétaux ligneux isolés ou dispersés, tels l'acacia (gommier) ou le jujubier à euphorbes.

Pour conclure, constatons que les espèces méditerranéennes sont les plus fréquentes dans le Souss, viennent ensuite les espèces sahariennes. Selon R.Dijon (1968), "l'endémisme montre que le Souss a eu une évolution particulière, conditionnée par des caractères climatiques originales. L'arganeraie, par l'importance de son aire d'extension, traduit cet endémisme (...) en ce qui concerne la végétation, le Souss forme une sorte d'île à caractère tropical, désertique et océanique". En résumé, La figure 57 schématisera l'essentiel des peuplements végétaux et quelques cultures dans le bassin du Souss.

3 - L'agriculture :

Dans le Haut-Atlas, l'agriculture se trouve presque exclusivement concentrée dans les vallées irriguées par des seguias. Celles-ci dérivent de l'eau, à partir de petits barrages pratiqués au fond d'étroites gorges, vers des terrasses étagées. La répartition des cultures (fig.57) est fortement liée à la configuration du terrain, à l'altitude et à la pluviosité qui présente une grande irrégularité. Ces cultures sont souvent constituées de céréales (orge et blé), parfois de quelques arbres fruitiers.

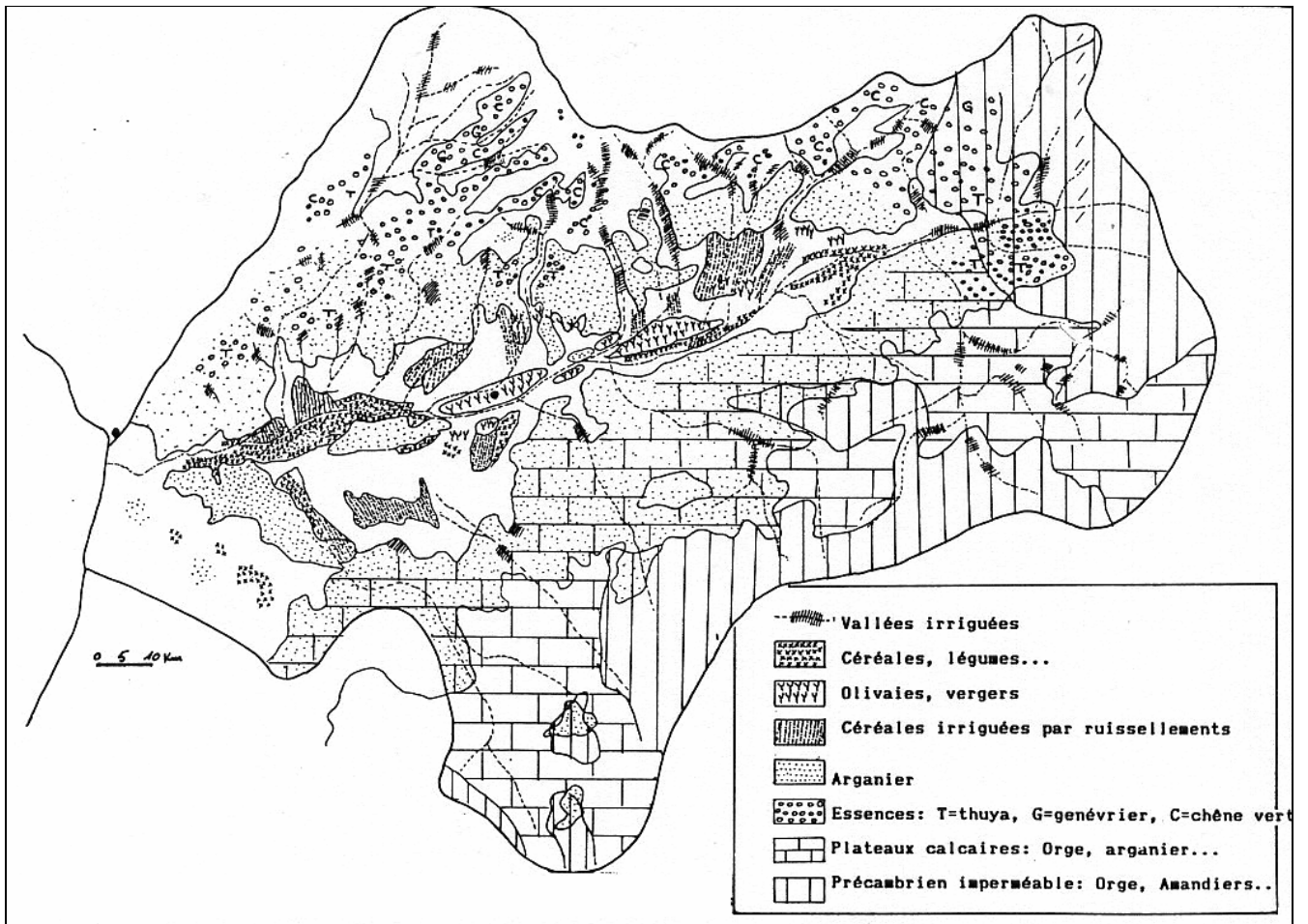


Figure 57: Carte simplifiée de la végétation du bassin versant du Sous

Dans l'Anti-Atlas, les vallées irriguées sont moins nombreuses que dans le Haut-Atlas. Elles concernent la partie orientale, là où se manifestent des sources et des émergences (oueds Immerguène, Tangarfa et Arrhèn). Les céréales sont cultivées sur les plateaux calcaires périphériques; mais c'est sur les hautes boutonnières imperméables et cristallines de la zone axiale où le rendement des cultures céréalières est meilleur (soit sur des étendues vastes, soit sur des terrasses) grâce à une pluviométrie plus importante. L'amandier est ici très répandu ainsi que divers autres arbres fruitiers.

Dans la plaine du Sous, le secteur traditionnel, irrigué avec des eaux pérennes, consiste en des olivaies, palmeraies et vergers divers, au voisinage desquels sont cultivées des céréales d'été (maïs), des légumes et primeurs. Le secteur moderne produit beaucoup d'agrumes et primeurs qui sont, pour la plupart, exportés. Il marque un contraste élevé avec le secteur traditionnel, qui ne dispose d'eaux pérennes qu'en des lieux privilégiés. Ailleurs, il dépend étroitement d'une pluviosité très irrégulière.

***LE RÉGIME FLUVIAL,
L'OUED SOUSS***

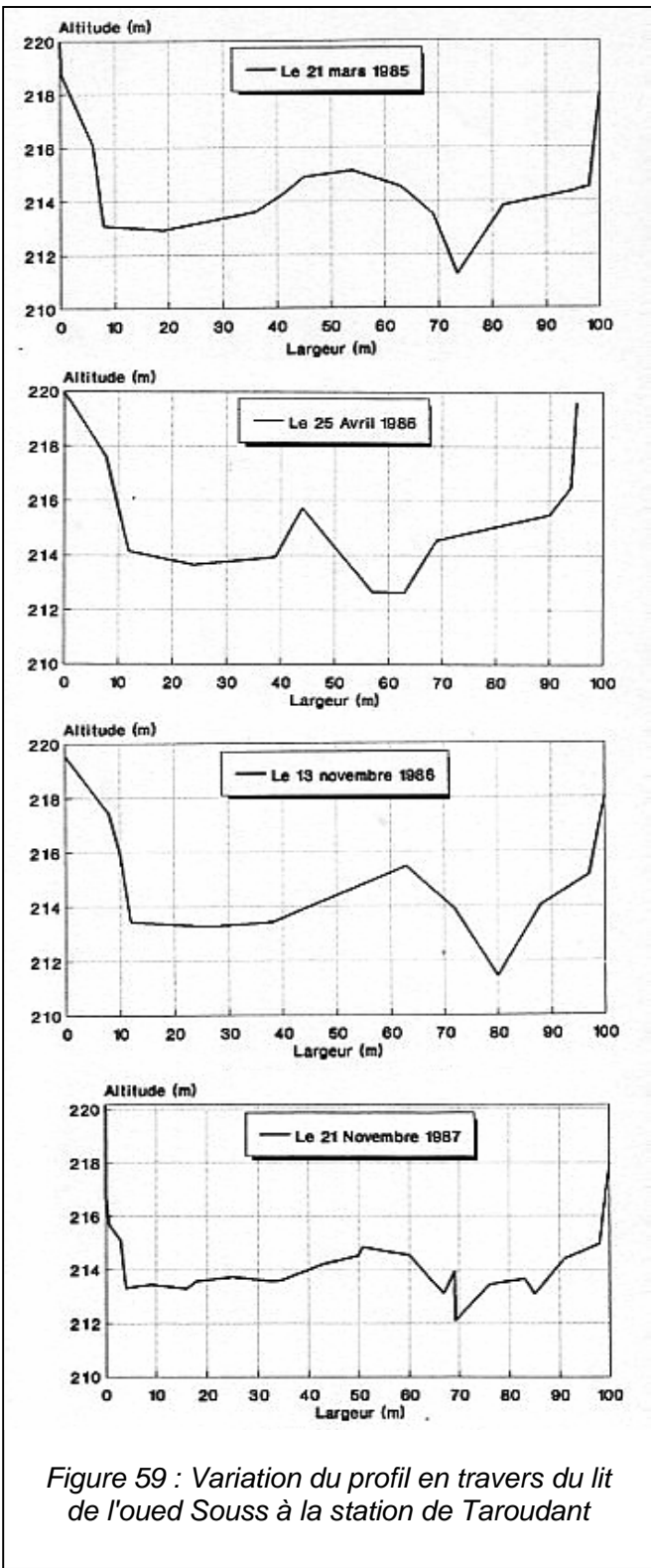
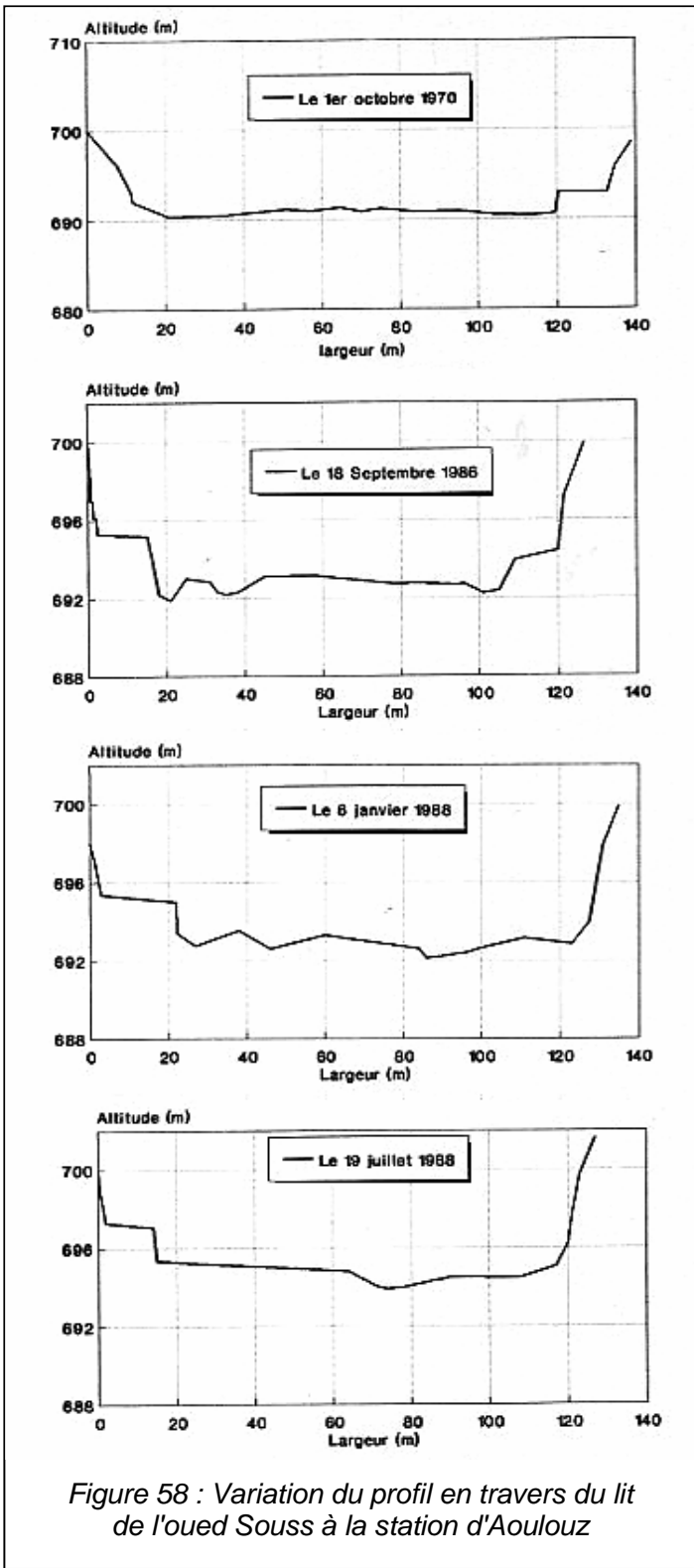
I - Sources d'information et stations de mesure :

Parmi les termes du bilan hydrologique d'un bassin versant, les débits constituent le seul facteur qui puisse être mesuré, dans l'ensemble, avec une assez bonne précision. Les autres éléments, tels que les précipitations, les températures ou l'évaporation ne peuvent être qu'estimés à partir de mesures ponctuelles effectuées en quelques points du bassin, ou, des fois, déduits de formules hydrologiques. Cependant, la connaissance des débits d'une rivière à chaque instant pose, elle même, un problème puisque ces débits varient continuellement, et il est très difficile de faire à chaque observation, des mesures de débits, le long de la section mouillée. Pour pallier ce problème, on a recours à des lois expérimentales liant la cote d'eau dans l'oued au débit. Les hauteurs d'eau sont lues sur des échelles limnimétriques, ou enregistrées d'une façon continue par un limnigraphe. Les jaugeages sont effectués dans le Souss à l'aide de moulinets montés sur des perches pour les basses eaux, ou suspendus par des câbles après avoir été fixés à des "saumons", pour jauger des débits importants. Les valeurs de débits et les hauteurs d'eau leurs correspondants sont portés sur un graphique pour obtenir la courbe de tarage, qui donnera les débits à chaque hauteur d'eau observée. Ces courbes de tarage sont valables pour des périodes variables selon la stabilité des sections de jaugeage. Ces sections sont justement inexorablement instables dans le bassin du Souss. Le lit subit des variations morphologiques dues au remaniement d'énormes quantités de matériaux, notamment le sable et le gravier. La moindre crue suffit pour modifier le lit. Grâce à leur grande vitesse et leur capacité de transport, ces crues déblaient et remblaient facilement le fond du lit, ce qui oblige à retracer une nouvelle courbe de tarage après chaque crue. Elle sera valable jusqu'à la prochaine crue puisque dans l'intervalle la station est généralement stable.

Les courbes de tarage se présentent, pour l'oued Souss, sous une forme typique "en raquette": au cours de la montée de la crue, les jaugeages se placent sur une courbe basse, par contre, en décrue, la section a eu le temps de se creuser et les jaugeages se positionnent sur une courbe nettement au dessus de la précédente, c'est à dire que pour une même cote d'eau lue à l'échelle, le débit correspondant est plus fort en décrue qu'en période de montée. Si la décrue se poursuit, la section se remblaie alors progressivement et la courbe de tarage peut même s'inverser. C'est ainsi qu'après la crue du 28 au 31 décembre 1970 par exemple, les débits sont descendus à Aït Melloul de 50 m³/s à 5 m³/s entre le 5 janvier et le 22 février 1971, mais entre les mêmes dates, la cote du plan d'eau augmentait et passait de 160 à 170 cm.

Parallèlement aux mesures des débits, les profils en travers du lit au niveau des stations sont périodiquement relevés. C'est ainsi que sur les figures 58, 59 et 60, on remarque la mobilité et la grande variation dans le temps de ces profils aux trois stations hydrométriques du Souss. On remarque, cependant, que la variation de la section à Aoulouz est moins accentuée qu'à Taroudant ou Aït Melloul;

ceci tient à ce que les crues ne deviennent violentes qu'après avoir été renforcées par les apports des affluents du Souss. C'est ce que montrerait plus loin, l'étude de ces crues.



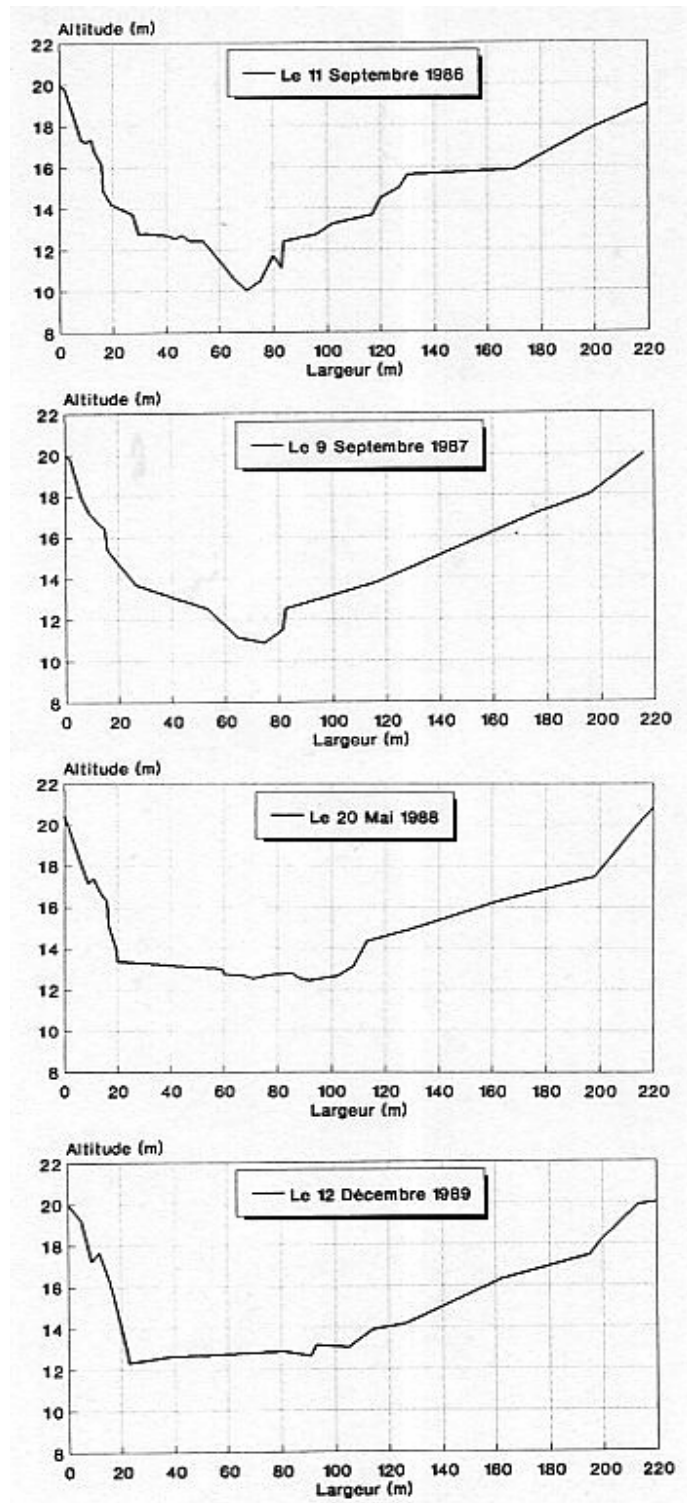


Figure 60 : Variation du profil en travers du lit de l'oued Souss à la station d'Ait Melloul

Les débits de l'oued Souss sont mesurés sur trois stations principales:

- **Aoulouz**, où l'oued termine son cours montagneux et débouche en plaine. A cette station, située à 700 m d'altitude et 170 km de l'embouchure, les écoulements superficiels sont généralement pérennes. Les rares jours où le lit y est à sec n'ont été observés qu'à partir de la sécheresse de 1983.

Jusqu'en 1963, les débits étaient jaugés au moyen d'un saumon se déplaçant le long d'un câble de téléphérique. Après la construction d'un nouveau pont, les jaugeages sont effectués avec un chariot mobile circulant sur le tablier du pont.

- **Taroudant**, presque à mi-chemin entre Aoulouz et l'océan. Les débits de crues sont jaugés, ici aussi, avec une cyclopotence mobile sous le pont de la route Taroudant-Agadir. L'emplacement de cette station présente un inconvénient majeur, car, en période de fortes crues, une fraction seulement de l'écoulement circule sous le pont. En effet, une grande partie des eaux passe sur le radier submersible situé légèrement au nord, en empruntant un ou plusieurs lits instables, et comme il n'y avait aucune possibilité de jauger ces flots qui ont débordé, on a estimé leurs débits à l'aide de la formule de Manning-Strikler et on les a additionnés aux débits mesurés sous le pont pour reconstituer les débits réellement roulés par l'oued.

- **Aït Melloul**, à 10 km de l'estuaire, cette station permet également l'utilisation d'une cyclopotence, elle constitue l'exutoire du réseau hydrographique du bassin versant, qui couvre une superficie de 16100 km².

Chaque station comporte des échelles de crues observées d'une manière continue, et des limnigraphes à tambour qui ont fourni depuis leur installation un enregistrement continu des variations du plan d'eau.

Quelques affluents du Souss sont également, continuellement ou occasionnellement, jaugés. Le plus important étant l'oued Issen, jaugé en aval au niveau du pont depuis 1962-63, puis à Bigoudine, sur son cours moyen, depuis 1970.

C'est la direction d'hydraulique d'Agadir qui se charge de calculer les débits écoulés pendant l'année, et qui sont ensuite consignés sous forme de tableaux représentant les débits moyens journaliers, mensuels et annuels; y figurent également le débit maximum instantané connu pour l'année, ainsi que le jour et l'heure d'occurrence.

II - Abondance moyenne et variation des modules :

1- Station d'Aoulouz:

Pour l'ensemble des trente années considérées, la valeur moyenne de l'écoulement annuel, est de l'ordre de 6,41 m³/s (qui correspond à un débit spécifique de 1,41 l/s/km², et une lame d'eau de 45,4 mm), et on notera que les débits des années 1970-71 et surtout 1987-88 sont de trois fois supérieurs à cette moyenne. En revanche 7 années sur 30 ont connu des écoulements inférieurs à 2 m³/s, et 11

années sont inférieures à 3 m³/s. On remarquera aussi l'alternance de deux périodes d'écoulement différent (fig.61): Une période d'abondance et de hautes eaux, de 1961-62 à 1970-71 dont la moyenne s'élève à 10,6 m³/s, suivie immédiatement d'une période de pénurie et de faibles débits moyens annuels. Celle-ci s'étend de 1971-72 à 1986-87 inclus, où la moyenne n'est que de 3,27 m³/s. Les années de 1960-61 et 1982-83 étaient deux années de grande sécheresse, les débits respectifs étaient de 0,22 et 0,33 m³/s. La valeur de la moyenne interannuelle peut s'affaiblir par les années sèches, mais elle se relève considérablement dès qu'une année très humide parvient.

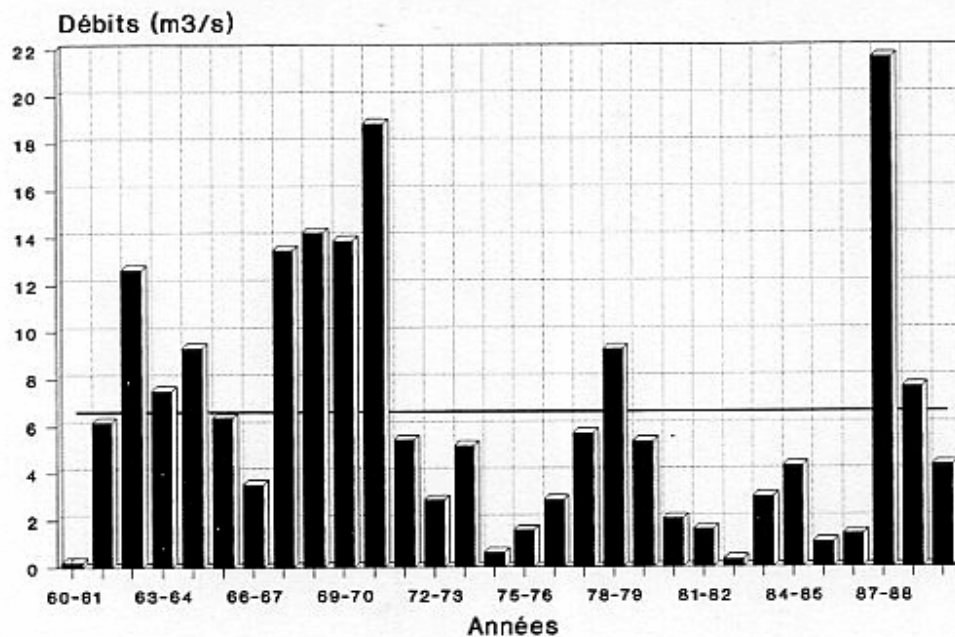


Figure 61 : Variation des débits moyens annuels à Aoulouz

La variation des débits annuels est donc importante dans le bassin amont du Souss, l'écart type est de l'ordre de 5,47 et le coefficient de variation s'élève à 85 %.

Les débits sont, pour cela, plus variables que les hauteurs de pluies annuelles dont le coefficient de variation était dans le bassin d'Aoulouz, pour la même période, de 41,2 %.

2- Station de Taroudant:

Alors que l'oued Souss coule en générale toute l'année à Aoulouz, son lit est à sec 9 mois par an en moyenne à Taroudant. Les faibles et moyens débits sortant des gorges d'Aoulouz, qui échappent à l'évaporation, s'infiltrent presque totalement dans les alluvions et les cônes de déjection s'étalant en aval d'Aoulouz. Le cône le plus puissant a fait l'objet d'une étude détaillée par R.Dijon (1964): "Au débouché des gorges d'Aoulouz, l'oued Souss contourne par le nord un vaste cône de déjection d'une longueur de 12 km environ, et dont la largeur atteint 10 km. Au radier d'Aoulouz, le Souss a un débit pérenne, on y observe chaque année des crues importantes parfois violentes. Quelques kilomètres à l'aval, le cours du

lit cesse d'être pérenne; les alluvions absorbent la totalité du débit, ainsi que les crues de faible intensité".

Au total, le débit moyen annuel observé à Taroudant de 1960 à 1990 atteint 3,65 m³/s, soit seulement 0,39 l/s/km². Sur trente ans d'observation (fig.62), 12 années ont été inférieures à 1 m³/s et 9 ont été comprises entre 1 et 4 m³/s; et dans l'ensemble, 2 années sur 3, l'écoulement est inférieur à la moyenne interannuelle de 3,65 m³/s. Les années d'abondance dépassent largement cette moyenne:16,74 m³/s pour l'année 1962-63, soit plus de 4 fois la moyenne, ou encore l'année 1970-71 dont le coefficient est presque aussi de 4 fois la normale. Seules ces deux années ont pu relever cette moyenne de 30 %.

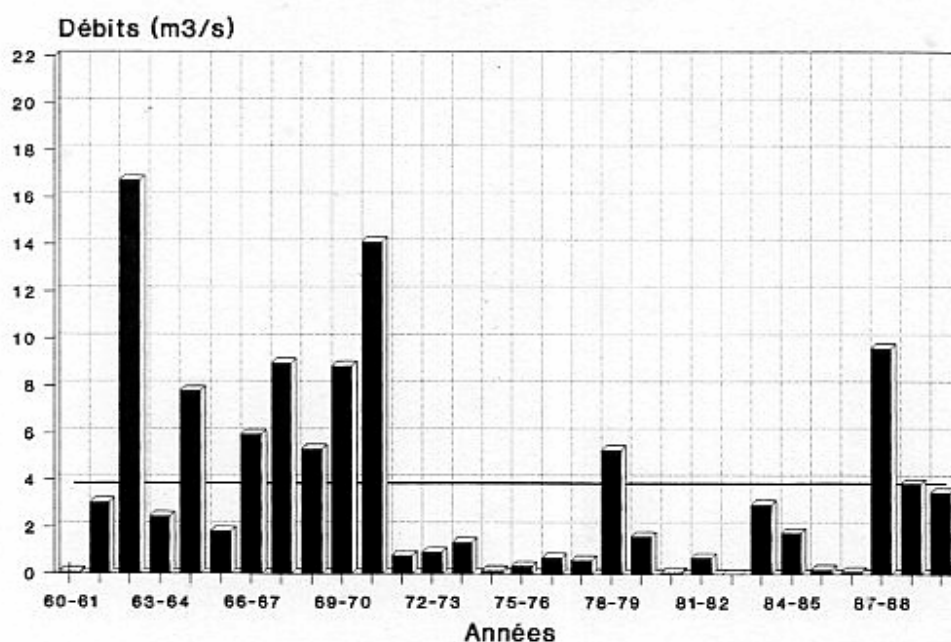


Figure 62 : Variation des débits moyens annuels au niveau de la station de Taroudant

Comme à Aoulouz, et d'une façon plus nette encore, on distingue une période de dix ans de forte hydraulicité de 1961-62 à 1970-71 et une seconde séquence de 16 ans de 1971 à 1987 d'hydraulicité assez faible, et dont la moyenne fléchi jusqu'à 1,09 m³/s. Dans l'ensemble, la variation des débits annuelle est très grande, son coefficient dépasse le 100 % (V= 1,17).

Comme en amont donc, les variations fluviales sont plus importantes que les variations pluviales annuelles, car l'évaporation anéantit facilement les hauteurs de pluies modérées et peu intenses, et l'écoulement qui en ressort est négligeable, et parfois nul. Les déficits d'écoulement vont être très élevés dans cette partie moyenne du Souss où l'évaporation et l'infiltration vont souvent l'emporter devant l'écoulement.

3- Station d'Aït Melloul :

A Aït Melloul, on retrouve un écoulement semi-pérenne. Les eaux s'écoulent pendant 7 mois par an en moyenne. Les débits sont ici nettement plus importants qu'à Taroudant, grâce d'une part aux débits de base et l'émergence de la nappe en aval du bassin, et surtout en raison des apports des affluents atlasiques, notamment l'oued Issen.

La moyenne de 1962 à 1990 est de l'ordre de 8,05 m³/s, soit un débit spécifique de 0,5 l/s/km². Les débits moyens annuels varient de 0,008 m³/s en 1982-83 à 34 m³/s en 1962-63, et sur 28 années d'observation, on notera qu'il y a eu:

- 9 années inférieures à 2 m³/s.
- 8 années comprises entre 2 et 5 m³/s.
- 2 années de l'ordre de 7 m³/s.
- 7 années comprises entre 10 et 20 m³/s
- 2 années supérieures à 25 m³/s représentant 3 et 4 fois la normale (fig. 63).

On remarque aussi que tout les 6 à 8 ans, parvient au moins une année d'hydraulicité importante, supérieure à 17 m³/s. Les années sèches sont très marquées pendant les années 70 et 80, elles durent en moyenne 7 ans et ont des débits moyens généralement inférieurs à 4 m³/s.

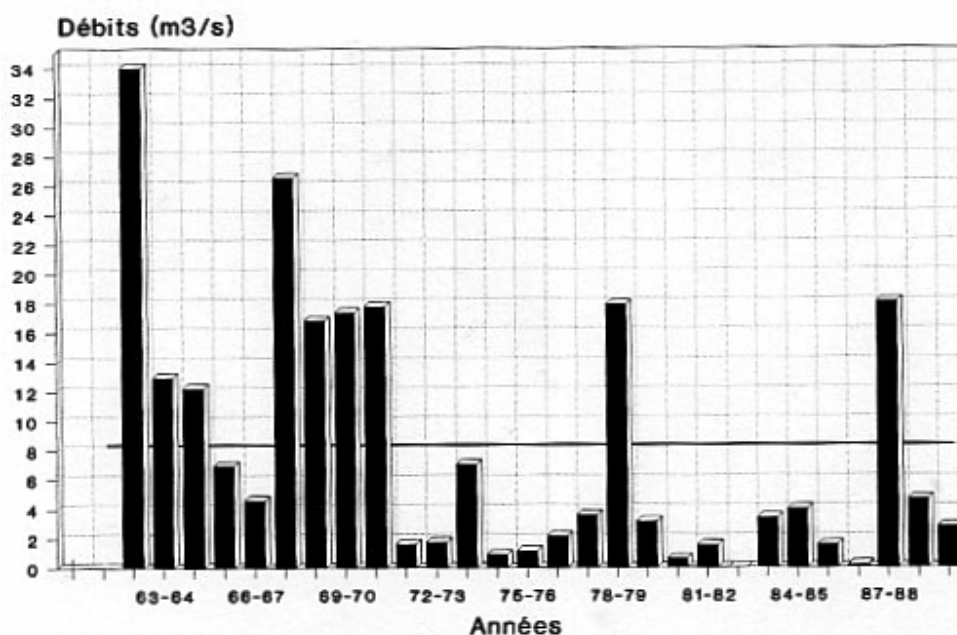


Figure 63 : Variation des débits moyens annuels au niveau de la station d'Aït Melloul

CONCLUSION :

La première constatation que nous avons tiré de ces chiffres, c'est qu'à Taroudant, les écoulements sont beaucoup moins abondants qu'à Aoulouz malgré les apports des affluents entre les deux stations. Il faut donc admettre qu'une quantité d'eau au moins égale à la différence des débits observés à Aoulouz et à Taroudant s'évapore, s'infiltré dans le lit de l'oued ou est prélevée avec les seguias des riverains pour

irriguer les terrains cultivés. Le volume d'eau ainsi disparu soit vers l'atmosphère, soit vers les nappes souterraines, peut être de l'ordre de 90 hm³ par an, soit un débit continu de 3 m³/s.

Nous avons remarqué aussi les énormes quantités d'eau perdues à l'océan, mises en lumière par les débits observés à Aït Melloul. Ces volumes sont évalués en moyenne à 240 hm³ par an (et environ un Milliard de m³ pendant l'année 1962-63); ce sont des quantités très importantes qui pourraient être récupérées, au moins partiellement, si elles étaient retenues derrière des barrages disposés sur les affluents du Haut-Atlas et du bassin amont. Un barrage, de 110 hm³ de retenue maximale, a justement été inauguré à Aoulouz en 1990 pour minimiser cette perte, et la ramener à moins de 50 hm³ par an.

Concernant enfin le régime général, nous constatons essentiellement une très grande irrégularité interannuelle illustrée par les rapports des valeurs extrêmes des débits annuels : 98 à Aoulouz, 1287 à Taroudant et 4250 à Aït Melloul; et puis, tout comme les précipitations, les écarts positifs par rapport à la moyenne sont moins nombreux et plus accusés que les écarts négatifs.

III- Variations mensuelles et débits moyens journaliers :

A- Débits mensuels et coefficients d'écoulement :

Le régime de l'oued Souss au cours de l'année moyenne est caractérisé globalement par l'existence de deux périodes de potamologie différente : une saison de hautes eaux, qui correspond à une période relativement pluvieuse, de novembre au mois d'avril inclus, pour les bassins amont et moyen, et de novembre à mars à la station d'Aït Melloul; et une saison de très basses eaux, correspondant à une période sèche qui se prolonge jusqu'au mois d'octobre.

1- Oued Souss à Aoulouz :

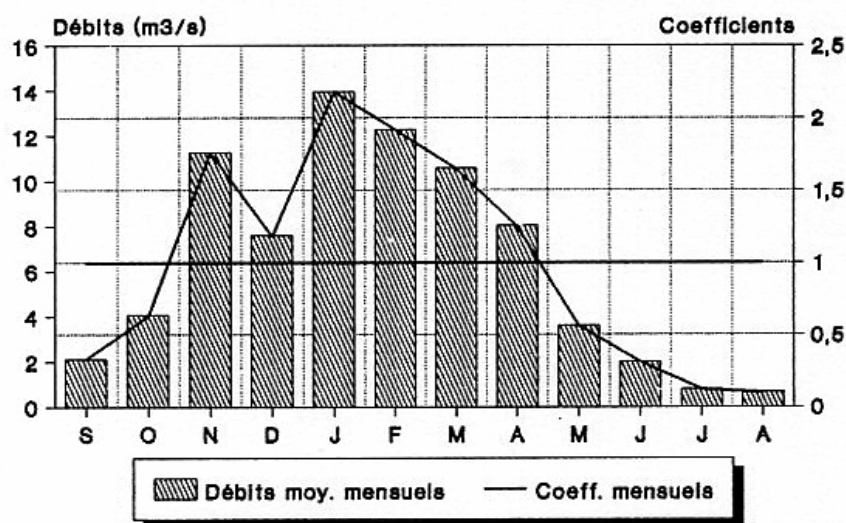


Figure 64: Coefficients et débits moyens mensuels à Aoulouz

A Aoulouz, les écoulements les plus importants se manifestent de novembre à mars avec un creux au mois de décembre et un maximum en janvier (fig.64). Ces cinq mois totalisent 72,4 % des écoulements annuels, dont 18,1 % pour janvier et 34,1 % pour janvier et février. Le mois de décembre, qui se trouve pourtant au milieu de la saison d'abondance, ne voit passer que 9,8 % du total annuel; il est même dépassé à Aoulouz par les écoulements d'Avril (10,4 %). Ce creux de décembre est expliqué par la rareté des crues -qui influencent directement les modules annuels et mensuels- pendant ce mois, et on verra plus loin que le nombre de crues pendant le mois de décembre est le plus faible de la saison (10,2 % seulement des crues annuelles, de 1960 à 1990, contre 23,1 % en novembre par exemple et autant en janvier). Pour la rareté des crues en décembre, on pourrait penser qu'elle soit due la rétention nivale, pendant ce mois, sur les hauts massifs du Haut-Atlas, particulièrement dans ce bassin amont du Souss, où la neige recouvre le massif du Toubkal au nord, et les reliefs du Siroua à l'est, généralement au dessus de 2000 m. Mais cette hypothèse est assez contestable quand on sait que les crues du Souss sont uniquement d'origine pluviale; il faut donc orienter les hypothèses vers des causes atmosphériques dont les conditions n'ont pas permis des chutes d'eau d'intensité excessive pendant la période étudiée, car une étude antérieure considérant des périodes discontinues de 1949 à 1964 (Dijon 1968) a permis de constater que pendant le mois de décembre, le débit était aussi fort qu'en janvier ou février. Il était même le mois d'abondance maximale à Aït Melloul (avec 25 % de l'écoulement annuel). Ceci était dû à une très forte crue en décembre 1949.

Concernant notre période, on remarque, quand même, que ce mois de décembre reçoit dans le bassin d'Aoulouz, une hauteur de pluie appréciable et très voisine de celles de novembre, janvier ou février (fig. 44), mais l'écoulement qui en ressort est peu important et beaucoup plus faible que celui de ces mêmes mois. Ceci nous rappelle, une fois de plus, que ce n'est pas tant la hauteur de pluie qui agit sur l'écoulement que la façon dont cette pluie est tombée dans le temps et l'espace. Le débit suit généralement l'intensité de la pluie, car une forte averse de courte durée sature rapidement le sol et l'imperméabilise, et le ruissellement intervient plus rapidement que l'infiltration ou l'évaporation.

Les mois de juillet et Août sont les plus secs de l'année, ils ne totalisent ensemble que 1,8 % du débit annuel; le rapport des mois extrêmes est de l'ordre de 21,5. La variation mensuelle est donc ici -comme la variation annuelle- assez élevée, le coefficient de variation est de 71,5 %.

A l'échelle saisonnière c'est donc l'hiver qui l'emporte avec un débit moyen continu de 11,3 m³/s en décembre, janvier et février, suivi du printemps avec 7,4 m³/s. Le débit pendant les mois d'automne est en moyenne de l'ordre de 5,8 m³/s et l'étiage d'été est globalement de 1,14 m³/s en moyenne.

2- Oued Souss à Taroudant :

Les débits moyens mensuels à Taroudant varient de 0,056 m³/s au mois d'août, à 8,54 m³/s en novembre (fig. 65); le maximum s'est donc déplacé, par rapport à la station d'Aoulouz, vers le mois de novembre; on note également une légère poussée de décembre qui dépasse 1,5 fois la moyenne, et surtout une forte régression des débits de mars et avril. La saison des hautes eaux est donc concentré ici en quatre mois, de novembre à février, qui totalisent 69,4 % de l'écoulement annuel dont 19,5 % pour novembre. Le creux de décembre est toujours là, les affluents entre Aoulouz et Taroudant n'ont pas pu beaucoup améliorer le débit moyen de ce mois.

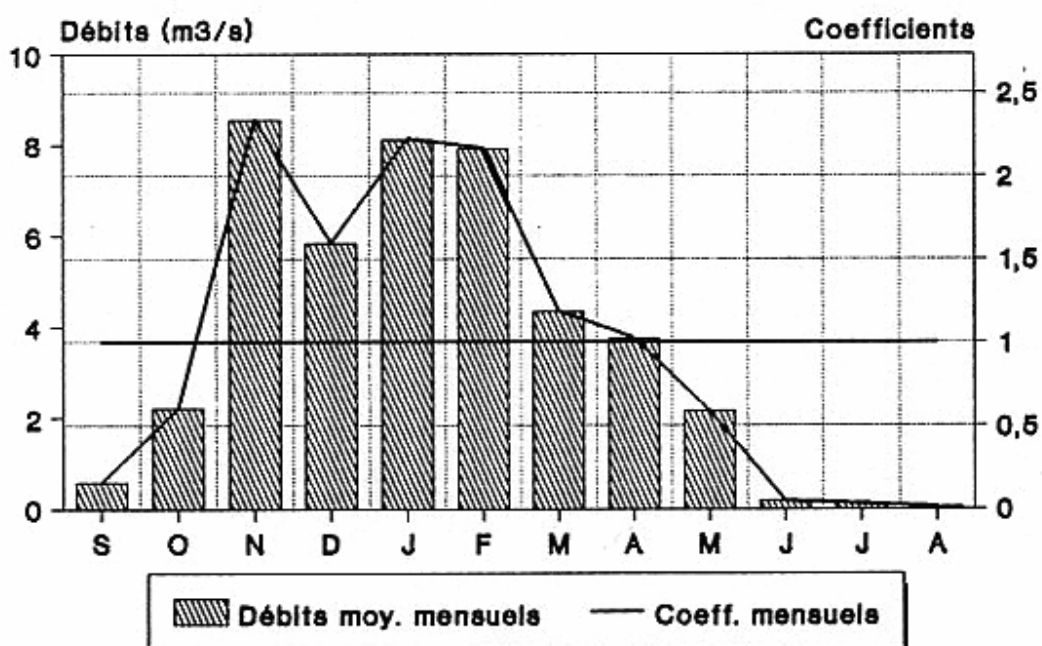


Figure 65: Coefficients et débits moyens mensuels à la station de Taroudant

Les mois d'été sont particulièrement secs au pont de Taroudant: durant les trente années d'observation, l'écoulement n'a été observé que 3 fois en juin et 2 fois en juillet et août. Le lit de l'oued est très souvent, voire toujours, à sec; les faibles débits qui passent au travers des gorges d'Aoulouz, ne parviennent pas à atteindre la station de Taroudant (sur un parcours de 80 km). Ils sont complètement absorbés par les cônes de déjection, ou tout simplement évaporés. La même explication peut être avancée pour justifier les baisses des débits de mars et avril par rapport à l'amont, malgré l'apport des affluents, car l'écoulement pendant ces mois est généralement d'une violence très moyenne à Aoulouz, et on sait que seules les crues transitent jusqu'à Taroudant.

Les coefficients mensuels des débits sont très faibles pendant l'été (en moyenne 0,027), c'est pourquoi le rapport des débits extrêmes est extrêmement élevé (= 152), il tend même vers l'infini pour les années

particulières, puisqu'elles comptent toujours des mois sans écoulement. La variation mensuelle est donc encore plus forte à Taroudant, son coefficient est de l'ordre de 86 %.

Grâce aux débits du mois de novembre, les écoulements de la saison d'automne dépassent ceux du printemps. La saison d'hiver garde toujours son avance, avec un débit moyen de 7,3 m³/s qui constituent 50 % du total annuel.

Les écoulements saisonniers à Taroudant suivent, à peu près, les mêmes variations, et prennent la même allure que les hauteurs saisonnières des précipitations sur le bassin. La corrélation serait donc ici très bonne à l'échelle saisonnière.

3- Oued Souss à Aït Melloul :

A Aït Melloul, les écarts mensuels sont encore plus élevés, le maximum se situe au mois de janvier avec 24,4 m³/s, soit trois fois la moyenne et 25 % du total annuel, alors que les mois de juillet et août sont les plus secs avec des débits moyens ne dépassant pas 0,16 m³/s, et des coefficients mensuels inférieurs à 0,02 (fig.66). La variation augmente donc de plus en plus vers l'aval, le coefficient de variation à Aït Melloul est de 101 %. Pendant 4 mois de novembre à février, l'écoulement constitue 75 % du total annuel, soit plus que ce qu'on a eu à Taroudant. Ici la saison des hautes eaux est courte mais l'écoulement y est très fort et les crues abondantes.

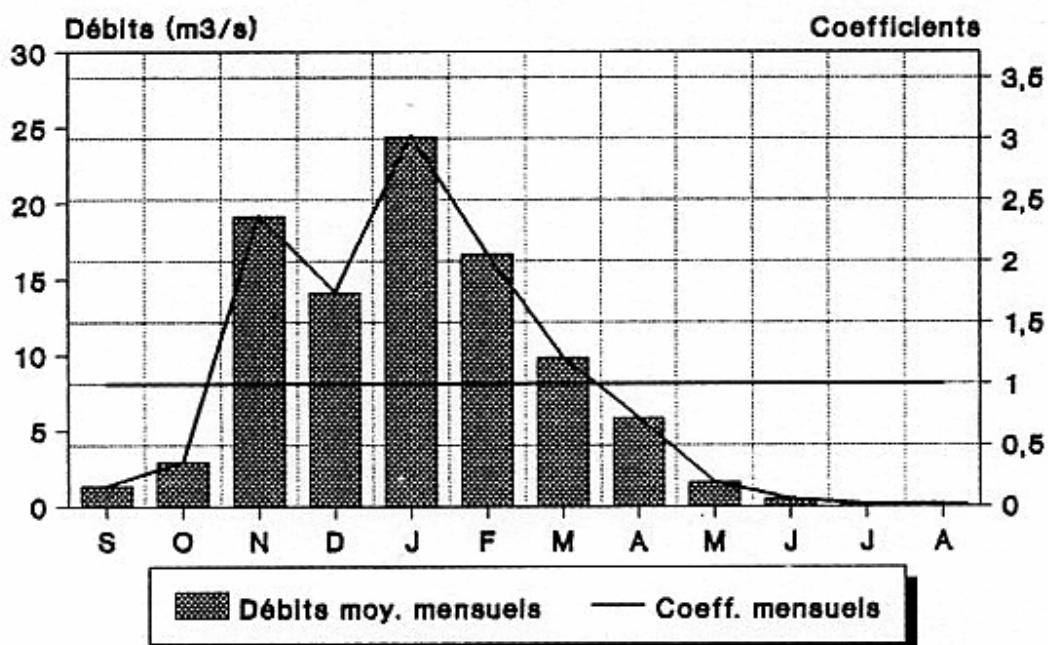


Figure 66 : Coefficients et débits moyens mensuels à la station d'Aït Melloul

L'examen des débits mensuels de 1962 à 1990 a mis en lumière des valeurs très élevées de débits moyens, notamment au mois de janvier, où les moyennes mensuelles ont dépassé trois fois le seuil de 100 m³/s, en 1963, 1970 et surtout 1979 avec 184 m³/s; mais le maximum absolu a été observé au mois de novembre 1968 avec une moyenne mensuelle de 229,5 m³/s, grâce à la plus importante crue observées à Aït Melloul, le 14 novembre 1968, avec un débit moyen journalier de 1306 m³/s et une pointe maximale qui a atteint la valeur de 2200 m³/s. On verra plus loin qu'elle va correspondre à la crue cinquantennale.

Ces maxima excessifs relèvent considérablement les moyennes mensuelles vers des valeurs qui peuvent donner une idée erronée sur le régime. C'est ainsi que sur la figure 67, qui illustre les débits mensuels d'après leurs fréquences, on constate que la courbe des débits moyens est très élevée, elle effleure celle des débits de fréquence 25 % seulement. Cette courbe moyenne, qui dépasse donc celle des débits médians et même celle de fréquence 35 %, témoigne du caractère excessif du régime dont l'écoulement est très irrégulier avec des maxima fortement élevés.

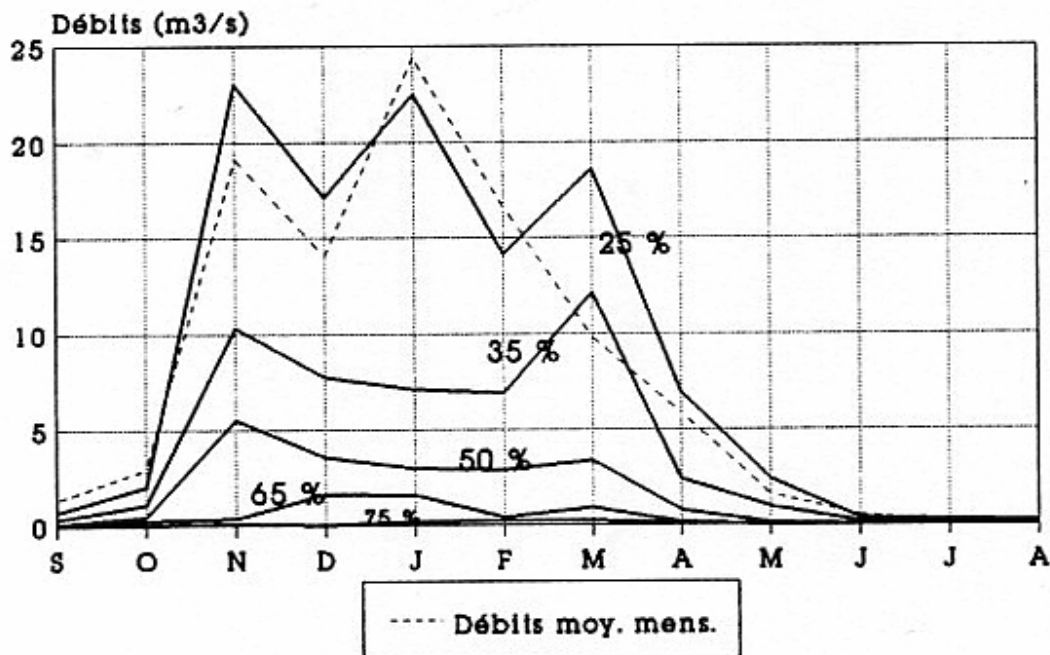


Figure 67: Courbes des débits mensuels d'après leurs fréquences à Aït Melloul

CONCLUSION :

Après l'analyse antérieure, on peut dire que les débits moyens mensuels dépendent presque exclusivement du nombre et de l'importance des crues survenues. En effet, les mois d'écoulement élevé, notamment novembre, janvier et février sont, en trente années d'observation, les mois les plus riches en crues. Ils voient passer à Aït Melloul 49 % des crues de l'année, 60 % à Taroudant et même 62 % des crues annuelles à Aoulouz. Pendant toutes les années hydrologiques dépouillées, les mois d'écoulement maximal se situent souvent entre novembre et février, mais des fois aussi en mars ou avril (tab. 16).

	Aoulouz	Taroudant	Aït Melloul
1960-61	Août	Octobre	-
1961-62	Mars	Décembre	-
1962-63	<u>Février</u>	<u>Février</u>	<u>Février</u>
1963-64	<u>Décembre</u>	<u>Décembre</u>	<u>Décembre</u>
1964-65	<u>Février</u>	<u>Février</u>	<u>Février</u>
1965-66	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>
1966-67	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>
1967-68	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>
1968-69	<u>Février</u>	Décembre	<u>Février</u>
1969-70	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>
1970-71	<u>Avril</u>	<u>Avril</u>	<u>Avril</u>
1971-72	<u>Mars</u>	Décembre	<u>Mars</u>
1972-73	<u>Décembre</u>	<u>Décembre</u>	Septembre
1973-74	Avril	Décembre	Mars
1974-75	<u>Février</u>	<u>Février</u>	<u>Février</u>
1975-76	Mai	<u>Février</u>	<u>Février</u>
1976-77	<u>Septembre</u>	<u>Septembre</u>	<u>Septembre</u>
1977-78	<u>Janvier</u>	Février	<u>Janvier</u>
1978-79	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>
1979-80	<u>Mars</u>	<u>Mars</u>	<u>Mars</u>
1980-81	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>
1981-82	<u>Avril</u>	<u>Avril</u>	<u>Avril</u>
1982-83	Février	Novembre	Avril
1983-84	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>
1984-85	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>
1985-86	<u>Mars</u>	Février	<u>Mars</u>
1986-87	Février	<u>Janvier</u>	<u>Janvier</u>
1987-88	Février	Mars	Décembre
1988-89	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>	<u>Novembre</u>
1989-90	<u>Décembre</u>	<u>Décembre</u>	<u>Décembre</u>

Tableau 16: Mois à écoulement maximal dans le bassin du Souss

L'examen du tableau révèle que la simultanéité est très grande pour les trois stations, elle est même parfaite pour les années très pluvieuses; par contre les discordances se situent dans les années sèches sans crues (1960-61, 1973-74 et 1982-83).

Dans cet inventaire des mois à écoulement maximal, portant sur 30 années, le mois de février revient, à Aoulouz, 7 fois, novembre 6 fois, janvier et mars 4 fois, décembre et avril 3 fois. A Taroudant, c'est novembre qui l'emporte devant février (7 fois contre 6), mais on notera surtout la poussée de décembre, qui était premier 6 fois comme février. A Aït Melloul, en 28 ans, novembre revient 6 fois, février et janvier 5 fois et mars 4 fois.

On peut donc dire que la concentration des hautes eaux en fin d'automne et en hiver, nous permet de classer, sans hésiter, l'oued Souss dans le type "pluvial" où le maximum moyen mensuel, provoqué par de grosses pluies, apparaît de novembre au mois de mars.

Concernant les mois de faible écoulement, signalons que n'importe lequel des mois de l'année, peut être complètement sec à Taroudant et à Aït Melloul. A Aoulouz, seuls les mois de septembre, décembre, juillet et août ont déjà connu des débits mensuels nuls.

B - Débits journaliers et débits classés :

Les débits moyens journaliers de l'oued Souss varient de valeurs nulles, jusqu'à des débits de l'ordre du millier de mètres cubes par seconde. Les débits moyens les plus forts ont été observés à l'aval du bassin, à la station d'Aït Melloul qui cumule tous les flots des bassins amont et moyen.

1- Bassin du Souss à Aoulouz :

A Aoulouz le débit moyen journalier le plus fort observé de 1960 à 1990 est de 878 m³/s, le 28 janvier 1979. Des débits de cet ordre sont rares, voire exceptionnels, à Aoulouz. Le seuil de 500 m³/s a été dépassé seulement deux fois en 30 ans. Les fréquences des autres classes de débits journaliers, sont résumées sur le tableau suivant :

Seuil	Nombre de jours	Pourcentage
Q > 1000 m ³ /s	0	0
Q > 500	2	0,02%
Q > 200	22	0,20%
Q > 100	94	0,86%
Q > 50	221	2,02%
Q > 20	689	6,29%
Q > 10	1489	13,59%
Q > 5	2499	22,80%
Q > 1	5947	54,27%
0 < Q < 1	4771	43,54%
Lit à sec	239	2,18%

Tableau 17: Fréquence des débits journaliers à Aoulouz

Il ressort de ces chiffres -hormis que le lit est rarement à sec- que les débits inférieurs à 1 m³/s sont très fréquents à la station d'Aoulouz. Ils constituent 43,5 % des débits inventoriés; puis suivent les débits journaliers compris entre 1 et 5 m³/s, qui constituent 31,5 % du total, et il est évident que plus le seuil est élevé, plus le nombre de jours l'ayant dépassé diminue. C'est ainsi qu'on constate la faible fréquence des débits supérieurs à 100 m³/s: en moyenne 3 jours par an, et 7 jours seulement pour le seuil de 50 m³/s.

Nous avons établi pour deux années différentes (une sèche et une humide), les graphiques des débits moyens journaliers (fig.68 & 69). Ils mettent en évidence, pour le premier, une relative stabilité des débits

pendant l'année sèche, et une grande irrégularité du régime en année humide, avec plusieurs pics de crues. Les temps de montées des eaux sont très brefs, également pour les temps de décrues. Les crues seraient donc, en ce milieu subaride de courte durée avec des débits de pointes très élevés. Elles se manifestent dans le bassin du Souss, en automne, en hiver et au printemps.

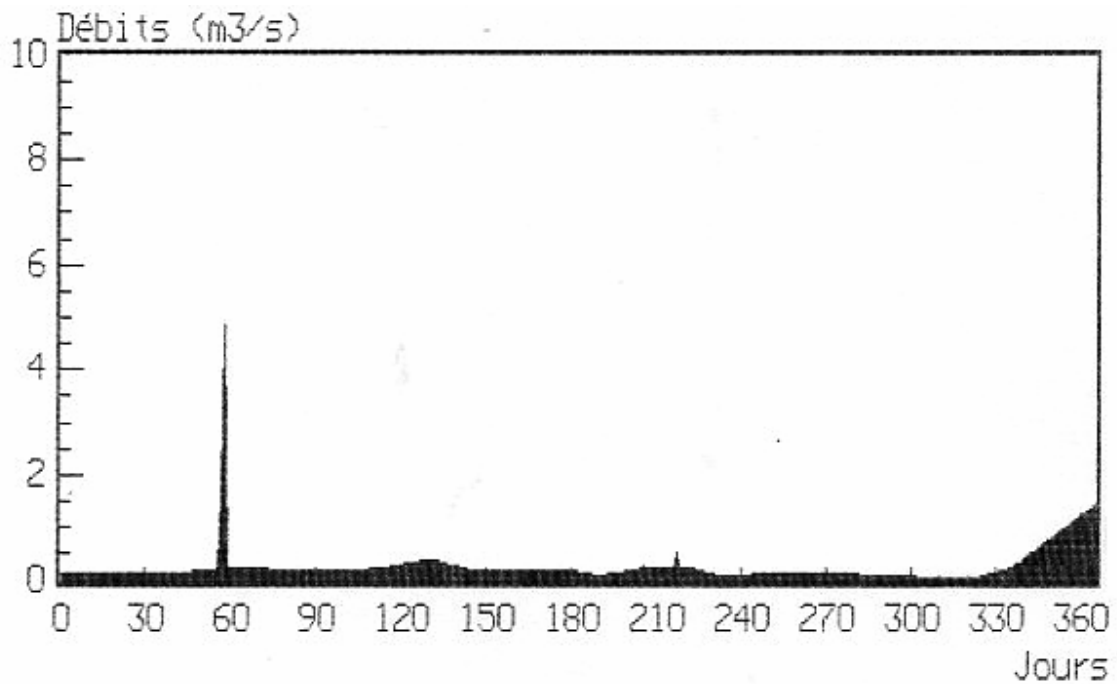


Figure 68 : Débits moyens journaliers à Aoulouz pendant l'année 1960-1961

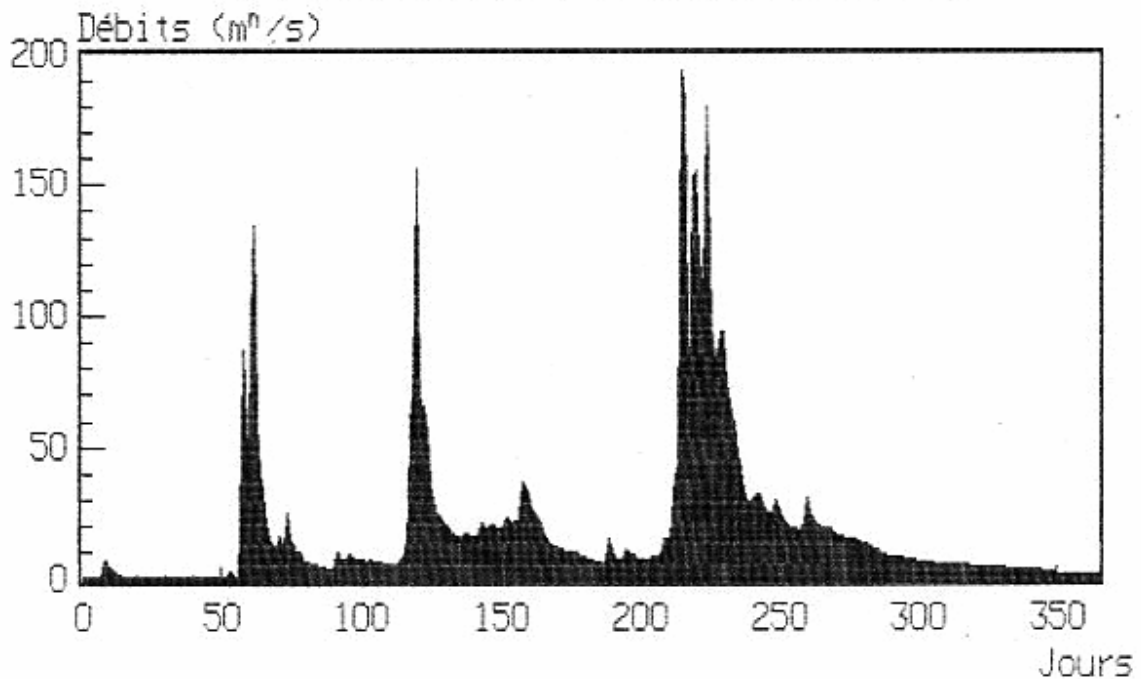


Figure 69 : Débits moyens journaliers à Aoulouz pendant l'année 1970-1971

La courbe des débits classés (fig. 70) montre la très grande abondance des débits inférieurs à 50 m³/s, et la faiblesse des débits d'étiage. Le DC6, ou débit médian, n'est que de 1,39 m³/s; et sur la période de 30 ans, les autres débits caractéristiques se présentent comme suit :

	Max	DC10	DC1	DC3	DC6	DC9	DCe
m ³ /s	878,5	39,4	16,7	4,37	1,39	0,5	0,01

Tableau 18: Débits caractéristiques de l'oued Souss à Aoulouz

DC10 est le débit dépassé en moyenne 10 jours par an.

DC1, DC3, DC6 et DC9 sont les débits dépassés respectivement 1,3,6 et 9 mois par an.

DCe est le débit d'étiage, dépassé en moyenne 355 jours par an.

Ces valeurs très faibles à partir du DC3 traduisent le caractère pluvial et irrégulier du cours d'eau, pour lequel, ni les rétentions nivales ni les rétentions souterraines ne permettent de garder un écoulement élevé pour le printemps et l'été.

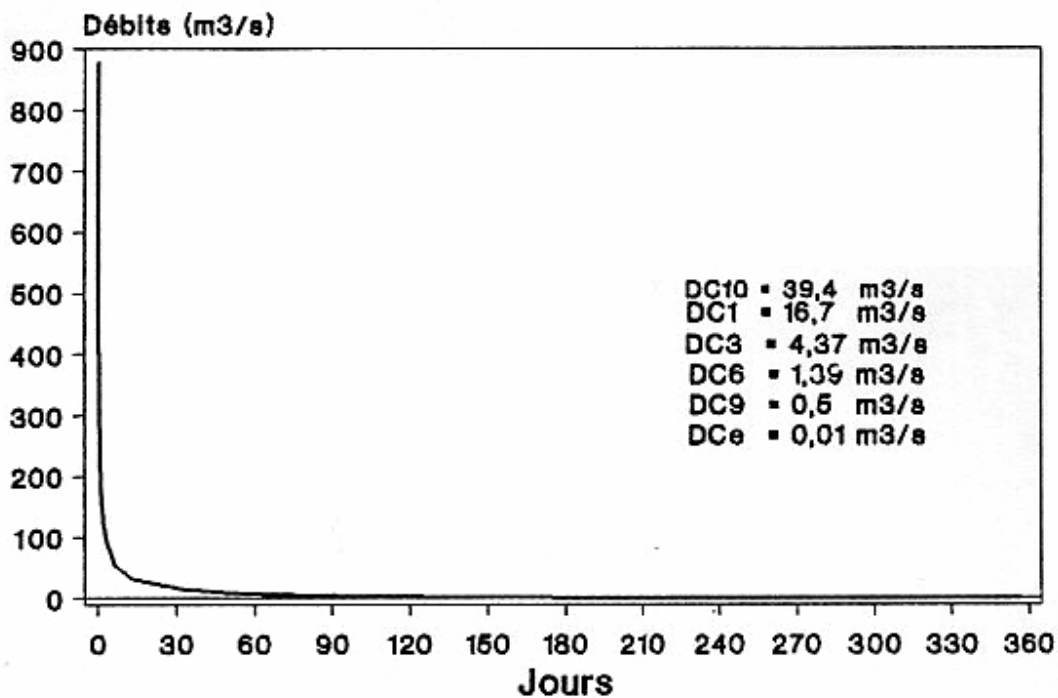


Figure 70 : Courbe des débits classés à Aoulouz de 1960 à 1990

2- Bassin du Souss à Taroudant :

A Taroudant, l'oued Souss ne coule véritablement que quelques semaines par an (parfois quelques jours seulement). Le nombre moyen de jours d'écoulement de 1960 à 1990 est de 74,5 par an, soit deux mois et demi seulement. L'évaporation et l'infiltration semblent être une barrière difficilement surmontable pour les faibles et moyens débits sortant des gorges d'Aoulouz. Ce sont donc des grandes crues qui

constituent l'essentiel des écoulements observés à Taroudant. Ces crues y sont souvent plus importantes qu'à Aoulouz, comme en témoigne la largeur du lit majeur au niveau de Taroudant, où il peut atteindre jusqu'à 1000 m.

La faiblesse des jours d'écoulement et la puissance des crues seront mieux mises en lumière par le tableau des fréquences suivant :

Seuil	Nombre de jours	Pourcentage
Q > 1000 m ³ /s	3	0,03%
Q > 500	6	0,06%
Q > 200	23	0,22%
Q > 100	46	0,43%
Q > 50	153	1,44%
Q > 20	393	3,70%
Q > 10	625	5,90%
Q > 5	897	8,46%
Q > 1	1549	14,60%
Q > 0,01	2165	20,40%
Oued à sec	8439	79,60%

Tableau 19: Fréquence des débits journaliers à Taroudant

On remarque, par rapport à Aoulouz, qu'à Taroudant, des débits moyens journaliers supérieurs à 1000 m³/s ont été observés, et que des débits supérieurs à 500 m³/s y sont aussi plus fréquents qu'en amont du bassin. Et en moyenne, on peut observer chaque année, une crue d'au moins 200 m³/s.

En revanche, ce qui caractérise les débits à Taroudant, c'est le nombre élevé de journées sans écoulement où le talweg est à sec : en moyenne 290 jours par an, ce qui fait de l'oued, à cet endroit, un cours d'eau temporaire typique des régions arides. Le tableau des débits caractéristiques, puis la courbe des débits classés (fig. 71) confirmeront ces remarques :

	Max	DC10	DC1	DC3	DC6	DC9	DCe
m ³ /s	1138	27,6	5,5	0	0	0	0

Tableau 20: Débits caractéristiques à Taroudant

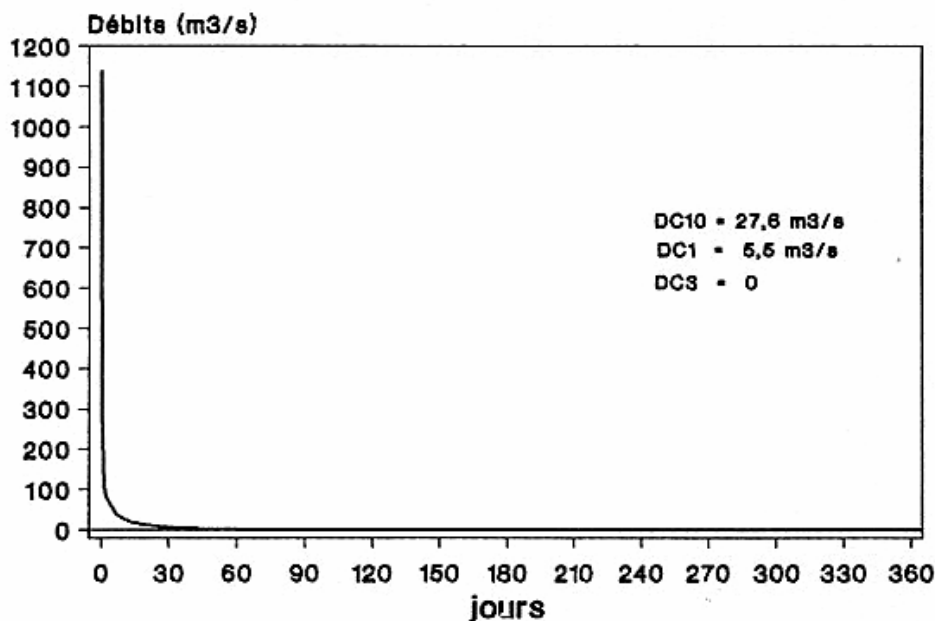


Figure 71 : Courbe des débits classés à Taroudant de 1960 à 1990

3- Oued Souss à Aït Melloul :

A Aït Melloul, en aval du bassin, les débits moyens journaliers supérieurs à 1000 m³/s sont encore aussi fréquents qu'à Taroudant, mais ce qui spécifie la station d'Aït Melloul, c'est le nombre de débits journaliers supérieurs à 500 m³/s: 22 jours contre 6 à Taroudant et 2 à Aoulouz. Les crues arrivant à Aït Melloul réunissent généralement les flots des différentes branches hydrographiques du bassin jusqu'à l'aval; les hauteurs d'eau s'en trouvent, par conséquent, très élevées à l'exutoire d'Aït Melloul, où le bassin s'étend sur une aire de 16100 km². Sur la figure 72, qui illustre par exemple l'hydrogramme de l'année très humide 1962-63, on remarque plusieurs crues dont les pointes atteignent des débits très forts. Les hydrogrammes de ces crues sont très aigus, plus aigus encore qu'en Aoulouz. Elles sont donc, ici aussi, de durée assez courte et d'une grande violence. Les fréquences d'autres débits moyens journaliers sont énumérées sur le tableau suivant :

Seuil	Nombre de jours	Pourcentage
Q > 1000 m ³ /s	4	0,04%
Q > 500	22	0,22%
Q > 200	85	0,85%
Q > 100	177	1,78%
Q > 50	279	2,80%
Q > 20	650	6,53%
Q > 10	1003	10,08%
Q > 5	1433	14,40%
Q > 1	2873	28,87%
Q > 0,01	5589	56,16%
Lit à sec	4362	43,83%

Tableau 21: Fréquence des débits journaliers à Aït Melloul

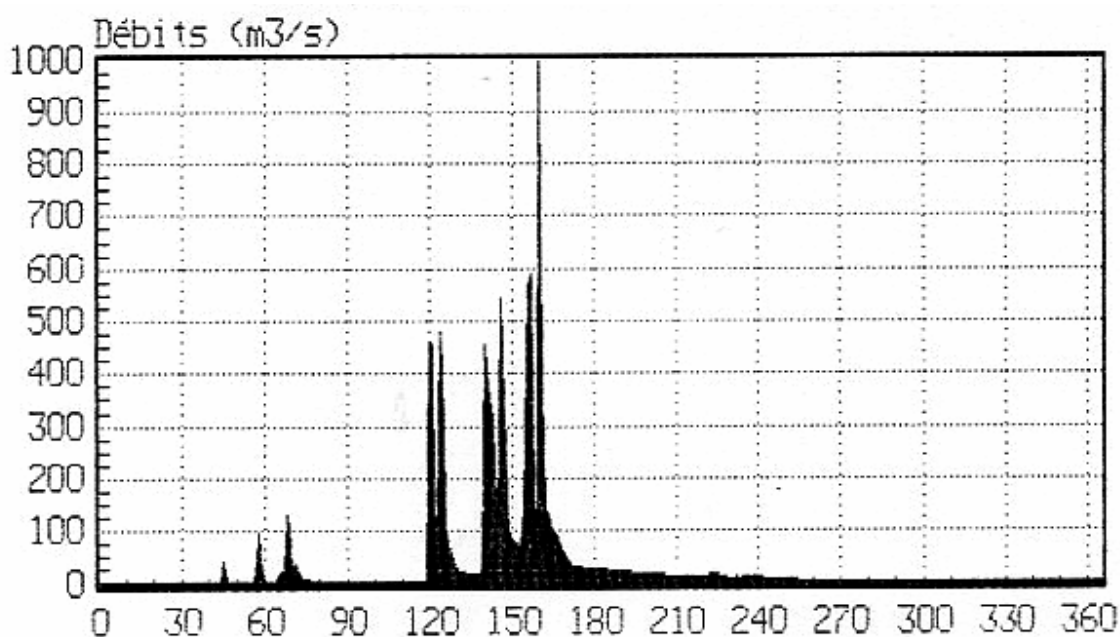


Figure 72: Hydrogramme des débits moyens journaliers de 1962-63 à Aït Melloul

On retrouve donc aussi à Aït Melloul un nombre relativement élevé de jours où le lit est à sec (quoiqu'il est beaucoup moins important qu'à Taroudant): en moyenne 160 jours par an (soit un peu plus de 5 mois), et ceci malgré l'apport, en période d'étiage, de la nappe phréatique qui affleure en plusieurs points du lit en aval du bassin. Cette pénurie est, en revanche, compensée par des hautes eaux et des crues très importantes, qui mobilisent de grandes masses d'eau, ce qui relève les modules annuels à des valeurs appréciables à Aït Melloul.

Les débits moyens journaliers supérieurs à 100 m³/s sont plus fréquents ici qu'ailleurs en amont. Également pour des débits supérieurs à 200 m³/s et d'une façon plus nette encore.

Le débit moyen journalier médian est assez faible, il est de l'ordre de 0,05 m³/s, le DC₉ est nul; en revanche le débit caractéristique ou DC₁₀ est plus élevé ici qu'à Aoulouz ou Taroudant (Tab. 22 et fig. 73).

	Max	DC ₁₀	DC ₁	DC ₃	DC ₆	DC ₉	DC _e
m ³ /s	1306	50,6	14	1,5	0,05	0	0

Tableau 22: Débits caractéristiques du Souss à Aït Melloul

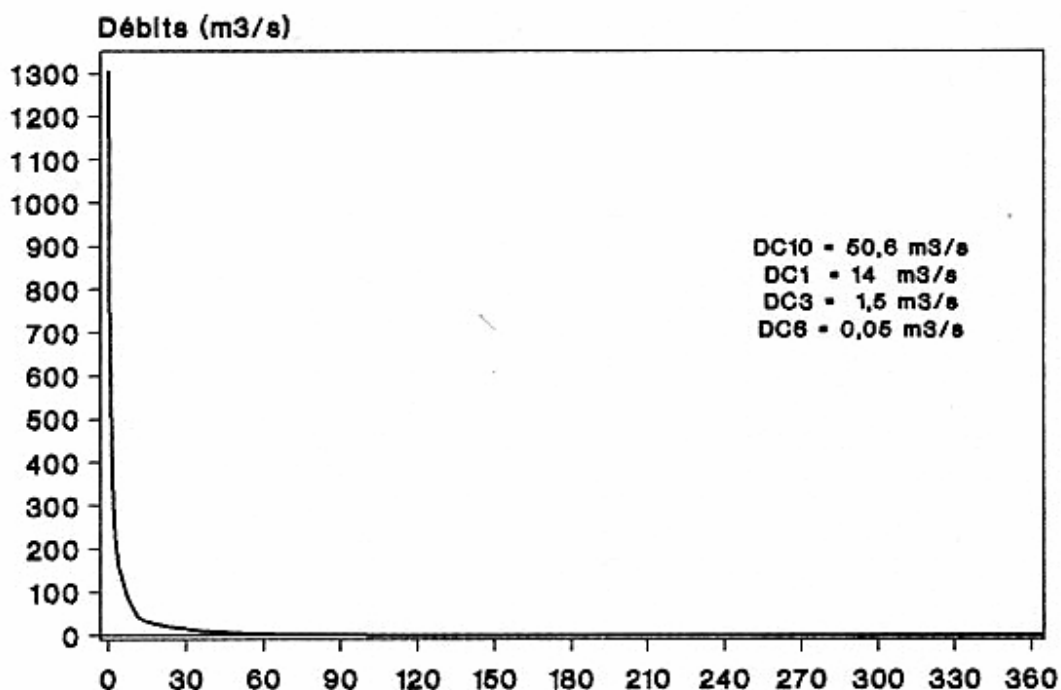


Figure 73: Courbe des débits classés à Aït Melloul de 1962 à 1990

Conclusion :

Ce qu'on peut dire pour conclure sur les débits journaliers c'est que les maxima maximorums sont très élevés le long de l'oued, ils dépassent facilement les 500 m³/s. En revanche, les courbes statistiques des débits classés confirment un caractère sec et soutenu des étiages. Les débits sont nuls à partir du DC3 à Taroudant, et du débit du 8^e mois à Aït Melloul. Par contre, la pérennité de l'écoulement est souvent assurée à Aoulouz, bien que le débit d'étiage y est très faible (DCe = 0,01 m³/s).

Les débits caractéristiques de six mois, DC6 ou débits médians, sont à Aoulouz, Taroudant et Aït Melloul respectivement 1,39 , zéro et 0,05 m³/s. Ils sont très éloignés des modules annuels moyens (dans l'ordre 6,41 , 3,65 et 8,05 m³/s). Ils traduisent donc le caractère excessif, violent et irrégulier de l'écoulement. Les rapports des débits moyens aux débits médians sont excessivement élevés, ils appartiennent tout à fait aux oueds des régions arides et subarides.

IV- Les crues du Souss :

L'attention a toujours été attirée sur les cataclysmes hydrologiques et leurs effets destructifs bien connus dans diverses parties du monde. Au Maroc subsaharien, on s'est intéressé depuis plusieurs années à ces phénomènes d'écoulement extrêmes, reconnus depuis longtemps dans les déserts de l'ouest américain et ceux de l'Afrique australe. Les premières études fûrent entreprises par F. Joly, L. Roger et J.R. Vanney qui ont décrit respectivement les crues d'octobre 1950 des oueds Rheris et Ziz, la crue du Guir le 21 mars 1959 et la crue de la Saoura (dans les confins algéro-marocains) en mars 1959. Ils ont remarqué, dans l'ensemble, deux types de ruissellement avec des effets morphologiques différents: un ruissellement diffus en nappe (sheet flood), qui contribue, avec les débordements de crue, à étaler les sédiments sur le lit majeur en évacuant des débris très fins et à dessiner plusieurs chenaux évasés qui évacuent les eaux en décrue; et un écoulement concentré ou crue proprement dite, qui alterne une érosion latérale des berges et un creusement verticale du fond du talweg, quand la puissance permet l'entraînement d'une charge élevée.

Les pointes de crues observées dans cette bordure nord-occidentale du Sahara peuvent dépasser le millier de mètres cubes par seconde: la crue du Rheris et Ziz a roulé en octobre 1950 de 1000 à 1100 m³/s selon F.Joly et celle de la Saoura en mars 1959 a mobilisé selon J.R.Vanney 1200 m³/s à Beni Abbès et même 5000 m³/s à Abadla pour des bassins versants respectifs de 44000 et 22000 km². Les volumes d'eau roulés pendant la semaine de crue étaient estimés à 800 millions de m³ à Abadla et à 400 millions à Beni-Abbès; et on avait constaté une diminution sensible du volume écoulé vers l'aval, fait caractéristique de l'hydrologie en pays aride, dû essentiellement au grand étalement des crues accompagné d'une forte évaporation et des infiltrations dans les accumulations sableuses qui parsèment les bas parcours. Les coefficients d'écoulement peuvent parfois être très élevés (80 % pour le Guir à Abadla en mars 1959), mais sont généralement de 20 à 40 %. Depuis quelques temps, il semblerait que des études semblables aient été abandonnées. Cela tient peut être à la sécheresse prolongée des années 70 et 80 et à leur pénurie en crues désastreuses; même les crues de février 1963 et novembre 1967 de l'oued Souss n'ont pas bénéficié d'une étude descriptive.

Dans l'ouest américain, Pardé a décrit quelques crues torrentielles de la Kansas river et quelques rivières voisines. Ces crues sont survenues essentiellement en saison chaude de mai à août. Le fait seul de cette localisation dans le temps en saison chaude suffit à montrer que les inondations considérées ont pour causes des précipitations diluviennes, sans quoi l'évapotranspiration, si active dans les mois chauds, empêcherait un ruissellement intense d'avoir lieu. Pourtant il tombe ici moins de 400 mm de pluies par an, et le déficit d'écoulement est relativement élevé, du coup, le débit moyen annuel est sensiblement médiocre (0,5 l/s/km² à Kansas-city, tout comme le Souss à Aït Melloul). Les crues du Kansas peuvent débiter, comme dans la bordure nord-occidentale du Sahara, par un mur d'eau (wall of

water) qui surgit brutalement dans le lit ; mais les pointes de débits sont ici plus fortes : elles ont atteint pendant les crues de mai et juin 1935 un maximum de 7930 m³/s, et environ 5000 m³/s en juillet 1951.

Dans ce qui va suivre, nous nous proposons de présenter quelques renseignements caractéristiques des crues remarquables arrivées récemment dans le bassin versant du Souss, pour voir dans quelle mesure elles peuvent s'intégrer dans le cadre général de la propagation des crues propre à ce type de cours d'eau.

A - Estimation des probabilités de crues de l'oued Souss

Nous avons jugé intéressante la prédétermination du débit maximum probable des crues, car son intérêt économique est évident en raison des effets destructifs bien connus de ces cataclysmes hydrologiques, et la nécessité de calculer certains ouvrages de protection dont les dimensions sont essentiellement déterminées par le maximum probable de la crue, auquel ces ouvrages devront faire face.

Nous disposons au départ d'une série de crues observées à chaque station de mesure. Et après avoir été assuré que les crues sont bien indépendantes, nous nous serviront d'une fonction de répartition théorique $F(Q)$. Si cette fonction convient bien à l'échantillon observé, nous pourrions estimer aisément, soit graphiquement soit par le calcul, les débits correspondant aux fréquences données. Pour cela, l'échantillon sera soumis à un traitement statistique qui peut se scinder en trois étapes:

- a- Analyse de l'échantillon et choix du type de loi.
- b- Estimation des paramètres de la loi et vérification de son adéquation.
- c- Estimation de la valeur de la variable débit pour une probabilité P , et calcul de l'intervalle de confiance au seuil du risque choisi.

1 - Ajustement de différentes lois à un échantillon de crues observées à Aoulouz :

Les débits maxima annuels dont on dispose couvre une période de 50 ans, mais comprenant un nombre de lacunes variable pour les trois stations.

A Aoulouz, les maxima annuels des débits de Souss de 1942 à 1949 font défaut. Les valeurs de 1941-42 et de 1949 jusqu'en 1991 se présentent comme suit :

Années	Qmax.inst (m3/s)	Rang	Fréq. expérim.
41-42	113	34	0,227
42-43	-	-	-
43-44	-	-	-
44-45	-	-	-
45-46	-	-	-
46-47	-	-	-
47-48	-	-	-
48-49	-	-	-
49-50	1000	6	0,864
50-51	400	18	0,591
51-52	300	23	0,477
52-53	620	9	0,796
53-54	90	37	0,159
54-55	210	29	0,341
55-56	1212	4	0,909
56-57	240	27	0,387
57-58	285	24	0,455
58-59	114	33	0,25
59-60	323	21	0,523
60-61	27	42	0,046
61-62	308	22	0,5
62-63	404	17	0,614
63-64	185	30	0,318
64-65	615	10	0,773
65-66	553	11	0,75

Années	Qmax.inst (m3/s)	Rang	Fréq. expérim.
66-67	482	14	0,682
67-68	1068	5	0,887
68-69	412	16	0,637
69-70	1264	3	0,932
70-71	251	25	0,432
71-72	84	39	0,114
72-73	113	35	0,205
73-74	134	31	0,296
74-75	94	36	0,182
75-76	41	41	0,068
76-77	735	7	0,841
77-78	220	28	0,364
78-79	1365	2	0,955
79-80	495	13	0,705
80-81	80	40	0,091
81-82	462	15	0,659
82-83	12	43	0,023
83-84	730	8	0,818
84-85	378	20	0,546
85-86	88	38	0,137
86-87	123	32	0,273
87-88	1650	1	0,977
88-89	516	12	0,727
89-90	400	19	0,568
90-91	246	26	0,409

Tableau 23: Débits maxima instantanés du Souss à Aoulouz de 1941 à 1991

Les caractéristiques empiriques de cet échantillon étant :

- Le nombre des réalisations $N = 43$
- La moyenne $Q = \sum Q_i / N = 428,9 \text{ m}^3/\text{s}$
- L'écart type: $\sigma = 390,8$; le coefficient de variation $V = 0,91$

Choix du type de loi :

Généralement, le module d'un cours d'eau suit une loi normale quand le régime des précipitations est abondant (régions tempérées, régions tropicales et équatoriales); par contre ce module suit une loi dissymétrique pour des régions désertiques ou subdésertiques. De plus, plus le coefficient de variation V de l'échantillon est faible, plus la normalité est vraisemblable; et à partir de $V = 0,5$, plus ce coefficient s'élève, moins la normalité est vraisemblable, et l'échantillon suivra certainement une loi dissymétrique.

S'agissant pour le bassin de Souss d'une région semi-aride et présaharienne (pluies moyennes annuelles = 290 mm) avec un régime hydrologique très irrégulier, et s'agissant aussi d'un échantillon de valeurs extrêmes (Débits maxima annuels) avec un coefficient de variation très élevé (0,91), on choisira naturellement d'ajuster ici des lois dissymétriques à savoir: la loi de Gumbel, la loi de Pearson III et la loi de Galton.

a - Ajustement à la loi de Gumbel :

La densité de probabilité de la loi de Gumbel peut s'écrire en pratique : $F(Q) = e^{-e^{-y}}$

Avec $y = a(Q - Q_0)$; soit $F(Q) = \exp(-\exp(-a(Q - Q_0)))$

L'estimation des paramètres d'ajustement étant:

Le paramètre d'échelle : $1/a = 0,78 \sigma = 304,85$

Le paramètre de forme : $Q_0 = \underline{Q} - (1/a * 0,577) = 253$

σ = l'écart type de l'échantillon.

\underline{Q} = Moyenne de l'échantillon.

La droite de Gumbel étant $y = a(Q - Q_0)$; elle peut s'écrire donc:

$$y = (Q - 253)/304,8$$

Sur un papier diagramme à échelle de probabilité de Gumbel, on reporte les valeurs de fréquences expérimentales de toutes les années d'observation, puis on trace la droite d'ajustement en calculant 2 ou 3 valeurs de Q pour 2 ou 3 valeurs de y. Mais à défaut du papier diagramme à échelle de Gumbel, on procède à un changement de variable pour obtenir une échelle linéaire y sachant que : $F(Q) = e^{-e^{-y}}$

Par conséquent, $y = -\text{Log}(-\text{Log} F(Q))$

En transformant toutes les fréquences en variable réduite y, on peut utiliser une échelle linéaire en abscisse et en ordonnées.

A première vue du graphique de Gumbel (fig. 74), l'ajustement paraît relativement adéquat. Les débits qui s'ajustent le mieux à cette loi sont compris entre 100 et 850 m³/s. Au-delà de 1000 m³/s, on constate un léger décalage par rapport à la droite des estimations théoriques, traduit par une sous-estimation de ces débits maxima. La lecture de ce graphique a permis de dégager les valeurs de quantiles, les probabilités d'occurrence et les périodes de retour des crues particulières. Et pour éviter les incertitudes de lecture, nous pouvons calculer ces débits à partir des probabilités correspondantes par $y = (Q - 253)/304,8$ sachant que $P(x) = \exp(-\exp(-y))$.

Ceci est en partie résumé Sur le tableau suivant :

Quantiles	période de retour	probabilité d'occurrence	valeur (m ³ /s)
Crue médiane	2 ans	0,5	365
Crue Quinquennale	5 ans	0,2	710
Crue décennale	10 ans	0,1	939
Crue cinquantennale	50 ans	0,02	1442
Crue centennale	100 ans	0,01	1655

Tableau 24: Estimation des débits de crues du Souss à Aoulouz d'après la loi de Gumbel

Ces résultats ne sont que relativement en concordance avec l'examen empirique de l'échantillon : sur 43 ans, nous avons 20 valeurs au-dessus de la médiane et 23 en dessous; et 6 valeurs observées sont supérieures aux estimations de la crue décennale.

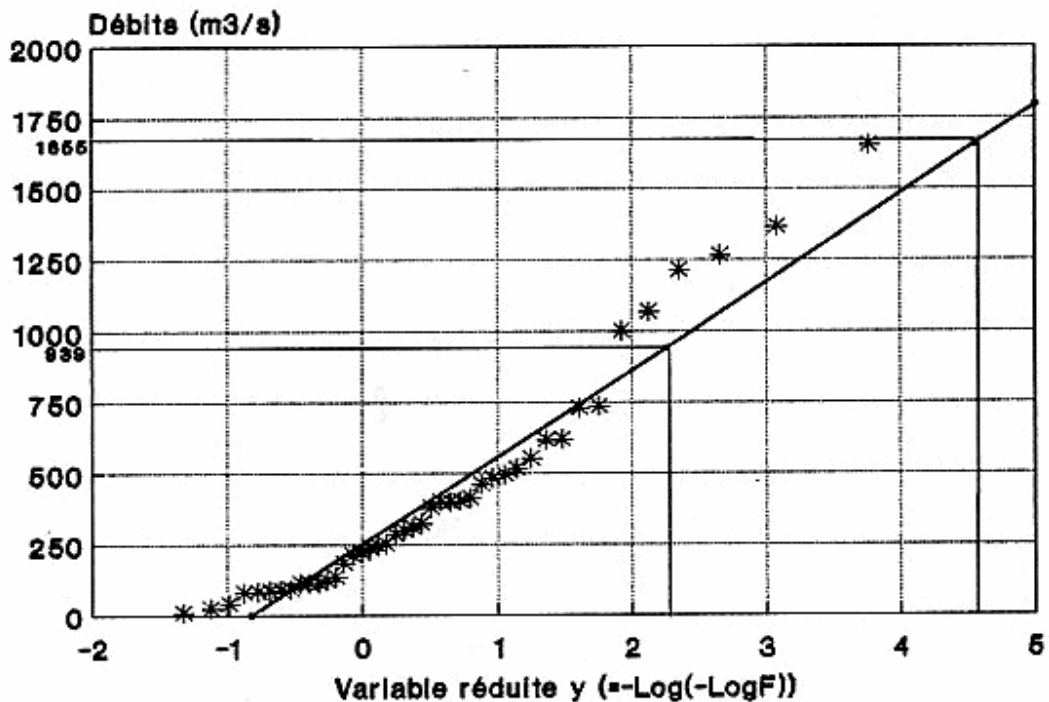


Figure 74 : Ajustement de la loi de Gumbel aux crues du Souss à Aoulouz de 1941 à 1991

Les intervalles de confiance à 95 % des crues décennales et centennales s'établissent comme suit :

$$720 < Q_{10} < 1298,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1240,7 < Q_{100} < 2249 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ces intervalles sont très larges car le risque d'erreur pris est assez faible (5 %), ils se resserrent évidemment davantage pour des intervalles de confiance à 70%, ils deviennent respectivement

$$829,5 < Q_{10} < 1079 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1447,5 < Q_{100} < 1913 \text{ m}^3/\text{s}$$

b- Ajustement à la loi de Pearson III :

La loi de Pearson est une loi dissymétrique à deux paramètres, un paramètre de forme noté δ , et un paramètre d'échelle $1/a$.

Une table de Pearson permettra de calculer les fréquences théoriques après avoir fait un changement de variable. Après l'estimation des paramètres de forme et d'échelle, l'équation de la courbe de Pearson a pu s'écrire : $u = 0,002586 Q$

On trace la courbe sur un papier gaussien, les fréquences théoriques seront calculées pour différentes valeurs de Q de 100 à 2000 m³/s par intervalles de 200.

La figure 75 illustre la représentation de cet ajustement à côté de celui de Gumbel. Il ressort de sa lecture que la loi de Pearson paraît plus convenable pour représenter les valeurs extrêmes des débits, supérieures ou égales à 1000 m³/s que la loi de Gumbel semblait sous estimer. Cependant, l'ajustement paraît largement en discordance avec les observations expérimentales des débits compris entre 50 et 800 m³/s pour lesquels la loi de Gumbel serait la mieux adaptée.

Ceci dit, et puisque notre intérêt est particulièrement axé sur les crues décennales et centennales, il se trouve que les valeurs de ces crues sont lues sur la partie du graphique où la loi de Pearson est plus harmonieuse. On se permettra donc de considérer que les estimations de ces crues par ladite loi seraient les plus significatives et les plus proches de la réalité. Ces quantiles se présentent comme suit :

Crue décennale : 1050 m³/s
Crue centennale : 1830 m³/s

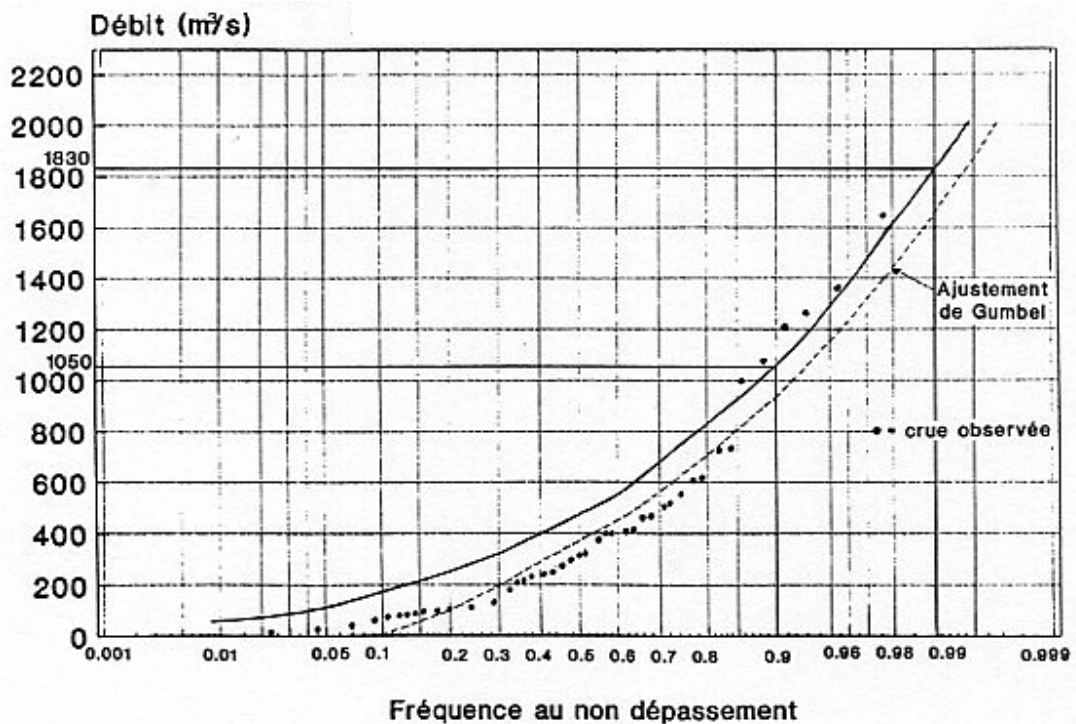


Figure 75 : Ajustement de la loi de Pearson III aux crues du Souss à Aoulouz de 1941 à 1991

Sur notre échantillon donc de 43 valeurs, 5 valeurs observées sont supérieures aux estimations de la crue décennale, et la plus forte crue observée reste inférieure aux estimations de la crue centennale, ce qui nous donne un peu plus de satisfaction par rapport aux résultats précédents.

On remarque par ailleurs, que les estimations de ces quantiles sont comprises sans difficulté dans les intervalles de confiance à 95% des crues estimées d'après la loi de Gumbel: respectivement {720-1298

m^3/s et $\{1240-2249 m^3/s\}$, elles se trouvent même comprises dans les intervalles à 70% d'après cette même loi: ($829 < Q_{10} < 1079 m^3/s$ et $1447 < Q_{100} < 1913 m^3/s$), ce qui nous permet de dire que ces deux systèmes d'estimation ne peuvent pas être considérés comme significativement différents .

Les mêmes quantiles (crue décennale et crue centennale), sont estimés d'après l'ajustement de **la loi de Galton** respectivement à : **$Q_{10} = 885 m^3/s$** et **$Q_{100} = 1892 m^3/s$** .

On remarque que le résultat de l'estimation de la crue centennale est assez proche de celui fourni par la loi de Pearson ($1830 m^3/s$), ce résultat semble donc être raisonnable; quant à la valeur de la crue décennale, elle s'est trouvée ici beaucoup plus faible que les prévisions de la loi de Pearson et même de celle de Gumbel; cette valeur relativement sous-estimée, sera considérée ici moins significative, car elle est expérimentalement dépassée au moins six fois en 43 ans, et elle est même très proche de la valeur de la 7^{ème} crue.

Enfin, nous pouvons dire que les ajustements des trois lois ne paraissent convenables que partiellement, les débits extrêmes du Souss à Aoulouz présentent une variabilité importante et une irrégularité extrême; l'abondance ou la pénurie en eau de surface sont étroitement liées aux précipitations, qui sont elles mêmes très variables dans le temps et dans l'espace.

L'analyse de tous les résultats nous amène à adopter pour l'estimation de la crue décennale du Souss à Aoulouz un débit d'environ **$1000 m^3/s$** . La crue centennale est estimée respectivement par les lois de Gumbel, de Pearson et de Galton à 1655, 1830 et 1892 m^3/s . Une valeur raisonnable devrait la situer vers **$1800 m^3/s$** .

2 – Les crues du Souss à la station de Taroudant :

A Taroudant, le Souss draine un bassin versant de 9350 Km². Entre Aoulouz et Taroudant, plusieurs affluents des deux rives dévalent leurs eaux de crues dans le cours principal du Souss contribuant à augmenter les hauteurs d'eau maximales observées à Taroudant.

L'échantillon des débits maxima instantanés comprend ici 42 valeurs annuelles dispersées sur une période de 1941 à 1991. Il se présente comme suit :

Années	Q max inst (m ³ /s)	Rang	fréq.exp
41-42	124	29	0.325
42-43	102	33	0.232
43-44	-	-	-
44-45	119	31	0.279
45-46	104	32	0.256
46-47	205	24	0.442

Années	Q max inst (m ³ /s)	Rang	fréq.exp
66-67	222	22	0.488
67-68	1915	3	0.93
68-69	51	37	0.139
69-70	502	13	0.697
70-71	174	25	0.418
71-72	3	41	0.046

47-48	-	-	-	72-73	2	42	0.023
48-49	-	-	-	73-74	60	36	0.163
49-50	-	-	-	74-75	100	34	0.209
50-51	-	-	-	75-76	334	17	0.604
51-52	630	11	0.744	76-77	430	14	0.674
52-53	150	28	0.349	77-78	-	-	-
53-54	-	-	-	78-79	1850	4	0.907
54-55	335	16	0.628	79-80	122	30	0.302
55-56	1763	5	0.884	80-81	30	39	0.093
56-57	266	20	0.535	81-82	168	26	0.395
57-58	519	12	0.721	82-83	6	40	0.07
58-59	45	38	0.116	83-84	2200	1	0.977
59-60	-	-	-	84-85	1620	6	0.86
60-61	218	23	0.465	85-86	166	27	0.372
61-62	998	8	0.814	86-87	71	35	0.186
62-63	2000	2	0.953	87-88	1519	7	0.837
63-64	956	9	0.79	88-89	840	10	0.767
64-65	331	18	0.581	89-90	408	15	0.651
65-66	235	21	0.511	90-91	304	19	0.558

Tableau 25: Débits maxima instantanés annuels du Souss à Taroudant de 1941 à 1991

La moyenne de l'échantillon $\underline{Q} = 528,5 \text{ m}^3/\text{s}$; l'écart type = 636,5; le coefficient de variation $V = 1,2$

A première vue, ce qui caractérise cet échantillon est la valeur très élevée du coefficient de variation (1,2). L'écart type est supérieur à la moyenne arithmétique des débits, ce qui traduit une variabilité extrêmement importante des débits de pointes annuels observés à Taroudant. La dispersion et la dissymétrie de l'échantillon sont donc nettement mises en lumière par ce fort coefficient de variation.

L'ajustement de la loi de Gumbel à la distribution des crues du Souss à Taroudant est illustré par la figure 76. Les points expérimentaux présentent l'allure d'un "S" étiré qui serpente autour de la droite d'ajustement. Ce résultat est un peu moins satisfaisant que celui obtenu par la même loi à Aoulouz. Ceci d'autant plus que la valeur estimée pour la crue décennale ($1359 \text{ m}^3/\text{s}$), qui devrait être dépassée 4 ou 5 fois en 42 ans, a été largement franchie par 7 évènements de crue.

L'estimation de la crue centennale ($2525 \text{ m}^3/\text{s}$), paraît cependant moins contestable puisque sa valeur est restée inapprochée en 42 ans et demeure supérieure à la plus forte crue observée.

Les intervalles de confiance à 70 % sont étalés comme suit :

- Pour la crue décennale : $1180 < Q_{10} < 1594 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pour la crue centennale : $2181 < Q_{100} < 2961 \text{ m}^3/\text{s}$

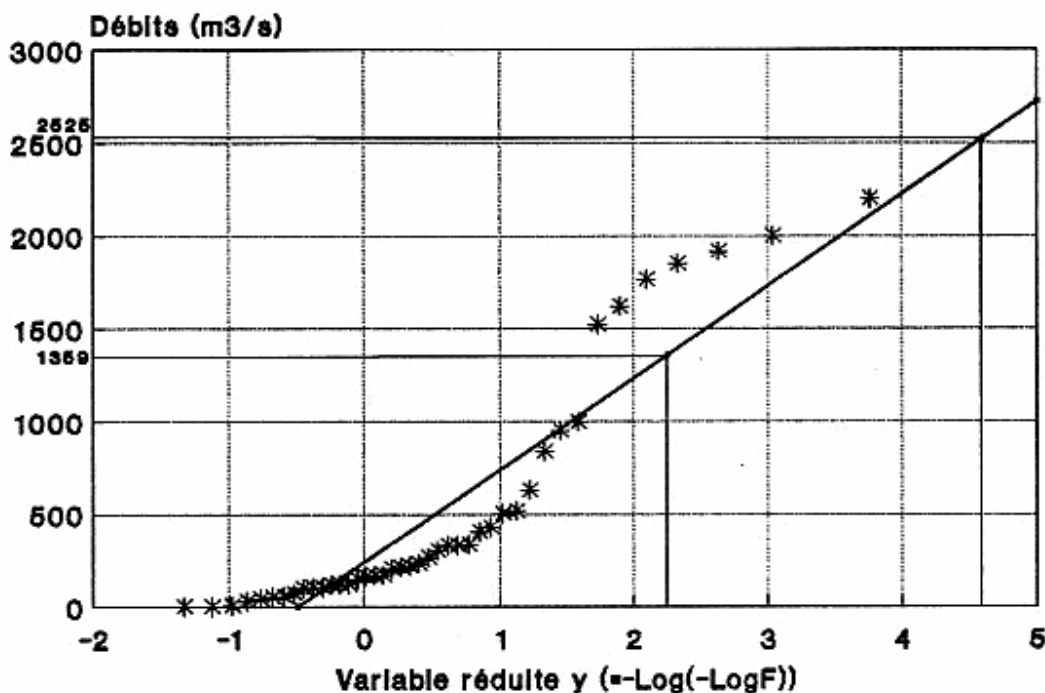


Figure 76: Ajustement de la loi de Gumbel aux crues du Souss à Taroudant de 1941 à 1991

Un essai graphique d'ajustement de la loi de Pearson aux crues de Taroudant, a mis en lumière la non conformité de cette loi à notre échantillon. La courbe d'ajustement passe pratiquement au-dessus de tous les points expérimentaux, et tend à surestimer tous les débits probables. C'est ainsi que la crue décennale du Souss à Taroudant est estimée à 1845 m³/s et la crue centennale à 3200 m³/s. Des valeurs tellement élevées qu'elles échappent à l'intervalle de confiance à 70 % de la loi de Gumbel. C'est pourquoi nous préférons garder jusqu'ici les résultats précédents de Gumbel.

L'ajustement de la loi de Galton a donné, de son côté, des résultats peu convaincants, traduits par une surestimation des faibles quantiles (crue médiane = 338 m³/s dépassée seulement 15 fois en 42 ans), et une légère sous-estimation de la crue décennale, estimée à 1182 m³/s.

C'est donc la loi de Gumbel qui paraît la mieux adaptée à l'échantillon de crues à Taroudant, au moment où les lois de Pearson et Galton tendent, tantôt à surestimer, tantôt à sous-estimer les débits relatifs à des fréquences données. On peut donc situer la crue décennale à environ **1350 m³/s**, et la hauteur de la crue centennale à **2550 m³/s**.

3 – Les crues du Souss à Aït Melloul :

Après un parcours d'environ 200 kilomètres, le Souss arrive à la station hydrométrique d'Aït Melloul, située à 10 Km en amont de l'embouchure ; le bassin du Souss à Aït Melloul à une superficie de 16 100

Km² ; les mesures de débits de crues sont ici plus nombreuses : 45 valeurs annuelles se présentant comme suit :

Années	Q max.inst (m ³ /s)	Rang	fréq.exp
41-42	94	39	0.152
42-43	250	31	0.326
43-44	420	23	0.5
44-45	40	41	0.108
45-46	27	44	0.043
46-47	-	-	-
47-48	244	32	0.304
48-49	35	42	0.087
49-50	482	21	0.543
50-51	180	35	0.239
51-52	540	19	0.587
52-53	210	33	0.282
53-54	-	-	-
54-55	-	-	-
55-56	1100	11	0.76
56-57	30	43	0.065
57-58	800	14	0.695
58-59	40	40	0.13
59-60	195	34	0.26
60-61	-	-	-
61-62	860	13	0.717
62-63	1700	3	0.935
63-64	420	24	0.478
64-65	1450	6	0.869
65-66	380	26	0.435

Années	Q max.inst (m ³ /s)	Rang	frq.exp
66-67	680	17	0.63
67-68	2200	1	0.978
68-69	710	16	0.652
69-70	1400	8	0.826
70-71	1450	7	0.848
71-72	134	37	0.195
72-73	550	18	0.608
73-74	1150	10	0.782
74-75	280	28	0.391
75-76	435	22	0.523
76-77	262	29	0.369
77-78	260	30	0.345
78-79	1650	4	0.913
79-80	350	27	0.413
80-81	135	36	0.217
81-82	-	-	-
82-83	1	45	0.022
83-84	1370	9	0.804
84-85	978	12	0.739
85-86	720	15	0.674
86-87	130	38	0.174
87-88	1885	2	0.965
88-89	1560	5	0.891
89-90	400	25	0.456
90-91	533	20	0.565

Tableau 26: Débits maxima instantanés annuels du Souss à Aït Melloul

La moyenne de ces maxima annuels est de 638,2 (m³/s)

L'écart type $\sigma = 579,4$ et le coefficient de variation $V = 0,9$

Comme à Aoulouz et à Taroudant, la dispersion des valeurs des débits extrêmes annuels à Aït Melloul est assez importante, le coefficient de variation est assez élevé, nous avons donc à faire, ici aussi, à un échantillon dissymétrique.

L'ajustement des lois de Gumbel, de Pearson III et de Galton à l'échantillon de crues, a montré, une fois de plus, que la loi de Gumbel est la plus adéquate pour représenter les valeurs extrêmes des débits du Souss à Aït Melloul. Sa représentation graphique est illustrée par la figure 77.

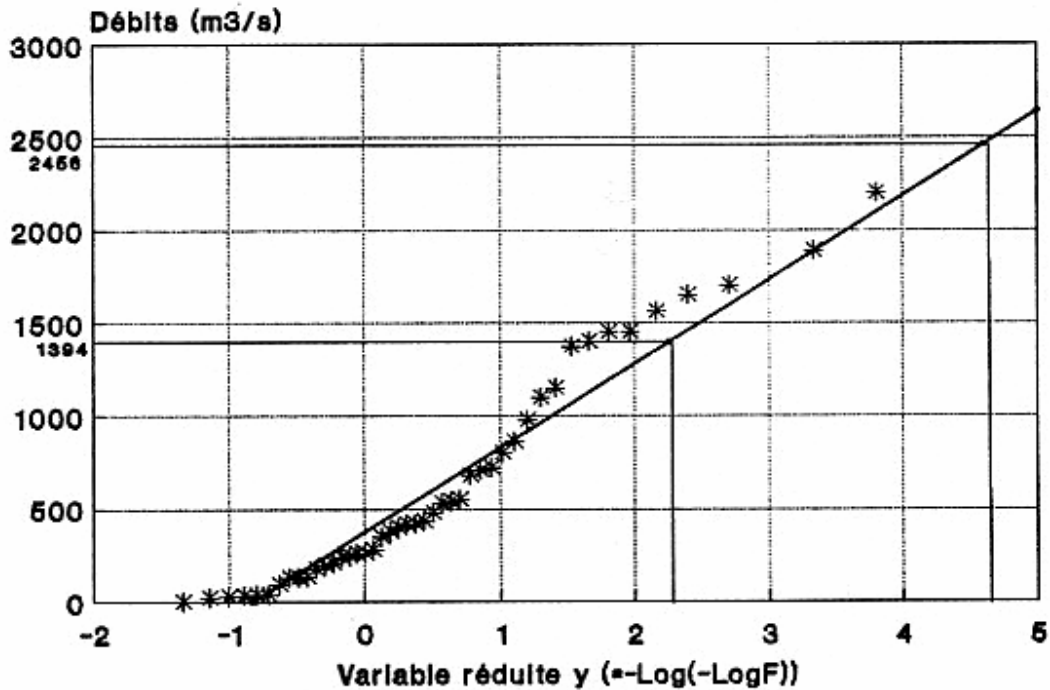


Figure 77: Ajustement de la loi de Gumbel aux crues du Souss à Aït Melloul de 1941 à 1991

L'ajustement est, pour l'ensemble des valeurs, beaucoup plus satisfaisant qu'à Taroudant ou Aoulouz, à l'exception peut être de quelques valeurs autour de 1400 (m³/s). Les hauteurs des crues particulières sont résumées sur le tableau suivant :

Quantile	Période de retour	Valeur estimée (m3/s)
crue médiane	2 ans	543
crue quinquennale	5 ans	1055
crue décennale	10 ans	1394
crue cinquantennale	50 ans	2141
crue centennale	100 ans	2456

Tableau 27: Estimation des débits de crues du Souss à Aït Melloul d'après la loi de Gumbel

Toutes ces estimations paraissent tantôt légèrement supérieures, tantôt légèrement inférieures aux examens expérimentaux des 45 années, mais elles sont dans l'ensemble acceptables puisqu'elles semblent être les plus proches de la réalité, au moment où l'ajustement de la loi de Galton a placé la hauteur de la crue décennale à 1438 m³/s, et la crue centennale à 3994 m³/s.

En récapitulant toutes ces probabilités de crues, et en tenant compte des graphiques d'ajustement, on peut retenir pour l'estimation de la crue décennale à Aït Melloul une valeur de **1400 m³/s**, quant à la valeur de la crue centennale, une estimation raisonnable la situerait à environ **2600 m³/s**.

Conclusions :

Les résultats des estimations statistiques des crues de l'oued Souss aux trois niveaux hydrométriques étaient les suivants :

Station	Surface du B.V	Crue décennale	Crue centennale
Aoulouz	4450 Km ²	1000 m ³ /s	1800 m ³ /s
Taroudant	9350 Km ²	1350 m ³ /s	2550 m ³ /s
Ait Melloul	16100 Km ²	1400 m ³ /s	2600 m ³ /s

Tableau 28: Crues décennales et centennales sur les bassins du Souss

A première vue, on remarque une croissance des débits de crue de l'amont à l'aval du bassin du Souss, parallèlement à la croissance des superficies drainées par l'oued. Cette concentration des eaux de crues vers l'aval, peu fréquente en milieu aride, s'expliquerait, à part l'encaissement de l'oued, par le fait que, contrairement aux faibles et moyens débits, les eaux de crues ne s'infiltreraient pas massivement (grâce à leurs vitesses et leurs volumes) ni dans les cônes de déjections étalés en aval d'Aoulouz et aux piémonts des montagnes, ni tout au long du lit de l'oued où elles transitent généralement sans difficulté jusqu'à l'océan; de plus, les crues sont renforcées par plusieurs affluents des deux rives qui se jettent dans le Souss entre les trois stations de mesure, contribuant à augmenter les hauteurs d'eau observées à Taroudant et Aït Melloul; on peut compter entre Aoulouz et Taroudant 5 affluents rive droite et 4 de la rive gauche; et entre Taroudant et Aït Melloul, 4 affluents arrivent à rejoindre le cours principal, tous de la rive haut-atlasique .

Toutefois, la croissance des débits de crues vers l'aval n'est pas une règle générale dans le bassin du Souss; l'étude dynamique et génétique de ces crues, montrera que leur évolution et leur propagation sont en étroite dépendance avec leurs origines, leurs natures et leurs puissances.

Les hauteurs des crues du Souss paraissent très importantes pour la latitude, les débordements sont inévitables par endroit, notamment en plaine, les dégâts sont souvent redoutables aux cultures, aux voies de communications, aux villages, voire aux villes et aux gens.

Le Souss est loin d'être le plus long oued du Maroc, sa surface de réception (16300 km²) est notoirement inférieure à celles de Sebou, de la Moulouya, de l'Oum-Er-Rebia ou de Tensift, son module annuel (8 m³/s) est le plus faible parmi ces fleuves, pourtant, les estimations des crues du Souss et de la plupart des grands oueds marocains se rapprochent sensiblement: la crue décennale de l'Oum-Er-Rebia, vaste de 30 000 km², se situe aux environs de 2000 m³/s, et la crue centennale à 3000 m³/s (J. Loup,

1960). La variabilité des pluies et des débits est considérable dans le bassin du Souss. En ce milieu sub-aride, les précipitations se concentrent pendant la saison froide et le régime de l'oued est très instable et irrégulier, à l'opposée des rivières de la Meseta et du Gharb marocain, qui sont plutôt pondérées dans leurs variations saisonnières, leurs étiages et leurs crues.

B - Genèse et propagation des crues du Souss :

1 - Repérage et inventaire des crues de souss :

Les données hydroclimatiques du bassin de Souss sont diverses et relativement suffisantes pour faciliter l'analyse de la genèse de nos crues; mais c'est à partir des débits moyens journaliers que nous allons chercher à repérer les épisodes intéressants des crues du Souss. Le Souss est un oued temporaire sur la majorité de son cours, il est à sec la plupart du temps de l'année, en particulier sur sa partie moyenne et aval. Mais ses crues sont caractérisées par une brutalité, une violence et la mobilisation de très grands volumes d'eau.

Les débits du Souss varient donc entre des valeurs nulles et des débits de l'ordre de 1000 m³/s, et peuvent exceptionnellement atteindre 2000 m³/s. Il est nécessaire de dégager dans notre série de débits moyens journaliers et des débits instantanés, des épisodes susceptibles de faire l'objet d'une étude particulière; cependant notre premier souci sera de déterminer un seuil au-dessus duquel on peut réellement parler de crue, sans la confondre avec des classiques hautes eaux annuelles.

- Méthodes empiriques et statistiques :

Il existe de nombreux moyens statistiques, ou qui relèvent simplement de l'expérience, qui permettent de fixer un seuil de crues; mais avant de se lancer dans des calculs théoriques, et après l'observation des séquences des débits journaliers, nous avons retenu le débit de 100 m³/s au-delà duquel on peut parler de crue. et si nous avons cherché d'abord à commencer par une simple observation, c'est pour ne pas nous emprisonner, dès le départ, dans des considérations purement théoriques qui excluraient la possibilité d'examiner les phénomènes naturels tels qu'ils se présentent.

L'une des méthodes la plus couramment employée est celle du débit caractéristique ou DC₁₀ (débit dépassé dix jours par an, et donc 300 fois en 30 ans). Le DC₁₀ est considéré par certains auteurs comme le seuil des débits de crues. Il est égal à Aoulouz et à Aït Melloul, respectivement à 39,4 et 50,6 m³/s; nous avons constaté que cette démarche a mis en lumière un très grand nombre d'épisodes où le débit excédait, tantôt légèrement, tantôt largement, ces valeurs.

Un autre critère de sélection définit le débit de crue comme étant la médiane des débits maxima annuels classés par ordre croissant; la valeur médiane est considérée comme le seuil au-dessus duquel on peut parler de crue. Cette valeur est égale à Aoulouz à 139 m³/s, elle semble être un seuil plus efficace, car il est sûr que plus la barre est élevée, plus on aura de la chance de cerner un phénomène qui correspond véritablement à un phénomène d'exception.

Une autre méthode du choix des périodes de crues est résumée dans la citation de Réménieras (1986): "*Certains hydrologues classent parmi les crues , les débits supérieurs ou égaux à un certain multiple du module annuel, pour d'autres, la crue est un débit de fréquence ou de probabilité faible*".

A Aoulouz, le module moyen annuel est égal à 6.41 m³/s, en multipliant ce module successivement par 10, 15 ou 20 on obtient trois seuils à choisir, respectivement 64 , 96 ou 128 m³/s, et on remarque que les deux derniers seuils sont plus proches de la valeur qu'on s'est fixée au départ.

Il ressort de ces chiffres que la limite de 100 m³/s, retenue au début, paraît conforme et convenable puisqu'elle ne concerne pas un nombre trop élevé d'épisodes -qui pourraient ne pas correspondre forcément à des crues- et n'est cependant pas très exigeante puisqu'elle nous laisse le choix entre un nombre raisonnable de manifestations de crues. pour cela, nous allons inventorier, à l'aide du tableau suivant, toutes les pulsations hydrologiques pour lesquelles le débit moyen journalier dépassait le seuil de 100 m³/s:

Années	Période	Qmax.journa.	Qmax/Q0	Qmax.inst	date & heure
55-56	29 oct-1 nov	155 m ³ /s	4.5	-	-
	15-20 janv	1009	22.4	1212	le 17 à 16h
57-58	13-11 déce	167	41.7	285	12 à 12h
59-60	9-12 janv	127	42.3	323	10 à 20h
62-63	1- 3 janv	110	3.2	-	-
	1- 9 févr	258	16.1	404	7 à 18h
63-64	18-21 déce	117	2.8	185	19 à 23h
64-65	31 jan-5 fév	379	6.4	615	3 à 16h
	29 fev-2 mar	106	8.1	-	-
65-66	26-29 octo	173	28.8	-	-
	3- 7 nove	184	9.2	553	-
66-67	2- 4 mars	167	11.9	482	3 à 13h
67-68	11-21 nove	322	32.2	1068	13 à 23h
68-69	14-18 nove	107	3.2	-	-
	8-12 janv	230	5.6	412	9 à 22h
	6- 8 févr	258	4.4	-	-
69-70	27-30 nove	103	3	-	-
	2-18 nove	759	63.2	1264	4 à 13h
70-71	30 oct-2 nov	193	4.5	251	3 à 12h
	2-20 avri	134	3.2	-	-
76-77	26-30 sept	183	9.6	735	27 à 9h30
77-78	6- 9 janv	160	2.9	220	7 à 24h
	11-13 févr	136	3.4	-	-
78-79	18-26 janv	196	4.2	-	-
	27-30 janv	878	9.8	1365	28 à 8h

	10-13 févr	103	4.9	-	-
79-80	16-18 mars	110	2.5	-	-
81-82	25-27 avri	110	61	462	26 à 18h
83-84	15-17 nove	408	7.5	730	16 à 10h
84-85	6- 8 janv	194	8.4	378	7 à 14h
	9-12 janv	127	2.7	-	-
87-88	28-30 sept	159	22.7	-	-
	24-27 octo	257	-	1650	25 à 16h30
	1- 4 nove	478	79.6	-	-
	2- 5 déce	168	33.6	-	-
	20-28 févr	449	22.4	-	-
	30 fév-7 mar	369	10	-	-
88-89	8-12 nove	319	15	516	10 à 14h
89-90	5- 7 déce	272	68	400	-

Tableau 29: Crues survenues dans le bassin du Souss à Aoulouz de 1960 à 1990

2 - La crue dans l'année hydrologique :

A première vue, on constate que les crues du Souss à Aoulouz se concentrent exclusivement dans une période qui va du mois de septembre au mois de d'avril, avec une prédilection marquée pour les mois de novembre et janvier; la répartition mensuelle est assez variable bien que la saison chaude (mai, juin, juillet et août) est dépourvue d'évènements de crue :

Mois	Nombre de crues	Pourcentage
Septembre	2	5,1 %
Octobre	3	7,7 %
Novembre	9	23,1 %
Décembre	4	10,2 %
Janvier	9	23,1 %
Février	6	15,4 %
Mars	4	10,2 %
Avril	2	5,1 %

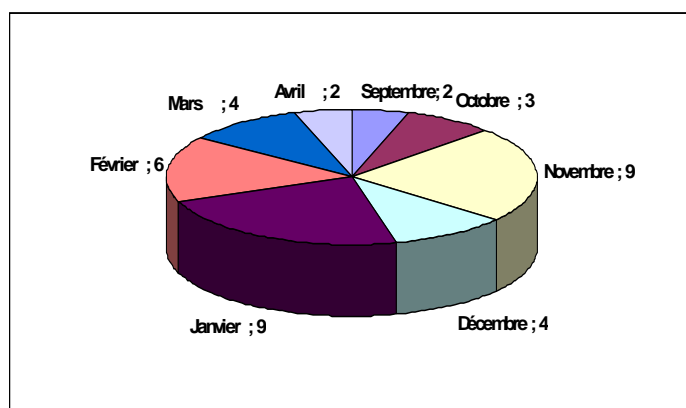


Tableau 30 & Figure 78 : Répartition mensuelle des crues du Souss à Aoulouz

Les mois de novembre et janvier sont donc les mois les plus riches en épisodes de crues, et ce sont aussi les mois les plus pluvieux à la station d'Aoulouz. Reste à signaler que toutes ces crues retenues sont considérées comme "des grandes crues" selon le critère affirmant que: "sont classées comme grandes, les crues dont le débit moyen journalier maximum vaut dix fois et plus le module; sont classées comme secondaires, les crues dont le débit moyen journalier max vaut de cinq à six fois le module" (Dacharry, 1975).

Un inventaire similaire des crues observées à Taroudant et Aït Melloul a permis d'avoir les répartitions mensuelles suivantes:

* Taroudant :

Mois	Nombre de crues	Pourcentage
Septembre	1	3%
Octobre	3	9,1%
Novembre	7	21,2%
Décembre	6	18,2%
Janvier	9	27,3%
Février	4	12,1%
Mars	1	3%
Avril	2	6%

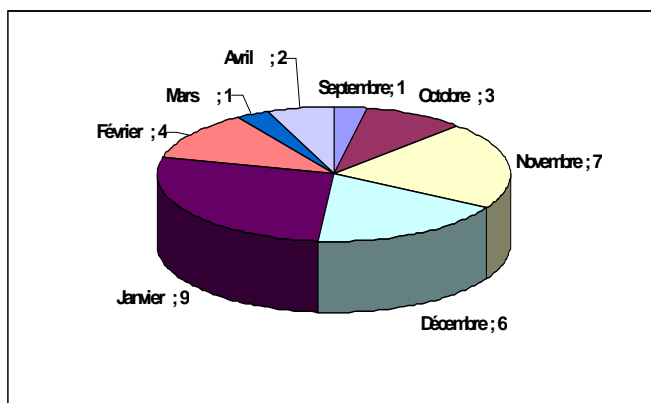


Tableau 31 & Figure 79 : Répartition mensuelle des crues du Souss à Taroudant

* Aït Melloul :

Mois	Nombre de crues	Pourcentage
Septembre	3	5,70%
Octobre	5	9,40%
Novembre	11	20,70%
Décembre	8	15,10%
Janvier	9	17%
Février	6	11,30%
Mars	9	17%
Avril	2	3,80%

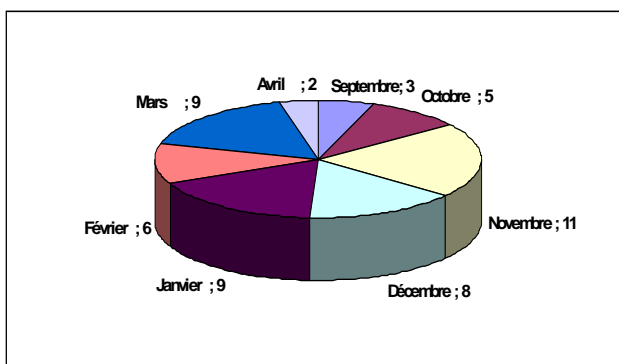


Tableau 32 & Figure 80 : Répartition mensuelle des crues du Souss à Aït Melloul

Ces répartitions dans le temps des crues du Souss à différents niveaux du bassin versant, laissent présager que ce bassin, vaste de 16300 km², peut être subdivisé en plusieurs secteurs où les dangers de crues ne se manifestent pas partout au même mois ou à la même saison, chaque région pouvant avoir sa période de prédilection directement liée à son climat local. C'est le cas, par exemple, des montagnes amont du Souss, dans la zone de liaison du Haut et de l'Anti-Atlas (versants du Tifnoute et du Siroua); dans cette région, tous les records hydro-pluviométriques se situent entre novembre et février: le maximum de pluie enregistrée à Aoulouz (ainsi qu'à Askaoun ou Taliouine) s'abat à cette époque de l'année, et les crues y sont plus fréquentes en cette période de fin d'automne et début d'hiver, cela d'autant plus que les crues du Souss sont uniquement d'origine pluviale .

Ce vaste domaine d'amont d'Aoulouz est donc plutôt sensible aux crues d'hiver et de fin d'automne: 72 % des crues qui y sont observées se sont manifestées pendant cette période.

Un régime aussi solidement établi à l'amont, ne peut que se prolonger longuement tout au long du cours moyen: à Taroudant, au milieu du bassin, la crue est un phénomène hivernal dans 58 % des cas, et le mois de novembre continue à voir se manifester 21 % des crues de l'année. Une nouveauté cependant par rapport à Aoulouz: c'est la poussée de décembre: 18% contre 10%, la saison des crues est ici plus concentrée et regroupée, alors qu'elle était scindée en deux périodes à Aoulouz; cette période continue se distingue aussi nettement dans la répartition mensuelle des pluies à Taroudant, à Talekjounte, à Tafingoulte et dans toutes les stations pluviométriques entre Aoulouz et Taroudant, où les mois de novembre à février totalisent jusqu'à 70 % des pluies de l'année.

A l'aval du bassin, la situation se complique un peu, car l'oued Sous y intègre les différents éléments hydroclimatiques de son cours et ceux propres à l'aval. C'est ainsi qu'on y retrouve -mais dans des proportions moindres- les crues d'hiver et de fin d'automne du Souss amont et moyen. Mais ici se dessine aussi et surtout une zone à crues de printemps. Les perturbations venant de l'ouest et du nord-ouest affectant largement ici le haut atlas occidental faisant bénéficier le versant méridional d'un apport pluvial générateur sans difficulté d'écoulement considérable: aux mois de mars et avril, la station d'Issen pont, par exemple, enregistre une moyenne de 75.2 mm soit 27 % des pluies annuelles, et à Agadir, 20 % de ces pluies s'abattent pendant ces deux mois qui ne recevaient à Aoulouz que 14.9 % du total annuel, et à Talekjounte en amont de Taroudant un taux de 16 % .

Les crues se produisent donc en aval de préférence aux mois de mars et avril (21% des cas observés) bouclant ainsi la saison des crues au bassin de Souss qui est dépourvue de crues d'été. Le climat dans les différents secteur du bassin ne permettant pas le développement de phénomènes orageux susceptibles de provoquer des poussées fortes et soudaines dans les faibles, ou nuls, débits d'été.

Dans le secteur d'Aït Melloul donc, les crues se répartissent globalement d'une façon plus régulière sur 8 mois de l'année, de septembre à avril, avec, quand même, une période de grande sensibilité d'octobre à mars, qui voit passer les crues du Souss amont et celles qui sont nées dans la partie moyenne, qui sont parfois fortifiées par les crues venant d'amont. Enfin on observe aussi à Aït Melloul des crues provoquées par les apports de l'oued Issen (le dernier affluent du Souss) qui ont participé de façon active aux crues de mars et avril.

3 - Mécanisme des crues:

a - Vitesse de propagation des flots de crues :

Une crue peut être considérée comme une onde se propageant dans le cours d'eau. Comme toute onde, elle sera caractérisée par une vitesse de propagation, une amplitude, une longueur et un taux d'amortissement. La vitesse de propagation de l'onde de crue tout au long du cours principal, et dans certaines mesures sur les affluents, est très variable. Pour un même secteur, elle varie d'une crue à une autre, en fonction de la pente, du rayon hydraulique, des sinuosités du lit, de la rugosité des berges ou des ouvrages humains.

Il semble possible d'obtenir les vitesses moyennes de propagation des crues du Souss en divisant la distance Aoulouz-Taroudant (80 km en suivant le lit de l'oued avec ses sinuosités), ou Taroudant-Aït Melloul (70 km), respectivement par la durée séparant une pointe de crue à Aoulouz du début de sa manifestation à Taroudant, ou celle séparant les deux pointes à Taroudant et à Aït Melloul.

Sur les tableaux suivants, nous avons énuméré les crues dont l'évolution pourrait nous renseigner sur les temps et les vitesses de propagation des flots de crues :

* Entre Aoulouz et Taroudant :

Date de crue	pointe à Aoulouz	pointe à Taroudant	temps de propagation	Vitesses
17-18 jan 56	le 17 à 16 h	le 18 à 1 h	9 h	8,9 km/h
20 déc 63	0 h	8 h	8 h	10 km/h
13-14 nov 67	le 13 à 23 h	le 14 à 9 h	10 h	8 km/h
9-10 jan 69	le 9 à 22 h	le 10 à 12 h	14 h	5,7 km/h
4- 5 jan 70	le 4 à 13 h	le 4 à 21 h	8 h	10 km/h
28 jan 79	8 h	14 h	6 h	13,3 km/h
17-18 mar 80	le 17 à 6 h	le 17 à 20 h	14 h	5,7 km/h
25-26 oct 87	25 à 16h30	le 26 à 4 h	11 h 30	7 km/h
2- 3 nov 87	le 2 à 16 h	le 3 à 4 h	12 h	6,6 km/h

Tableau 33: Vitesses de propagation des crues entre Aoulouz et Taroudant

* Entre Taroudant et Aït Melloul :

Date de crue	pointe à Taroudant	pointe à Aït Melloul	Temps de propagation	Vitesses
27 déc 61	12 h	15 h	3 h	23,3 km/h
20 déc 63	8 h	14 h	6 h	11,6 km/h
3 fév 65	12 h	18 h	6 h	11,6 km/h
14 nov 67	9 h	14 h	5 h	14 km/h
4 jan 70	21 h	24 h	3 h	23,3 km/h
5 fév 76	4 h	7 h 30	3 h 30	20 km/h
27-29 sep 76	le 28 à 16 h	le 29 à 2 h	10 h	7 km/h
28 jan 79	14 h	19 h	5 h	14 km/h
17-18 mar 80	le 17 à 20 h	le 18 à 4 h	8 h	8,7 km/h
25-26 oct 87	le 26 à 4 h	le 26 à 10h	6 h	11,6 km/h

Tableau 34: Vitesses de propagation des crues entre Taroudant et Aït Melloul

A première vue, on constate qu'entre Aoulouz et Taroudant la progression des crues met un peu plus de temps qu'entre Taroudant et Aït Melloul, vraisemblablement à cause de la différence des distances, mais cette différence, devrait théoriquement être compensée par une pente un peu plus forte entre Aoulouz et Taroudant (0,7 % contre 0,3). Mais il se trouve que les crues arrivant à Aoulouz, sont parfois atténuées, à la fois dans leurs volumes et leurs vitesses, par les étendues d'alluvions, et les cônes de déjection qui s'étalent en aval d'Aoulouz. Sur cette partie du Souss donc, les vitesses de propagation varient de 1,6 à 3,7 m/s avec une moyenne de 2,3 m/s soit 8,3 km/h. En aval de Taroudant la moyenne devient 14,5 km/h, soit 4 m/s (fig.81, 82 et 83).

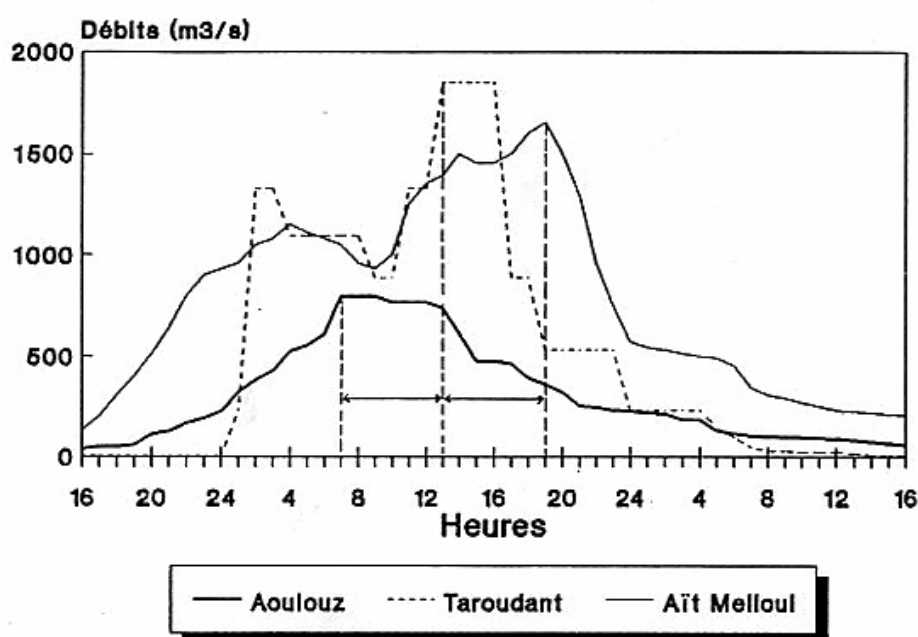


Figure 81: Hydrogrammes de la crue du 28 janvier 1979

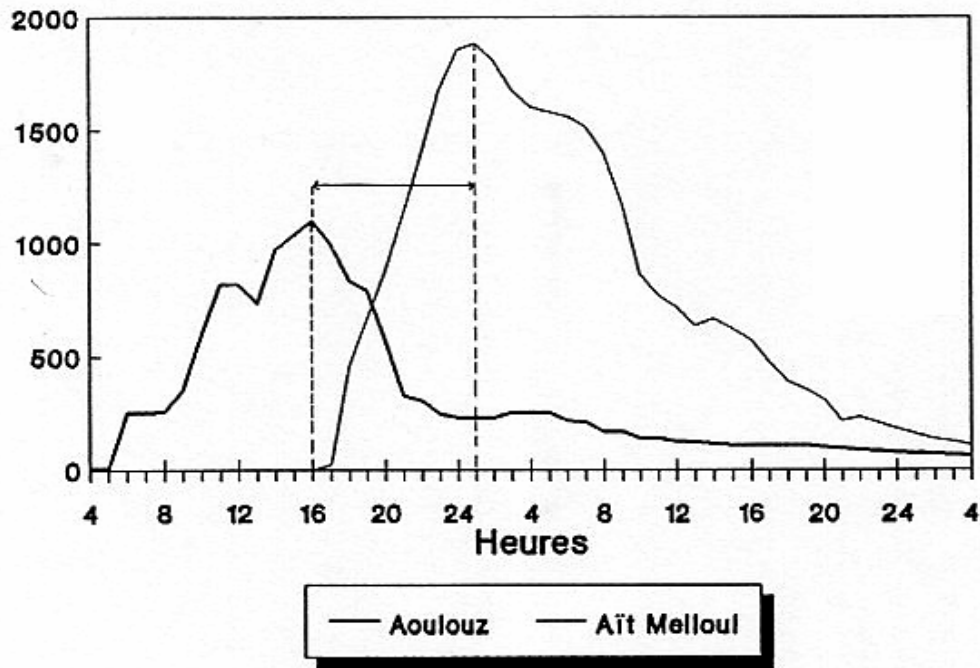


Figure 82 : hydrogrammes de la crue des 2 et 3 novembre 1987

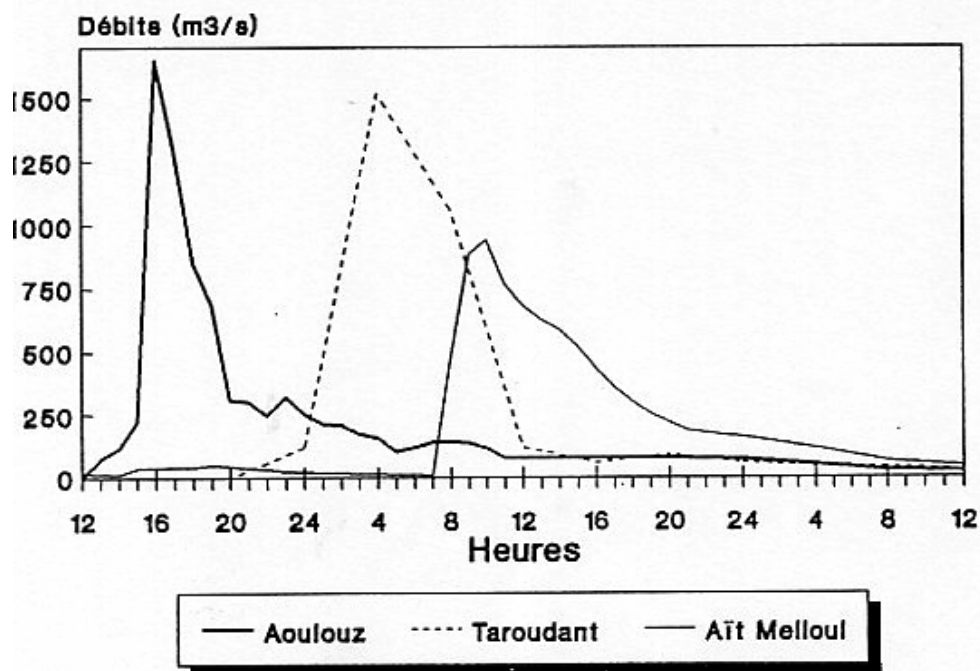


Figure 83 : hydrogrammes de la crue des 25 et 26 octobre 1987

Ces vitesses sont sensiblement plus élevées que celles observées dans la bordure nord-occidentale du Sahara, ou dans le Middle-west américain où elles n'étaient que de 1,5 à 3 m/s, vraisemblablement en raison de la proximité du Souss des reliefs atlasiques qui l'encadrent, et dont les affluents dévalent des flots considérables et rapides grâce à des pentes qui peuvent aller jusqu'à 50 % dans les premières branches de l'oued Bousriouil par exemple.

Il faut signaler que nous avons enregistré des décalages entre les pointes de crues à Aoulouz et à Taroudant allant jusqu'à 30 heures, ou jusqu'à 10 heures entre Taroudant et Aït Melloul. C'était le cas de la crue du 27 au 29 septembre 1976, dont la puissance était moyenne et qui était étalée sur trois jours. Par contre nous avons observé aussi de très fortes crues se manifestant de manière simultanée, avec un déroulement presque identique à Aoulouz, à Taroudant et à Aït Melloul, c'était le cas des crues du 16 février 1956, du 16 novembre 1983 et du 10 novembre 1988, où les débits de pointe ont atteint respectivement 2000, 2200 et 1560 m³/s. Ce sont les crues simultanées aux trois stations qui ont souvent eu des conséquences désastreuses et qui ont causé de sérieux dégâts en aval du bassin, en coupant les routes et emportant les ponts et lignes téléphoniques, car les systèmes d'alertes de crues, installés en amont, ne sauront servir au bon moment.

b - Durées, temps de montée et types d'hydrogrammes de crues :

La durée des crues observées à Aoulouz de 1956 à 1990 varient de 6 h à 38 h (la durée la plus fréquente est de 24 h); ces durées sont sans rapport direct visible avec le débit de pointe, la période de décrue est généralement plus lente et dure souvent plusieurs heures à l'opposée du temps de concentration et de montée des eaux qui est assez rapide et dure dans la plupart des crues de 3 à 5 heures.

La durée des crues est généralement plus courte à Aoulouz qu'à Taroudant et Aït Melloul (les moyennes respectives étant 20, 24 et 30 h). Les hydrogrammes observés en amont sont parfois plus aigus traduisant des volumes d'eau mobilisés plus faibles qu'en aval, c'est l'image que donne la crue du 25 et 26 octobre 1987 par exemple (fig. 83) qui montre des temps de montée peu variables aux trois stations: une heure à Aoulouz, 4 heures à Taroudant et 3 heures à Aït Melloul. La décrue était aussi plus rapide à Aoulouz; la crue y a donc été brève et de très courte durée (six heures), mais relativement violente (pointe à 1650 m³/s). A Taroudant, le temps de base devient 12 heures, puis 15 heures à Aït Melloul où la décrue a été la plus lente et a duré, elle seule, 12 heures. Cette station située en aval du Souss recevait les flots d'eau du bassin amont et de tous les affluents, à mesure de leur arrivée à Aït Melloul. Cette situation s'est répétée encore lors de la crue du 20 décembre 1963 (fig. 84), où nous avons observé un hydrogramme très aigu et pointu à Taroudant avec des courbes de montée et de décrue très raides traduisant une brièveté accentuée de l'évènement, tandis qu'à Aït Melloul, on ne peut pas distinguer une pointe individualisée, et les temps de montée et de décrue étaient beaucoup plus importants.

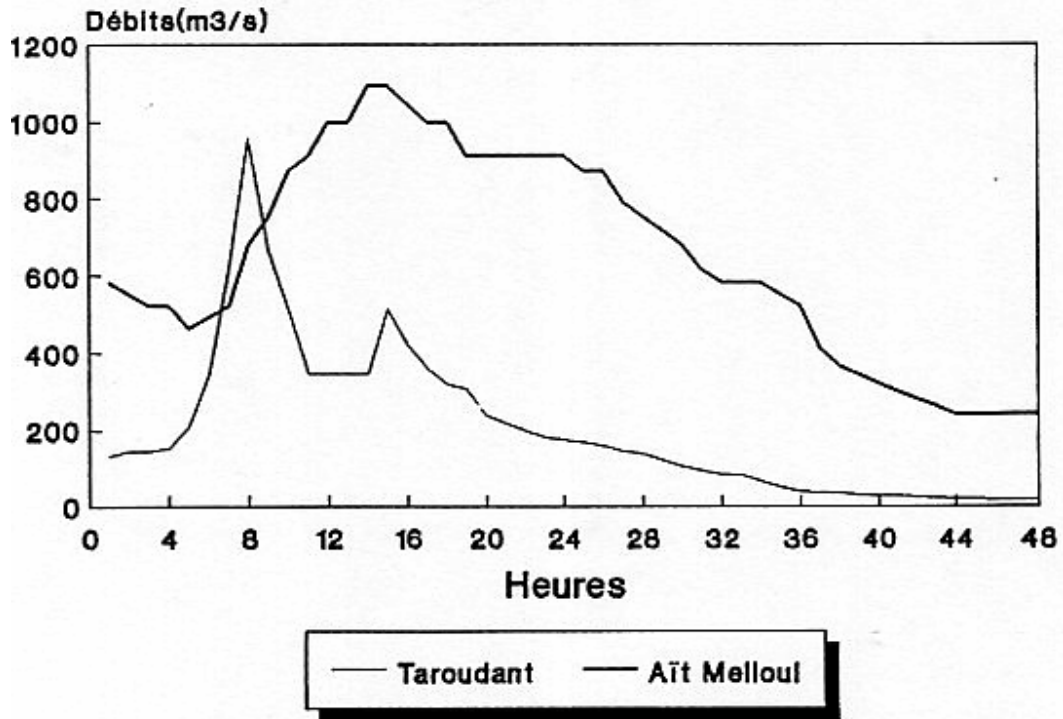


Figure 84 : hydrogrammes de la crue du 20 décembre 1963

Par ailleurs, une situation fréquente à la station d'Aït Melloul est illustrée par la figure 85 (crue du 27 décembre 1961). Elle montre plusieurs phases de montée suite aux arrivées successives des flots d'eau des divers collecteurs, dont les discordances sont causées (hormis les éloignements différents), d'une part, par la variabilité des temps de réponses, et d'autre part par les différences de pentes. Cette évolution "en escalier" est, cependant, plus souvent fréquente en période de décrue, comme c'était le cas lors de la crue du 10 janvier 1969 à Taroudant (fig. 86) où le temps de montée n'était que de 4 heures, alors que la décrue a duré à peu près 32 heures, ce qui nous a donné l'une des plus longues crues du Souss (36 h).

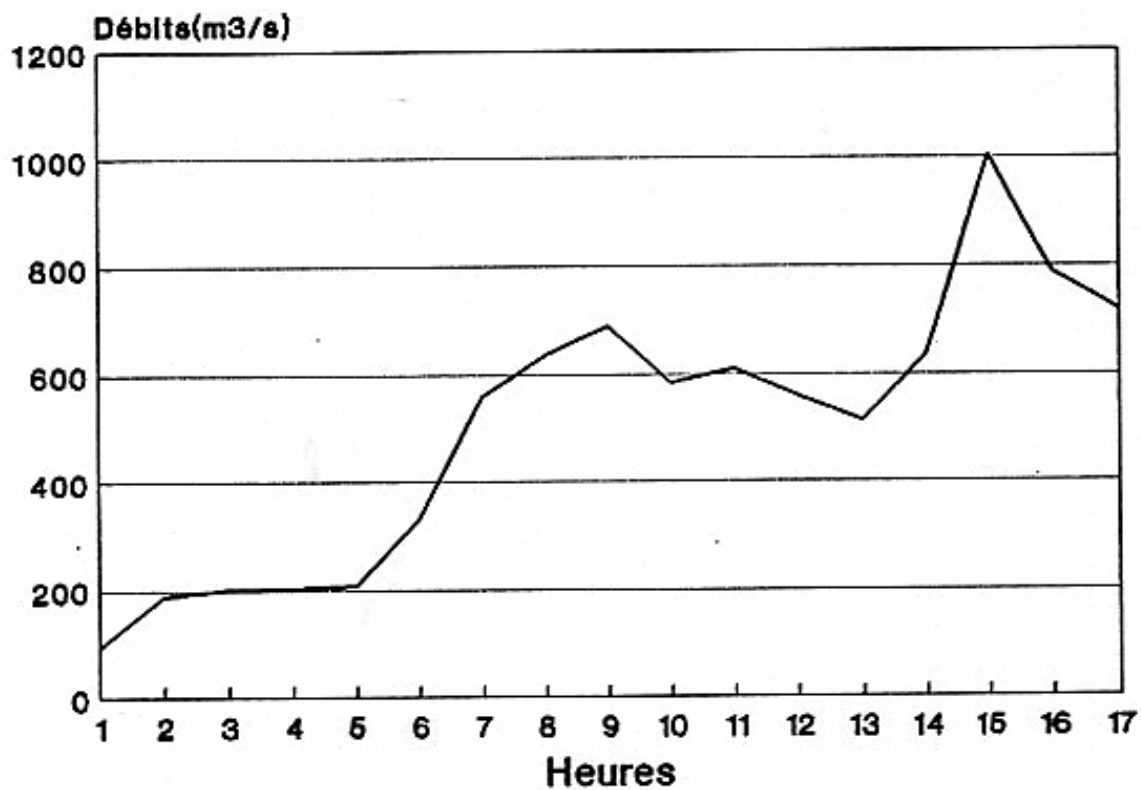


Figure 85 : hydrogramme de la crue du 27 décembre 1961 à Ait Melloul

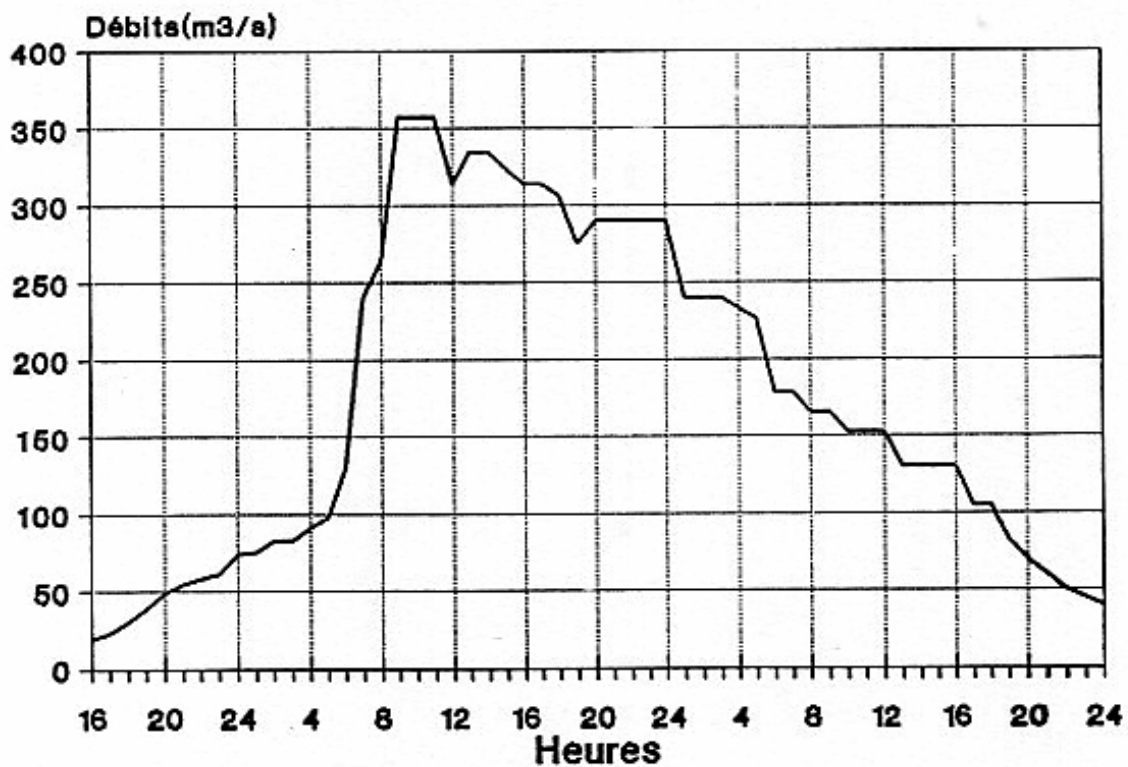


Figure 86 : hydrogramme de la crue du 10 janvier 1969 à Taroudant

En résumé, on peut dire que deux grands types d'hydrogrammes s'observent sur le bassin de Souss :

- le premier, assez classique, très individualisé et monogénique, est celui représenté par la crue du 3 février 1965, par exemple, (fig. 87) qui montre toutes les caractéristiques d'un hydrogramme type : unitaire, en cloche et dissymétrique, avec un temps de montée plus court que la durée de décrue qui est suivie par un tarissement prolongé.

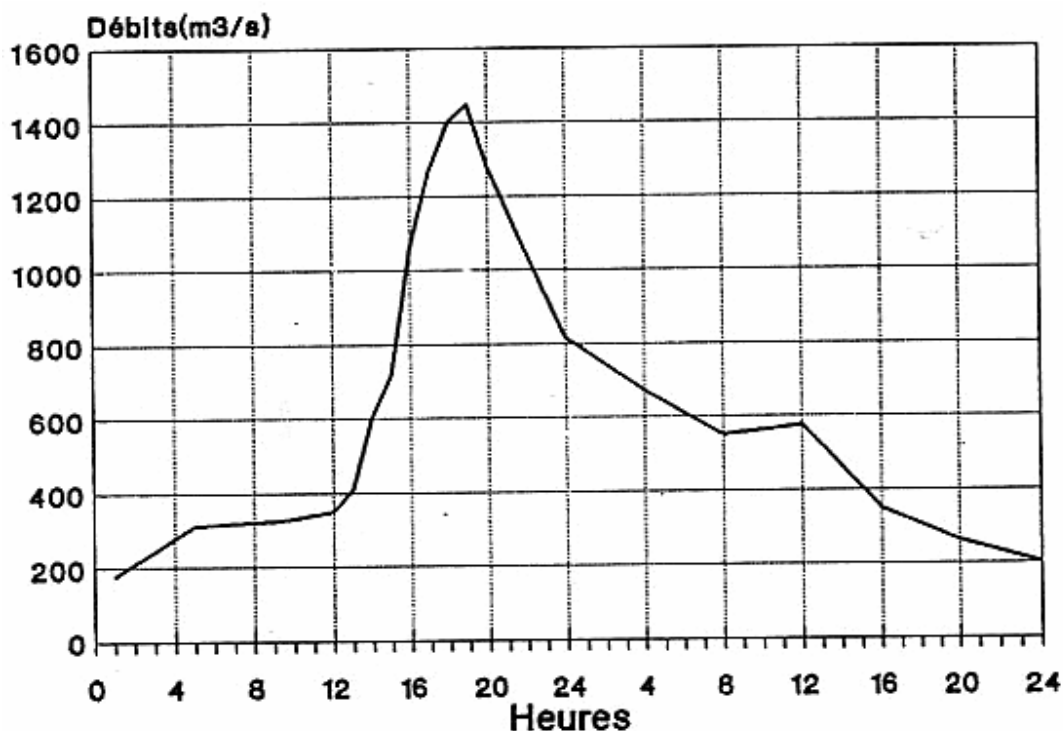


Figure 87 : hydrogramme de la crue du 3 février 1965 à Aït Melloul

- Le deuxième exemple d'hydrogramme de crues du Souss est représenté soit par des crues étalées sur une longue période sans véritable pointe de crue comme l'épisode du 17 et 18 janvier 1956 (fig. 88); soit par des crues complexes à plusieurs pointes comme celles observées à Aït Melloul les 7 novembre 1966, 4 et 5 janvier 1970 et le 28 janvier 1979 (fig. 89). Au cours de ces épisodes de crues, les averses se sont parvenues en séries espacées, avec des arrivées décalées des flots de crues des affluents. Le plus proche d'Aït Melloul (et sûrement le plus important) est l'oued Issen qui contribuerait donc, en grande proportion, à dessiner le premier pic de l'hydrogramme. Puis après, une arrivée massive des eaux du bassin moyen et amont peut facilement déclencher des secondes pointes sur l'hydrogramme final à Aït Melloul, sur lequel, il deviendra très difficile de lire les caractéristiques de la crue et de les interpréter.

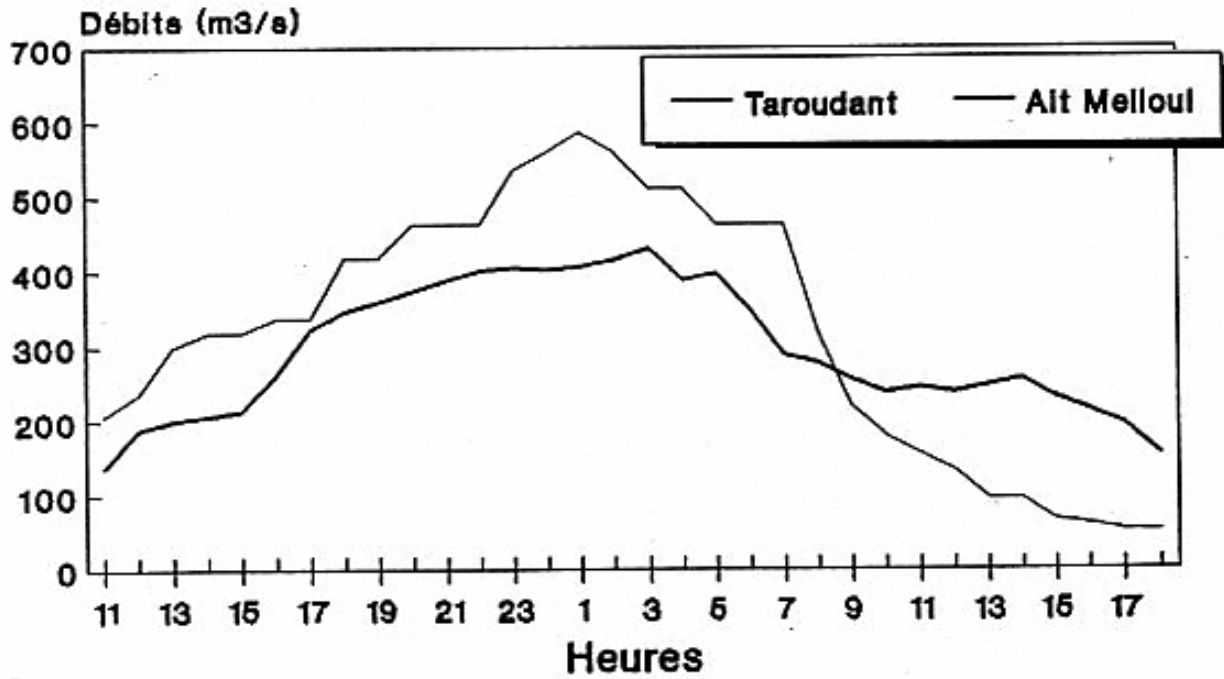


Figure 88 : hydrogrammes de la crue des 17 et 18 janvier 1956

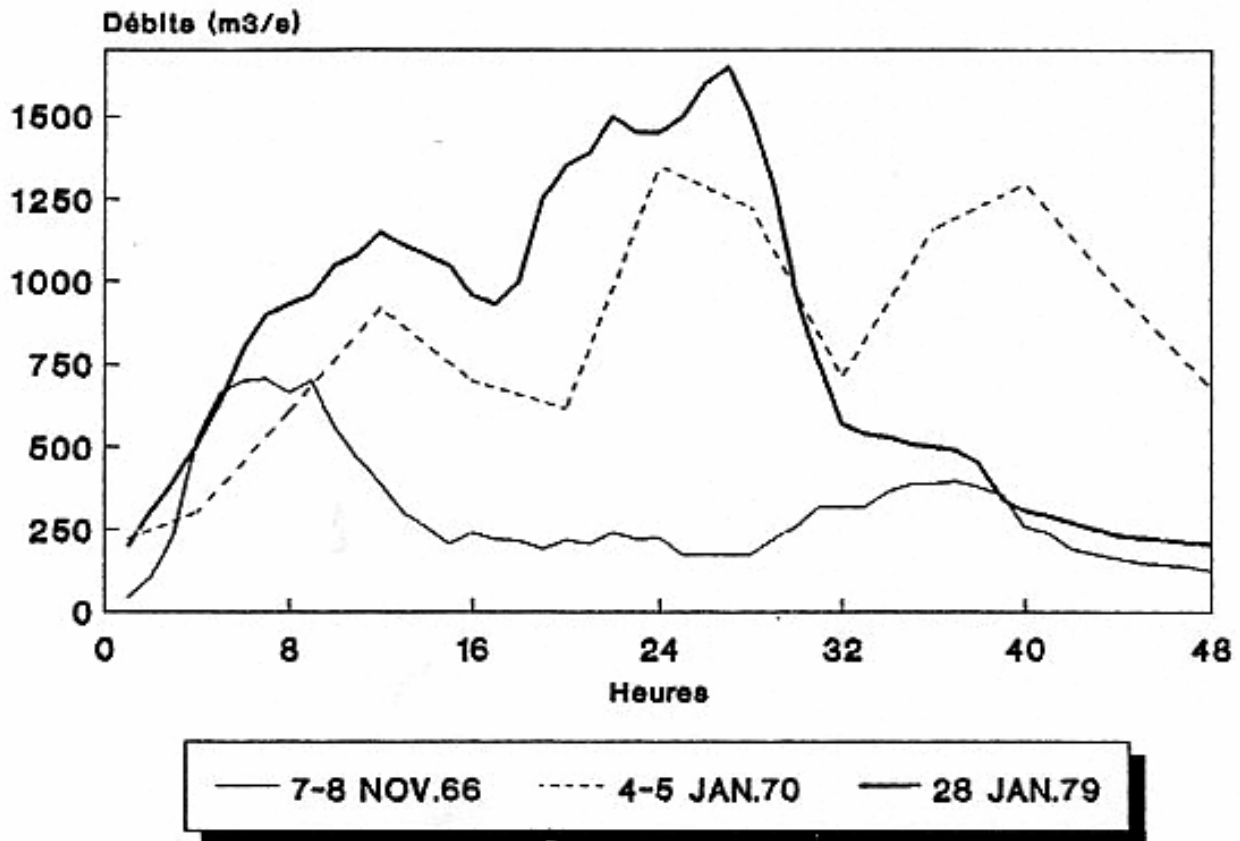


Figure 89 : Hydrogrammes de quelques crues du Souss à Ait Melloul

4 - Evolution des crues d'amont en aval :

L'évolution des crues de l'amont vers l'aval est fonction à la fois de la nature des précipitations génératrices de ces crues et de l'organisation et de la hiérarchisation du réseau hydrographique. De plus, cette évolution est très variable d'une crue à l'autre, selon la puissance et la durée de celle-ci.

Les crues du Souss apparaissent en général assez brusquement, et leur évolution vers l'aval est assez variable, comme l'a dévoilé une analyse des crues des quatre dernières décennies. Cette analyse a mis en lumière trois grands types de comportement des crues vers l'aval : les crues qui grossissent, les crues qui s'aplatissent et les crues étalées d'amont en aval.

a- Les crues grossies vers l'aval :

Ce sont le plus souvent des crues généralisées qui ont pris naissance dans diverses régions du bassin à la suite de précipitations importantes et homogènes. Dans ce cas, la quasi totalité des affluents contribuent à accroître les débits observés sur le cours principal. Dans la série des crues étudiées, nous avons relevé trois exemples typiques de ce phénomène :

- Celui du 20 décembre 1963. En ce mois de décembre, des pluies abondantes se sont abattues sur différents secteurs du bassin. Dans la partie amont : 292 mm à Askaoun et 314 mm à Aoulouz; dans la partie moyenne: 327 mm à Tafingoulte, 231 mm à Ouled Berrehil et 216 mm à Taroudant; et dans la partie aval, nous avons enregistré pendant ce mois 247 mm à Aïn Chaib et 315 mm à Agadir. Ces précipitations importantes (représentant les records absolus du mois de décembre) ont alimenté les différents collecteurs de l'oued de l'amont à l'aval. C'est ainsi que nous avons enregistré à Aoulouz, le 20 décembre à zéro heures, un débit de **185 m³/s**, qui est passé, 8 heures plus tard à Taroudant, à **956 m³/s**. A 14 heures, à Aït Melloul, le débit de pointe a atteint **1093 m³/s**. Le graphique de la figure 84 illustre cette évolution à la fois du débit de pointe que des volumes d'eau mobilisés.

- Le deuxième exemple a été celui du 14 novembre 1967. Ici les hauteurs d'eau et les débits sont beaucoup plus forts et mettent mieux en évidence ce phénomène de gonflement vers l'aval : **1068 m³/s** à Aoulouz à 23 h la veille, puis un débit de **1915 m³/s** à Taroudant, et enfin une pointe de **2200 m³/s** à 14 heures à Aït Melloul. Cette pointe correspond au maximum absolu observé pour le Souss. Le déclenchement de ces grandes vagues a été produit, ici aussi, par une pluie battante arrosant la quasi-totalité du bassin : A Aoulouz, par exemple, nous avons enregistré en ce mois de novembre 1967 un total de 168 mm, dont la moitié tombée du 13 au 16. Le même schéma se dessine à Taroudant avec un total mensuel de 195 mm, presque tous tombés du 11 au 19 novembre. A Agadir près de l'exutoire du bassin, 87 mm sont tombés en trois jours seulement : les 11, 12 et 13 novembre 1967.

L'homogénéisation de la pluie sur les trois domaines du bassin et sa concentration en quelques jours a provoqué un accroissement régulier des débits de crue au fur et à mesure que les affluents dévalent

leurs flots sur le cours principal. Ceci malgré une infiltration que peuvent subir les crues passant au-delà des gorges d'Aoulouz et s'étalant sur les puissants cônes de déjection, ou une éventuelle évapotranspiration tendant à atténuer les volumes d'eau. Sur notre bassin, les précipitations forment un facteur déterminant dans le déclenchement, le maintien et l'augmentation des débits de crues. Toutes les crues étudiées étant des crues pluviales résultant de pluies plus ou moins extensives.

- Le dernier exemple, illustré par la figure 90, concerne une crue modérée, celle du 17 et 18 mars 1980, dont le débit de pointe a augmenté de 47 % d'Aoulouz à Taroudant en 14 heures, puis de 58 % de Taroudant à Aït Melloul en 32 heures, où ce débit de pointe a atteint 310 m³/s. Cette crue moyenne a fait suite à une séquence pluvieuse de quatre jours enregistrée en différentes stations pluviométriques du bassin.

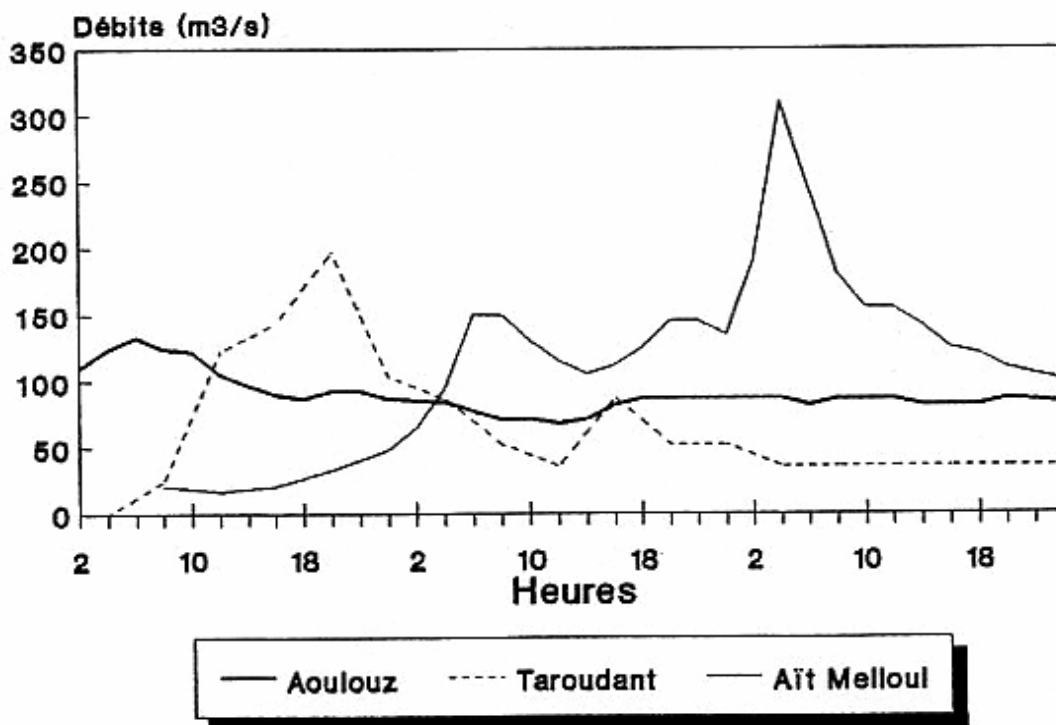


Figure 90 : Hydrogrammes de la crue du Souss les 17, 18 et 19 mars 1980

b - Les crues étalées d'amont en aval et crues simultanées :

Ces crues sont ici de deux types : celles dont les débits de pointe ont été enregistrés au même moment aux trois stations de jaugeage, ou encore et surtout les crues dont les débits ne tendent ni à augmenter ni à diminuer vers l'aval, mais restent à peu près stationnaires le long du cours de l'oued. Nous avons remarqué que les crues dont la pointe a été atteinte simultanément à Aoulouz, à Taroudant et à Aït Melloul, étaient parfois très développées sur la partie moyenne du bassin, comme c'était le cas de la crue du 16 novembre 1983, où les pointes des hydrogrammes observés aux trois niveau du cours d'eau, ont été atteintes à peu près à la même heure (12 h). Cependant, le débit estimé à Taroudant (2200 m³/s), est deux fois supérieur à celui d'Aït Melloul, et même trois fois plus grand que le débit observé à Aoulouz.

Pour les crues d'amplitudes semblables aux trois stations, et donc étalées d'amont en aval, le seul exemple proche d'une telle situation, est celui du 28 janvier 1979 (une parfaite crue décennale) (fig. 81), où les débits de pointes enregistrés (à 5 et 6 heures d'intervalle) étaient respectivement de 1400, 1800 et 1600 m³/s. La pluie responsable a affecté l'ensemble du versant méridional du Haut-Atlas, la zone de liaison en amont d'Aoulouz et la plaine du Souss, avec un maximum enregistré sur le bassin d'Issen (en Haut-Atlas occidental), à la station de Bigoudine, atteignant un total mensuel d'environ 351 mm en ce mois d'octobre 1979.

Bilan de la crue :

Seront comptabilisés dans ce bilan les pluies et les débits pendant une même tranche de temps, d'où seront alors déduits les coefficients d'écoulement des périodes considérées. A l'échelle annuelle il faut bien noter que l'écoulement représente une faible portion des pluies tombées. Ceci tient surtout à ce que dans les bilans des bassins, l'évapotranspiration joue un rôle prépondérant, mais l'importance des pentes et les reliefs peuvent aussi directement influencer positivement les coefficients d'écoulement. L'aire réceptrice dominant la station de jaugeage d'Aoulouz, par exemple, étant élevée et les pentes sont importantes, l'écoulement y est par conséquent de l'ordre de 10 à 14 %. A Taroudant, l'aire réceptrice, beaucoup plus vaste et plane, est favorable à l'infiltration et à l'évaporation. Le coefficient de ruissellement annuel est souvent inférieur à 1 %. Il est en moyenne de l'ordre de 3,6 %. A Aït Melloul, en raison des apports de l'oued Issen, ce coefficient a une valeur supérieure à celle de Taroudant. Il atteint 4 à 5 % en moyenne.

A l'échelle d'une crue, les coefficients d'écoulement sont assez variables d'une station à l'autre, et semblent dépendre essentiellement de l'intensité et la violence de la pluie.

Concernant cette crue d'hiver, Les coefficients d'écoulement étaient importants aux trois stations hydrométriques : 22 % à Aoulouz, 12,4 % à Taroudant et 17,6 % à Aït Melloul. Ces coefficients comptent parmi les plus élevés que nous avons pu enregistrer. Ils sont cependant, beaucoup plus faibles pendant les crues d'automne et de printemps.

c - Les crues aplaties vers l'aval :

Ce sont celles qui se développent à l'amont du bassin dans la zone reliant le Haut et l'Anti-Atlas; ces crues sont provoquées par une pluie dont l'aire s'étend sur les montagnes du Siroua en amont d'Aoulouz, et sur les très hauts pics du Haut-Atlas central, comme le jbel Toubkal (4165 m), dont le versant méridional est drainé par le Tifnoute (principal affluent en amont d'Aoulouz). Ces crues, arrivant sur la plaine au débouché des gorges montagneuses, perdent de grandes quantités d'eau, qui s'infiltrent dans les alluvions du Souss, et surtout dans un puissant cône de déjection étalé sur 120 km² en aval d'Aoulouz.

L'aplatissement est souvent dû aussi à l'absence de contribution (ou à une contribution très modérée) des affluents du Souss moyen et aval. L'oued principal peut être alimenté seulement jusqu'à Aoulouz. Dans ce cas, l'hydrogramme observé à Taroudant ou à Aït Melloul serait une conséquence directe des masses d'eau passées au travers de la station d'Aoulouz. C'est ce qui s'est produit lors de la crue du 17-18 janvier 1956 qui donna un débit de pointe de 1216 m³/s à Aoulouz, 587 à Taroudant et 432 m³/s à Aït Melloul. Nous constatons que ce débit de pointe a diminué de moitié entre Aoulouz et Taroudant, et une simple lecture des précipitations journalières du mois de janvier 1956 nous permet de remarquer que l'essentiel des pluies des 16, 17 et 18 janvier, est tombé en amont du bassin. La station d'Askaoun par exemple (la plus orientale du bassin) a enregistré pendant ces jours un total de 117 mm, et il faut multiplier ce chiffre par deux ou trois pour estimer les chutes d'eau sur le haut bassin de Tifnoute. Mais plus on se dirige vers l'aval, plus ces hauteurs de pluies tendent à s'affaiblir: 85 mm à Aoulouz, 60 mm à Ouled Berrehil, 55 mm à Taroudant et seulement 50 mm à Argana.

Le flux perturbé responsable (fig. 91 & 92) était en provenance du nord-ouest. Le type de temps générateur de cette crue, est celui des pluies océaniques classiques, liées à des dépressions qui descendent vers les basses latitudes. Le 17 janvier 1956, une dépression est centrée au large du Portugal. Un front froid traverse le Maroc dans le sens NW-SE. Les perturbations circulant autour de la dépression, ont provoqué des chutes de pluies sur tous les bassins atlantiques du pays.

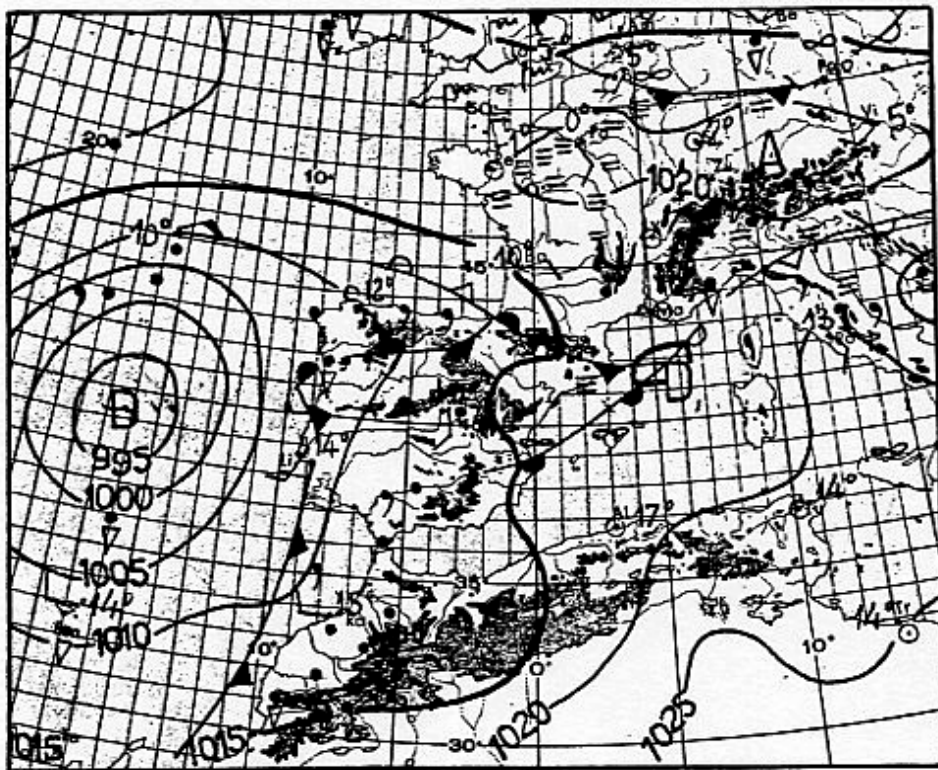


Figure 91: Situation météorologique le 16 janvier 1956

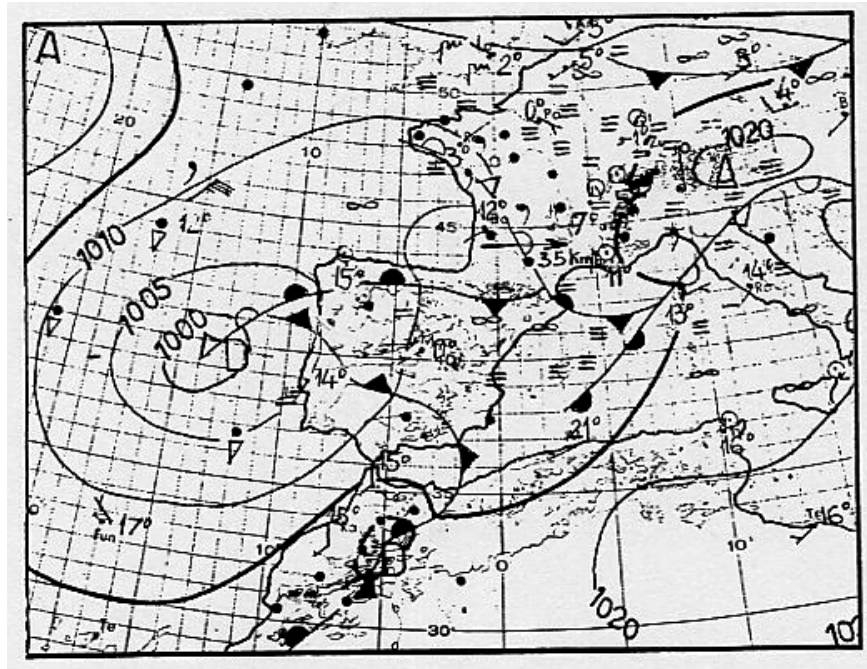


Figure 92 : Situation météorologique le 17 janvier 1956

Deux autres crues du Souss dessinent ce même schéma d'aplatissement : celle d'octobre 1987 et celle de septembre 1976 (fig. 83 & 93), la première étant une crue monogénique et la seconde était une crue complexe et polygénique.

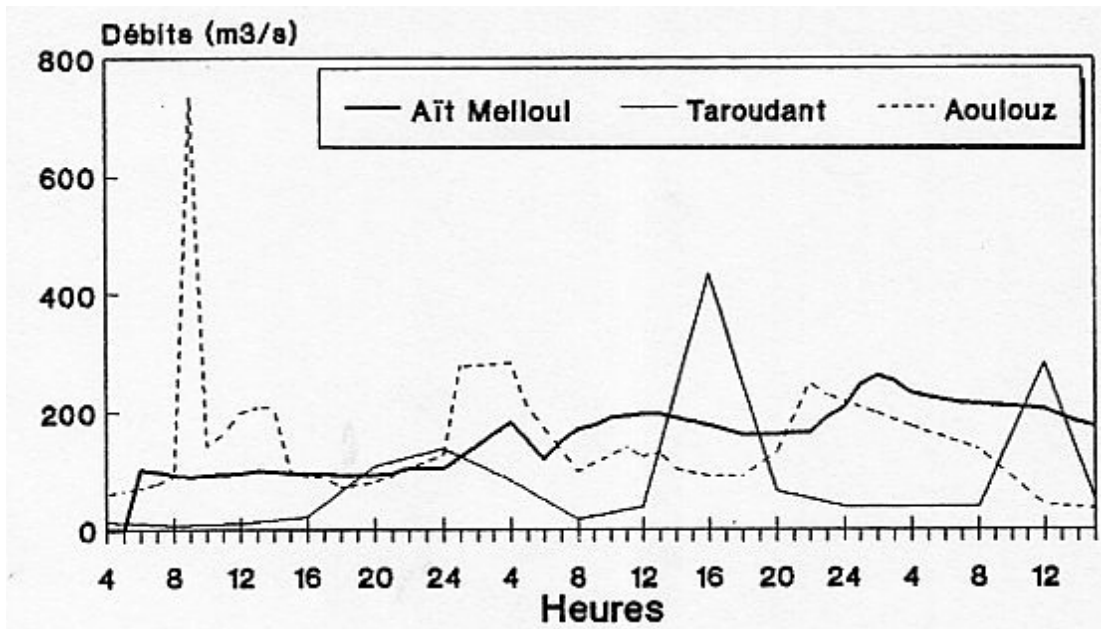


Figure 93 : La crue du Souss les 26,27 et 28 septembre 1976

La crue de septembre 1976 ne s'aplatit vers Taroudant que pour son premier pic, qui chute de 735 m³/s jusqu'à 136 m³/s, tandis que les deux autres pics s'élèvent légèrement à Taroudant de quelques

dizaines de m³/s; ce schéma résulte d'une pluie irrégulière et hétérogène dans son intensité et dans sa répartition géographique. La pluie a arrosé le bassin les 26, 27 et 28 septembre avec un maximum enregistré en amont: à Aoulouz 105 mm, et seulement 23 mm à Taroudant. En aval, les chutes étaient encore plus faibles avec 13 mm à Issen pont, et à peine quelques millimètres à Agadir. Et puisque donc l'alimentation du Souss par les affluents aval serait modérée (voire négligeable), nous n'avons pas eu de pointe de crue à Aït Melloul où les hauteurs d'eau s'élevaient régulièrement, mais très doucement, au cours de ces trois jours .

La crue du 25 et 26 octobre 1987, est une crue bien individualisée et indépendante. Elle a fait suite a une pluie assez bien répartie cette fois (les 24 et 25) : 37 mm à Aoulouz, 30 mm à Taroudant et 50 mm à Agadir. Il est très important de signaler ici que l'aplatissement ne concerne que les débits de pointe car, comme l'illustre l'hydrogramme de la figure 83, les volumes d'eau mobilisés à Taroudant étaient plus importants qu'à Aoulouz; d'ailleurs, la répartition quasi-homogène des pluies sur les trois parties du bassin permet et tendrait plutôt à classer cette crue parmi les crues qui grossissent vers l'aval, et le fort débit de pointe observé à Aoulouz serait dû à la forte pente du lit du Souss à cet endroit où il termine son cours montagneux .

En résumé, on peut dire que, d'Aoulouz à Aït Melloul, les débits n'augmentent de façon considérable qu'en cas de pluies arrosant les différents secteurs et sous bassins du Souss. Mais si seul l'amont du bassin est concerné, la crue qui en ressort a toutes les chances de s'affaiblir et de s'atténuer vers l'aval. Il arrive parfois aussi que des crues observées à Aoulouz n'ont pas été ressenties à Taroudant ou à Ait Melloul, ou encore que des crues importantes à Taroudant n'ont pas été aussi impressionnantes à Aït Melloul. Il y en a même quelques-unes propres à l'aval du bassin; c'est pour cela qu'on va essayer, dans le paragraphe suivant, de chercher l'origine géographique et météorologique des différentes crues du Souss, et voir dans quelles proportions, les sous-bassins élémentaires contribuent-ils à dessiner les hydrogrammes observés à l'exutoire .

5 - Classification génétique des crues du souss

La classification des crues du Souss selon leurs origines viserait donc à chercher le rôle respectif des différents secteurs du bassin dans le déclenchement des crues sur le collecteur principal, et voir comment la combinaison des flots des divers affluents détermine-t-elle sur la plaine des situations plus ou moins dangereuses.

Dans la série des crues du Souss dont nous disposons, qui couvre une période de 35 ans, nous avons relevé, aux trois niveaux hydrométriques, 24 épisodes de crues pour lesquelles nous avons essayé de chercher l'origine géographique et le flux perturbé responsable. Ce travail est en partie résumé sur le tableau suivant :

Date	Débits de pointe (m3/s)			Type de crue
	Aoulouz	Taroudant	Ait Melloul	
17-18 jan 56	1216	587	432	Crue du Souss amont
29-30 dec 62	100	404	969	Haut atlasique occidental
2- 3 jan 63	300	467	1156	Crue généralisée
07-févr-63	403	2000	1700	Crue généralisée
20-21 dec 63	180	956	1093	Haut atlasique occidental
3- 4 fév 65	615	331	1450	Crue généralisée
7 novem. 66	100	96	680	Haut atlasique occidental
13-14 nov 67	1068	1915	2200	Crue généralisée
10-janv-69	412	357	710	Crue généralisée
4 - 5 jan 70	1260	502	1400	Crue généralisée
12-13 avr 71	-	174	317	Crue Généralisée
25 mars 74	27	20	1150	Haut atlasique occidental
09-févr-75	51	100	280	Crue généralisée
05-févr-76	12	334	435	Haut atlasique occidental
27-29 sep 76	735	434	262	Crue du Souss amont
28-janv-79	1365	1850	1650	Crue généralisée
16-oct-79	54	43	350	Haut atlasique occidental
17-18 mar 80	133	196	310	Crue généralisée
16 nove 83	730	2200	1370	Crue généralisée
07-janv-85	378	1620	978	Crue généralisée
1 mars 86	88	420	720	Haut atlasique occidental
25-26 oct 87	1650	1519	940	Crue généralisée
2- 3 nov 87	1100	1500	1885	Crue généralisée
10 nove 88	516	840	1561	Crue généralisée

Tableau 35: Classification génétique des crues du Souss

Trois grandes classes génétiques de crues se dégagent donc, et sur les 24 crues du Souss : 7 sont des crues du versant haut atlasique occidental et du Souss moyen, 2 sont des crues du Souss amont (zone de liaison Haut Atlas - Anti Atlas) et 15 sont des crues mixtes généralisées.

a - Les crues en provenance du Haut Atlas occidental :

Ce sont des crues observées uniquement à Aït Melloul, parfois aussi à Taroudant. Elles résultent de perturbations venant de l'ouest et du nord-ouest et qui contournent l'anticyclone des Açores, en dessinant un front froid NE-SW arrosant le vaste bassin d'Issen et les hauts versants nord de Taroudant.

Le premier exemple est celui du 7 novembre 1966 dont le débit maximum de pointe atteignant 680 m3/s a été enregistré à Aït Melloul, le débit moyen journalier y était de 345 m3/s alors qu'il était à Aoulouz de 89 m3/s et seulement 65 m3/s à Taroudant; la pluie responsable est tombée les 6 et 7 novembre suite à un flux perturbé du nord-ouest déversant plusieurs dizaines de millimètres de pluies sur l'ensemble du Haut Atlas occidental et augmentant les flots d'eau provenant des affluents atlasiques, c'est ainsi qu'on a mesuré pour le seul affluent d'Issen le 7 novembre un débit moyen journalier de 147 m3/s. Quant aux

pluies abattues sur ce secteur du Souss, elles sont enregistrées par les stations d'Agadir, d'Aïn Tiziouine, d'lkakern et d'Aïn Asmama, qui ont totalisé, les 6 et 7 novembre, respectivement 122, 124, 140 et 150 mm, alors que nous avons enregistré à Taroudant 68 mm et seulement 28 mm à Aoulouz. Les données d'autres stations nous ont permis de dresser une carte schématique d'isohyètes de ces deux jours (fig. 94). Elle met mieux en relief la concentration spatiale du corps pluvieux, et on y lit aisément que le haut bassin d'Issen et les hautes montagnes environnantes ont été la cible d'importantes chutes d'eau qui se transforment ici facilement en écoulement à cause des fortes pentes, et de l'imperméabilité relative de la lithologie dominante, formée essentiellement de marnes, de schistes et de grès.

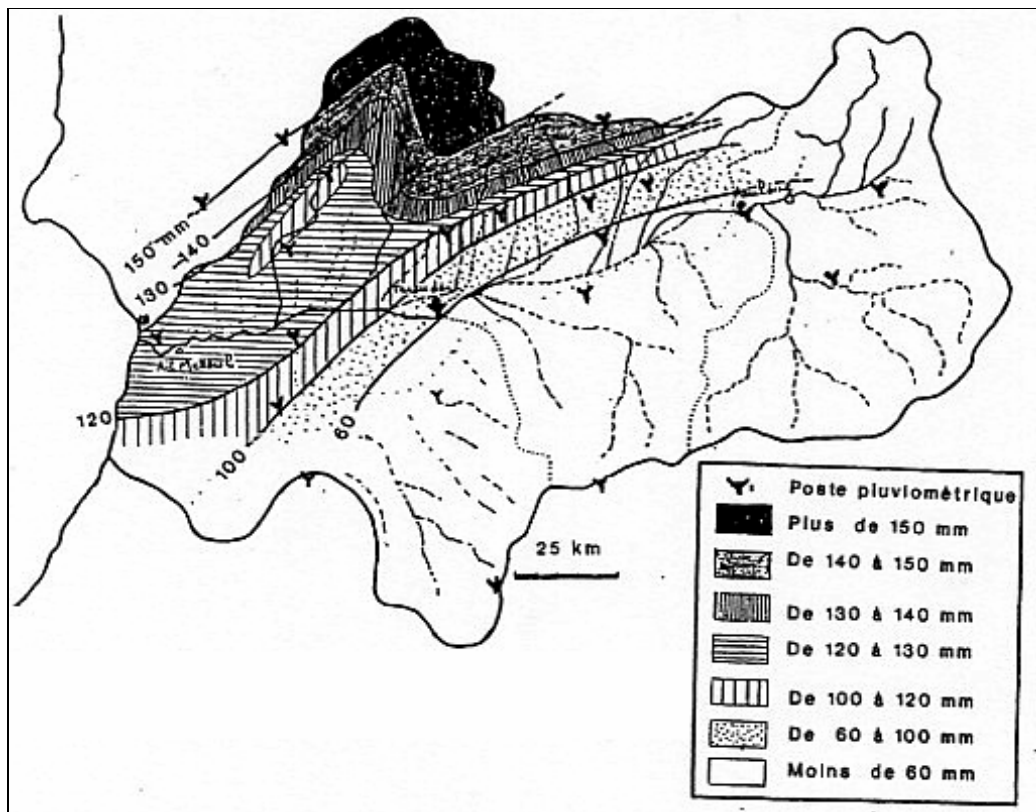


Figure 94 : carte des isohyètes des pluies des 6 et 7 novembre 1966

- La crue du premier mars 1986 :

C'était une crue de fin d'hiver et du début de printemps, dont les volumes d'eau mobilisés étaient impressionnants à Taroudant, et surtout à Aït Melloul, mais pas en amont du bassin, où le débit moyen durant la crue n'était que de 35 m³/s, et le débit de pointe 88 m³/s. A Taroudant ces deux débits deviennent respectivement, 147 et 420 m³/s, puis 238 et 770 m³/s à Aït Melloul. Le gonflement des rivières du bassin moyen et aval est dû à une pluie battante sur ces régions, augmentant les flots des affluents amont et aval de Taroudant. Les débits de pointe de tous ces affluents, ont été estimés par des responsables de l'administration de l'hydraulique d'Agadir d'après la formule de Manning-Strickler :

$Q = K_i^{1/2} \cdot R_H^{2/3} \cdot S_m$ dont les paramètres ont été déduits :

- Du profil topographique en travers pour estimer la surface mouillée (S_m) et le périmètre mouillé (P_m), puis le rayon hydraulique $R_H = S_m/P_m$.
- Du profil topographique en long, pour la pente de la ligne d'eau i .
- De la nature de la section d'écoulement et des berges pour le coefficient de Strickler K .

La durée de la crue a été fixée à 48 heures pour tous les affluents, et les volumes de la crue ont été estimés à partir du rapport du débit de pointe au débit moyen de la crue observé au cours principal (à Taroudant et Ait Melloul) soit $Q_p/Q_m = 3$.

Les résultats sont regroupés sur les tableaux suivants :

*** En amont de Taroudant :**

Oued	Q de pointe (m3/s)	Volume (106 m3)
<u>Rive droite</u>		
Lemdad	410	23,6
Bousriouil	55	3,2
Targa	45	2,6
Talekjounte	55	3,2
Nokheil	200	11,5
<u>Rive gauche</u>		
Tangarfa	10	0,29
Arrhen	180	5,18
Sdass	120	3,46
Tiout	14	0,4

Tableau 36: Débits de pointe des affluents du Souss en amont de Taroudant

*** En aval de Taroudant**

Oued	Q de pointe (m3/s)	Volume (106 m3)
<u>Rive droite</u>		
Waar	100	5,8
Mesgui	45	2,5
Mohand	140	8
Issen	19	1,1

Tableau 37: Débits de pointe des affluents aval de Taroudant

On constate que l'apport des affluents du Souss moyen et aval était très important, avec la contribution des affluents anti-atlasiques qui n'arrivaient que rarement à atteindre le cours principal, avant que leurs eaux ne soient complètement absorbées par les étendus plateaux calcaires du Géorgien, ou évapotranspirées par l'aridité du climat. Les proportions et l'importance des volumes mobilisés par tous les affluents seront mieux schématisées par la figure 95.

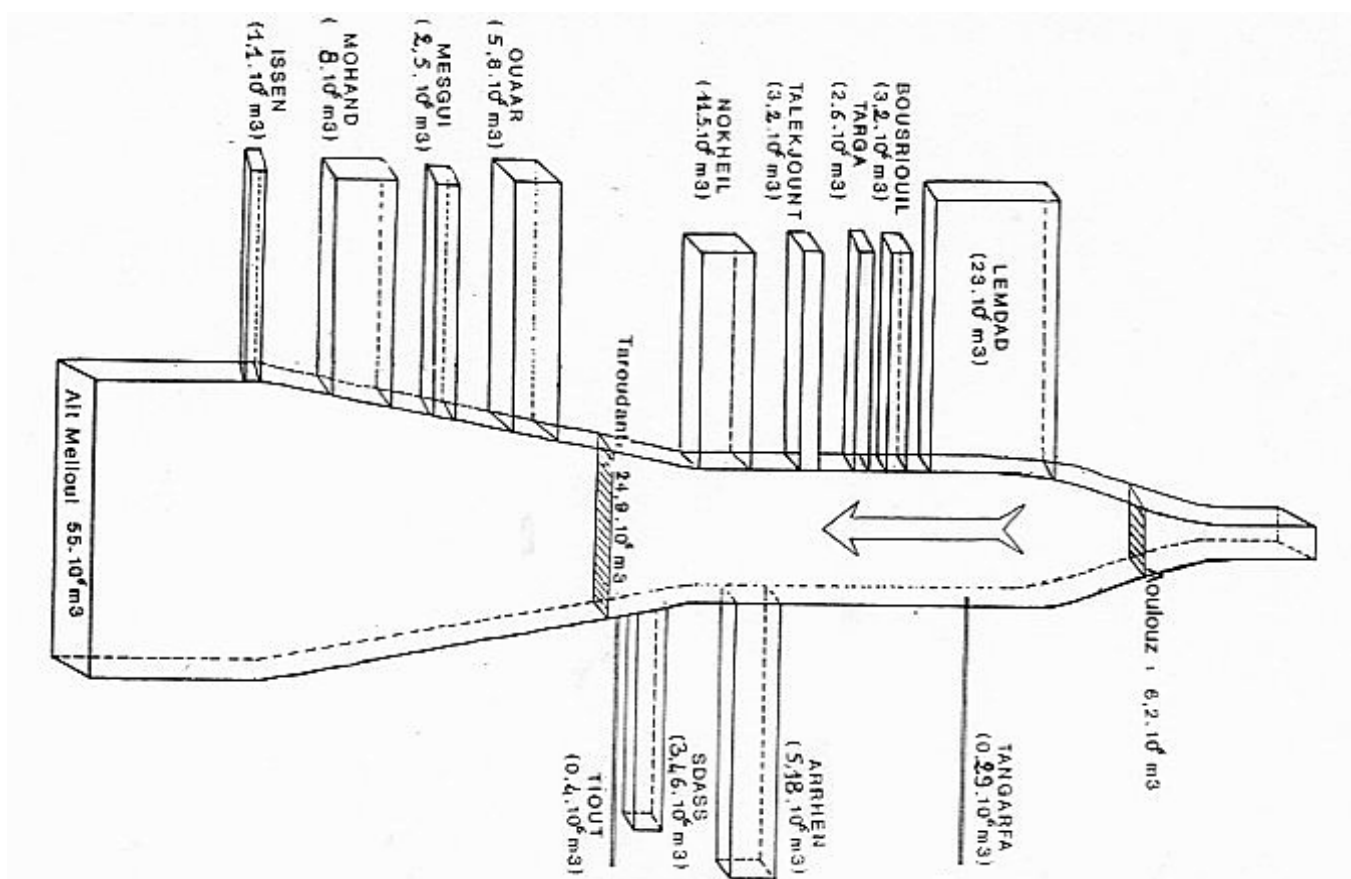


Figure 95 : Schéma des volumes d'eau écoulée lors de la crue du 1er mars 1986

La répartition régionale des pluies responsables, suite aux perturbations du nord-ouest a concerné, comme lors de la crue de novembre 1966, tout le bloc ouest du Haut Atlas et la plaine moyenne et aval, mais aussi, le versant nord de l'Anti Atlas occidental.

Le 28 février 1986, une dépression 995 mb, est centrée au large du Maroc (fig. 96), et dirige un temps perturbé vers le pays. Le lendemain, la vaste zone dépressionnaire recouvre le bassin méditerranéen, la péninsule ibérique et le Maghreb (fig. 97), provoquant un temps instable, et d'importantes chutes de pluies, surtout sur le bassin du Souss, où nous avons enregistré à Agadir, la plus grande hauteur de pluies du Maroc (70 mm). Le bilan d'écoulement de cette crue se présente comme suit :

Limite du bassin	Taroudant	Aït Melloul
Superficie	9350 km ²	16 100 km ²
Durée de la crue	20 h	48 h
Volume de l'averse	45,6 mm	53 mm
Lame d'eau écoulée	2,66 mm	3,4 mm
Coefficient d'écoulement	5,80%	6,40%

Tableau 38: Bilan de la crue du 1er mars 1986

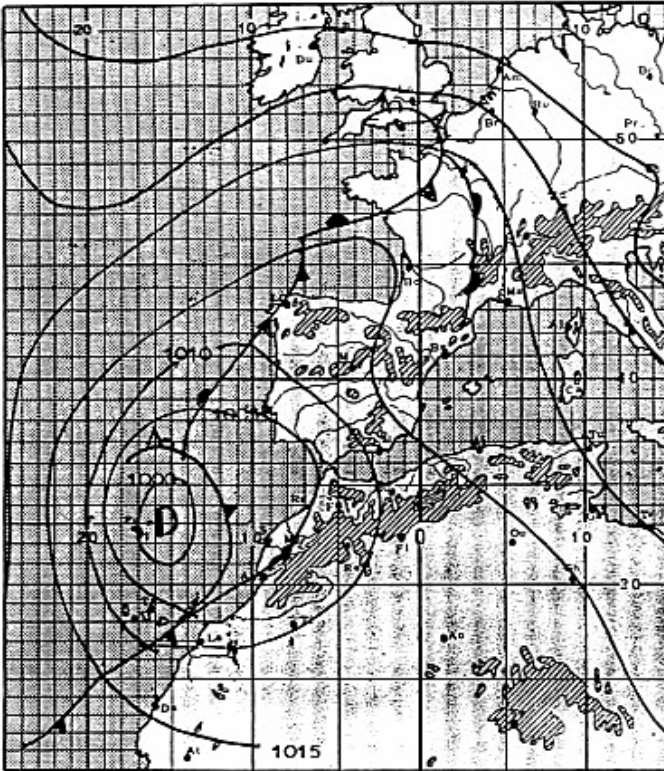


Figure 96: Situation météorologique le 28 février 1986

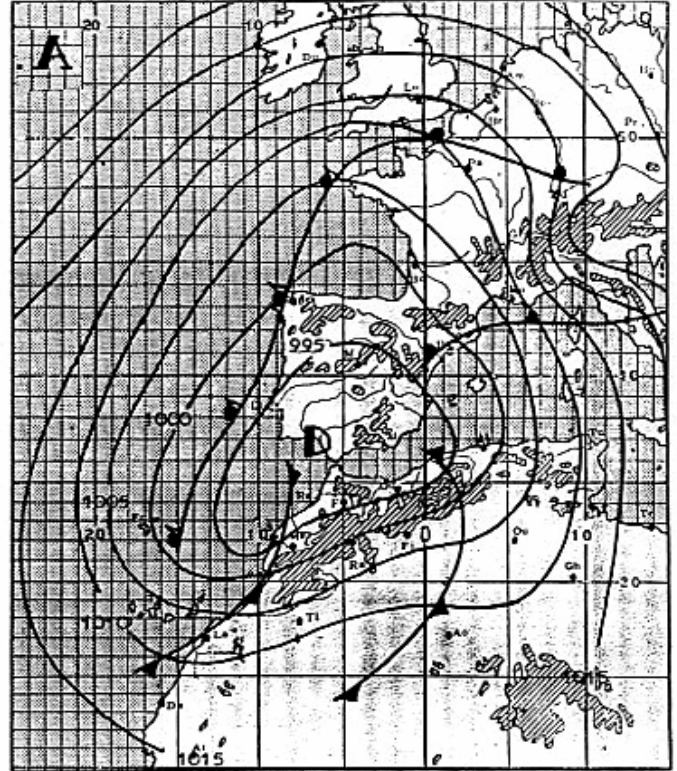


Figure 97: Situation météorologique le 1er mars 1986

A Aït Melloul, le coefficient d'écoulement était légèrement plus élevé qu'à Taroudant. Cette valeur est étroitement influencée par les apports de l'oued Issen, qui est presque entièrement montagneux. Cependant, il est clair que, dans l'ensemble, les coefficients de ruissellement demeurent assez faibles sur ce très vaste bassin de Souss (22 % au mieux, lors de la crue du 28 janvier 1979). L'évapotranspiration est ici très importante et les déficits d'écoulement sont toujours excessifs. Ces coefficients d'écoulements sont très éloignés de ceux observés en zone aride: ils ont atteint les 80 % pendant la crue du Guir à Abadla en mars 1959 selon J.R.Vaney, et les moyennes en Californie varient de 40 à 60 % .

b - Les crues du Souss amont :

Ce sont les crues qui prennent leur naissance exclusivement au fond du bassin de Souss, dans les montagnes de la zone de liaison de l'Anti-Atlas et du Haut Atlas, et sur les versants des très hauts pics du Toubkal (4167 m). Ces crues s'aplatissent toujours vers l'aval par manque d'alimentation suffisante des affluents, et par d'éventuelles infiltrations et évapotranspiration. Les crues d'amont résultent de la descente d'une perturbation du nord, qui passe au-delà de la barrière que forme la chaîne atlasique, après avoir déversé une partie de son contenu hydrique sur le versant nord, pour libérer le reste sur le versant sud (bassin de Tifnoute) et sur les versants du Siroua.

Nous avons repéré deux crues de ce type à la station d'Aoulouz, la plus importante étant celle du 27 et 28 septembre 1976, qui est une des très rares crues de fin de saison chaude, où des averses importantes ont arrosé le Souss amont les 26, 27 et 28 septembre enregistrant, à Aoulouz, des totaux journaliers respectivement de 31,40 et 34 mm. Alors que de très faibles et négligeables pluies sont enregistrées à Taroudant et à Agadir, et témoignent de la concentration du corps pluvieux en amont du bassin : à Taroudant le pluviographe a enregistré pendant les trois jours 22 mm et seulement 5 mm à Agadir. Les zones à pluviosité maximale au bassin d'Aoulouz sont toujours dessinées sur les très hautes montagnes où l'altitude dépasse 2000 m, et qui reçoivent des vents pluvieux qui font déferler sur ce secteur, d'importantes chutes d'eau par le simple effet orographique, et c'est cette zone qui fait accroître les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations du bassin du Souss à Aoulouz.

Les pluies du 26, 27 et 28 septembre, ont largement élevé les hauteurs d'eau lues à l'échelle limnimétrique de la station d'Aoulouz, et ont maintenu un débit moyen journalier important les 27-28-29 septembre, le débit de pointe atteignait 735 m³/s. Puis la crue s'affaiblit vers Taroudant, où le maximum instantané passe à 430 m³/s. L'aplatissement se prolongeait à Aït Melloul où le débit de pointe était de l'ordre de 262 m³/s. L'aplatissement paraît donc bien être une caractéristique générale des crues descendues du Souss amont: les pluies responsables sont souvent des pluies orographiques, qui ruissellent facilement en ce milieu montagnard.

c - Les crues mixtes généralisées :

Ce sont les crues provoquées par l'ensemble des rivières; elles sont les plus fréquentes dans le Souss car, souvent, quand le bassin est concerné par des perturbations du front polaire, toute la chaîne atlasique forme une barrière à des masses d'air qui déversent leur contenu hydrique sur les versants des montagnes et sur les plaines. Cette situation hydro-météorologique est réalisée lorsque le front polaire descend vers les basses latitudes, sur l'Atlantique et sur l'Europe occidentale et méridionale, à mesure du renforcement de l'anticyclone sibérien. Plusieurs familles de perturbations traversent alors le Maroc et arrivent jusqu'au bassin du Souss en lui faisant bénéficier d'importantes précipitations réparties sur ses divers secteurs. Mais ces perturbations peuvent aussi venir de l'océan et balayer le bassin versant d'ouest en est, comme on va le voir dans l'exemple de la crue du 10 novembre 1988.

Les crues généralisées peuvent parfois se déclencher simultanément aux trois stations, mais elles grossissent le plus souvent vers l'aval à cause de la participation de la totalité ou la quasi totalité des rivières à une même crue. Se produisent alors sur le cours inférieur, des ondes qui, par leur volume, peuvent compter parmi les plus puissantes dont le Souss soit capable.

* Crue du 10 novembre 1988 :

Cette crue doit son origine à un flux perturbé provenant de l'ouest, du large de l'Atlantique, qui a pu traverser le bassin les 8, 9 et 10 novembre en le balayant de l'ouest à l'est commençant donc par arroser la partie aval du bassin, puis la progression du corps pluvieux s'est faite lentement jusqu'au massif du Siroua (fig. 98): "Le ciel a été nuageux. des précipitations faibles à modérées ont intéressé la Chaouia, le Moyen-Atlas et le Tadla. Toutefois, des précipitations fortes et parfois orageuses, ont été notées sur le Haouz, le Souss et les reliefs des Haut et Anti-Atlas." (Météo. nationale)

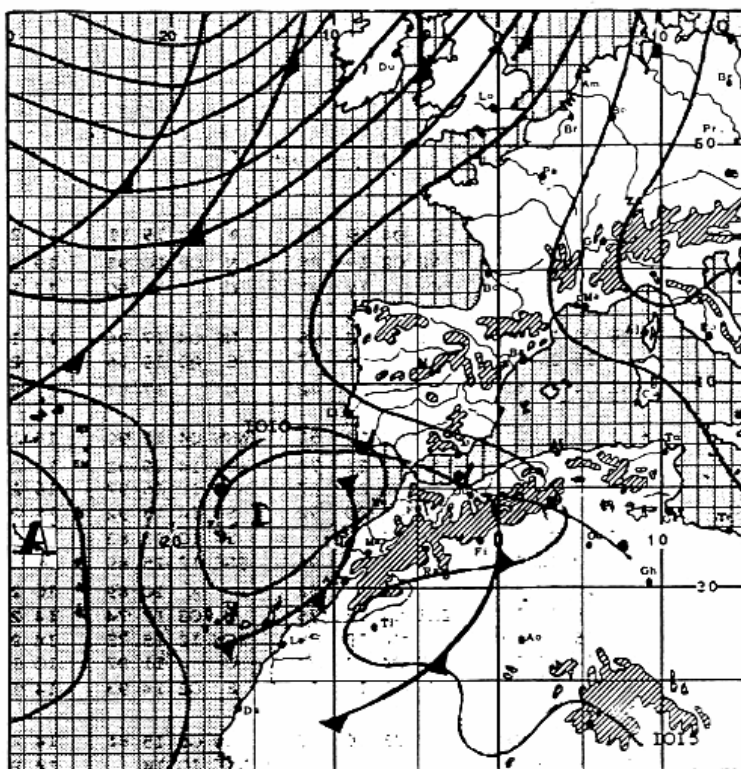


Figure 98: Situation météorologique le 10 novembre 1988

C'est à Agadir, où ont été enregistrées les premières chutes d'eau de ces masses d'air le 8 novembre, où le pluviomètre a totalisé 4 mm ; et puis plus profondément dans la vallée, on n'a enregistré que 2 mm à Taroudant, puis 0.2 mm à Aoulouz et pas de précipitations du tout à Askaoun. Le lendemain, le maximum hydrique du corps pluvieux s'est trouvé centré sur Agadir, qui a reçu 80 mm de pluies ce 9 novembre dont 75 % à partir de 16 h. L'extension de ce corps nuageux vers l'est a donné, ce jour, 70 mm à Taroudant, 60,5 mm à Aoulouz et 41 mm à Askaoun. Puis le 10 novembre, le noyau d'abondance de la perturbation est arrivé à l'est du bassin, et le maximum de chutes d'eau a été enregistré ce jour là à Askaoun avec 90 mm de pluies. A cet effet, cette hauteur s'est affaiblie vers l'aval avec 19,5 mm à Aoulouz, 12 mm à Taroudant et 10 mm à Agadir.

Il est normal, dans ce cas de progression de pluie d'aval en amont, de voir (une fois n'est pas coutume) le premier pic des hydrogrammes de crues se produire à la station d'Aït Melloul, et puis après, parvient

celui de Taroudant et finalement celui d'Aoulouz, mais à une ou deux heures d'intervalle seulement (fig. 99). Ce cas de figure est très peu fréquent dans le bassin versant du Souss où les crues s'annoncent le plus souvent en premier lieu à Aoulouz, puis à Taroudant et enfin à Aït Melloul.

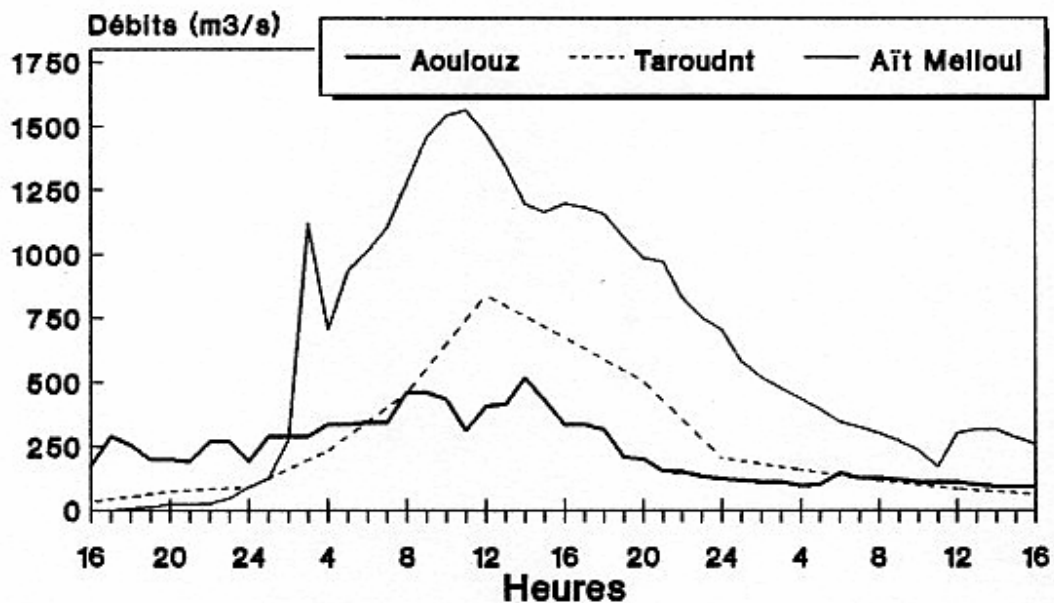


Figure 99 : Hydrogrammes de la crue du Souss du 10 novembre 1988

Conclusions

De cette étude des crues du Souss, nous retiendrons, en conclusion, les trois caractères essentiels suivants : leur fréquence relativement importante, la faible diversité de leur origine, et leur puissance phénoménale par rapport au module moyen annuel.

* En ce qui concerne la fréquence, nous avons constaté que les crues dont la pointe atteint au moins 300 m³/s (qui correspond déjà à 50 fois le module à Aoulouz) se produisent en moyenne chaque année, et que même des crues supérieures à 1000 m³/s reviennent tous les cinq ans à Aït Melloul. Cette fréquence relativement importante des crues est vraisemblablement due à la très importante superficie drainée par l'oued Souss et ses nombreux affluents (16300 Km²), et à la faible perméabilité des versants atlasiques, ce qui peut offrir des temps de réponse aux averses assez courts. Aussi faut-il signaler que plusieurs crues du Souss se sont déclenchées sur un fond d'oued sec, et il n'a fallu qu'une séquence pluvieuse de deux ou trois jours (parfois une seule averse), pour amorcer la propagation d'une importante vague d'eau dans le talweg, qui peut se rassécher après le passage de la crue.

* Concernant l'origine des crues du Souss, nous avons constaté que celles qui n'étaient pas d'origine mixte, ont pris leur naissance soit en amont du bassin (sous-bassin amont d'Aoulouz), soit sur les sous-bassins haut-atlasiques. Cette diversité assez médiocre de l'origine géographique des crues, nous paraît relativement curieuse pour une superficie du bassin aussi vaste que celle du Souss. Mais il

faut peut-être en chercher l'explication dans le fait que tout le domaine anti-atlasique ne participe pas, aussi massivement que le Haut Atlas, à la genèse et à l'augmentation des flots du collecteur principal. Si les affluents rive gauche, ne parviennent que rarement à joindre l'oued Souss pendant les crues comme ceux du Haut Atlas, la cause en est principalement, hormis une pluviométrie et des reliefs moins élevés que dans le Haut Atlas, dans la prédominance des terrains calcaires très perméables dans l'Anti-Atlas et de terrains schisteux ou marneux peu perméables dans le Haut Atlas, il en résulte une très sensible différence de ruissellement, qui vient s'ajouter à la longueur du trajet en plaine, c'est à dire sur des terrains relativement imperméables, plus long sur la rive gauche que sur la rive droite. C'est pour ces raisons que des auteurs considèrent que dans le bassin du Souss, le Haut Atlas est le pourvoyeur en eaux de surface, et l'Anti-Atlas est le pourvoyeur en eaux souterraines.

* Nous avons remarqué enfin que la puissance des crues et les volumes d'eau mobilisés sont plutôt importants pour un cours d'eau dont le module annuel varie, aux trois stations de jaugeage, de 3 à 8 m³/s, cette violence est très remarquable dans les grands bassins versants des milieux arides et semi-arides, ou les crues sont souvent caractérisées par une montée brutale des eaux, avec des vitesses rapides, et surtout par une violence et la mobilisation de masses d'eau phénoménales.

Le Souss reste cependant, malgré la vitesse de ses crues, peu violent par rapport à de nombreux cours d'eau de même type. Des crues remarquables en régions désertiques ont déjà roulé d'énormes quantités d'eau et ont atteint des pointes 3 à 5 fois plus importantes que celles du Souss (Tableau 39), et à mémoire d'homme, les effets destructifs de ses crues n'ont jamais égalé les désastres remarqués au sud-est du Maroc par exemple, où des pertes humaines et d'énormes dégâts matériels ont été constatés lors des crues d'octobre 1950 et mars 1959; ou encore les pires dévastations des inondations que connaît une grande partie des déserts américains, sujette à des averses diluviennes, notamment en saison chaude.

Bassin versant	Souss à Aït Melloul (Maroc)	Guir à Abadla (Maroc)	Ksob à Mejdez (Algérie)	Mejerdah à salem (Tunisie)	Neosho à lola (Etats-Unis)	Hunter à Singleton (Australie)
Superficie (km ²)	16300	22000	1310	16230	9640	15980
Date de la crue	02/11/1987	mars 1959	05/10/1953	mars 1973	juillet 1951	février 1955
Débit de pointe (m ³ /s)	1885	5000	700	3180	10000 ?	12530
Pluie tombée (mm)	37	70	35	123	283	275
Pluie écoulée (mm)	6,8	55,8	20	43,6	235	98
Coef. d'écoulement	18,40%	80%	60%	35,50%	83%	36%
Coefficient de gravité*	14,7	33,7	19,3	25	102 ?	99,1

Tableau 39: Caractéristiques de quelques crues en région sub-aride

* : $A = Q / S^{1/2}$ selon Pardé (Q=débit de pointe; S=surface du bassin)

Les valeurs sont tirées des travaux de Vanney, Despois, l'ORSTOM et Pardé.

***LES BILANS DE
L'ÉCOULEMENT***

I - Choix de l'année hydrologique :

L'établissement d'un bilan hydrologique suppose une comparaison des entrées et des sorties d'eau dans un hydrosystème, et donc, de quantifier la part des différents paramètres de ce bilan, notamment les écoulements et leurs coefficients.

A l'échelle annuelle, le bilan de l'écoulement risque d'être perturbé ou faussé par les rétentions ou les restitutions des eaux, soit par la neige, soit par les réservoirs hydrogéologiques. Pour pallier ce problème, on a recours à modifier de façon judicieuse le cadre de l'année, et à choisir une année hydrologique telle qu'à son début, les réserves, capables d'ajouter leur écoulement à celui des précipitations de l'année considérée, ne pourraient pas différer trop d'une année à l'autre. Il est évident que pour des bassins où le pouvoir de rétentions durables est de plus en plus grand, le choix d'une bonne année hydrologique sera de plus en plus difficile, et le bilan précipitation-écoulement sera de moins en moins sincère. Cet handicap semble épargner le bassin du Souss, où, rappelons le encore une fois, des névés notables ou des glaciers ne peuvent pas y être longuement abrités; mais la neige recouvre, quand même, les crêtes élevées du cadre montagneux du bassin: le Haut Atlas, l'Anti-Atlas et le Siroua, généralement au-dessus de 1800 m, ceci d'une façon plus ou moins éphémère. Concernant les réservoirs hydrogéologiques, ce sont surtout les plateaux calcaires infra-cambriens de l'Anti-Atlas qui jouent -dans une légère proportion- le rôle régulateur des débits saisonniers; également quelques aquifères cristallins, gréseux ou schisto-calcaires du Haut Atlas et du bassin amont. A la fin de l'été, toutes les retenues nivales auront été fondues et écoulées, et les nappes auront restitué toutes ou une partie des réserves accumulées pendant la saison humide. On n'aura donc aucun mal à délimiter la meilleure année hydrologique qui s'achèvera sans doute à la fin de la saison d'été : *"Dans les régions méditerranéennes, les déficits et les coefficients d'écoulement apparents annuels sont sensiblement voisins des déficits et des coefficients d'écoulement réels si l'on prend comme unité de temps l'année pluviométrique de septembre à août, c'est à dire celle qui commence avec la saison des pluies et se termine avec la fin de la saison sèche. En effet, la rétention exercée par le bassin ne perturbe guère le bilan puisque l'année hydrologique commence au moment où les réserves nivales et souterraines de l'année antérieures sont à leur point le plus bas"*. (Loup, 1960).

"Dans les régions où le cycle saisonnier de l'écoulement comporte une période très nette de basses eaux, c'est immédiatement après cette période d'étiage que commence l'année hydrologique. A ce moment, les réserves ont toutes les chances d'être épuisées ou presque, et, en conséquence, de ne point perturber le bilan (...), le début de l'année hydrologique peut être avancé en septembre pour des bassins méditerranéens, où des pluies très fortes peuvent tomber dès septembre". (Dacharry, 1975).

On s'accorde donc à dire que la saison pluvieuse commence, en domaine méditerranéen, au mois de septembre. Cette constatation est plus marquée encore dans le bassin subaride du Souss, où le mois

d'août ne connaît pas du tout de précipitations notables (en moyenne 0,2 mm à Agadir, 0,3 à Taroudant, 0,1 à Talekjounte et 2,2 mm à Aoulouz). Au mois de septembre, on peut, par contre, noter des hauteurs importantes d'eau précipitée (17 mm en moyenne à Aoulouz, 11 mm à Talekjounte, 7 mm à Argana et Amagour...). Les mois de septembre ont déjà enregistré des hauteurs dépassant 100 mm de pluies, notamment à Aïn Tiziouine, Mentaga, Talekjounte et à Aoulouz. C'est pourquoi, nous allons, dans notre étude des bilans, nous tenir -comme pour tous les oueds marocains- au cycle hydrologique annuel commençant le 1er septembre et s'achevant le 31 août.

II - Corrélations entre les précipitations et les débits annuels :

A - Bassin du Souss à Aoulouz :

La corrélation va nous renseigner sur le degré de liaison entre pluies et débits particuliers sur une période de 30 ans; cette liaison est mise en lumière par un diagramme de dispersion où sont portés les indices annuels de précipitations et d'écoulement. Chaque couple de valeurs x et y (respectivement pluies et débits) relatifs à une même année, représente l'abscisse et l'ordonnée d'un point par rapport aux systèmes d'axes ox et oy.

Sur la figure 100, qui illustre cette corrélation, le nuage des points expérimentaux a pris la forme d'une ellipse inclinée par rapport aux axes; la relation est donc linéaire, et la droite de régression (c.à.d d'estimation moyenne des débits en fonction des pluies) sera de la forme $y = ax + b$; ses paramètres sont déterminés par les formules :

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad \text{et} \quad b = \bar{y} - a\bar{x}.$$

x_i et y_i = pluies et débits particuliers.

\bar{x} et \bar{y} = respectivement précipitation et débit moyens annuels.

$\bar{x} = 370,6$ mm et $\bar{y} = 45,45$ mm d'où $a = 0,21$ et $b = -32,6$.

L'équation de la droite de régression est alors : $y = 0,21 x - 32,6$

Les valeurs des débits particuliers sont plus ou moins fluctuantes autour de la droite de régression; la valeur cherchée la plus probable est située sur cette droite, et on peut déterminer un intervalle de confiance, qui a x chances sur 100 pour contenir cette valeur, pour un risque d'erreur fixé à $100 - x$.

Pour un risque d'erreur de 10 %, donc un intervalle de confiance contenant 90 % des valeurs, les équations des deux droites enserrant cette intervalle sont de la forme:

$$y_1 = ax + b + [1,64 * \sigma (y - \bar{y})] \quad \text{et} \quad y_2 = ax + b - [1,64 * \sigma (y - \bar{y})].$$

y et y' représentent respectivement les débits particuliers réels et estimés.

$\sigma (y-y')$ étant l'écart type des résidus des débits (= 22,48).

Les équations des droites de l'intervalle de confiance à 90 % seront donc (fig.100) :

$$y_1 = 0,21 x - 32,6 + (1,64 * 22,48) = \mathbf{0,21 x + 4,27.}$$

$$y_2 = 0,21 x - 32,6 - (1,64 * 22,48) = \mathbf{0,21 x - 69,47.}$$

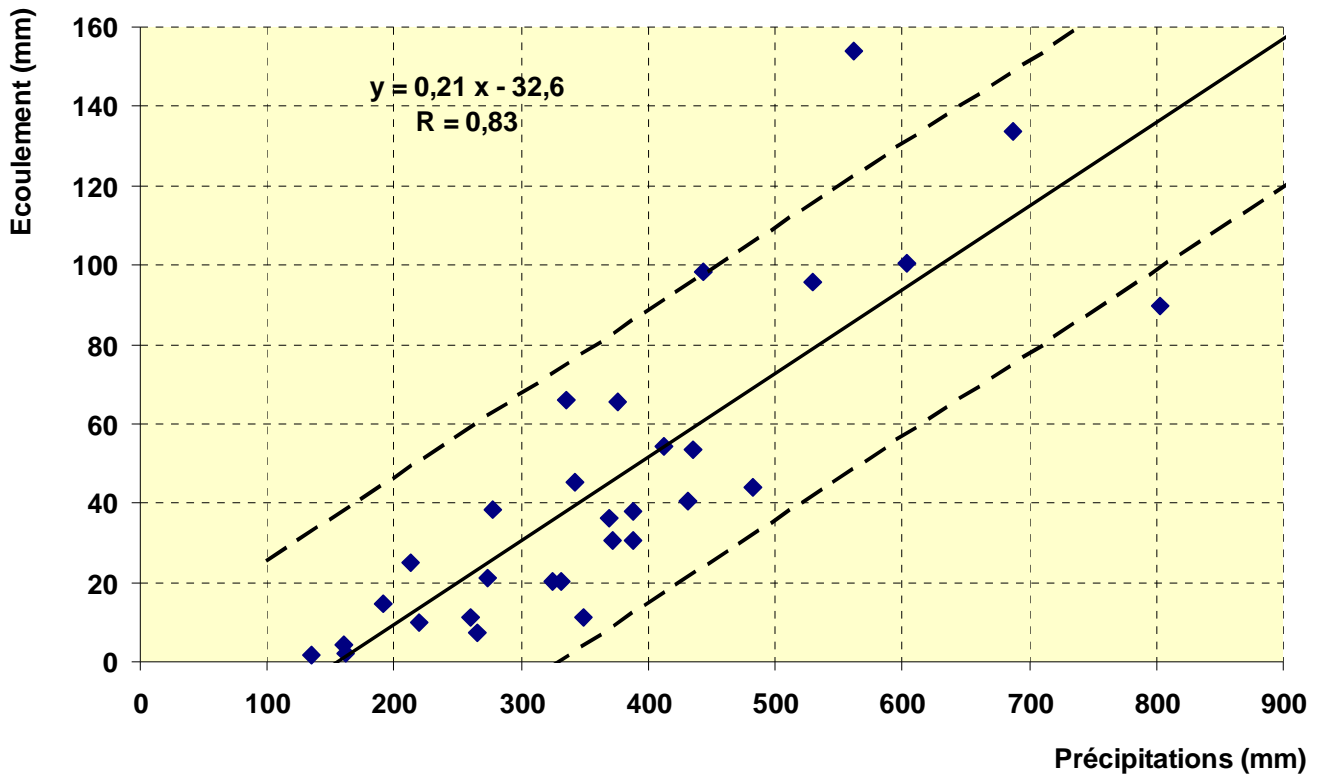


Figure 100: Corrélation entre les précipitations et les débits annuels dans le bassin du Souss à Aoulouz de 1960 à 1990

Le calcul du coefficient de corrélation R, est une autre façon plus précise de qualifier la liaison entre les pluies et débits annuels sur un bassin versant. Il renseignera sur la qualité d'ajustement à la droite de régression et confirmera le résultat obtenu graphiquement :

$$R = 1/n * [\Sigma(xi-x)(yi-y) / \sigma x * \sigma y] = \mathbf{0,83}$$

n = nombre d'années.

x_i et y_i = pluies et débits particuliers.

\bar{x} et \bar{y} = pluies et débits moyens annuels.

σx et σy = Ecart-types des pluies et des débits.

Dans le bassin du Souss à Aoulouz, de 1960 à 1990 ce coefficient est égal à **0,83**. Il montre donc une corrélation relativement bonne entre les précipitations et les écoulements annuels. En effet ce bassin amont est presque entièrement montagneux, les pentes y sont fortes, beaucoup d'escarpements de

versants sont des abrupts. Les écoulements superficiels ne sont pas trop anéantis ou perturbés par des infiltrations ou par des retentions souterraines durables ou encore par des évaporations trop variables. Ces ruissellements sont donc relativement proportionnels à l'importance des pluies, c'est pourquoi, c'est à Aoulouz où l'oued Souss reçoit les plus importants et les plus utiles apports d'eau.

B - bassin du Sous à Taroudant :

Pour le bassin du Souss à Taroudant, la moyenne des précipitations annuelles (des différents postes pluviométriques) de 1960 à 1990 étant de 261,4 mm et le débit moyen annuel est de 12,32 mm. Les débits particuliers annuels et les hauteurs de pluies correspondantes, forment, sur la figure 101, un nuage de points incliné prenant l'aspect d'une fonction linéaire de la forme $y = ax + b$.

Le calcul des paramètres a et b a donné les valeurs suivantes :

$a = 0,097$ et $b = -13,15$. L'équation de la droite de régression est donc :

$$y = 0,097 x - 13,15$$

Cette droite d'estimation probable des débits à partir des précipitations annuelles passe au milieu des points expérimentaux des couples pluies-débits, qui fluctuent autour d'elle en dessinant des écarts plus ou moins grands par rapport aux valeurs théoriques les plus probables. Ces écarts sont mieux illustrés par l'intervalle de confiance (à 90 %), qui a 90 % de chance de contenir la valeur du débit probable pour une hauteur de pluie donnée, et pour un risque d'erreur de 10 %.

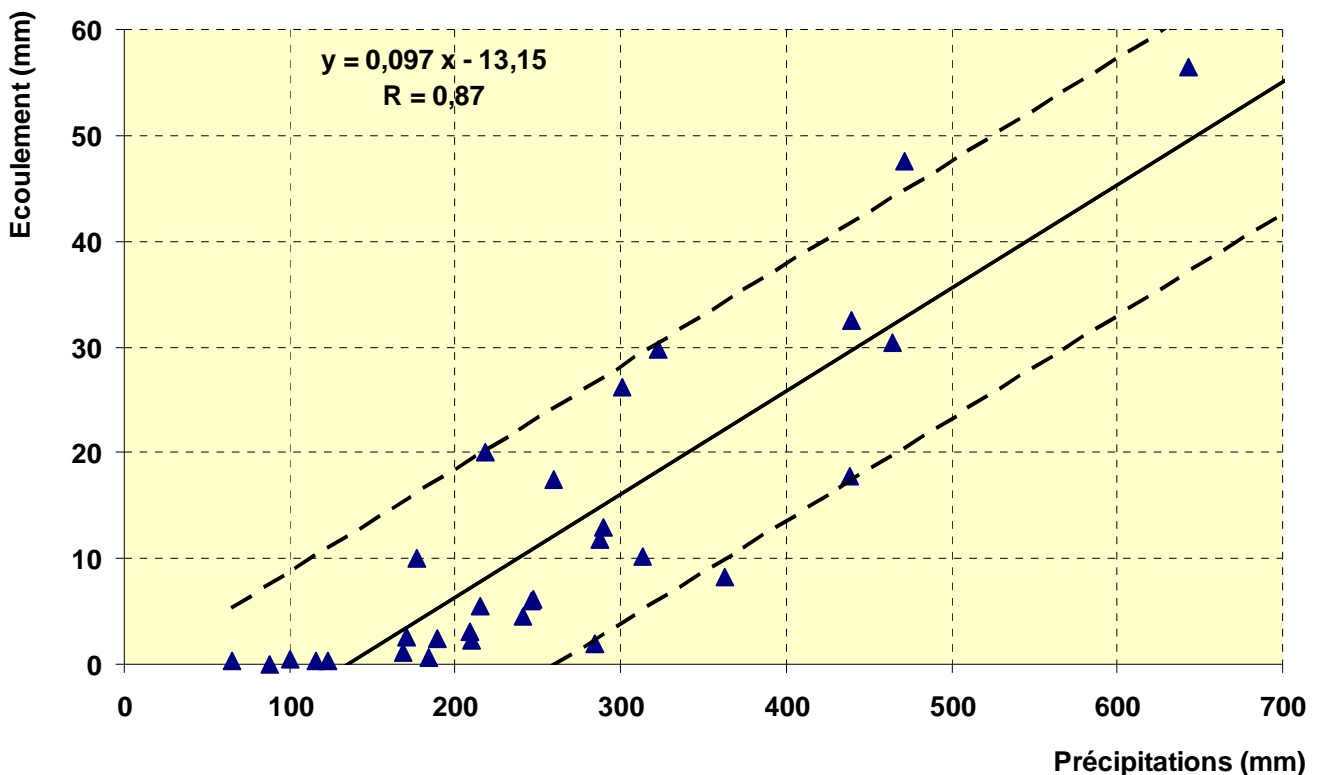


Figure 101: Corrélation entre les précipitations et les débits annuels sur le bassin du Souss à Taroudant

L'équation des deux droites, limites supérieure et inférieure de l'intervalle sont respectivement:

$$y_1 = 0,097 x - 13,15 + (1,64 * 7,4) = \mathbf{0,097 x - 1,01} .$$

$$y_2 = 0,097 x - 13,15 - (1,64 * 7,4) = \mathbf{0,097 x - 25,29} .$$

Et on remarquera sur la figure 101 que cette bande d'estimation des débits n'est pas particulièrement large, bien que les débits en 1970-71 et 1968-69 ont été respectivement de l'ordre de 47,61 et seulement 17,85 mm pour des hauteurs de précipitations plutôt voisines : 471,8 et 438 mm.

Le coefficient de corrélation entre pluies et débits annuels dans le bassin du Souss à Taroudant est égal à **0,87**. Il témoigne, comme sur le bassin amont, d'une forte liaison entre les deux paramètres. Aux fortes pluies correspond généralement un fort écoulement à la station hydrométrique; et réciproquement, aux années sèches, correspondent toujours de très faibles débits. Ceci revient essentiellement au faible rôle amortisseur d'un substratum peu propice aux retentions durables. La capacité des réserves hydrogéologiques (constituées ici d'alluvions, conglomérats, marnes et grès calcaires) ne peut pas perturber des corrélations annuelles pluies-débits, surtout qu'on travaille dans le cadre de l'année hydrologique, qui commence en septembre, et nous savons bien que le mois d'août ne connaît pas de précipitations notables, qui risquent de déclencher des écoulements qui vont pouvoir persister jusqu'au mois de septembre, c'est à dire qui vont être comptabilisés dans l'année hydrologique suivante. Dans ce cas, une partie de l'écoulement va être soustraite d'une année au profit d'une autre.

C - bassin du Souss a Ait Melloul :

Pour le bassin du Souss à Aït Melloul, nous allons choisir, pour l'étude de la corrélation pluie-débit, de tracer deux droites de régressions: celle d'estimation des débits à partir des hauteurs des pluies (appelée droite de régression de X en Y), et celle d'estimation des pluies à partir des débits annuels (appelée droite de régression de Y en X). Les deux droites se rapprocheront davantage si la corrélation est de plus en plus forte, en formant un angle de plus en plus serré. Mais au lieu de représenter les indices de pluies et de débits en valeurs absolues, on va représenter chaque année par sa pluviosité: x_i/x (rapport de la pluie particulière à la moyenne globale) portée en abscisse, et par son hydraulicité contemporaine y_i/y portée en ordonnée. (Les deux droites seront sécantes au point de coordonnées (1,1)).

L'équation de la droite de régression de Y en X (hydraulicité en fonction de la pluviosité) est :

$y = 2,19 x - 1,19$, autour de laquelle sont dispersés les points expérimentaux (fig.102), l'hydraulicité paraît assez proportionnelle à la pluviosité sur ce bassin global du Souss. La pente de la droite de régression (2,19) est largement supérieure à 1, ce qui signifie que les écarts et la variabilité des hydraulicités sont plus élevés (de 2 fois) que ceux des pluviosités. Ceci est également visible sur la figure 103, en tenant compte des échelles des axes d'abscisses et d'ordonnées. L'amplification des variations fluviales par rapport aux variations pluviales est due à une évapotranspiration d'autant plus importante

(en pourcentage) que la tranche des précipitations annuelles est médiocre; car aux années de faible pluviosité (parfois de pluviosité moyenne), correspond un écoulement particulièrement très faible. Les températures élevées puisent facilement ces eaux précipitées et anéantissent sévèrement les hauteurs des débits mesurés à l'exutoire; et puis les années de très forte hydraulité (> 2) sont les années ayant connu de fortes averses, de courtes durées et qui ont déclenché de fortes crues et des hautes eaux qui ont échappé à l'évaporation et à l'infiltration.

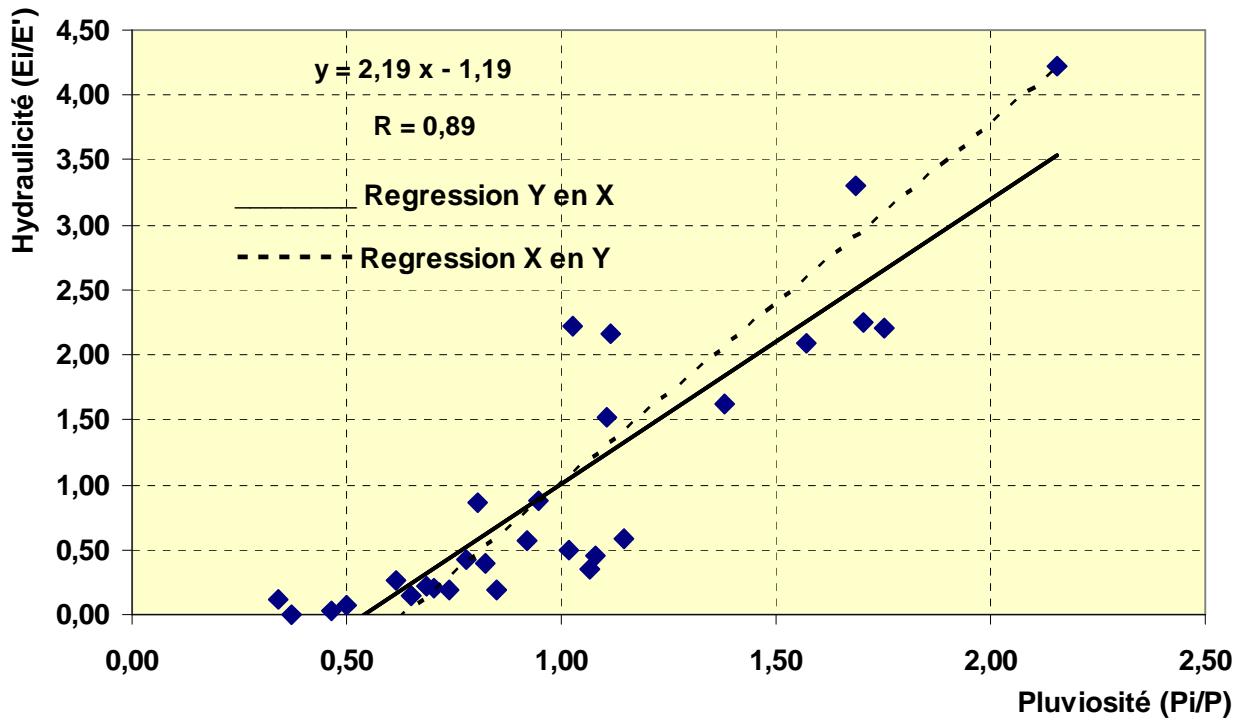


Figure 102: Corrélation entre pluviosité et hydraulité dans le bassin du Souss à Aït Melloul

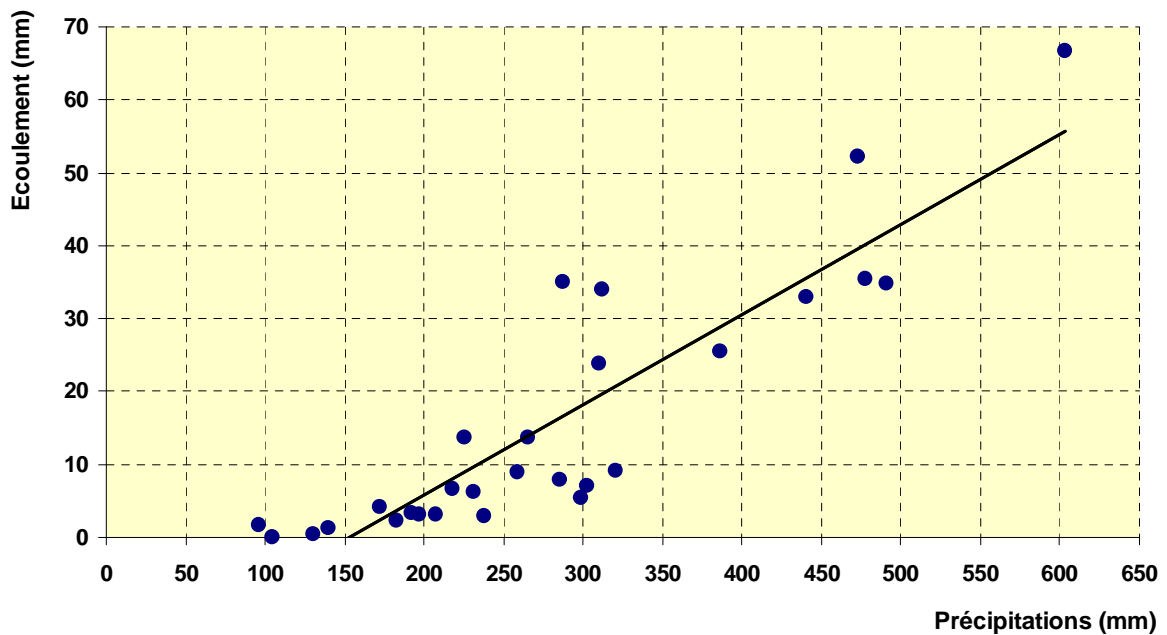


Figure 103: Corrélation entre les précipitations et les débits annuels sur le bassin du Souss à Aït Melloul

Le coefficient de corrélation est ici très élevé : **0,89**, il est le plus élevé des trois bassins du Souss; et pour vérifier cette forte corrélation entre pluviosité et hydraulité, nous avons tracé (sur la même figure 102) la droite de régression de X en Y ($x = 0,36 y + 0,637$); on remarque qu'elle forme avec la droite de régression de Y en X un angle relativement serré, ce qui confirme le degré de liaison de 89 % entre les deux paramètres.

Tout laisse croire donc que dans ce bassin subaride, les phénomènes qui pourraient gêner ou perturber les relations pluies-débits n'agissent pas ici, comme les retentions durables des eaux dans les aquifères souterrains, ou des névés abondants maintenu longuement sur le sol. En effet, sur les hauts sommets des Atlas, les éventuelles précipitations nivales d'hiver, entament la fonte dès le début de la saison chaude, et se transforment en eaux courantes pendant la même année hydrologique.

III - Les bilans particuliers :

Les bilans particuliers annuels sont très variables dans le bassin du Souss d'une année à l'autre. A Aoulouz, le coefficient d'écoulement s'est abaissé en 1982-83 à 1,4 %, et même à 1,15 % en 1960-61, alors que la moyenne y est de l'ordre de 10,6 % et le maximum s'élève à 27,4 % en 1987-88. A Taroudant et à Aït Melloul, ce coefficient peut même s'abaisser à des valeurs inférieures à 0,1 % (0,04 % à Taroudant et 0,02 % à Aït Melloul toujours en 1982-83), et les maxima dépassent les 10 % (10,1 % à Taroudant en 1970-71, et 12,2 % à Aït Melloul en 1978-79). Les rapports des coefficients extrêmes sont donc considérables. Il en est de même pour les déficits d'écoulement, dont la variation dépendra étroitement de celle des pluies comme on va le voir dans le paragraphe suivant.

Le déficit d'écoulement constitue le troisième terme du bilan hydrologique après les pluies et les débits. Il exprime la différence entre la hauteur d'eau reçue par un bassin et l'écoulement superficiel issu de ce bassin pendant une même période. Il correspond théoriquement à la quantité d'eau évapotranspirée et la quantité infiltrée vers les nappes souterraines, mais cette partie d'eau infiltrée pourra ultérieurement être drainée par la rivière et ressortir par des résurgences et des sources, en constituant un débit de base pendant la période des basses eaux. Elle correspond donc à un écoulement différé qui va être "comptabilisé" avec les débits. Ceci laisse supposer que le déficit d'écoulement correspond uniquement et simplement à l'évapotranspiration (réelle), mais l'expérience a souvent montré que le calcul du déficit par différence entre les pluies et les débits contemporains, ne donne jamais une valeur exacte de l'évapotranspiration ayant agi sur les pluies considérées. Car pendant une courte période (quelques mois par exemple), l'évapotranspiration ne peut agir que sur les pluies transformées en ruissellement et l'eau de la zone de saturation du sol, alors qu'une autre tranche d'eau précipitée peut être retenue par les nappes jusqu'au delà de la période étudiée. C'est pourquoi on trouve souvent des différences entre les déficits résultant des bilans ($D = P - P'$) et les valeurs de l'ETR calculées empiriquement. Cependant si le

retard de l'écoulement sur la pluie est régulier chaque année, ou récupéré pendant la même année, la différence est faible. Elle est encore négligeable si la période d'observation est très longue. Dans ce cas, le déficit global peut sans problème être rapproché de la valeur de l'évapotranspiration réelle.

A - Déficits d'écoulement :

Dans les bassins du Souss, les déficits particuliers varient naturellement d'une année à l'autre selon plusieurs facteurs. Au bassin d'Aoulouz, les déficits annuels varient de 133,5 mm en 1960-61, jusqu'à 712,8 mm en 62-63. Ces deux hauteurs correspondent exactement aux années de pluviosités extrêmes. Le déficit moyen global est de l'ordre de 325 mm.

Pour le bassin du Souss à Taroudant, le déficit a été en 1960-61 de l'ordre de 64,7 mm, et 587,1 mm en 1962-63; le rapport de ces hauteurs extrêmes est de 9,1 alors qu'il n'était que de 5,3 dans le bassin amont. Visiblement, la très grande variabilité des pluies dans le bassin de Taroudant a permis une aussi grande variation des déficits. Le rapport au bassin du Souss à Aït Melloul est proche de celui d'Aoulouz : 5,7 et les déficits y varient de 94,4 à 536,8 mm.

La variation des précipitations annuelles semble être la principale cause de la variabilité des déficits d'écoulement, mais la répartition de ces pluies dans l'année peut aussi, dans une certaine mesure, agir sur la hauteur de ces déficits. Hormis le cas de précipitations élevées, le déficit annuel sera d'autant plus grand que les pluies sont bien réparties sur toute l'année, ou sur plusieurs mois, et quand leur intensité est faible, puisque les fortes pluies concentrées sur un court laps de temps s'écoulent plus facilement et échappent à l'évapotranspiration.

D'autre part, les températures peuvent aussi avoir une influence sur la hauteur des déficits annuels, surtout quand elles ont une grande variabilité annuelle. Le déficit croît naturellement avec la température, mais dans le bassin du Souss, nous avons vu que les températures sont particulièrement très peu variables d'une année à l'autre et nous n'avons trouvé aucune relation entre les déficits annuels et les températures moyennes annuelles. En revanche la liaison est très étroite entre les hauteurs de pluies et les déficits annuels sur les trois bassins du Souss. Les figures 104, 105 et 106 illustrent cette très forte corrélation, que nous avons aussi vérifiée empiriquement avec les coefficients de corrélations. Ceux-ci sont aux bassins amont, moyen et total respectivement 0,98 , 0,99 et 0,99. En ce milieu subdésertique, les pluies semblent être le seul -sinon le plus important- facteur déterminant dans la variation des déficits particuliers, ce qui n'est toujours pas le cas en domaine tempéré, où la variation interannuelle des précipitations est faible, et où les forts écarts entre les déficits annuels ont pour cause aussi des évaporations réelles très inégales en raison de températures annuelles très variables.

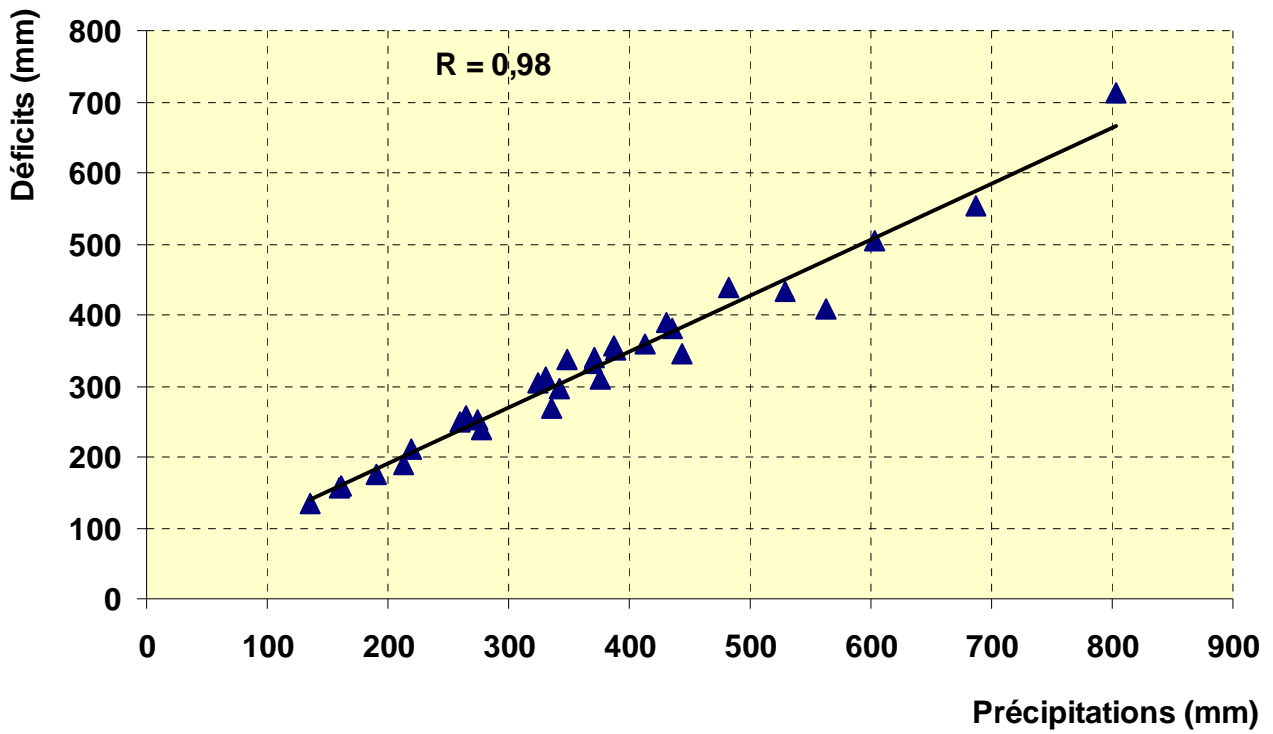


Figure 104 : Corrélation entre les précipitations et les déficits annuels dans le bassin du Souss à Aoulouz

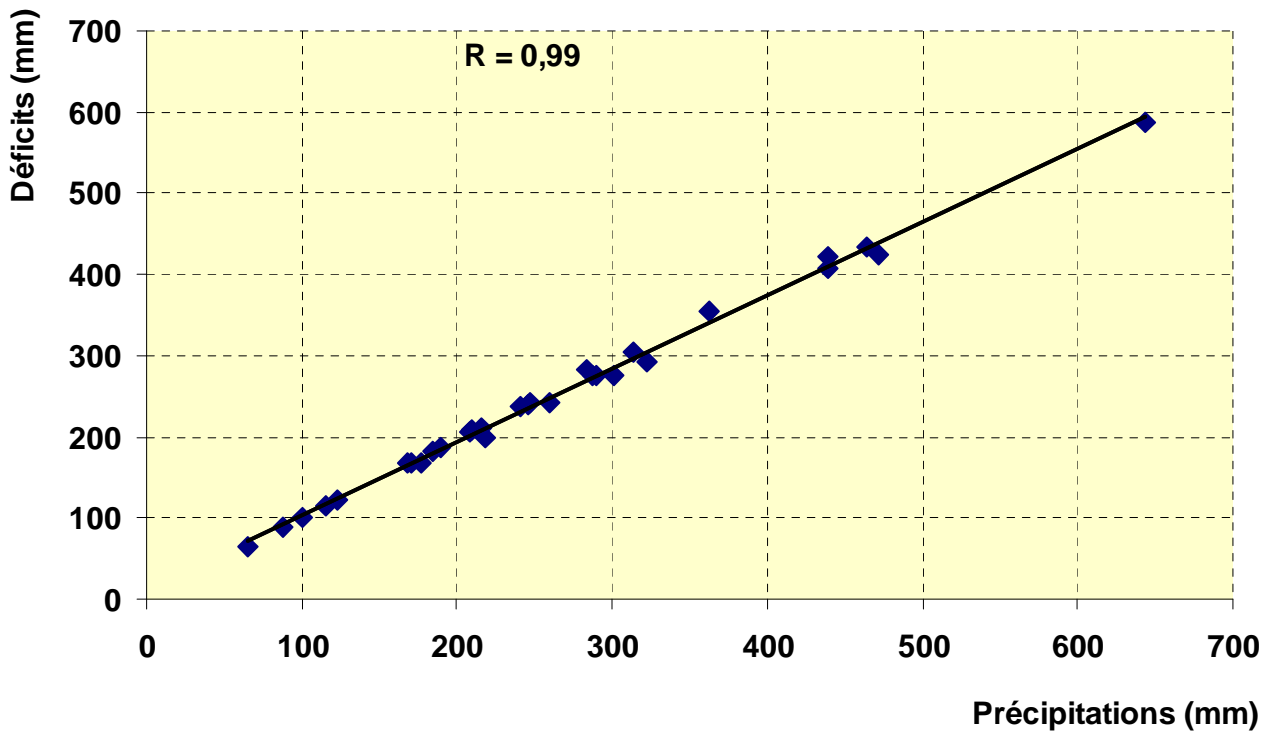


Figure 105 : Corrélation entre les précipitations et les déficits annuels au bassin du Souss à Taroudant

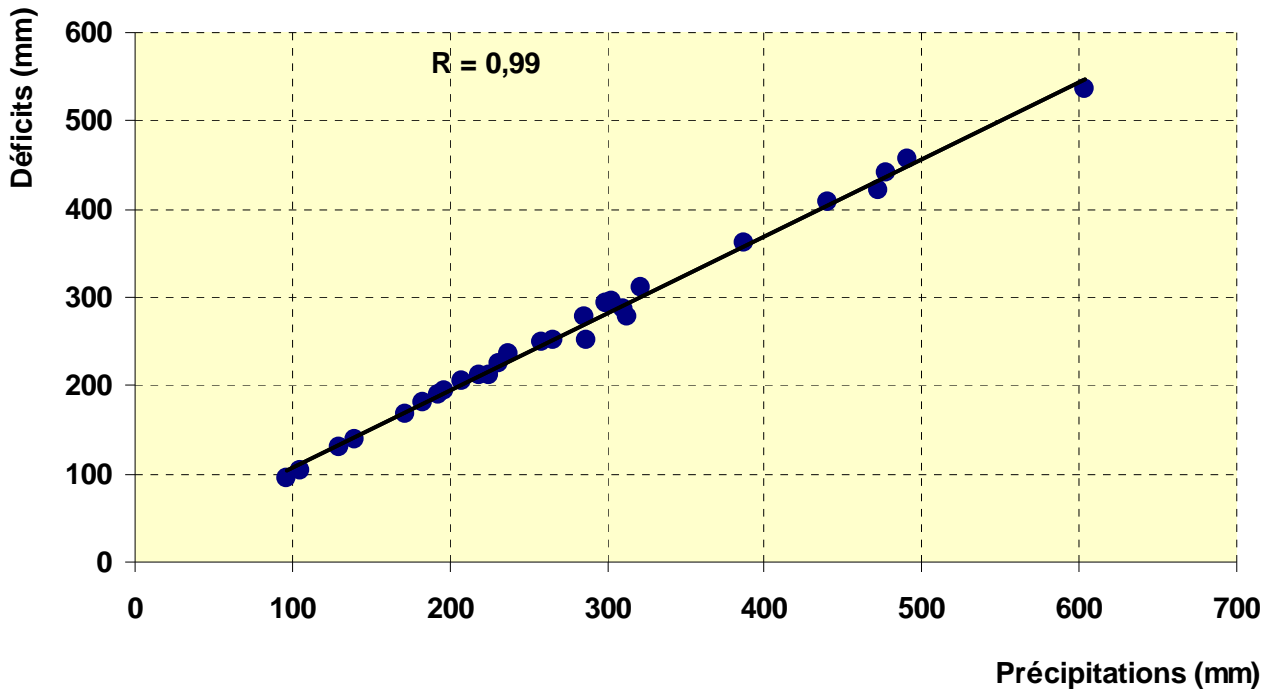


Figure 106 : Corrélation entre les précipitations et les déficits annuels au bassin du Souss à Aït Melloul

Un facteur hydrogéologique intervient aussi dans les bassins où le pouvoir d'accumulation souterraine d'une partie des eaux précipitées est très grand. Ceci ne pourrait pas être le cas du bassin du Souss qui évacue généralement les eaux emmagasinées en hiver pendant la saison sèche, qui constitue la période de vidange des nappes.

Signalons enfin que parmi les termes du bilan hydrologique, ce sont les écoulements qui présentent le coefficient de variation le plus élevé (1,08 contre 0,44 pour les pluies et 0,41 pour les déficits à Aït Melloul). Les débits minima annuels sont particulièrement médiocres (voire négligeables) aux trois niveaux du bassin, et les années qui comptent un nombre important de crues connaissent des débits très élevés.

B - Coefficients d'écoulement :

Le coefficient ou le quotient d'écoulement est le rapport entre des débits et des pluies contemporains. Il exprime en pourcentage la tranche d'eau précipitée qui ruisselle jusqu'à l'exutoire du bassin versant.

Les coefficients d'écoulement dépendent généralement de trois facteurs principaux:

- La pluie qui intervient par son intensité, sa répartition et sa durée.
- Les caractéristiques physiques d'un bassin versant, notamment sa superficie, sa forme, ses pentes, la nature et la perméabilité de son substratum, la végétation et l'état d'humidité du sol quand commence la pluie.
- La température qui régit l'évaporation.

Concernant le bassin du Souss -comme pour la plupart des oueds du Maroc- c'est l'intensité des pluies et le degré des pentes qui auront une influence décisive sur les coefficients de ruissellement; mais bien entendu, les autres facteurs conditionnent également l'écoulement : la nature géologique du sol, la température, la forme et la longueur du bassin peuvent être prépondérantes.

Les coefficients d'écoulement sont toujours plus élevés dans le bassin amont, où l'altitude moyenne est de 1750 m, et la pente moyenne de l'ordre de 17 % . Ils varient, à Aoulouz, de 1,15 % en 1960-61 à 27,36 % en 1987-88. La moyenne des coefficients annuels s'élève à 10,61 % contre 3,62 % à Taroudant et 4,44 % à Aït Melloul.

Nous avons essayé de chercher une relation entre les coefficients d'écoulement et les hauteurs de précipitations au pas de temps annuel. Le résultat graphique, concernant le bassin amont, montre un nuage de points très dispersés pour lesquels il est absurde de tracer une courbe moyenne (fig.107); la corrélation entre les deux paramètres paraît ici peu convaincante comme l'indique le coefficient de corrélation (0,62) ou comme le montrent les deux exemples suivants:

- Le coefficient d'écoulement peut varier de 3,27 % (en 81-82) à 19,66 % (en 64-65) pour des hauteurs de pluies très voisines (respectivement 348 et 335 mm).
- Le coefficient n'était que de 11,18 % pour la hauteur maximale des pluies (802,5 mm en 1962-63), alors qu'il était de 13,8 % pour des précipitations de 277,6 mm seulement en 71-72.

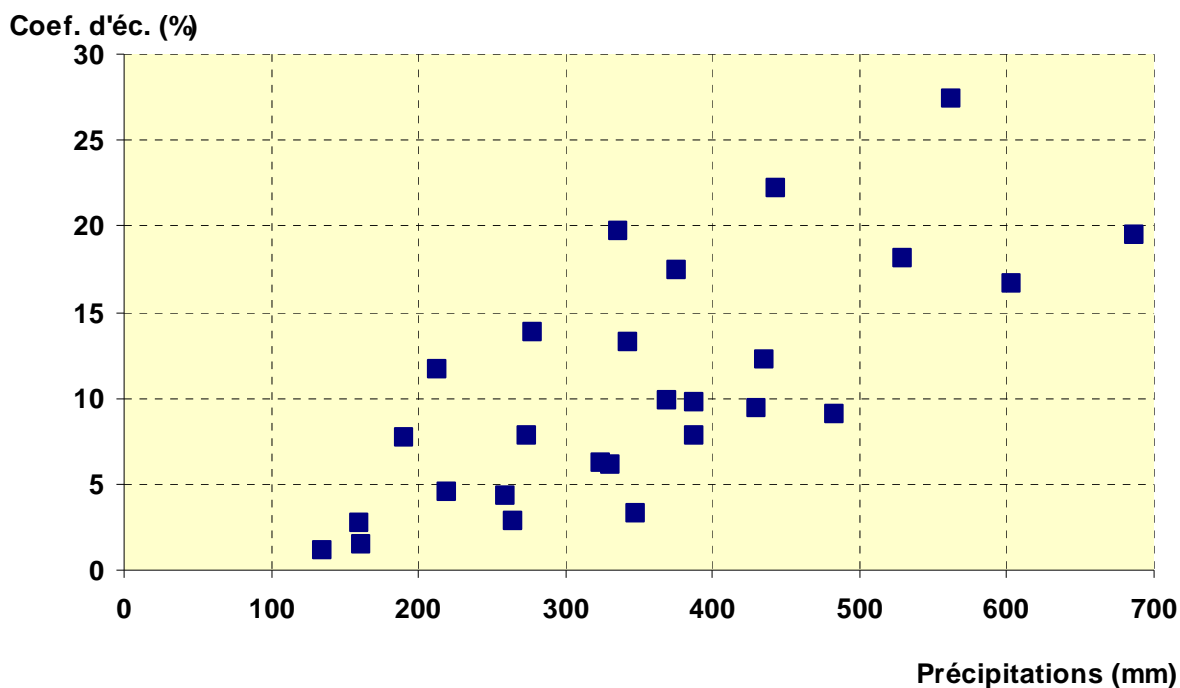


Figure 107 : Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulement annuels dans le bassin du Souss à Aoulouz

En effet, un facteur important intervient ici, c'est l'état d'humidité des sols et le niveau d'eau dans les réserves souterraines au moment de la pluie. Une année pluvieuse qui fait suite à une année sèche n'aura pas le même résultat d'écoulement que si elle faisait suite à une année très humide; en plus, le plus important est moins la hauteur de pluie que la façon dont cette pluie est tombée dans le temps. C'est pourquoi on ne devrait pas s'attendre à une bonne relation entre les hauteurs annuelles des pluies et les coefficients d'écoulement qui en ressortent.

Les résultats concernant les bassins du Souss à Taroudant et à Aït Melloul sont similaires à celui du bassin amont, le degré de liaison est plutôt médiocre entre les pluies annuelles et les coefficients d'écoulement (fig. 108 & 109). Les coefficients de corrélation n'étant respectivement que de 0,69 et 0,75; mais constatons -quand même- que ce coefficient de corrélation croît avec la superficie du bassin versant (de 0,62 au bassin d'Aoulouz à 0,75 à Aït Melloul). En effet, une partie des eaux précipitées sur le bassin amont pourrait être infiltrée vers le sous sol et ne ressortir que dans la plaine du Souss par des résurgences dans le lit de l'oued. Elle échapperait donc au débit mesuré à Aoulouz. Quant à la station d'Aït Melloul située près de l'embouchure de l'oued, elle verra passer les eaux précipitées sur la totalité du bassin, et il est évident que plus la surface drainée est très grande, moins les échanges inter-bassins perturbent les relations pluie-débit ou pluies-coefficients d'écoulement.

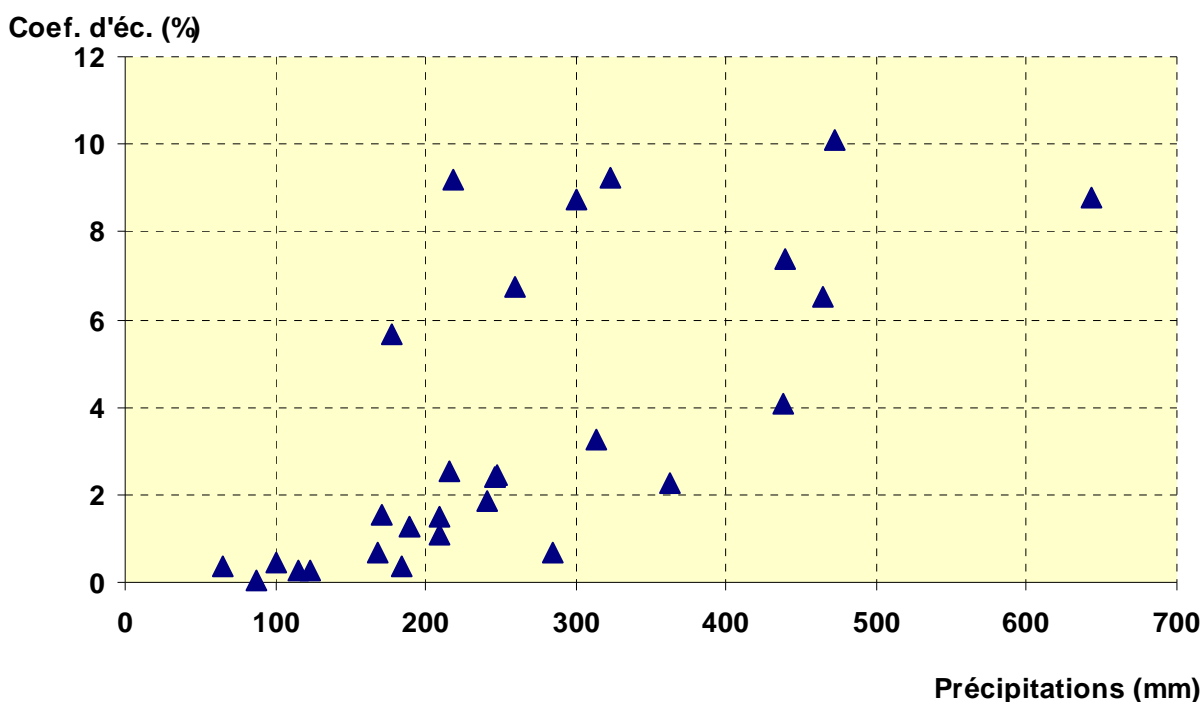


Figure 108 : Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulement annuels dans le bassin du Souss à Taroudant

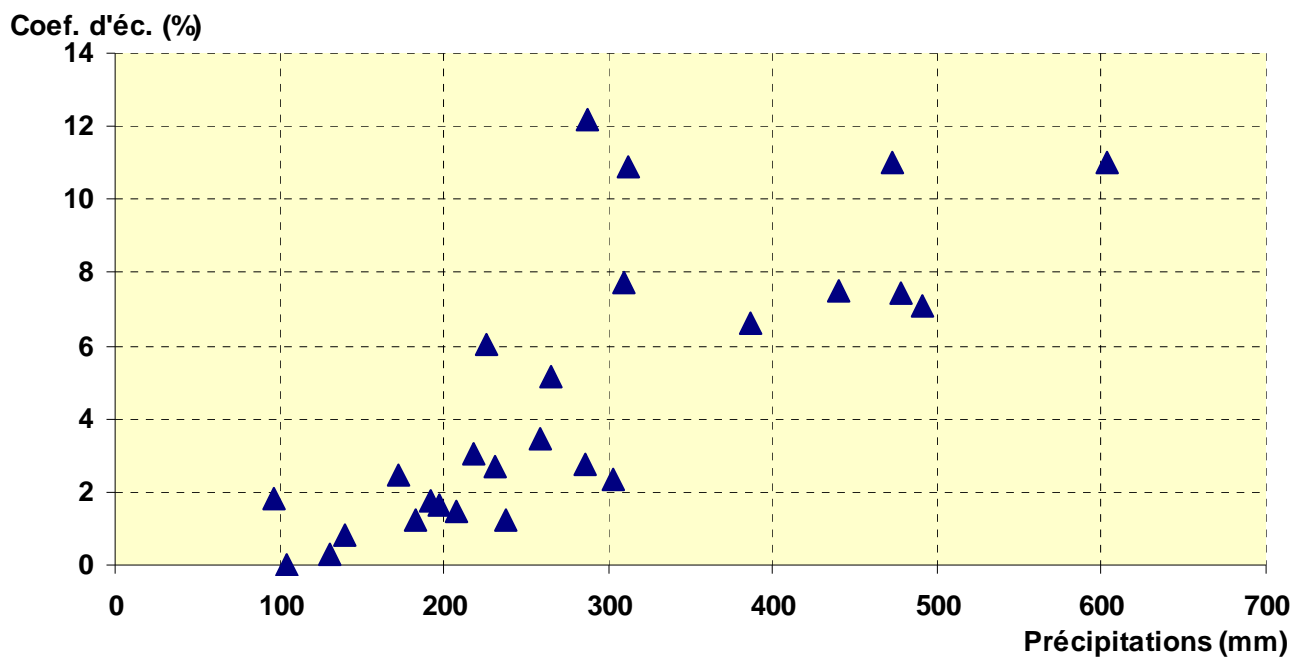


Figure 109 : Corrélation entre les précipitations et les coefficients d'écoulement annuels dans le bassin du Souss à Aït Melloul

En fin, pour conclure, nous avons répertorié sur le tableau 40, le détail des bilans hydrologiques particuliers annuels dans les bassins du Souss.

	Bassin du Souss à aoulouz				Bassin du Souss à Taroudant				Bassin du Souss à Aït Melloul			
	P	Ec	Déf.	Cr	P	Ec	Déf.	Cr	P	Ec	Déf.	Cr
1960-61	135,1	1,56	133,5	1,15	65,0	0,25	64,75	0,38	59,0	-	-	-
1961-62	482,7	43,86	438,8	9,09	313,8	10,21	303,59	3,25	290,0	-	-	-
1962-63	802,5	89,72	712,8	11,18	643,6	56,46	587,14	8,77	603,4	66,60	536,80	11,04
1963-64	434,8	53,37	381,4	12,27	362,7	8,29	354,41	2,29	386,8	25,49	361,31	6,59
1964-65	335,6	65,98	269,6	19,66	300,8	26,27	274,53	8,73	310,0	23,92	286,08	7,72
1965-66	342,2	45,21	297,0	13,21	247,4	6,10	241,30	2,47	225,3	13,62	211,68	6,05
1966-67	213,3	24,94	188,4	11,69	218,0	20,07	197,93	9,21	258,4	9,00	249,40	3,48
1967-68	529,2	95,79	433,4	18,10	464,5	30,36	434,14	6,54	472,7	52,18	420,52	11,04
1968-69	603,6	100,70	502,9	16,68	438,6	17,85	420,75	4,07	440,2	32,91	407,29	7,48
1969-70	443,5	98,38	345,1	22,18	322,5	29,83	292,67	9,25	312,3	34,03	278,27	10,90
1970-71	686,7	133,58	553,1	19,45	471,8	47,61	424,19	10,09	491,1	34,88	456,22	7,10
1971-72	277,6	38,37	239,2	13,82	170,4	2,61	167,79	1,53	197,2	3,19	194,01	1,62
1972-73	324,6	20,27	304,3	6,24	208,6	3,10	205,50	1,49	192,5	3,38	189,12	1,76
1973-74	368,6	36,35	332,3	9,86	240,9	4,49	236,41	1,86	265,6	13,76	251,84	5,18
1974-75	159,7	4,32	155,4	2,71	100,5	0,47	100,03	0,47	96,1	1,74	94,36	1,81
1975-76	259,8	11,08	248,7	4,26	168,1	1,12	166,98	0,67	182,6	2,25	180,35	1,23
1976-77	331,3	20,27	311,0	6,12	189,3	2,36	186,94	1,25	172,1	4,24	167,86	2,46
1977-78	430,7	40,46	390,2	9,39	284,0	1,97	282,03	0,69	302,4	7,07	295,33	2,34
1978-79	375,6	65,62	310,0	17,47	259,1	17,52	241,58	6,76	287,1	35,06	252,04	12,21
1979-80	388,2	37,80	350,4	9,74	215,5	5,45	210,05	2,53	230,8	6,18	224,62	2,68
1980-81	190,8	14,60	176,2	7,65	115,6	0,30	115,30	0,26	139,7	1,15	138,55	0,82
1981-82	348,6	11,41	337,2	3,27	209,7	2,32	207,38	1,11	238,0	2,99	235,01	1,26
1982-83	161,9	2,34	159,6	1,45	87,7	0,04	87,66	0,05	104,7	0,02	104,68	0,02
1983-84	273,8	21,25	252,6	7,76	176,8	10,00	166,80	5,66	218,4	6,67	211,73	3,05
1984-85	387,5	30,47	357,0	7,86	245,8	5,94	239,86	2,42	285,6	7,78	277,82	2,72
1985-86	265,3	7,37	257,9	2,78	183,9	0,64	183,26	0,35	207,5	3,09	204,41	1,49
1986-87	220,0	9,85	210,2	4,48	122,8	0,35	122,45	0,29	130,0	0,35	129,65	0,27
1987-88	562,1	153,84	408,3	27,37	439,3	32,52	406,78	7,40	477,5	35,49	442,01	7,43
1988-89	412,1	54,21	357,9	13,15	289,6	12,98	276,62	4,48	321,0	9,12	311,88	2,84
1989-90	371,7	30,61	341,1	8,24	287,7	11,73	275,97	4,08	298,8	5,46	293,34	1,83

Tableau 40 : Les bilans particuliers annuels sur les bassins du Souss

P = précipitations annuelles en mm – *Ec* = Lames d'eau annuelles écoulées

Déf. = Déficit d'écoulement annuels en mm – *Cr* = Coefficients annuels d'écoulement

IV - Les bilans globaux :

L'établissement d'un bilan hydrologique global répond au souci de découvrir, au niveau de chaque bassin versant, les valeurs moyennes de tous les termes de ce bilan sur la période étudiée, et les rapports entre ces différents termes.

Les résultats concernant les bassins du Souss sont répertoriés sur le tableau 41. Sa lecture appelle les remarques suivantes:

Bassin versant	Superficie (km ²)	Altitude moyenne (m)	Température moyenne estimée (°C)	Précipitations (mm)	Écoulement (mm)	Déficit (mm)	Coefficient d'écoulem. (%)	Période d'observation
Le Souss à Aoulouz	4450	1750	18,1	370,6	45,45	325,15	12,26	1960-1990
Le Souss à Taroudant	9350	1450	18,4	261,5	12,31	249,19	4,71	1960-1990
Le Souss à Aït Melloul	16100	1110	18,3	273,2	15,77	257,43	5,77	1962-1990
Oued Issen au pont	1500	1499	18,2	336	60,25	275,75	17,93	1962-1990

Tableau 41 : Bilans hydrologiques globaux dans les bassins versant du Souss

- Les températures moyennes sont très peu différentes dans les quatre bassins versants. Notons cependant que ces valeurs, obtenues à partir des stations d'Askaoun, Aoulouz, Tizi-N'Test, Taroudant, Igherm et Agadir, n'expriment qu'un ordre de grandeur approximatif plutôt que des conditions thermiques moyennes dans la totalité des bassins. En effet, ces rares stations thermométriques ne permettent pas de tracer avec précision une carte des isothermes. (à moins d'utiliser, avec un grand risque, le gradient vertical de température dans le Haut et l'Anti Atlas, ainsi que la carte de végétation en utilisant la relation végétation-température).

- La différence est grande entre les coefficients d'écoulement sur les bassins montagneux et ceux des bassins où les plaines abondent : Dans les bassins d'Aoulouz et celui d'Issen, où les reliefs prédominent et les pentes sont élevées (les pentes moyennes des lits principaux étant respectivement de 3,3 et 4 %), les quotients d'écoulement sont relativement élevés pour la latitude subdésertique : 12,3 % à Aoulouz et 17,9 % pour le bassin d'Issen. Par contre, sur le bassin de Taroudant qui englobe une partie de la plaine du Souss, il y a une prédominance de l'infiltration et l'évaporation plutôt que l'écoulement vers l'aval. Le coefficient d'écoulement global s'en trouve amoindri et relativement atténué (ici de l'ordre de 4,7 %). Il en est de même pour le bassin du Souss à Aït Melloul, vaste de 16100 km² et dont la plaine du Souss occupe le quart. Le coefficient d'écoulement est encore assez faible (5,77 %) malgré les apports pérennes de l'oued Issen. Ceci sans parler de la différence d'altitude moyenne, supérieure ou égale à 1500 m dans les deux premiers bassins, et inférieure à cette hauteur dans les seconds. Et nous savons que la température diminue avec l'altitude et corrélativement l'évapotranspiration, ce qui favorise l'écoulement.

- Les écoulements moyens globaux, exprimés en millimètres, sont assez variables et semblent dépendre de la superficie du bassin drainée. La lame d'eau écoulee est d'autant plus faible que la surface réceptrice est vaste.

- La corrélation est assez forte (0,94) entre les précipitations et les déficits globaux des quatre bassins versants. Egalement, Ces hauteurs des précipitations moyennes sont assez bien corrélées avec l'altitude moyenne des bassins versants (R= 0,78). Les chutes pluviales étant plus importantes sur les bassins plus élevés d'Aoulouz et d'Issen, et moins abondantes sur les bassins fermés à Taroudant ou à Aït Melloul. La figure 110 met en relief ces deux relations.

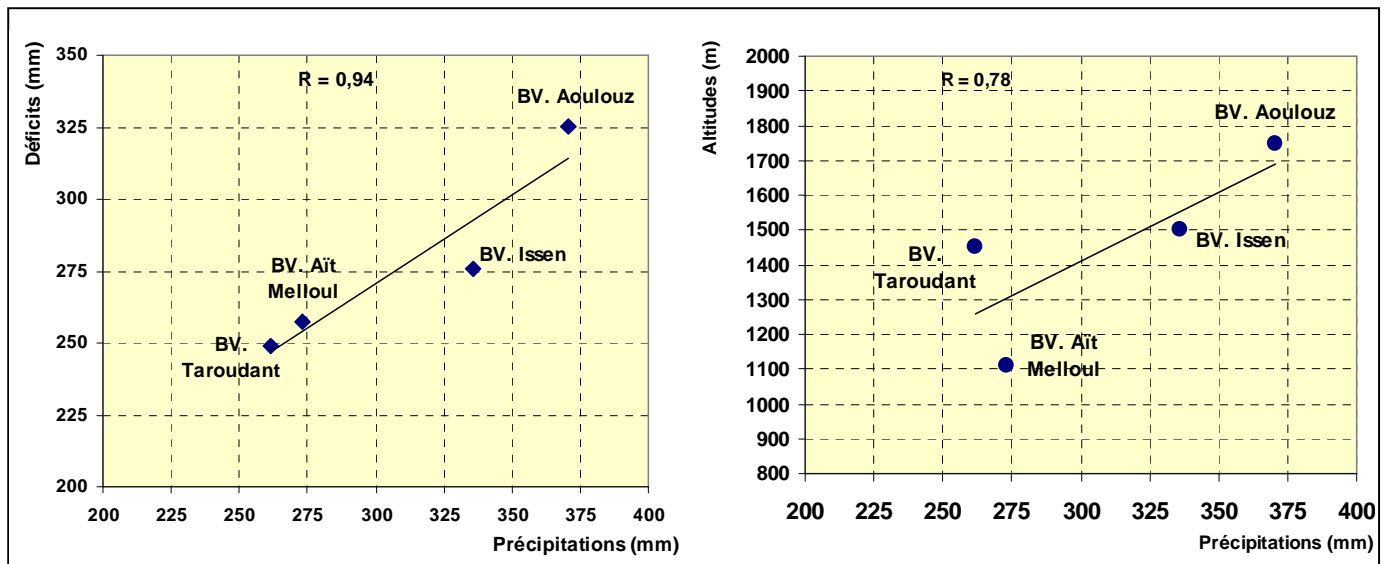


Figure 110 : Corrélations entre les précipitations et les déficits globaux et entre les précipitations et les altitudes moyennes des bassins

*** Evaluation du déficit par la formule de Turc :**

La formule de Turc est une formule expérimentale relative aux bilans hydrologiques annuels. Cette formule doit sa réputation, d'une part à sa simplicité puisqu'elle ne fait appel qu'à la température moyenne annuelle et aux précipitations annuelles globales; puis aux bons résultats qu'elle a généralement donnés, surtout sous un climat tempéré. Cette formule s'écrit:

$$E = P / \sqrt{0,9 + (P^2/L^2)}$$

P étant la hauteur moyenne annuelle des précipitations et L un paramètre où figure la température moyenne annuelle, et qui a été établi empiriquement par Turc avec la relation :

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3 \text{ où } T \text{ est exprimée en degré Celsius.}$$

Dans le bassin du Souss à Aoulouz, P = 370,6 mm et T = 18,1 °C, d'où le déficit selon Turc E = 366,1 mm. Cette valeur est un peu différente du déficit mesuré à partir des précipitations et de l'écoulement observés à Aoulouz (325,2 mm). Le résultat pour les autres bassins est énuméré sur le tableau suivant :

Bassin du Souss à	P (mm)	T (°C)	Déficit calculé (E)	Déficit mesuré (D)	Différence
Aoulouz	370,6	18,1	366,1	325,2	40,9 mm
Taroudant	261,5	18,4	267,0	249,2	17,8 mm
Aït Melloul	273,2	18,3	278,0	264,5	13,5 mm
Bassin d'Issen	336	18,2	335,8	275,7	60,1 mm

Tableau 42: Différences entre déficits calculés et mesurés dans les bassins du Souss

A première vue, on remarque que la différence entre les déficits calculés et ceux mesurés est plus accentuée au bassin d'Aoulouz et celui d'Issen (11 % et 18 % par rapport au déficit calculé). Les déficits calculés selon la formule de Turc doivent leurs valeurs élevées aux importantes températures moyennes des bassins, et des précipitations relativement faibles. Ces déficits calculés pourraient être encore plus élevés dans des bassins arides où les températures sont plus élevées que dans le bassin du Souss. Ils dépasseraient même la hauteur des précipitations, comme c'est le cas pour les bassins de Taroudant et d'Aït Melloul. Ceci met en doute la conformité de la formule de Turc pour les milieux désertiques et subdésertiques. (Roche, qui a appliqué cette formule dans certaines zones intertropicales a conclu qu'elle ne permettra pas de calculer l'évapotranspiration à des fins de bilan hydrologique). La différence est encore flagrante, et même absurde, entre l'écoulement observé et l'écoulement déduit de la formule de Turc :

	Ec mesuré (mm)	Ec calculé (= P - E)
Bassin d'Aoulouz	45,45	4,5 mm
Bassin de Taroudant	12,31	-5,5 mm ?
Bassin d'Aït Melloul	15,77	-4,8 mm ?
Bassin d'Issen	60,25	0,2 mm

Tableau 43: Différences entre les débits mesurés et calculés dans les bassins du Souss

Signalons, par ailleurs, que des ingénieurs marocains ont vérifié que la formule de Turc peut convenir dans les bassins sud-atlasiques après quelques modifications. Ils ont surtout proposé de remplacer la constante 0,9 par 1 dans la formule de Turc, qui devient:

$$E = P / \sqrt{1 + P^2/L^2}.$$

En effet, en adoptant cette nouvelle écriture, nous obtenons des déficits d'écoulement calculés très voisins de ceux réellement observés, surtout pour les bassins du Souss à Taroudant et à Aït Melloul, où

la différence entre ces deux valeurs devient de moins de 2% . Pour le bassin d'Aoulouz, la différence devient de l'ordre de 6,9 %, puis 13,9 % pour le bassin d'Issen. (Rappelons que ces différences étaient de 11 et 18 % avec la première formule de Turc).

D'autres formules ont été proposées pour évaluer empiriquement le déficit d'écoulement, notamment par Coutagne (1933), qui a estimé dans un premier temps ce déficit en fonction de la température. Mais ses formules sont toutes valables pour des hauteurs de précipitations supérieures à 650 mm. Il a ensuite conçu des formules donnant le déficit en fonction des précipitations moyennes annuelles (en mm), et de la température annuelle (en °C) :

$D = P - \delta P^2$, avec $\delta = 1 / (0.8 + 0.14 T)$; mais cette formule n'est applicable que pour P compris entre $1/8 \delta$ et $1/2 \delta$, c'est-à-dire, pour $T = 18,3$ °C, entre 420 mm et 1 681 mm. Or, pour les bassins du Souss, les précipitations moyennes n'excèdent pas, en moyenne, 370 mm par an. Pour ce cas où P est inférieure à $1/8 \delta$, Coutagne estime que le déficit d'écoulement est égal aux précipitations, et il n'y a pas d'écoulement. Cette estimation est très peu évidente dans le bassin du Souss où les écoulements peuvent être importants, et sont dans l'ensemble remarquables surtout à Aoulouz où ils représentent 12,3 % du volume précipité.

Nous constatons donc que les formules empiriques sont très approximatives et peu précises puisqu'elles ne tiennent compte que des éléments météorologiques simples à déterminer et facilement accessibles, comme les précipitations annuelles et la température de l'air. Celle-ci caractérisera, faute de mieux, la valeur du pouvoir évaporant. Le problème reste que ces formules négligent des facteurs de première importance telles que la nature et la répartition dans le temps des précipitations par exemple.

V - Les bilans mensuels :

"L'échelle mensuelle apporte à l'étude du bilan son efficacité optimale en permettant une analyse du comportement des principales variables et en précisant, en outre, le caractère de leurs inter-relations" (Humbert, 1982).

En effet, l'étude d'un cours d'eau comportant en général deux aspects : l'étude des extrêmes (crues et étiages), et l'étude du comportement moyen ou régime. Et la meilleure façon d'étudier le comportement d'un cours d'eau serait de suivre son fonctionnement dans le temps, à travers l'analyse des paramètres climatiques physiques ou biologiques. Ces paramètres sont soit mesurés dans les stations climatiques ou hydrométriques (température, précipitations, débits, humidité...), soit calculés avec des formules empiriques (ETP), ou simplement déduits des calculs (la réserve utile, l'ETR, l'excédent, le déficit d'écoulement).

Au pas de temps mensuel, ces termes du bilan hydrologique étant donc en détail :

* **T** : La température moyenne mensuelle en °C.

* **P** : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

* **ETP** : L'évapotranspiration potentielle, elle exprimera la quantité d'eau qui devrait théoriquement disparaître chaque mois par évaporation atmosphérique et transpiration végétale, si l'approvisionnement en eau est excédentaire ou suffisant. C'est un facteur fondamental puisqu'il fixe la borne maximale des pertes en eau du bassin. Plusieurs formules permettent de calculer ce paramètre, notamment les formules de Thornthwaite, de Turc, ou de Penman. Celle de Thornthwaite est relativement aisée à obtenir puisque ne nécessitant que des données de températures, puis elle est assez adaptée à différentes latitudes. Les formules de Turc et Penman peuvent être plus précises, et ont donné, de leur côté, d'assez bons résultats; mais sont plus exigeantes, car nécessitent des mesures de rayonnement global, d'insolation ou d'hygrométrie. Ces données sont encore très peu nombreuses dans le bassin du Souss. Ceci nous amène à adopter pour le calcul de l'ETP mensuelle la formule de Thornthwaite qui s'écrit:

$$ETP = 16 * (10 * t/I)^a * F(\lambda)$$

t étant la température moyenne mensuelle en °C.

I est un indice thermique annuel, égal à la somme des indices mensuels : $I = \sum i$, et $i = (t/5)^{1,514}$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$$

Plus tard, L'auteur Serra a simplifié cette écriture en proposant : $a = 0,016 I + 0,5$.

$F(\lambda)$ est un coefficient de correction dépendant de la latitude et de la durée d'illumination mensuelle. Les valeurs de $F(\lambda)$ valable pour la latitude 30 étant (Péguy,1970) :

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1,03	0,98	0,89	0,88	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14

Tableau 44: Coefficients de correction pour la latitude 30°N.

* **RU** : La réserve utile, c'est la quantité d'eau stockée dans les premiers décimètres du Sol, et qui sera reprise en cas de besoin par la végétation ou par l'évaporation directe. cette réserve servira à combler le déficit provoqué par une ETP supérieure à la hauteur des pluies P. La RU est généralement fixée en milieu tempéré à 100 mm au début de l'année hydrologique. cette valeur est arbitraire bien qu'elle devrait dépendre de la nature du substratum et sa capacité de rétention: *"Thornthwaite admet que la saturation est atteinte lorsque les réserves superficielles cumulées atteignent 100 mm d'eau, mais ce chiffre doit être adapté à chaque cas particulier (...) et suivant J.R.Mather, la réserve atteindrait à saturation 10 à 20 mm par 30 cm d'épaisseur de sol en terrain sablonneux, et plus de 100 mm par 30 cm d'épaisseur de sol en terrain limoneux ou argileux."* Réménieras 1960.

Au Maroc, on utilise pour certains terrains arides le seuil de 50 mm. Mais dans la plupart des bassins, la limite de saturation est placée à 100 mm. Dans le bassin du Souss, le substratum est généralement

limoneux, sableux ou alluvionnaire dans la plaine; schisteux, gréseux ou marno-calcaire dans la montagne. Cette lithologie variée peut avoir une capacité de rétention importante (notamment les limons et les calcaires). Pour ceci, nous allons fixer, ici, la RU maximale à 100 mm. Par ailleurs, notons aussi qu'en domaine tempéré, l'année hydrologique commence en général avec un mois très pluvieux (généralement novembre), la réserve utile serait dans ce cas à son maximum possible, c'est pourquoi l'étude du bilan commence là avec une RU maximale. Dans les milieux arides ou subdésertiques, l'année hydrologique commence en septembre. C'est le mois qui fait suite à la saison sèche, et il n'est lui même que passablement pluvieux; pour cela on a admis que la réserve facilement utilisable serait nulle au départ. Le sol devra au préalable être imbibé et saturé pour constituer cette réserve avant de parler d'excédent.

* **ETR** : c'est l'évapotranspiration réelle en mm, déduite à partir de P et l'ETP : l'ETR est égale à l'ETP quand $P > ETP$; dans ce cas, l'excédent ($P - ETP$) ruisselle et/ou s'infiltré. Si $P < ETP$, l'ETR puisera dans la réserve utile pour satisfaire l'ETP, elle sera, dans ce cas, égale à la somme des précipitations du mois et de tout ou partie de la RU, selon que celle-ci est plus ou moins importante, et selon la demande de l'évapotranspiration.

* **EXC** = L'excédent en mm, déduit de la différence positive entre P et l'ETP quant la RU est à son niveau maximal. Il exprime la pluie qui échappe à l'évapotranspiration, soit la lame d'eau qui s'écoule et la hauteur d'eau infiltrée en mm.

* **Ec** = Lame d'eau mensuelle écoulee en mm. C'est l'écoulement observé à la station de jaugeage, il sera déduit du débit moyen mensuel Q mesuré à ladite station :

$$Ec = \{ Q(m^3/s) * 86400(s/j) * n \} / S$$

n étant le nombre de jours par mois, et S la surface du bassin.

La lame d'eau annuelle sera comparée à l'excédent annuel pour déduire la quantité d'eau emmagasinée ou restituée des aquifères du Sous-sol.

* **DE** = le déficit d'écoulement en mm, c'est la différence entre les pluies et l'écoulement mensuel. Il sera comparé à l'ETR pour cerner la complexité éventuelle du fonctionnement des réservoirs hydrogéologiques, qui peuvent ou non, perturber le bilan par des rétentions ou des émergences des eaux.

Nous allons choisir de suivre la variation mensuelle de ces paramètres pendant deux périodes, de 4 années chacune, qui sont très différentes par leurs conditions hydro-climatiques : une période humide et très pluvieuse de 1967-68 à 1970-71 (pluie moyenne = 566 mm à Aoulouz); et une période de grande pénurie et de sécheresse de 1980-81 à 1983-84 ($P = 244$ mm/an à Aoulouz, et seulement 147 mm à Taroudant). Ces bilans seront effectués pour le bassin amont (bassin d'Aoulouz), puis pour la totalité du bassin de l'oued (bassin du Souss à Aït Melloul), pour voir comment varient les composantes du cycle de l'eau selon la surface drainée et suivant que la période considérée est humide ou sèche.

- Bassin du Souss à Aoulouz :

- Période 1967-68 à 1970-71 :

1967-68 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
p	30,8	53	168,6	3,7	0	105,3	121,8	22	0	0	9,8	14,2	529,2
T	24,4	21	18,3	12,3	12,9	13,4	14,7	16,2	20,2	22,8	30,3	28,8	19,6
ETP	108,3	75,5	51,6	22,4	25,3	26,4	37,9	48,6	83,9	106,9	197,5	168,9	953,2
RU	0	0	100	81,3	56	100	100	73,7	0	0	0	0	
ETR	30,8	53	51,6	22,4	25,3	26,4	37,9	48,6	73,4	0	9,8	14,2	393,4
EXC	0	0	17	0	0	34,9	83,9	0	0	0	0	0	135,8
EC	1,47	3,16	44,53	7,74	2,42	8,77	17,98	3,86	2,36	1,73	0,71	0,31	95,0
DE	29,33	49,84	124,1	-4,04	-2,42	96,53	103,8	18,14	-2,36	-1,73	9,09	13,89	434,2

1968-69 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
p	6	0	168,1	62,5	98,6	126,6	61,4	51,2	2,9	23,6	0	2,7	603,6
T	24,8	22,5	17,2	12,3	14,4	13,9	15,5	14,5	19,2	20,7	29,6	26,2	19,2
ETP	114,6	89,5	47,3	23,7	33,4	30	44,3	40,6	78,3	90,3	190,8	141,7	924,5
RU	0	0	100	100	100	100	100	100	24,6	0	0	0	
ETR	6	0	47,3	23,7	33,4	30	44,3	40,6	78,3	48,2	0	2,7	354,5
EXC	0	0	20,8	38,8	65,2	96,6	17,1	10,6	0	0	0	0	249,1
EC	0,28	0,22	14,13	14,29	25,09	23,23	10,74	5,56	2,72	1,87	0,94	0,3	99,4
DE	5,72	-0,22	154	48,21	73,51	103,4	50,66	45,64	0,18	21,73	-0,94	2,4	504,3

1969-70 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
p	3,3	23,8	83,9	15,1	217,5	2,7	25,7	60,7	7,1	2,1	1	0,6	443,5
T	22,3	19,1	17	12,3	13,7	16	14,6	18,8	20,8	21,2	21,2	27,6	18,7
ETP	95,4	67,2	48,7	25,7	32,4	42,3	42	71,9	95,5	98,3	100,8	159,8	880,0
RU	0	0	35,2	24,6	100	60,4	44,1	32,9	0	0	0	0	
ETR	3,3	23,8	48,7	25,7	32,4	42,3	42	71,9	40	2,1	1	0,6	333,8
EXC	0	0	0	0	109,7	0	0	0	0	0	0	0	109,7
EC	0,26	3	8,98	3,74	63,08	5,28	7,09	3,47	2,03	1,37	0,56	0,33	99,2
DE	3,04	20,8	74,92	11,36	154,4	-2,57	18,61	57,23	5,07	0,73	0,44	0,27	344,3

1970-71 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
p	12,3	86,3	17,3	128,1	76,2	39,2	64,8	212	43,3	6	1	0,2	686,7
T	26,3	19,7	17,4	11,9	13,4	14,7	13,1	13,1	15,2	21,5	24,4	28,2	18,2
ETP	133,3	73	52,3	25	32,1	37,1	35,2	36,9	53,6	103	134,5	168,5	884,5
RU	0	13,3	0	100	100	100	100	100	89,7	0	0	0	
ETR	12,3	73	30,6	25	32,1	37,1	35,2	36,9	53,6	95,7	1	0,2	432,7
EXC	0	0	0	3,1	44,1	2,1	29,6	175,1	0	0	0	0	254,0
EC	0,7	6,19	10,47	12,21	13,84	9,45	5,9	50,45	13,37	5,92	2,93	1,41	132,8
DE	11,6	80,11	6,83	115,9	62,36	29,73	58,9	161,5	29,93	0,08	-1,93	-1,21	553,8

Tableaux 45-48 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aoulouz de 1967-68 à 1970-71

- Période 1980-81 à 1983-84 :

1980-81 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	11	5,4	87,9	0	0,1	45,1	29,7	0,9	3,8	4,9	1	1	190,8
T	26,5	22,3	16,6	13,7	14,1	13,3	17,8	14,9	19,6	23,5	26,8	27,1	19,7
ETP	129	85,9	42,3	28,1	30,5	26,2	56,6	41,1	79,2	114,3	153,9	149,6	936,7
RU	0	0	45,6	17,5	0	18,9	0	0	0	0	0	0	
ETR	11	5,4	42,3	28,1	17,6	26,2	48,6	0,9	3,8	4,9	1	1	190,8
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0,79	1,27	3,33	1,7	1,19	1,95	1,43	1,04	0,69	0,96	0,09	0,04	14,5
DE	10,21	4,13	84,57	-1,7	-1,09	43,15	28,27	-0,14	3,11	3,94	0,91	0,96	176,3

1981-82 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	1,8	22,6	4,7	14,4	62	10,8	73,7	124,7	29,6	0,7	0,8	2,8	348,6
T	26,2	23,2	19,9	14,8	13,3	15,3	17,5	16,6	21,2	22	27,7	25,9	20,3
ETP	122,6	90	58,9	31	25,3	32,9	51,9	48,6	89,4	96	160,8	132,4	939,8
RU	0	0	0	0	36,7	14,6	36,4	100	40,2	0	0	0	
ETR	1,8	22,6	4,7	14,4	25,3	32,9	51,9	48,6	89,4	40,9	0,8	2,8	336,1
EXC	0	0	0	0	0	0	0	12,5	0	0	0	0	12,5
EC	0,03	0,32	0,12	0,22	0,91	0,14	0,71	7,63	0,69	0,33	0,07	0,15	11,3
DE	1,77	22,28	4,58	14,18	61,09	10,66	72,99	117,1	28,91	0,37	0,73	2,65	337,3

1982-83 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	5,1	0	37,7	0,3	4,3	79,8	4,1	6,2	18,1	5,3	0	0	160,9
T	23,5	19,5	16,4	12,7	13,9	14,3	21	19,8	19,6	24,8	26,6	26,5	19,9
ETP	99,3	64,1	40,6	23,6	29,1	29,9	78,6	72,9	78	126,2	149,8	141,2	933,3
RU	0	0	0	0	0	49,9	0	0	0	0	0	0	
ETR	5,1	0	37,7	0,3	4,3	29,9	54	6,2	18,1	5,3	0	0	160,9
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0,05	0,09	0,19	0,07	0,08	1,13	0,38	0,06	0,07	0,07	0,03	0,01	2,2
DE	5,05	-0,09	37,51	0,23	4,22	78,67	3,72	6,14	18,03	5,23	-0,03	-0,01	158,7

1983-84 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	0,2	19,6	141,7	21,8	0	4,3	26,1	48,7	9,9	0	1,5	0	273,8
T	26,4	23,9	18	15,6	13,8	16,6	14,3	19,1	16,3	23,3	33,3	26,4	20,6
ETP	122,9	94,2	46,2	33,5	26,3	37,9	32,5	63,8	49,4	106,4	236,9	136	986,0
RU	0	0	95,5	83,8	57,5	23,9	17,5	2,4	0	0	0	0	
ETR	0,2	19,6	46,2	33,5	26,3	37,9	32,5	63,8	12,3	0	1,5	0	273,8
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0	0,49	16,62	1,11	0,48	0,11	1,19	0,43	0,52	0,07	0	0	21,0
DE	0,2	19,11	125,1	20,69	-0,48	4,19	24,91	48,27	9,38	-0,07	1,5	0	252,8

Tableaux 49-52 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aoulouz de 1980-81 à 1983-84

Conclusions :

A première vue, nous constatons que les années de la période pluvieuse sont toutes excédentaires. L'excédent hydrique est généralement observé de novembre à Avril. Pendant ces mois, l'ETP est toujours entièrement satisfaite par l'approvisionnement en eau de pluie et de la réserve du sol. Celle-ci atteint souvent sa capacité maximale, et l'excédent se répartit alors entre l'écoulement et l'infiltration.

A l'échelle annuelle, nous avons remarqué, pour cette période, que l'excédent est toujours supérieur à l'écoulement annuel observé. Il faut donc admettre que la différence est emmagasinée dans les réservoirs hydrogéologiques. cette différence (qui est la même que la différence entre l'ETR calculé et le déficit d'écoulement observé) était pendant les années de 1967-68 à 1970-71 respectivement: 40,8 mm, 149,7 mm, 10,5 mm et 121,2 mm. Pendant les années très pluvieuses (généralement supérieures à la moyenne), une partie seulement des eaux infiltrées pendant la saison humide, ressort sous forme de débit de base pendant la saison sèche de la même année. Une autre partie reste stockée dans les aquifères souterrains. Elle sera restituée pendant les années sèches et peu pluvieuses (ou ressortira en aval d'Aoulouz après un parcours souterrain). C'est ainsi que pour l'année 1971-72, par exemple, qui suit immédiatement notre période humide, la pluviosité était assez médiocre (277,6 mm), le calcul de son bilan mensuel a montré que l'excédent était pratiquement inexistant. Durant les 12 mois de l'année, l'ETR puise dans les eaux de pluies et de la réserve utilisable, qui n'a jamais atteint sa capacité maximale. Pourtant, nous avons observé un écoulement permanent pendant toute l'année, il a atteint au total 38,37 mm. Il est donc essentiellement fourni par le drainage de la nappe et les écoulements de base.

Ce phénomène de restitution des eaux emmagasinées pendant les périodes ou cycles humides est également mieux illustré par le bilan des années sèches de 1980-81 à 1983-84. Pendant cette période - qui était la plus sèche de 1961 à 1990- toutes les années étaient déficitaires, et nous n'avons pas eu d'excédent qu'une seule fois pendant le mois d'Avril 1982. La pluviosité médiocre se conjugue avec des évapotranspirations élevées. Les sols ont, par conséquent, du mal à se saturer et leur teneur en eau est rapidement absorbée par l'ETR.

Pendant ces années sèches donc, l'excédent hydrique est théoriquement inexistant. L'écoulement observé à la station hydrométrique est assuré uniquement par le débit de base qui récupère des nappes souterraines, les eaux retenues pendant les périodes d'abondance pluviale. Le calcul des bilans mensuels de toute la période des trente années de 1960 à 1990 va mettre en lumière des années ou périodes de recharge de la nappe, et les années de vidange. Le schéma de la figure 111 illustre le résultat de ce travail.

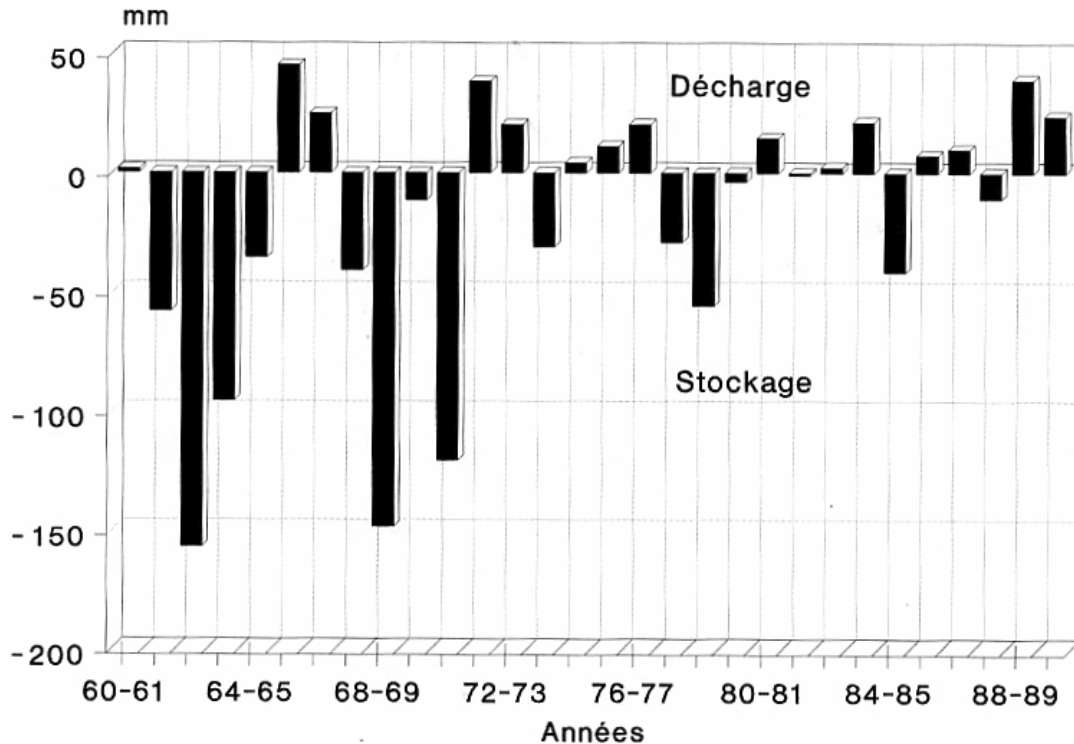


Figure 111 : Hauteurs en mm des infiltrations et des restitutions des eaux des nappes du bassin amont

Il ressort de cette représentation une alternance de période de recharge ou "de stockage", correspondant le plus souvent à des années très pluvieuses; et des années de vidange des nappes qui sont généralement sèches. (Nous avons, par ailleurs, repéré quelques années où le bilan de l'eau est équilibré: l'excédent annuel correspondait, à peu près, à l'écoulement observé à l'exutoire, et l'ETR égalait le déficit d'écoulement annuel).

Statistiquement, la répartition est équilibrée puisque nous avons inventorié 15 années de recharge et 15 années de restitution d'eau. Toutefois, les ordres de grandeur sont très inégales : les volumes infiltrés dépassent largement les lames d'eau drainées et restituées en amont d'Aoulouz. Au total, 838,9 mm étaient stockés pendant toutes les années de recharge, mais seules 284,2 mm ont pu alimenter l'écoulement de l'oued Souss en amont de la station de jaugeage d'Aoulouz, soit un peu moins de 35 % des quantités infiltrées. Les 65 % qui restent étant restitués plus à l'aval d'Aoulouz, en plusieurs endroits du lit de l'oued Souss où se manifestent des résurgences de la nappe phréatique. Le bassin amont étant en effet karstiques par endroit, notamment le sous-bassin "carbonaté" anti-atlasique d'Immerguène, et il existe un écoulement souterrain (underflow) dans le lit de l'oued large de 180 m et comblé sur 12 m d'alluvions grossières (galets, sables grossiers) au droit de la station.

Pour le bassin du Souss à Aoulouz, il importe donc de signaler les dangers d'assimiler hâtivement le déficit d'écoulement global à l'ETR, car les eaux pluviales qui se sont infiltrées dans le bassin n'étant pas toutes comptabilisées à la station d'Aoulouz. L'écoulement souterrain de la nappe soustrait une grande

partie de ces eaux infiltrées à l'écoulement du bassin amont, en faveur des écoulements en aval du bassin global du Souss. Pour ce bassin fermé à Aït Melloul, le bilan serait plus équilibré, l'oued pouvant drainer les eaux infiltrées dans les sous-bassins élémentaires.

Concernant les ordres de grandeur des différents paramètres du bilan, selon que l'année considérée est sèche ou humide, nous avons représenté sur les figures 112 et 113 les allures de ces termes pendant les années hydrologiques extrêmes : 1970-71 et 1982-83. Il ressort de leur lecture que pendant l'année 1970-71, la pluviosité était particulièrement très élevée, notamment en décembre et avril, où les totaux mensuels dépassant aisément 100 et 200 mm. Les hauteurs des autres mois de la saison froide, d'octobre à Avril, dépassaient toutes les hauteurs des ETP mensuelles (excepté novembre). La différence a, par conséquent, pu alimenter la réserve du sol, voire les nappes souterraines ou l'écoulement superficiel. La hauteur moyenne mensuelle des pluies pendant cette année étant de 57,2 mm (cette moyenne est de 30.9 mm de 1960 à 1990).

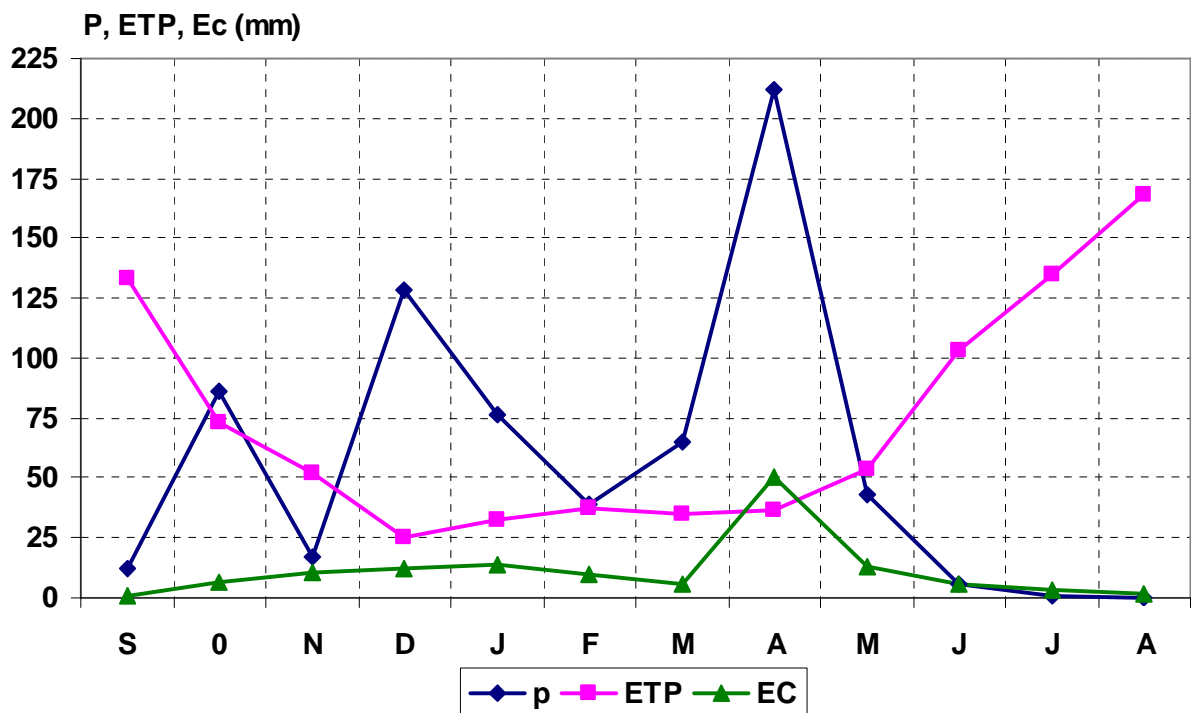


Figure 112: Allure des principaux termes du bilan hydrologique de l'année humide 1967-68 à Aoulouz

L'année sèche 1982-83 était également une année chaude (température moyenne en plaine= 19,88 °C) contre 18,24 °C en 1970-71, d'où une différence d'ETP mensuelle, qui était plus élevée en 82-83, notamment en mars, avril, mai, juin et juillet. Cette évapotranspiration excessive s'est conjugué avec une pluviosité faible pour aboutir à un écoulement négligeable durant toute l'année. Tous les mois (hormis février) ont enregistré des déficiences hydriques plus ou moins importantes, traduites par la différence entre les hauteurs d'ETP et de pluies.

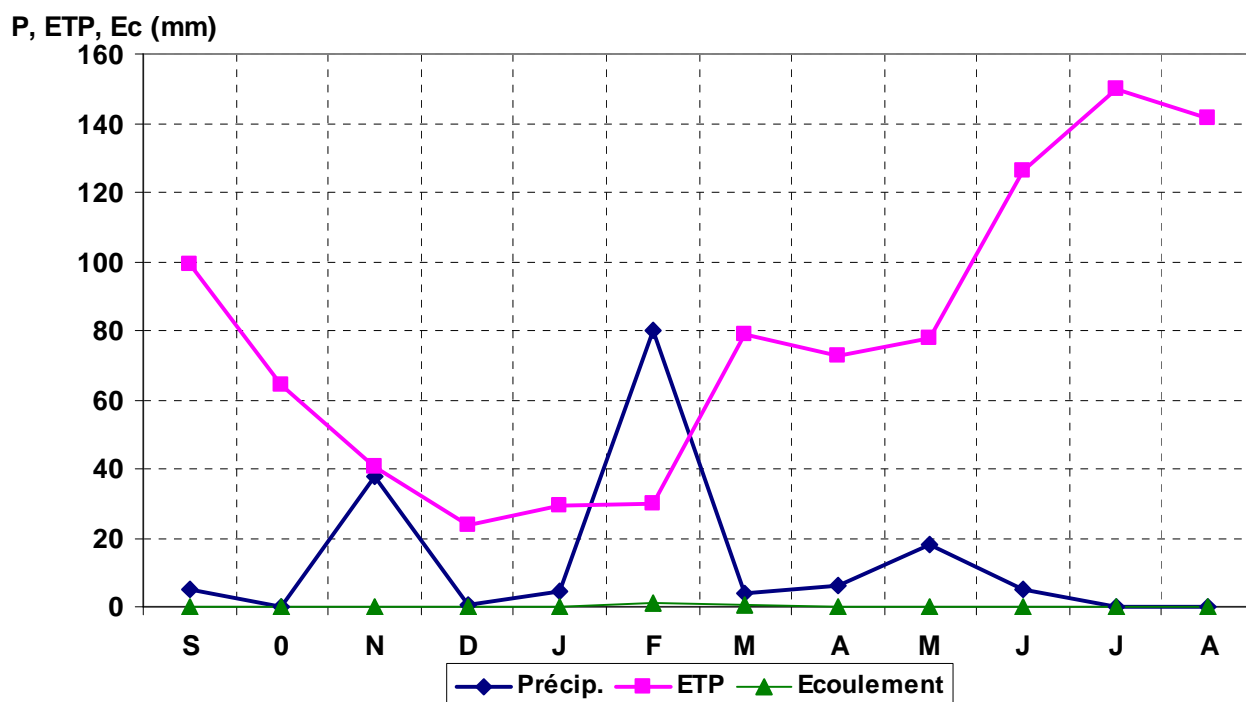


Figure 113: Allure des principaux termes du bilan hydrologique de l'année sèche 1982-83 à Aoulouz

- Bassin du Souss à Aït Melloul :

- Période 1967-68 à 1970-71 :

1967-68 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	14,9	63,5	213,3	0,3	0	76,3	73,2	19	0	3,9	7,3	1	472,7
T	21,5	19,1	15,6	11,2	10,7	12	13,5	15,7	18	21,3	26,1	25,7	17,5
ETP	94	72	45,2	24,4	23	27,4	40,2	55,5	77,6	104,9	156	144,1	864,3
RU	0	0	100	75,9	52,9	100	100	63,5	0	0	0	0	
ETR	14,9	63,5	45,2	24,4	23	27,4	40,2	55,5	63,5	3,9	7,3	1	369,8
EXC	0	0	68,1	0	0	1,8	33	0	0	0	0	0	102,9
EC	0,006	2,11	37,4	2,84	0,66	2,2	3,84	2,25	0,58	0,15	0,05	0,04	52,1
DE	14,89	61,39	175,9	-2,54	-0,66	74,1	69,36	16,75	-0,56	3,75	7,25	0,96	420,6

1968-69 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	2,9	7,5	122,2	80,3	78,1	92,5	28,1	19,4	0,4	7,1	0,4	1,3	440,2
T	22,1	20	16	11,2	12,5	13,4	14,5	15,4	18,4	20,9	27	25,2	18,1
ETP	96,7	76,3	45,5	23,1	29	31,9	43,8	51,4	78,5	98,9	164,1	136,9	876,1
RU	0	0	76,7	100	100	100	84,3	52,3	0	0	0	0	
ETR	2,9	7,5	45,5	23,1	29	31,9	43,8	51,4	52,7	7,1	0,4	1,3	296,6
EXC	0	0	0	33,9	49,1	60,6	0	0	0	0	0	0	143,6
EC	0,11	0,04	3,96	7,16	7,5	8,1	3,99	1,37	0,48	0,12	0,05	0,03	32,9
DE	2,79	7,46	118,2	73,14	70,6	84,4	24,11	18,03	-0,08	6,98	0,35	1,27	407,3

1969-70 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	1	13,6	74,2	26,4	160	1,3	26,7	5,9	1,2	2	0	0	312,3
T	21,2	18,7	16	11,1	12,4	13,7	14,1	17	19	21,3	25	25,6	17,9
ETP	90,2	68	46,2	23,1	29,1	33,8	42,3	62,7	84,3	103,4	142,9	141,8	867,8
RU	0	0	26	31,3	100	67,5	51,9	0	0	0	0	0	
ETR	1	13,6	46,2	23,1	29,1	33,8	42,3	57,8	1,2	2	0	0	250,1
EXC	0	0	0	0	62,2	0	0	0	0	0	0	0	62,2
EC	0,07	0,18	1,64	1,27	22,8	4,14	3,4	0,29	0,12	0,05	0,04	0,03	34,0
DE	0,93	13,42	72,56	25,13	137,2	-2,84	23,3	5,61	1,08	1,95	-0,04	-0,03	278,3

1970-71 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
p	4,4	46,2	34,3	166,3	30,6	16,8	52,7	123,7	14,4	1,1	0	0,6	491,1
T	22,5	19	16,3	11,7	12	13,3	13,6	14,9	17	20,9	24,7	26,1	17,7
ETP	101,4	70,8	48,6	26,2	28	32,7	40,4	50	69,6	100,6	140,1	147,3	855,7
RU	0	0	0	100	100	84,1	96,4	100	44,6	0	0	0	
ETR	4,4	46,2	34,3	26,2	28	32,7	40,4	50	69,6	45,9	0	0,6	378,3
EXC	0	0	0	40,1	2,6	0	0	70,1	0	0	0	0	112,8
EC	0,04	0,29	1,6	7,86	6,72	1,18	0,97	11,75	3,23	1,04	0,13	0,07	34,9
DE	4,36	45,91	32,7	158,4	23,88	15,62	51,73	111,9	11,17	0,06	-0,13	0,53	456,1

Tableaux 53-56 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aït Melloul de 1967-68 à 1970-71

- Période 1980-81 à 1983-84 :

1980-81 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	2	16	50,9	0	1,5	48,6	17	2	0,9	0,8	0	0	139,7
T	23,6	20	15,5	11,5	11,6	12,8	15,7	15,7	18,3	21,7	25,2	25,5	18,1
ETP	108,9	75,9	42,7	24,1	25	29,1	50,6	53,1	77,3	105,6	143,5	139,4	875,2
RU	0	0	8,2	0	0	19,5	0	0	0	0	0	0	
ETR	2	16	42,7	8,2	1,5	29,1	36,5	2	0,9	0,8	0	0	139,7
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0	0	0,9	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	1,2
DE	2	16	50	0	1,5	48,35	17	2	0,9	0,8	0	0	138,6

1981-82 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	0,3	23,6	3,5	8,7	65,9	11,2	48,6	70	4,3	0	0,8	1,1	238,0
T	22,5	20,1	17,8	12,4	11,6	13,2	15,6	16,2	19,4	21,2	25,6	25,3	18,4
ETP	98,6	75,6	54,4	26,9	24,2	30	48,9	55,1	85	99,9	147	136,6	882,2
RU	0	0	0	0	41,7	22,9	22,6	37,5	0	0	0	0	
ETR	0,3	23,6	3,5	8,7	24,2	30	48,9	55,1	41,8	0	0,8	1,1	238,0
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0	0	0	0	1,18	0	0,68	1,14	0	0	0	0	3,0
DE	0,3	23,6	3,5	8,7	64,72	11,2	47,92	68,86	4,3	0	0,8	1,1	235,0

1982-83 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	1,3	0	35,2	0,8	2,5	40,3	6,6	1,5	14,4	1,9	0	0,2	104,7
T	21,5	18,9	15,2	11,2	12,4	13	17,2	17,6	18,7	22,7	25,4	25,5	18,3
ETP	90,9	67,7	40,6	22,5	27,9	29,5	59,5	65,2	79,9	114,5	145,4	139,2	882,8
RU	0	0	0	0	0	10,8	0	0	0	0	0	0	
ETR	1,3	0	35,2	0,8	2,5	29,5	17,4	1,5	14,4	1,9	0	0,2	104,7
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0,02
DE	1,3	0	35,2	0,8	2,5	40,3	6,59	1,49	14,4	1,9	0	0,2	104,7

1983-84 :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	0	23,1	109,5	14,8	0	3,6	41,7	19,2	5,8	0,3	0,4	0	218,4
T	23	21,4	16,5	12,8	11	12,8	13,9	17,3	17,1	21,5	27,9	25,3	18,4
ETP	102,6	85	46,8	28,4	21,7	28,1	39	62,2	66,5	102,4	173,2	136,3	892,2
RU	0	0	62,7	49,1	27,4	2,9	5,6	0	0	0	0	0	
ETR	0	23,1	46,8	28,4	21,7	28,1	39	24,8	5,8	0,3	0,4	0	218,4
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
EC	0	0	6,54	0,02	0,01	0	0,1	0	0	0	0	0	6,7
DE	0	23,1	102,9	14,75	-0,01	3,6	41,6	19,2	5,8	0,3	0,4	0	211,6

Tableaux 57-60 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aït Melloul de 1980-81 à 1983-84

Conclusions :

Nous avons remarqué, comme pour le bassin amont, que les années humides accusent un important excédent hydrique annuel, qui variait de 62,2 mm à 143,6 mm. La hauteur de cet excédent est proportionnelle à la hauteur des pluies annuelles. Il dépasse, par ailleurs, toujours la lame d'eau annuelle écoulee sur le bassin. La différence sert donc à alimenter les nappes souterraines. Les hauteurs d'eau infiltrées sont cependant plus faibles qu'en amont d'Aoulouz (elles étaient de 1967-68 à 1970-71 respectivement 50,7 , 110,7 , 28,1 et 77,9 mm), et elles suivent aussi l'importance des précipitations .

Nous avons remarqué aussi que c'est pendant la saison pluvieuse, d'octobre à avril, que peut se manifester un surplus d'eau et que le sol peut en avoir une teneur importante. A partir d'avril, les rares chutes d'eau enregistrées, ne servent plus qu'à satisfaire les besoins de l'ETP, qui sont très exigeantes de mai à septembre. Pourtant, là aussi, l'écoulement de surface persiste durant tous les mois de l'année. Les débits étant régularisés par les nappes, qui retardent et différent l'écoulement par leurs rétentions saisonnières. Elles répartissent ainsi, sur toute l'année, une partie de l'excédent accumulé pendant la saison humide, en soutenant les débits d'été.

Concernant la période sèche, de 1980-81 à 1983-84, tous les bilans sont déficitaires. Les hauteurs de pluies ne pouvant guère reconstituer toute la réserve du sol, avant qu'elles ne soient complètement évapotranspirées. Pendant cette période, les rares écoulements de surface, observés généralement de novembre au mois d'avril, étant assurés uniquement par le débit de base. En effet, pendant les quatre années, la nappe restitue des quantités d'eau emmagasinées dans les aquifères pendant les années pluvieuses. Elle a ainsi offert 1.15 mm en 1980-81 puis 3 mm, 0.02 mm et 6.67 mm pendant les années qui ont suivi.

En ce milieu subaride donc, les pluies se heurtent à des températures et des ETP très élevées. L'excédent hydrique ne pouvant donc exister théoriquement qu'avec des chutes pluviales conséquentes. L'alternance de cycles humides et des cycles secs provoquant des transferts d'eau vers et à partir des réservoirs hydrogéologiques. Ceux-ci se rechargent pendant les années humides et se vident pendant les années sèches.

Pour suivre le comportement dans le temps des différents paramètres du bilan, nous avons représenté, sur les figures 114 et 115, les bilans mensuels détaillés de l'eau de la période d'abondance, de 1967-68 à 1970-71, et sur la figure 116, le bilan des années sèches 1980-81 et 1981-82. Ces figures schématisent mieux les quantités d'eau reprises par l'ETR, et les quantités disponibles pour l'écoulement et l'infiltration. On remarquera que pendant les années pluvieuses, l'excédent se manifeste souvent pendant les mois d'automne et d'hiver. Les réserves du sol étant facilement comblées. Pendant les mois d'été, l'ETP est très élevée et la différence entre l'ETP et l'ETR (ou déficience) étant excessive jusqu'au mois de septembre ou octobre.

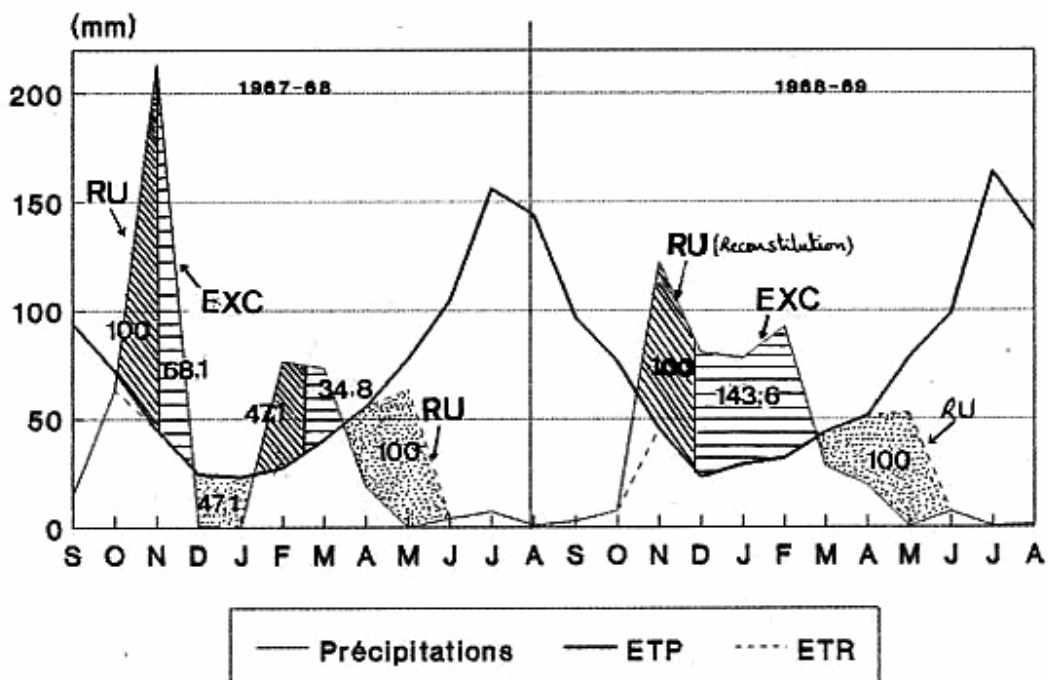


Figure 114: Bilans hydrologiques mensuels dans le bassin du Souss à Aït Melloul de 1967-68 et 1968-69

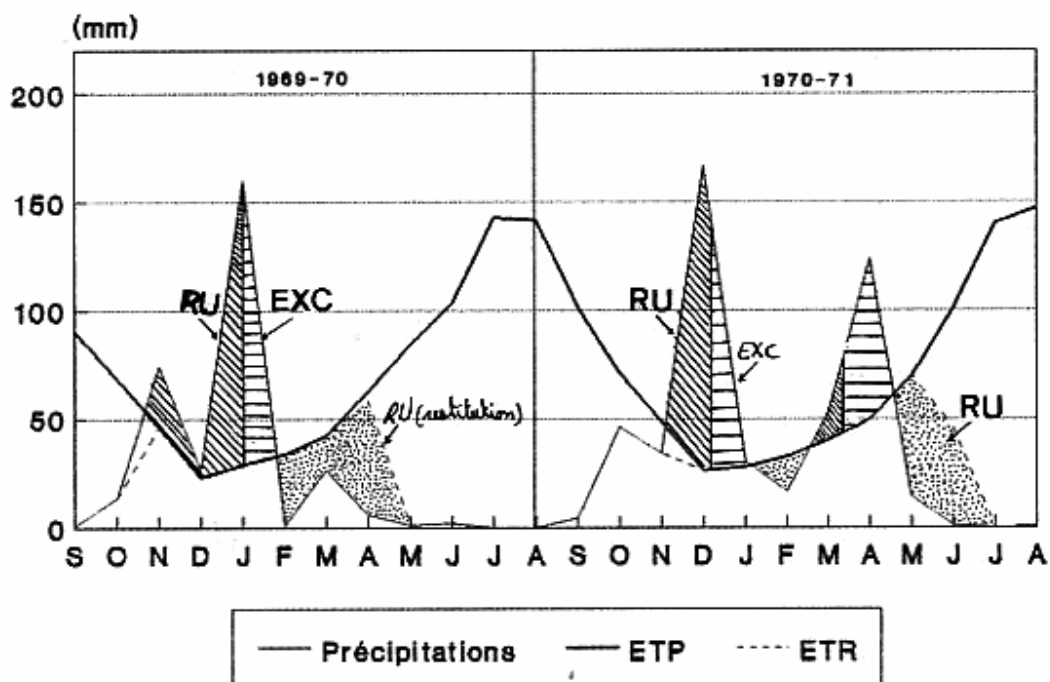


Figure 115: Bilans hydrologiques mensuels dans le bassin du Souss à Aït Melloul de 1969-70 et 1970-71

Pendant les années sèches 1980-81 et 1981-82, les précipitations mensuelles étaient trop faibles et l'ETP était beaucoup plus élevée en toute saison. L'ETR puise donc toute l'eau disponible dans le sol et l'eau des pluies. Le surplus étant théoriquement inexistant. Pendant ces années sèches, la valeur de l'ETR annuelle arrive à égaler toute la hauteur des précipitations annuelles ($P=ETR$). Les déficiences hydriques sont très intenses et s'étalent sur huit mois, d'avril à novembre.

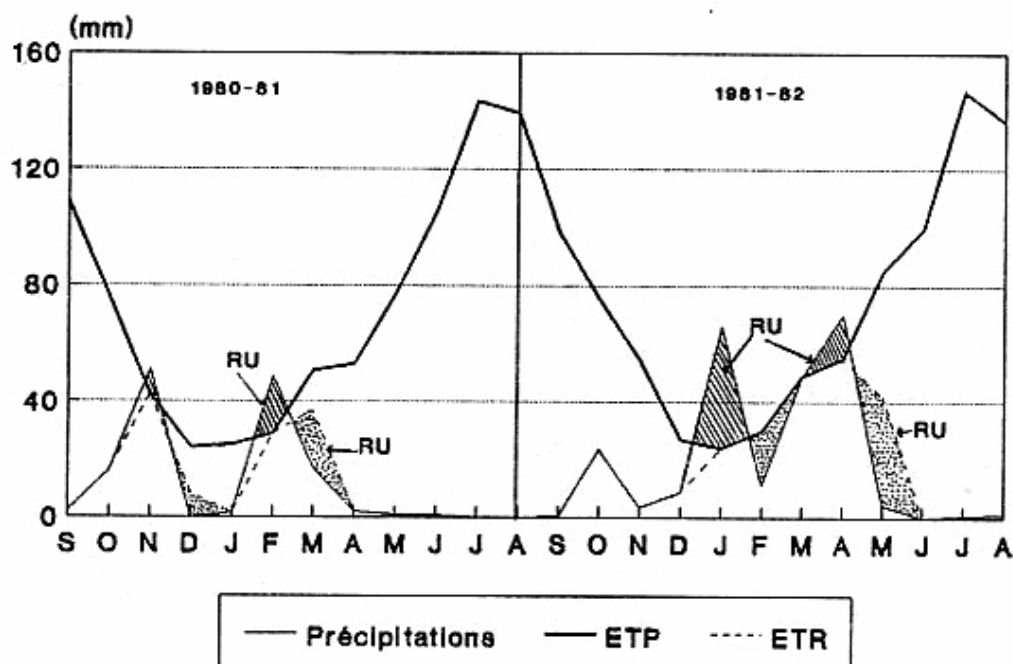


Figure 116 : Bilans mensuels de l'eau dans le bassin du Souss à Aït Melloul de 1980-81 et 1981-82

***HYDROGÉOLOGIE
ET
FLUCTUATIONS PIÉZOMÉTRIQUES***

Historique et introduction :

C'est en 1930 qu'un comité de la société des sciences naturelles du Maroc avait entrepris une première étude hydrogéologique du Souss. En 1933, une mission hydrogéologique du Souss a été constituée au sein des travaux publics. Cinq ans plus tard, le service des mines et de la géologie créait une "mission hydrogéologique du sud". La brigade affectée au Souss a été conduite successivement par Choubert, Royer puis Ambroggi (1942). Cependant, ce n'est qu'en 1946 qu'un "Centre des Etudes Hydrogéologiques" proprement dit (CEH) fut créé au sein de la direction des mines et de la géologie, et en 1949, un service régional du CEH fut installé à Agadir et dirigé par Bourgin, puis par Ambroggi jusqu'au 29 février 1960, jour du séisme d'Agadir, où le service fut replié à Marrakech. En 1961, naquit le "Service des Ressources en Eau" rattaché à l'Office de Mise en Valeur Agricole. Il fut installé à Taroudant, et se sont succédés à sa direction Dijon, Schrambach, Elhebil et Meilhac. Plus tard, une administration d'hydraulique a été installée à Agadir (Direction Régional d'Hydraulique ou DRH). Elle est sous la tutelle du ministère des travaux publics, et s'occupe des bassins versants du Souss, Massa et Draa, et assure un suivi régulier des levées piézométriques. Elle établit chaque année des cartes phréatiques, ainsi que des cartes de baisse de la nappe du Souss par rapport à un état de référence.

Le réseau de mesure piézométrique comporte une centaine de piézomètres (fig. 117) et un nombre important de puits témoins. Ce réseau nécessite un entretien continu pour remplacer les piézomètres bouchés et approfondir les piézomètres secs. On notera quand même que le réseau est dense au centre de la vallée, et plutôt lâche sur les bordures.

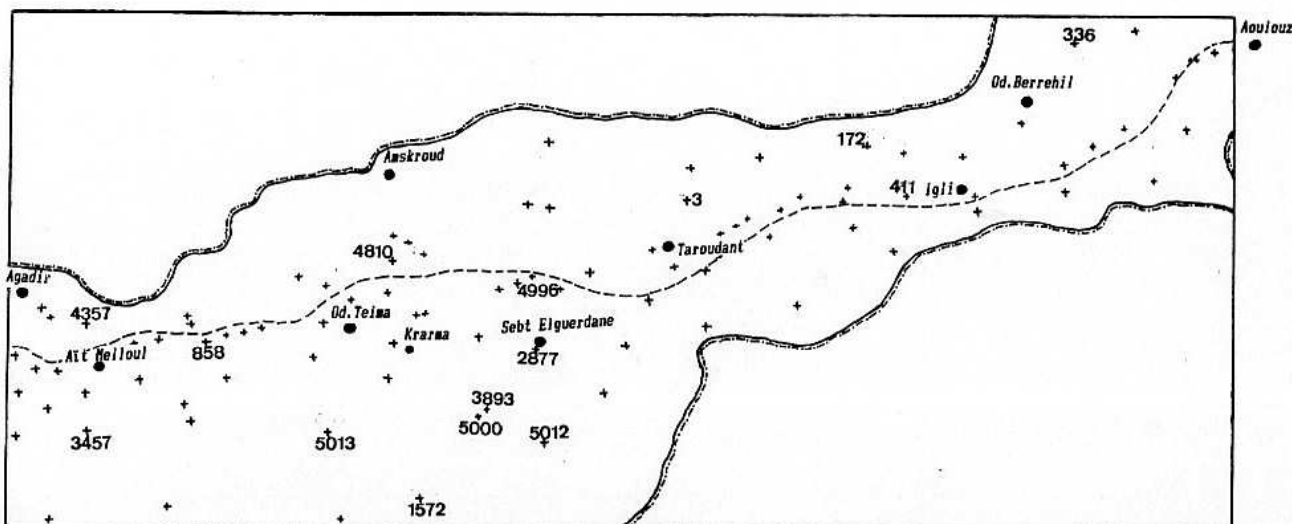


Figure 117: Le réseau piézométrique sur la plaine du Souss

En 1973, un plan de développement hydroagricole a été lancé, et après 12 ans de sa mise en route, quelques problèmes sont apparus dans la plaine du Souss : sécheresse, baisse imprévue de la nappe,

développement des pompages puissants, etc... Et pour tenir compte des nouveaux problèmes, ledit plan a été actualisé et l'étude a pris le nom de "plan directeur des eaux des bassins du Souss-Massa". Ce plan a été lancé en 1985 pour permettre de définir un schéma optimal de mobilisation des ressources en eau grâce à plusieurs travaux de reconnaissance et d'exploitation.

I - Ressources en eau et aquifères du Souss :

Le Souss a creusé son lit dans une plaine garnie de formations de remplissage plio-quadernaire. Ces formations comprennent, entre autre, des séries détritiques et marnocalcaires. Celles-ci surmontent un synclinal crétaé-éocène orienté E-W. La plaine est encadrée par les deux domaines montagneux du Haut Atlas et Anti-Atlas qui se raccordent de manière complexe dans les profondeurs de la vallée. Dans les bordures du Haut Atlas, ou "zone sub-atlasique méridionale", affleure le flanc nord du synclinal crétaé-éocène; le flanc sud apparaît dans l'axe de la vallée dans quelques buttes et collines alignées. Ce synclinal repose sur un puissant ensemble jurassico-triasique. La plupart de ces formations, ainsi que celles du Haut et Anti-Atlas, peuvent se comporter en aquifères. Les eaux souterraines se localisent, notamment dans l'Anti-Atlas, dans les synclinaux et zones de fractures. Ce massif présente en effet un caractère légèrement karstique. Pour le Haut Atlas, les eaux circulent dans les calcaires, marnocalcaires et grès.

I-1 : Les nappes profondes :

Les nappes profondes ont été reconnues, dans la plaine du Souss, grâce à des études géophysiques et des forages hydrogéologiques, ainsi que par deux forages pétroliers (1960 et 1964). Dans les montagnes, les nappes sont connues par leurs exutoires, qui sont le plus souvent, des petites sources.

- Le Haut Atlas :

R.Dijon (1968) a inventorié sur la bordure montagneuse nord de la plaine du Souss les aquifères suivants:

- Les calcaires plus ou moins métamorphisés du cambrien, qui donnent des eaux bicarbonatées calciques à faible résidu sec.
- Les grès stéphano-autuniens et permo-triasiques: les eaux sont sulfatées ou chlorurées sodiques.
- Les calcaires du jurassique supérieur, le faciès des eaux est sulfaté, calco-magnésien.
- Les calcaires dolomitiques du crétaé moyen: les eaux sont de faciès bicarbonaté magnésien.
- Les calcaires du crétaé supérieur et de l'éocène moyen : eaux de faciès sulfaté.
- Les conglomérats néogènes (Sources du Gounna et oued Talekjounte).

Sur la bordure du Haut Atlas (d'Agadir à Aoulouz), 70 sources ont été inventoriées; les plus importantes étant celles d'Ameskroud et Gounna.

- L'Anti-Atlas :

Les aquifères sont ici représentés par des divers niveaux calcaires (inf. moy. sup), et les calcaires dolomitiques poreux et faillés. *"En bordure du Souss, la couverture schisto-gréseuse du géorgien supérieur forme obstacle à l'écoulement souterrain des eaux de l'Anti-Atlas vers la plaine, les eaux ainsi mises en charges trouvent un exutoire aux sources d'Oumsdikht, Tidsi, Assadas, Tazemmourt et de Tioute". Dijon, 1968.*

A l'est, les calcaires alimentent directement les formations de remplissage de la plaine par des transferts latéraux d'eau.

Les eaux de l'Anti-Atlas ont en général un faciès bicarbonaté calcomagnésien avec un résidu sec inférieur à 0,7 g/l et des températures dépassant 24 °C. A Tiout et dans la vallée d'Arrhène, les eaux ont un faciès sulfaté avec un résidu sec dépassant le gramme par litre.

- La plaine du Souss :

Les aquifères profonds de la plaine du Souss s'organisent en deux principales séries: les calcaires et grès du crétacé moyen et les conglomérats du néogène continental:

* Les calcaires céno-mano-turonien ont fourni des eaux artésiennes sur les forages d'Ouled Teima, Aïn Chaib, Elklea et Gounna, mais les débits au sol sont faibles.

* Les nappes du néogène continental ont aussi fourni des eaux artésiennes dans les sondages d'Ouled Teima, Aïn Chaib, Aït Hammadi et Elklea. Les débits disponibles ne sont pas mieux que les précédents. Les faciès de ces eaux sont, comme dans l'Anti-Atlas, voisin du type bicarbonaté calcomagnésien, avec un résidu sec de 0,4 à 0,5 g/l.

I-2 : La nappe phréatique du Souss :

La nappe phréatique du Souss est une nappe libre logée dans un remplissage alluvionnaire superficiel du plio-quadernaire et des niveaux sous-jacents de l'Eocène et du Crétacé (fig.118). Cette nappe est assez bien étudiée et suivie grâce aux piézomètres et puits témoins observés systématiquement depuis leur construction. C'est ainsi que nous avons pu individualiser cinq types lithologiques de réservoirs communicants entre eux. Ce sont :

- 1- La formation du Souss.
- 2- Le lit fossile du Souss.
- 3- Les calcaires pliocènes du Souss aval.
- 4- Les grès et sables marins et côtiers du pliocène.
- 5- Les divers affleurements du substratum: cambrien, crétacé et éocène.

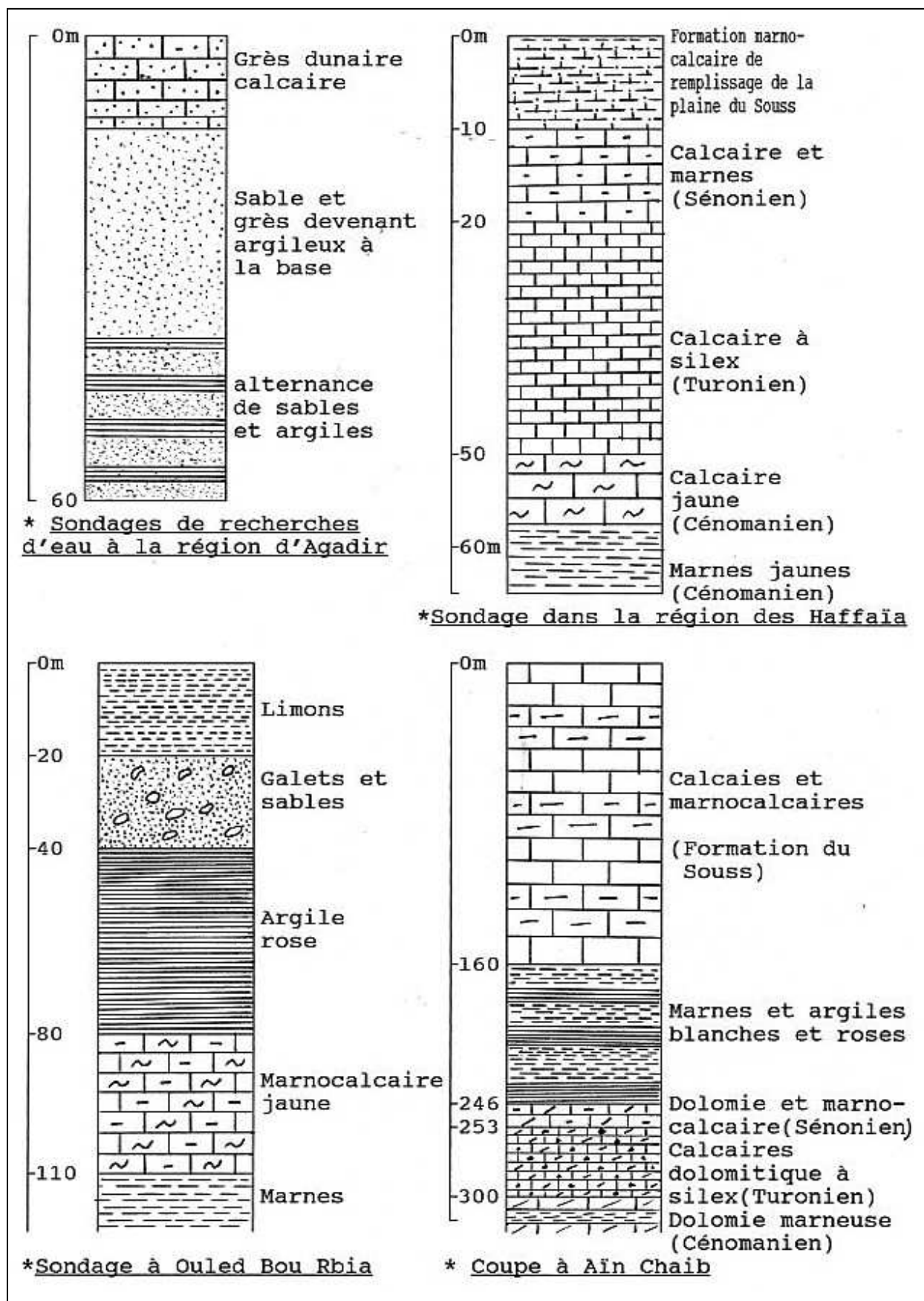


Figure 118: Forages schématiques dans la plaine du Souss

La formation du Souss :

Cette formation est constituée de marnes et calcaires, mais des conglomérats peuvent, par endroit, être interstratifiés dans la série marnocalcaire. La formation est fluvio-lacustre d'âge pliocène. Pour la productivité, le débit spécifique obtenu par mètre de rabattement diminue vers l'ouest (supérieur à 1 l/s à l'est de la plaine, et 0,1 l/s vers Aït Melloul). La transmissivité T varie de la même manière et elle est en moyenne de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Le coefficient d'emmagasinement S est d'environ $3 \cdot 10^{-2}$. L'épaisseur varie, suivant les zones, de 200 à 500 m de puissance.

L'aquifère du lit fossile :

Le lit fossile du Souss est constitué de sédiments détritiques: galets, graviers et sables avec des passages argileux. Les débits spécifiques sont plus élevés, ainsi que la transmissivité qui est supérieure à $1,5 \cdot 10^{-2}$ m²/s, et le coefficient d'emmagasinement compris entre $5 \cdot 10^{-2}$ et 10^{-1} .

Les calcaires pliocènes du Souss aval :

Cet aquifère est constitué de calcaires avec des passages marneux et conglomératiques. Il est situé au droit d'Ouled Teima. La transmissivité est assez faible (moins de $6 \cdot 10^{-3}$ m²/s), également pour l'emmagasinement ($S = 4 \cdot 10^{-2}$).

Les Grès et sables marneux du pliocène s'étalent sur la région d'Agadir. L'aquifère est constitué de grès, de sables, d'argiles et de calcaires. Sa transmissivité est assez bonne ($T = 2$ à $20 \cdot 10^{-3}$ m²/s).

Les sédiments anté-pliocènes :

L'éocène ne constitue pas un bon aquifère productif, tandis que les calcaires turoniens offrent des caractéristiques hydrogéologiques bien meilleures: la transmissivité est de 8 à $20 \cdot 10^{-2}$ m²/s en surface et de $2,5 \cdot 10^{-4}$ m²/s en profondeur, et l'emmagasinement de 10^{-4} à $2 \cdot 10^{-2}$. L'épaisseur des calcaires varie de 10 à 30 m et leur perméabilité va de 10^{-3} à $6 \cdot 10^{-3}$ m/s. En fin, on a des schistes précambriens, mais qui ne se comportent qu'en aquifère médiocre.

II - Etude hydrodynamique de la nappe du Souss:

II-1: Conditions aux limites et caractéristiques hydrauliques:

La nappe phréatique du Souss est une entité hydrogéologique étendue sous la plaine du bassin. Elle est régulièrement suivie grâce à plusieurs points d'observation, qui permettent la mise en lumière de ses caractéristiques physiques et hydrogéologiques. Les profondeurs de la nappe sont variables selon les secteurs, elles dépendent de la topographie et de l'exploitation anthropique. La nappe peut, par moment,

affleurer dans quelques points du lit de l'oued, et elle est généralement peu profonde de part et d'autre du lit (10 m), mais s'approfondit régulièrement vers les piémonts du Haut et Anti-Atlas où elle peut dépasser 100 m de profondeur. Cette profondeur est généralement de 20 à 40 m au milieu de la plaine dans l'axe de la vallée, et d'environ 10 à 15 m dans les bords est et ouest, à Aoulouz et Aït Melloul.

L'épaisseur de l'aquifère est estimée par la géophysique à une centaine de mètres en moyenne, et sa réserve hydrique à 30 milliards de mètres cubes en 1990. La nappe est alimentée essentiellement par les infiltrations des eaux de crues et des eaux provenant des différents affluents, aussi, mais plus rarement, par l'infiltration directe des précipitations sur la plaine, et enfin, dans des conditions peu connues, par des nappes profondes, notamment en aval de la plaine.

II-2: Piézométrie:

a- Analyse des cartes piézométriques:

Sur les figures 119, 120 et 121, nous avons représenté les cartes piézométriques de la nappe phréatique du Souss de 1952, de mai 1963 et de février 1986. Elles montrent un sens d'écoulement souterrain orienté, dans l'ensemble, de l'est à l'ouest, mais plusieurs axes de drainage peuvent être déduits. Ils sont perpendiculaires aux lignes isopièzes, et peuvent donc être orientés, selon les endroits, NE-SW, notamment sur la rive droite, et SE-NW ou ESE-WNW sur la rive gauche. Ces axes semblent converger vers le lit de l'oued, qui est donc un cours d'eau drainant.

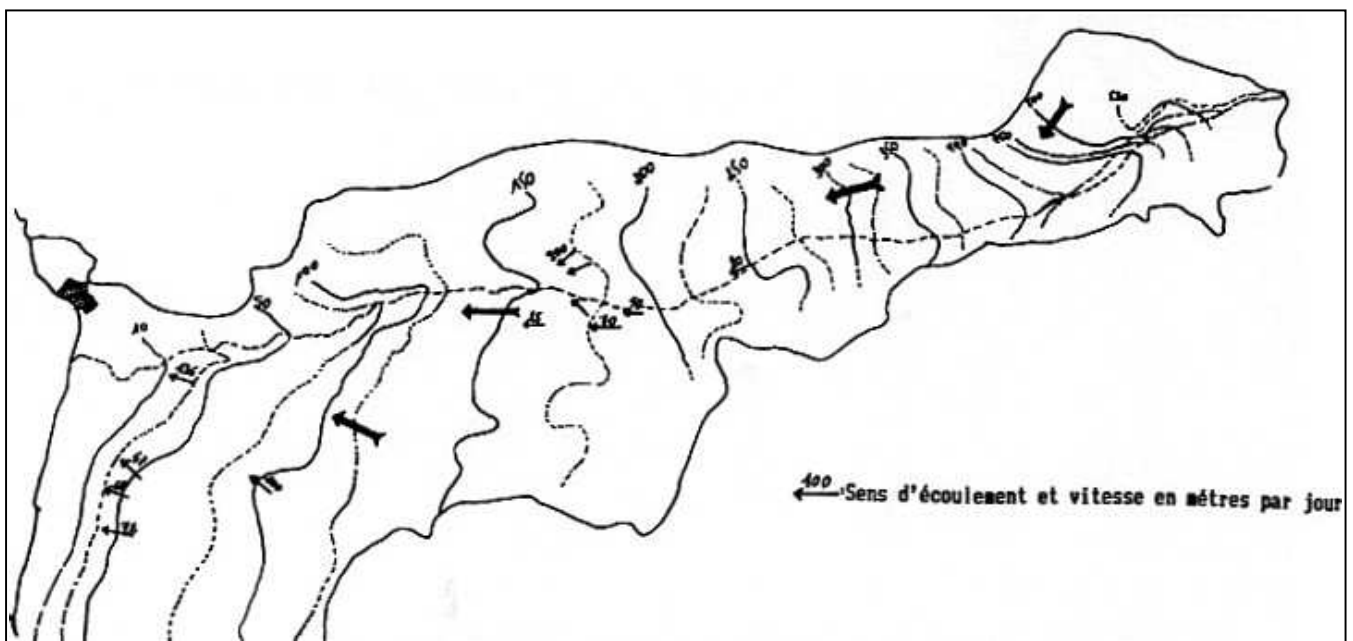


Figure 119 : Carte piézométrique de la nappe du Souss en 1952 (d'après Ambroggi et Bourgin, 1952)

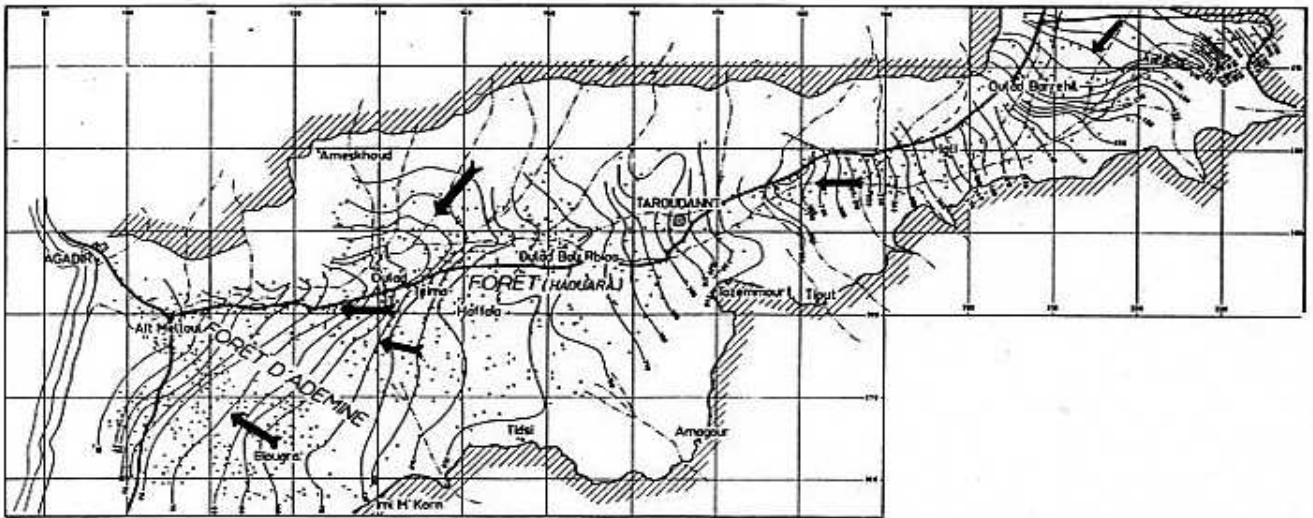


Figure 120 : Carte piézométrique de la nappe du Souss en mai 1963 (Dijon, 1968)

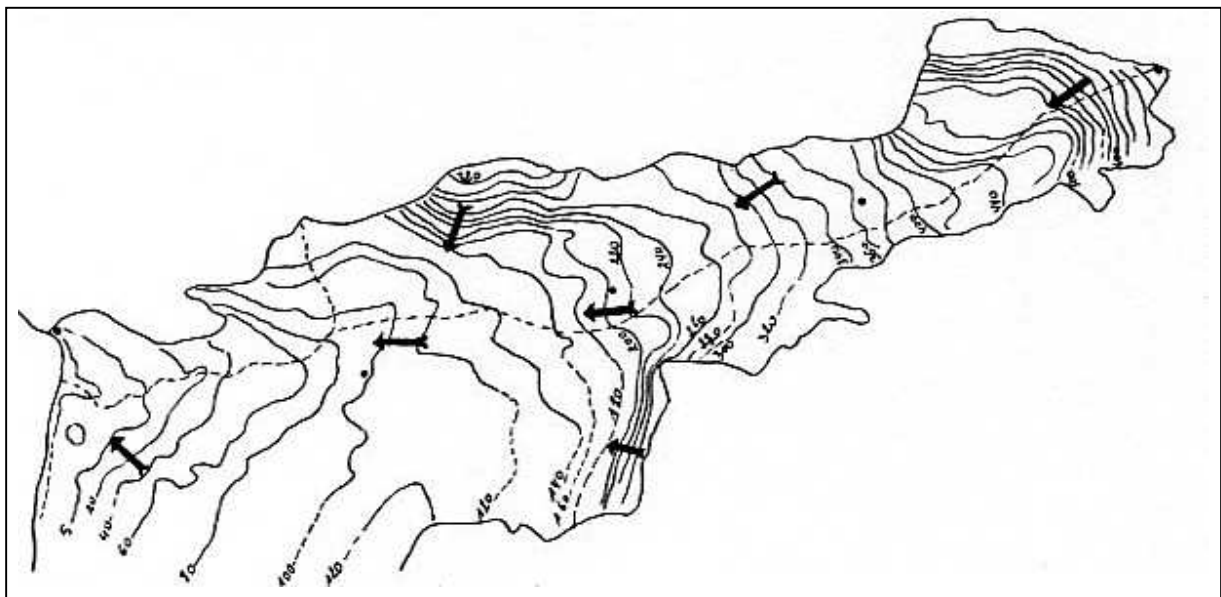


Figure 121 : Carte piézométrique de la nappe du Souss en février 1963 (DRH, 1986)

b- Fluctuations piézométriques:

b1- A l'échelle annuelle :

A l'échelle annuelle, les oscillations des niveaux phréatiques sont généralement marquées par une baisse régulière du printemps à l'automne, essentiellement due aux pompages d'avril à octobre et à l'évaporation estivale s'exerçant sur les nappes alluviales, et une brusque élévation des niveaux lors de l'infiltration des eaux de crues pendant la saison humide.

Ces fluctuations, qui sont donc régies par les conditions climatiques saisonnières, se développent essentiellement à partir du large lit de l'oued Souss et de ses affluents, particulièrement ceux de l'Anti-Atlas parsemés de plusieurs cônes de déjection.

Sur la figure 122 par exemple, on notera que pendant l'année 1968-69, le niveau de la nappe était au plus bas niveau au mois de septembre où elle était à une profondeur de 13,3 m par rapport au sol. A partir d'octobre, les chutes d'eau ont été notées notamment en novembre (103 mm), décembre (79 mm), janvier (40 mm) et février (76 mm), et ont élevé le niveau piézométrique d'environ un mètre et demi. La nouvelle profondeur inférieure à 12 m a été maintenue encore pendant mars et avril, qui ont aussi connu des chutes pluviales. La décharge est amorcée à partir du mois d'avril jusqu'au maximum d'étiage (ici au mois de novembre). Pendant la seconde année, le maximum est situé également au mois de février, avec un pic plus net grâce aux pluies de janvier (144 mm), après quoi on assiste à une baisse prolongée du niveau d'eau jusqu'en septembre ramenant la profondeur de la nappe de 11,6 à 13,75 m. On remarque aussi un léger décalage entre les maxima de pluies et les maxima piézométriques. Ce décalage d'environ un mois, correspond au "temps de réponse" de la nappe. On notera aussi que la hauteur de recharge saisonnière a déjà atteint dans ce piézomètre 2 à 3 m, notamment de septembre 1967 à avril 1968, et de décembre 1981 à avril 1982, mais peut varier considérablement selon les lieux. Les plus fortes valeurs ont été enregistrées dans d'autres puits d'octobre 1962 à mars 1963 (année d'hydraulicité exceptionnelle) notamment une hausse de 3 à 5 m à l'est d'Ouled Bou Rbia.

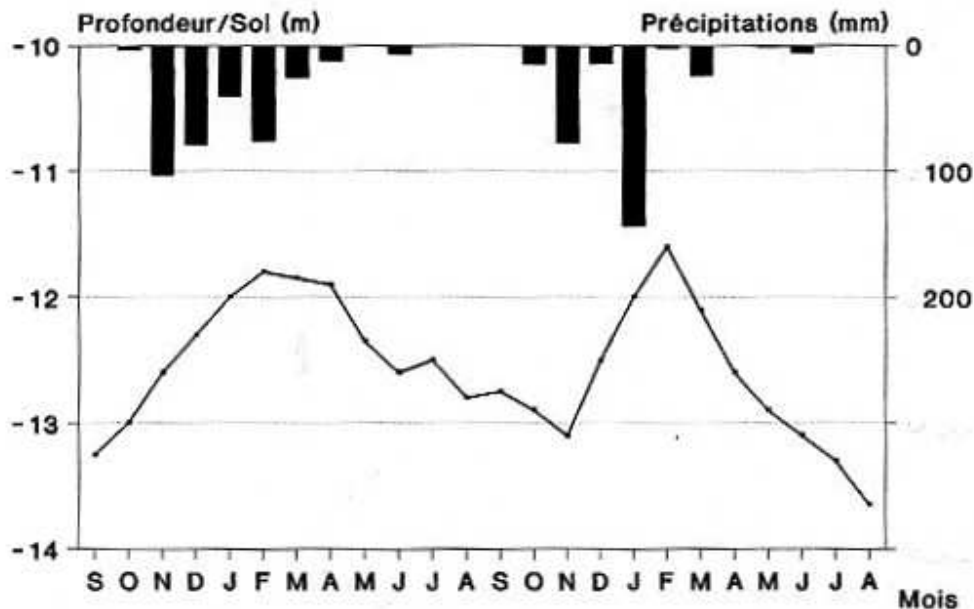


Figure 122: Fluctuation du niveau piézométrique de la nappe du Souss pendant les années 1968-69 et 1969-70 et pluies contemporaines

Un scénario identique a été observé dans le piézomètre 4810/70 au nord d'Ouled Teima (région d'Ahmar Boudhar), avec des maxima situés en janvier ou février, et des minima observés en août ou septembre

(fig. 123). Les précipitations d'automne et d'hiver marquent le contraste entre la hausse de la saison humide et la baisse de la saison sèche. On notera que la baisse était presque de 4 m. Elle a souvent été, depuis plusieurs années, plus accusée que la hauteur de remontée, qui est ici de 2,7 m.

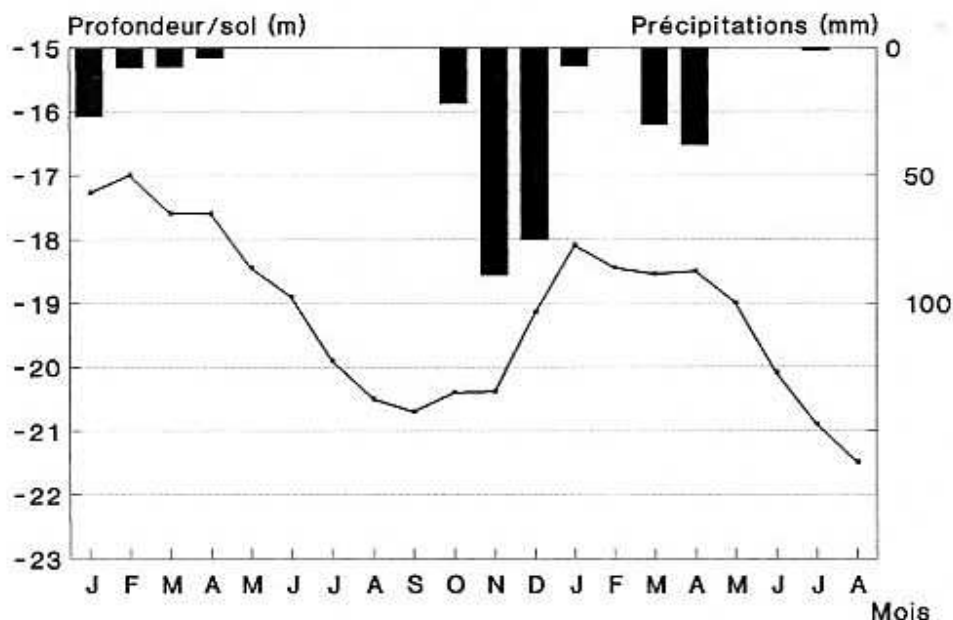


Figure 123: Fluctuation du niveau piézométrique de la nappe du Souss pendant les années 1988-89 et 1989-90 et pluies contemporaines

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que pendant les années humides, la recharge de la nappe peut durer ou dépasser six mois, et pendant les années médiocres, elle dure à peine 3 mois. La période de décharge est généralement plus longue et dure en moyenne 7 mois. La nappe du Souss est généralement à son plus haut niveau au mois de février (des fois en mars ou avril); l'étiage se situe souvent en septembre, octobre ou novembre. La décharge saisonnière est, en moyenne, comme la recharge, d'un à deux mètres, mais peut largement dépasser ce chiffre, notamment à l'est de Taroudant. Les mouvements de recharge et de décharge sont en général simultanés et de même sens dans l'ensemble de la vallée. Seules les amplitudes sont différentes, et dépendent des conditions locales, notamment la lithologie, les pompages et la pluviosité.

b2- Le régime interannuel:

Les observations piézométriques dont on dispose, commencent depuis 1950 et sont souvent interrompues par des lacunes de durées variables (fig.124). Nous avons remarqué que pendant les années 50, époque où la nappe était beaucoup moins sollicitée, les fluctuations piézométriques étaient de faibles amplitudes, et oscillaient autour d'un même niveau moyen. Ces amplitudes devenaient plus importantes pendant les années 60, grâce essentiellement à une pluviométrie très importante. Enfin, pendant les années 80, à cause de la persistance de la sécheresse et par conséquent de la

surexploitation de la nappe, les amplitudes se sont accentuées, notamment celles de décharge, et le niveau moyen n'a cessé de diminuer.

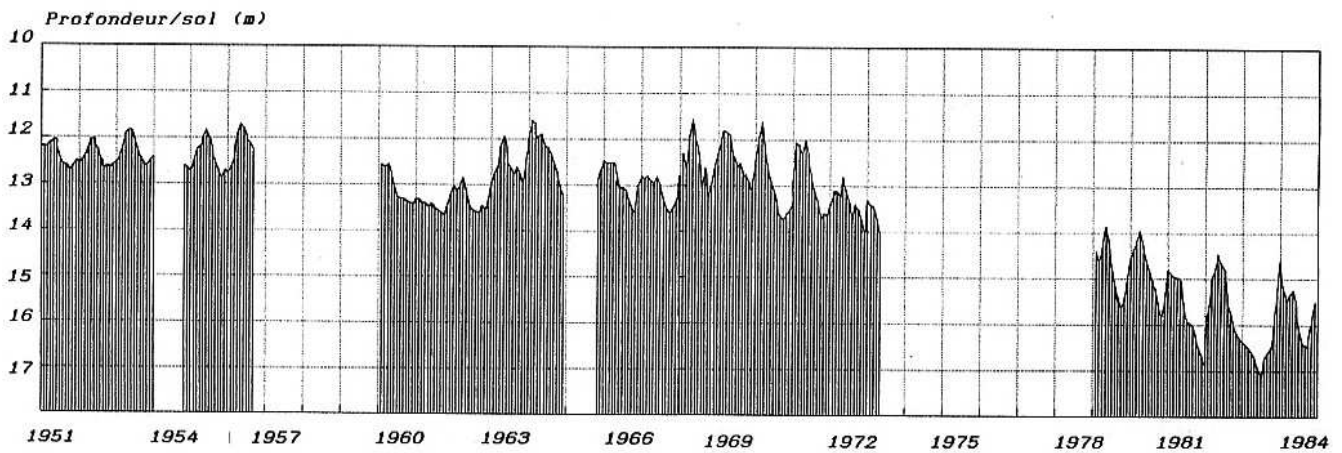


Figure 124: Fluctuation interannuelle du niveau piézométrique de la nappe du Souss de 1950 à 1984

Nous avons remarqué aussi que l'action des cycles des années humides est très visible dans la variation des niveaux d'eau sur lesquelles ils se sont directement répercutés. C'est ainsi que malgré la sécheresse de 1957 à 1961 (pluie moyenne= 121 mm/an à Agadir), le niveau moyen initial de la nappe a été retrouvé et maintenu durant les années 60 grâce à une pluviosité particulièrement importante (pluie moyenne= 328 mm/an à Agadir et 465 mm/an à Aoulouz). Le maximum d'avril 1956 a même été dépassé trois fois en janvier 64, avril 68 et février 70, qui représenterait le maximum maximorum de la série avec une profondeur de la nappe de 11,6 m seulement. Le phénomène de baisse amorcée depuis avril 1956 a été freiné par les hauteurs exceptionnelles des pluies de l'année 1962-63 qui était également suivie par sept années relativement humides. Mais à partir de 1971, une nouvelle baisse généralisée, plus rigoureuse et prolongée, commençait. Elle est due à la médiocrité et à la diminution des hauteurs de précipitations, au développement des pompages privés et la mise en eau de nouveaux périmètres irrigués et l'extension des anciens. Cette chute spectaculaire du niveau de la nappe a été observée pratiquement dans tous les piézomètres et puits témoins de la plaine (fig.125, 126 & 127). C'est pourquoi nous allons, dans le paragraphe suivant, essayer d'analyser cette évolution négative et voir dans quelles proportions divers facteurs interviennent-ils dans cette pénurie généralisée.

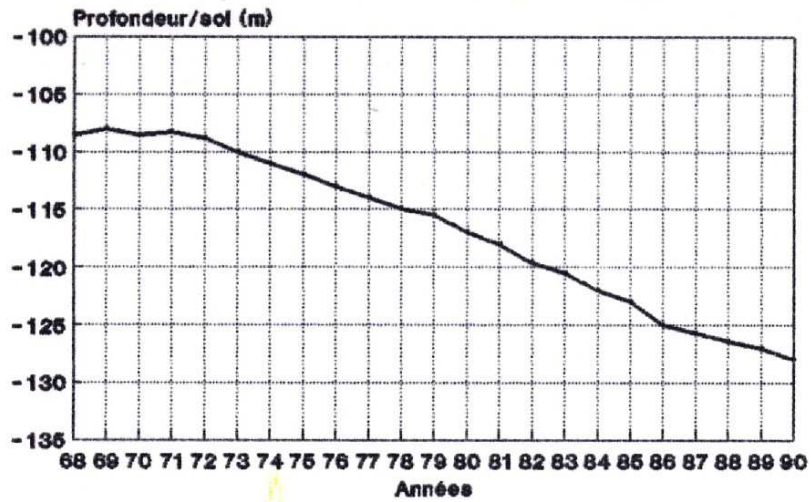


Figure 125: Variation interannuelle du niveau d'eau dans le piézomètre 1572/70

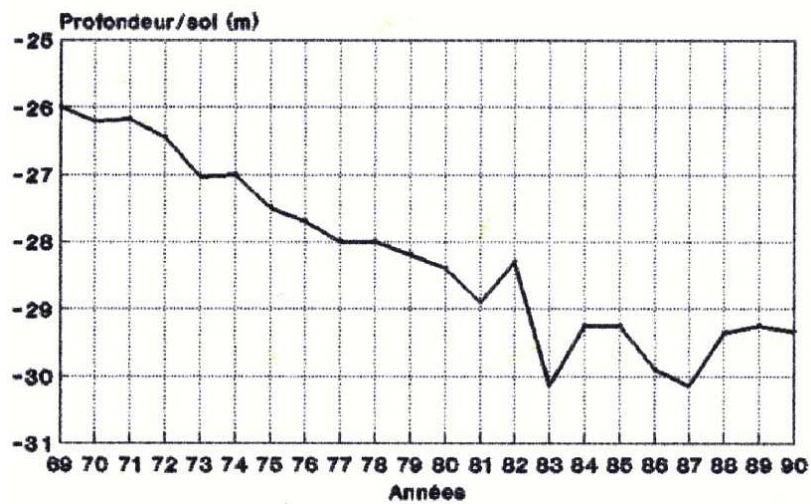


Figure 126: Variation interannuelle du niveau d'eau dans le piézomètre 336/62

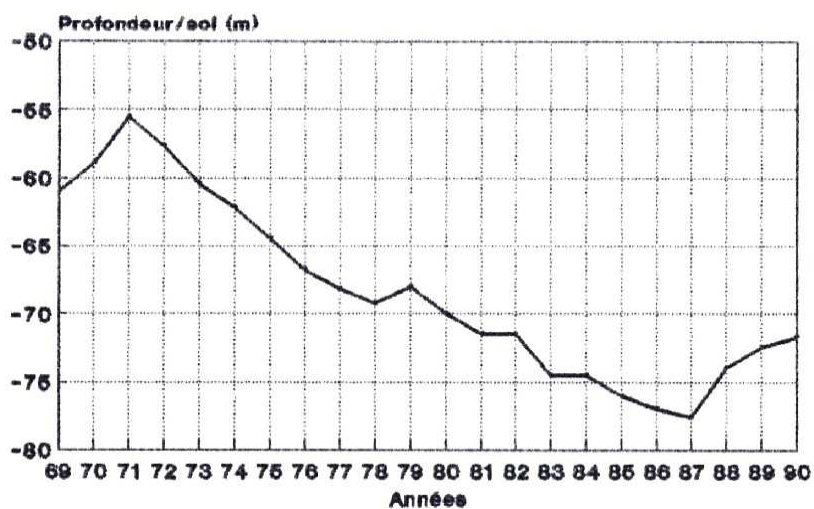


Figure 127: Variation interannuelle du niveau d'eau dans le piézomètre 4357/70

b3- Analyse de la baisse piézométrique globale de 1971 à 1990:

Depuis le début des observations, la nappe du Souss a atteint globalement sa côte maximale en avril 1968, et durant les trois années suivantes, le niveau moyen s'est stabilisé grâce à des pluies très importantes. Mais à partir de 1971, l'approfondissement de la nappe n'a cessé de s'accroître:

- de 1968 à 1977:

Pendant cette période, la pluviométrie sur la plaine du Souss est caractérisée par l'humidité des trois premières années, dont la moyenne s'élève à 395 mm/an. Les années qui ont suivi étaient particulièrement sèches avec une moyenne de 207 mm/an (tableau 61).

68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	75-76	76-77
398	321	466	211	205	282	118	203	225

Tableau 61: Pluviométrie sur la plaine du Souss de 1968 à 1977

La nappe du Souss a par conséquent accusé une baisse plus ou moins importante selon les endroits (fig.128). Sur cette figure, nous constatons que la baisse la plus importante est observée au puit n° 3893, au SW de Sebt Elguerdane, avec une différence de 13 m par rapport à l'état de 1968, et que c'est ce secteur entre Sebt Elguerdane et Kraraa qui a accusé le plus de déficit de toute la plaine du Souss. La baisse y varie de 10 à 13 m en neuf ans. Ailleurs, la baisse est très variable. Elle est assez faible dans la rive droite du Souss aval, où elle n'atteint pas le mètre, ainsi que dans les dunes littorales au sud d'Agadir, au S-E de Taroudant et en amont de la vallée entre Ouled Berrehil et Aoulouz. Dans le reste de la plaine, la baisse oscille entre 2 et 8 m.

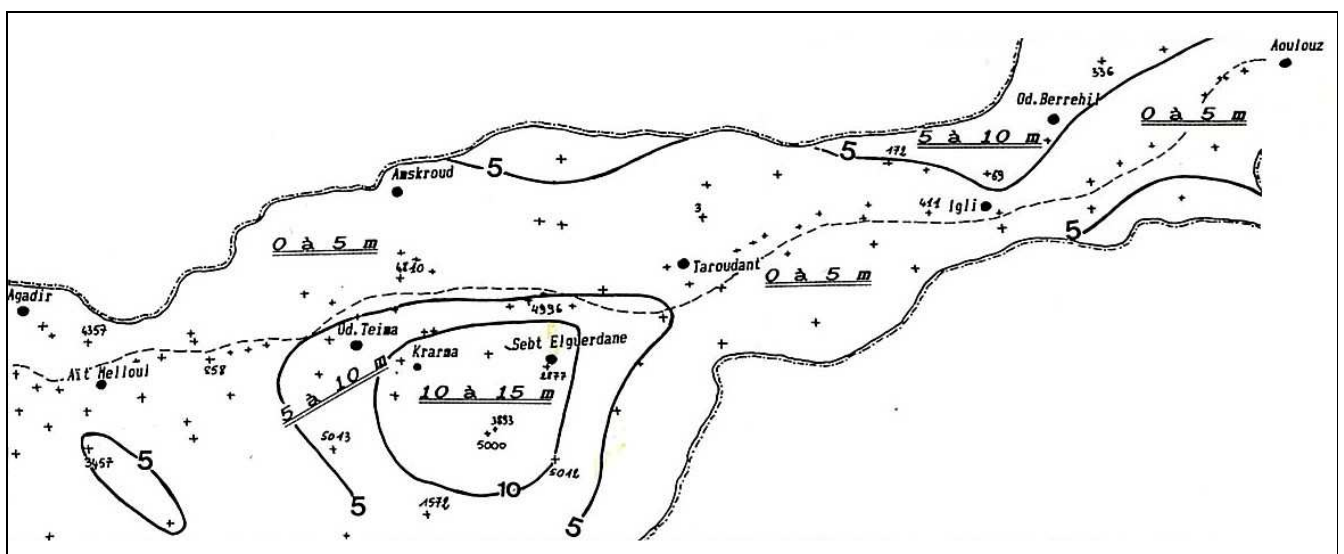


Figure 128: Carte de la baisse des puits témoins de la nappe du Souss en 1977 par rapport à 1968

La baisse est directement liée, selon les secteurs, à la facilité d'alimentation de la nappe, donc des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères et de l'intensité des pompages. Ceux-ci sont justement très actifs et excessifs dans la région de Sebt Elguerdane, afin d'irriguer des superficies de plus en plus vastes. Cela, en fait la région la plus sensible de la plaine. Il faut aussi supposer quelques pompages clandestins dans certaines régions, ainsi que des pompages avec des débits trop élevés, justifiés par des baisses inattendues, comme dans le puit 69 au nord d'Igli, qui a baissé de 6,4 m en un an de 1976 à 1977, alors que de 1968 à 1976, il n'a baissé que de 1,2 m.

A partir donc de l'évolution piézométrique de chaque puit, nous avons pu délimiter quelques zones de la plaine, en scindant la nappe en diverses unités de même comportement. (fig.128).

- de 1968 à 1981:

La pluviométrie de 1977 à 1981 est restée relativement en dessous de la normale. Son impact sur la nappe phréatique a favorisé la continuité de sa baisse depuis 1968. C'est ainsi que nous avons observé des zones où le niveau piézométrique a chuté de 20 m (toujours dans la région de Sebt Elguerdane). Entre Ouled Berrehil et Aoulouz, la baisse était également importante (10-14 m), pourtant ce n'est pas une zone particulièrement sollicitée par les pompages. La cause de la baisse serait ici essentiellement la sécheresse prolongée, et la diminution des infiltrations dans le lit de l'oued et dans les cônes de déjection. Ici, le niveau de la nappe dépend étroitement de l'importance des volumes d'eau qui s'écoulent dans les talwegs des oueds. Grâce à une hydraulicité importante pendant les années 60 par exemple, nous avons constaté entre 1940 et 1968 une remontée d'une dizaine de mètres de la nappe dans cette même région.

Dans les autres parties de la plaine, la baisse varie entre 3 et 10 m, mais certains puits n'ont vu chuter leur niveau piézométrique que de quelques décimètres depuis 1968. Les divers endroits réagissent, en effet, différemment aux conditions climatiques et anthropiques agissant sur la nappe.

- 1983 :

L'année hydrologique 1982-83 était dans le Souss, l'année la plus sèche depuis 1960-61. La répercussion de la sécheresse serait, une fois de plus, très marquée sur les niveaux d'eau de la nappe phréatique. La baisse la plus grave a été observée, comme à l'accoutumé, dans le puit 5000 au SW de Sebt Elguerdane, avec une chute de 27 m par rapport à 1968, et de plus de 5 m en deux ans seulement (fig. 129). Les zones les moins touchées s'étalent en aval d'Ouled Teima jusqu'à l'embouchure, avec des baisses qui fluctuent entre 0 et 10 m depuis 1968. Ce sont des secteurs vers lesquels convergent les lignes de courant de la nappe. En revanche, en amont de la vallée, la baisse a pu atteindre 23,6 m, et semble être importante vers les bordures de la plaine.

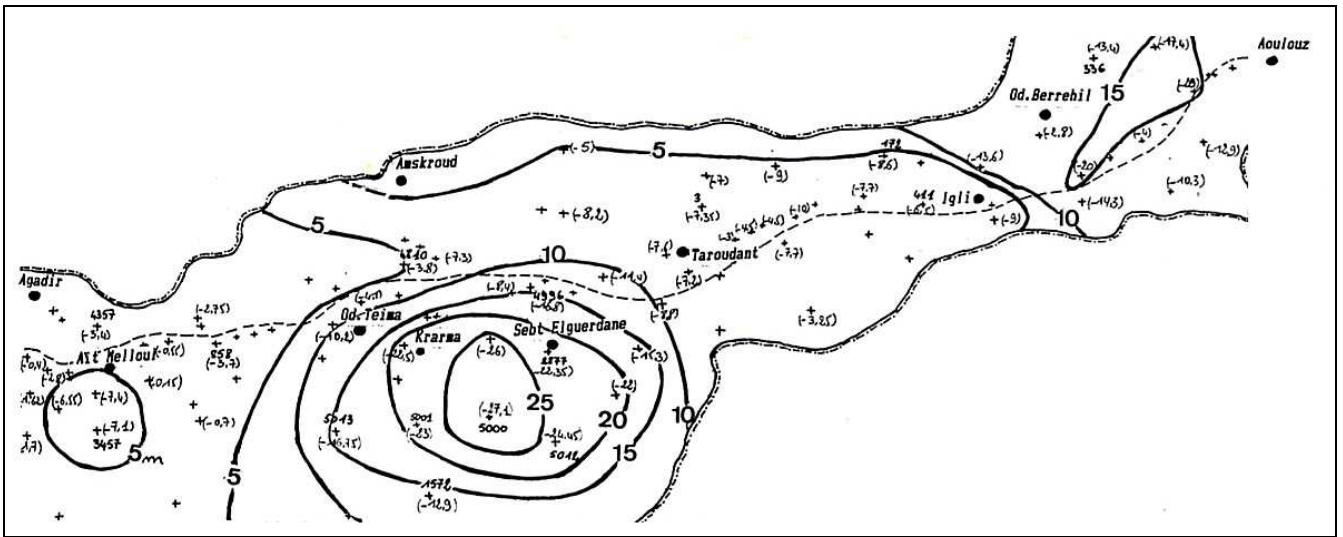


Figure 129: Carte de la baisse des puits témoins de la nappe du Souss en 1983 par rapport à 1968

A cause de ces baisses des niveaux d'eau, plusieurs sources tarissent; d'autres émergences voient leurs débits diminuer, c'est ainsi que l'important drain des Freija a donné cette année un débit d'étiage de 400 l/s au lieu d' 1 m³/s.

- 1984-85:

Pendant l'année hydrologique 1983-84, la pluviométrie n'a guère beaucoup évolué. A Agadir, on a totalisé 195,7 mm puis 153 et 283,8 mm respectivement à Taroudant et Aoulouz. L'apport des précipitations à la nappe phréatique a été estimé en 1984 sur toute la plaine à 170 mm, soit un volume de 680.10⁶ m³. (La superficie de la plaine étant de 4000 km² environ). Un essai de bilan de cette année a été tenté par la DRH d'Agadir. Les répartitions en étaient les suivantes:

- * Les entrées : 680 hm³.
- * Les fuites vers la mer : 410 hm³.
- * Les irrigations:
 - Secteur traditionnel : 75 hm³.
 - Secteur moderne privé : 290 hm³.
 - Secteur moderne public : 48 hm³.
- * Adduction d'eau potable : 25 hm³.
- # SOLDE.....: -168 hm³.

On constate donc qu'au terme de l'année 1984, la nappe a accusé un déficit hydrique de 168 millions de m³. Ce déficit se soustrait donc à la réserve totale de la nappe du Souss, estimée en 1973 entre 30 et 40 milliards de m³; mais elle n'a cessé de diminuer depuis. ET pour freiner l'épuisement de cette réserve, plusieurs plans et projets ont été lancés, notamment ceux concernant la construction de barrages. Celui d'Issen, dont la mise en eau a été faite depuis 1985, permet de régulariser 85 hm³ par an, et le barrage d'Aoulouz, inauguré en 1990, a une retenue maximale qui s'élève à 110 hm³. Ce dernier barrage est destiné essentiellement à alimenter la nappe du Souss et à ramener les pertes en mer de l'oued Souss à moins de 50 hm³ par an.

Pendant l'année hydrologique 1984-85, les précipitations ont -bien que très moyennes- été plus élevées que pendant les deux années précédentes. La baisse de la nappe a été freinée par endroit, sans toutefois pouvoir relever son niveau (tableau 62).

	de 1968 à 1984	de 1968 à 1985	baisse de 1984 à 1985
Amont d'ouled Berrehil	13 à 18 m	20 à 23 m	5 à 7 m
Amont d'Igli le long du Souss	10 à 23 m	10 à 23 m	0 m
Entre oued Targa et oued Nokheil	13 m	13 à 15 m	0 à 2 m
Environs de Taroudant	4 m	4 m	0 m
Sud de Taroudant	10 à 15 m	12 à 16 m	1 à 2 m
Rive droite au droit de Taroudant	7 à 10 m	7 à 10 m	0 m
Région d'Ahmar Boudhar	4 à 7 m	4 à 7 m	0 m
Région de Sebt Elguerdane	29 m	29 m	0 m
Rive gauche aval d'Aït Melloul	5 à 7 m	5 à 7 m	0 m

Tableau 62: Baisse de la nappe du Souss de 1984 à 1985

- 1986-87:

La pluviosité a été, une fois de plus, assez faible pendant cette année, on a enregistré 220 mm à Aoulouz, 172 mm à Agadir et seulement 95 mm à Taroudant. La sécheresse continue donc de sévir dans la plaine. Le bilan hydraulique a encore accusé un déficit de 242 hm³. Cependant, nous avons observé pour la première fois depuis quelques années, une légère remontée des niveaux d'eau de 1 à 3 m dans la région d'Aoulouz, grâce à une pluviométrie légèrement plus importante que sur le reste de la vallée, et grâce aussi à la rareté des pompages et des périmètres irrigués. Ailleurs, le rabattement varie de 0 à 3 m. (fig. 130). Dans la région d'Elguerdane par exemple, la baisse est de 2 à 3 m. Cette région est tristement célèbre par la surexploitation de la nappe, qui est conjuguée, les dernières années, avec une sécheresse désastreuse.

Une autre baisse de 3 m a été constaté dans la région d'Ameskroud à cause d'une mauvaise alimentation de la nappe, du fait de la médiocre perméabilité du substratum marneux et de sa situation au piémont du Haut Atlas; quant à la région d'Aoulouz, elle a bénéficié, une fois n'est pas coutume depuis quelques années, d'une forte remontée, qui est allée jusqu'à 3 m en un an. Cette zone est en effet située à proximité du très large lit de l'oued Souss et des cônes de déjection qu'il contourne, et la nappe n'y est pas exténuée par les pompages.

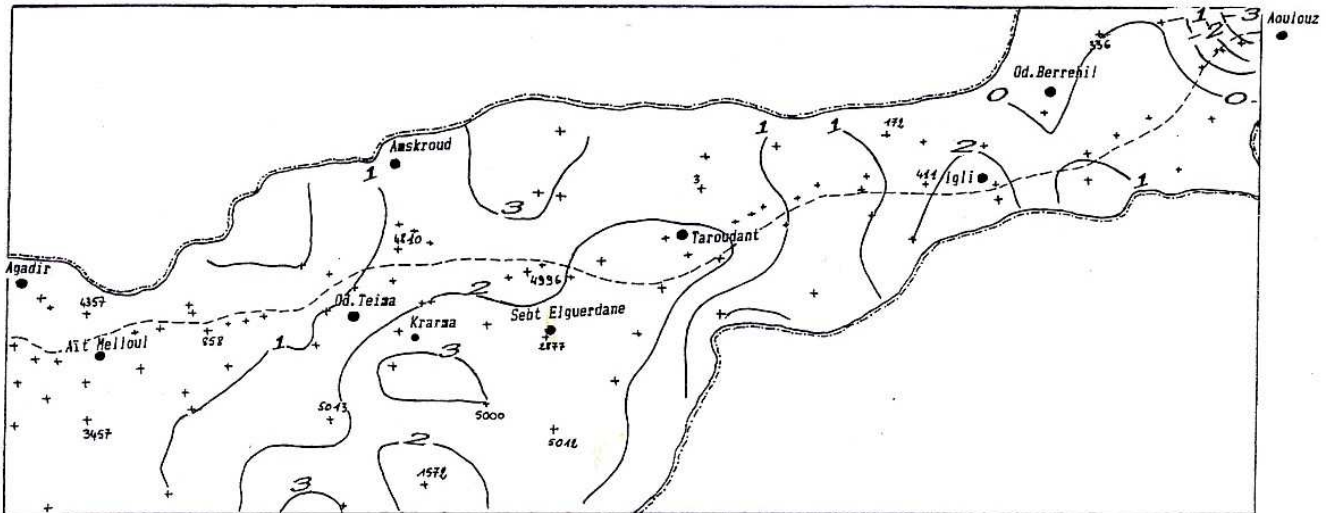


Figure 130: Carte des iso-rabattements de la nappe du Souss entre 1986 et 1987

- 1987-88:

Cette année a été particulièrement humide et pluvieuse sur le bassin du Souss. La pluviométrie a été la plus importante depuis 1970-71. C'est ainsi que nous avons enregistré à Agadir 469,6 mm (soit deux fois la moyenne), 547 à Aïn Tiziouine, 339 à Taroudant, 526 mm à Talekjointe et 562 mm à Aoulouz. Au terme de cette année, la réserve de la nappe a bénéficié d'un excédent hydrique d'environ 240.10^6 m^3 , (soit exactement le volume du déficit de l'année précédente). On va donc assister pour la première fois à une véritable et concrète remontée du niveau d'eau de la nappe par rapport à 1986-87. C'est en effet, ce qu'on peut lire sur la figure 131, qui montre que le niveau de la nappe a monté par rapport à l'année précédente dans la quasi-totalité de la plaine. L'exception est, cependant, la zone sud d'Elguerdane où le niveau a baissé d'un mètre. C'est la zone la plus exploitée de la nappe, et malgré une bonne pluviosité, le niveau piézométrique y a continué de baisser. En d'autres endroits, nous avons assisté à des remontées spectaculaires, jusqu'à 7 m en un an, à la région d'Igli par exemple. Ailleurs, la remontée est en général de 3 m. Notons enfin qu'en aval de Taroudant, la remontée est plus sensible sur la rive droite que sur la rive gauche.

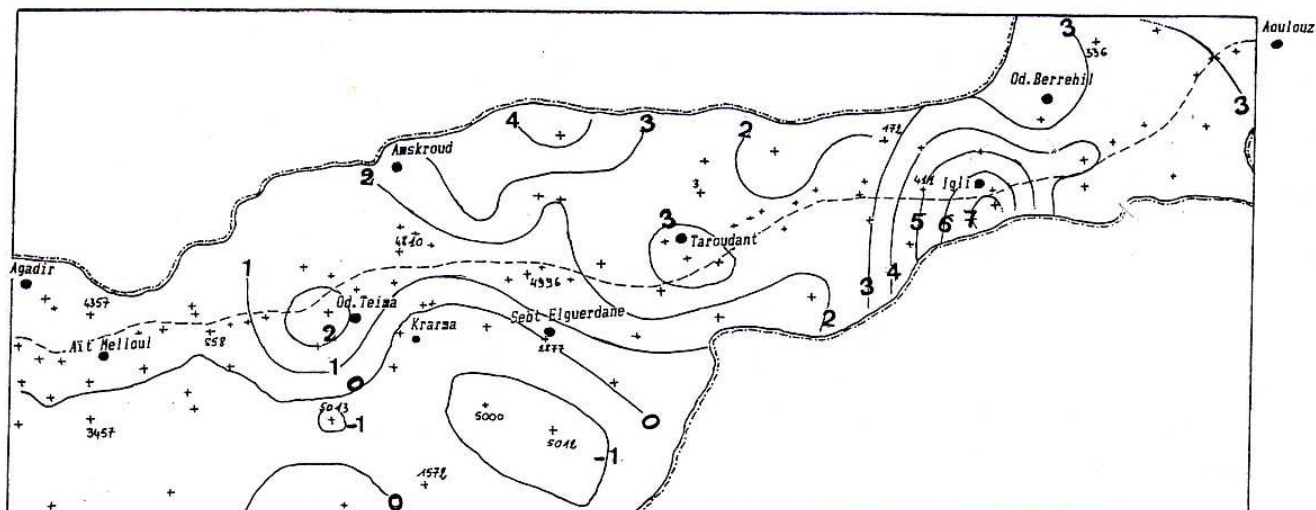


Figure 131: Carte de remontée du niveau de la nappe du Souss entre 1987 et 1988

Cette hausse élèvera donc le volume des réserves de la nappe, l'excédent de 240 hm³ va freiner et redresser la chute de ce volume, qui n'avait cessé de diminuer depuis 1971. Sur la figure 132, on remarquera que la réserve a diminué de 2,36 milliards de m³ de 1969 à 1988, et même de 2,6 milliards jusqu'en 1987. C'est pour enrayer cet épuisement de la réserve que le ministère des travaux publics a mis en exécution un certain nombre de projets d'aménagement, notamment retenir les eaux de surface derrière des barrages et contrôler l'occupation du sol et l'extension des périmètres irrigués, ainsi que la réutilisation des eaux usées; car il a été rendu compte que le volume des eaux utilisées au grand Agadir, par exemple, serait équivalent aux volumes régularisés par le barrage d'Issen (une centaine d'hectomètre-cubes), c'est pourquoi deux stations d'épuration et de recyclage des eaux usées ont été installées dans les régions d'Agadir et d'Aït Melloul. Elles sont toujours en cours d'expérimentation.

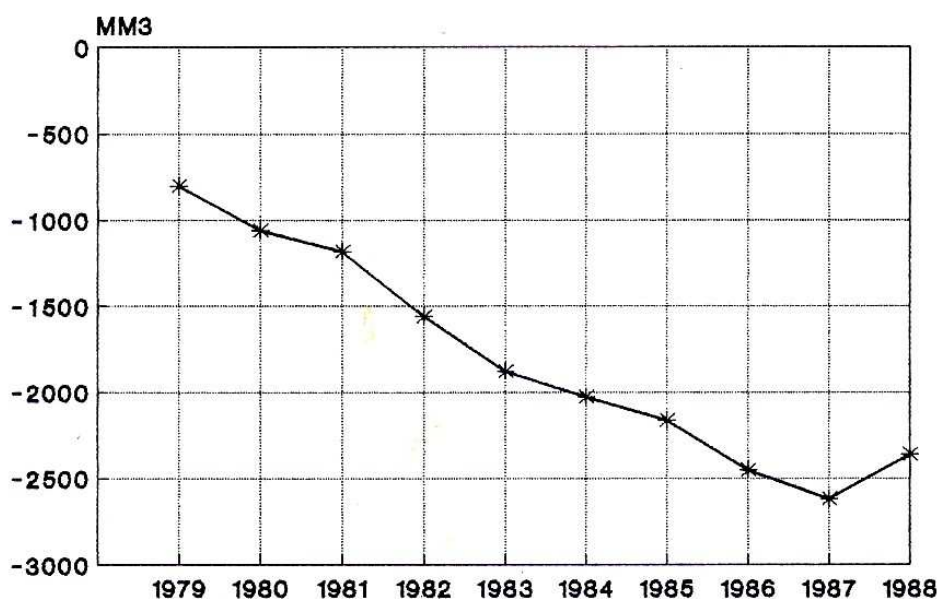


Figure 132: Variation du volume de la réserve en eau de la nappe du Souss de 1969 à 1988

- 1988-89:

Cette année qui fait suite à une année très pluvieuse, avait aussi une pluviométrie supérieure à la normale. Dans le bassin versant d'Aoulouz, le total pluviométrique de cette année était de 412 mm pour une moyenne interannuelle de 370 mm. Dans le bassin fermé à Taroudant, nous avons eu 290 mm et la normale s'y élevait seulement à 261 mm. Enfin sur la totalité du bassin du Souss, la hauteur des précipitations en 1988-89 était de l'ordre de 321 mm, pour une moyenne interannuelle de 276 mm.

Cette pluviométrie encore soutenue aura un impact positif sur la nappe du Souss et sa réserve; c'est ainsi que la plupart des puits et piézomètres ont observé une remontée du niveau d'eau de 0,5 à 4 m par rapport à l'année précédente. Les plus fortes hausses ont été observées en amont de la plaine, aux environs d'Aoulouz, avec 3 à 4 m. Près de Taroudant, le niveau d'eau est resté stationnaire, tandis qu'au niveau d'Ouled Teima, la remontée a été d'un mètre.

Nous avons, par ailleurs, constaté que la nappe a continué de baisser dans les zones sollicitées par les pompages. Dans la région d'Elguerdane, la baisse a été d'1 m, puis d'un mètre et demi au SE d'Aït Melloul. Mais d'une façon globale, la totalité de la nappe du Souss a enregistré, cette année, une hausse piézométrique moyenne de 0,26 m. Ceci a correspondu, dans le bilan de l'année, à un excédent de 35 hm³. Il s'ajoutera à la réserve de la nappe qui a souffert pendant les vingt dernières années, comme le montre la figure 133. Celle-ci illustre la baisse de la nappe de 1969 à 1989. On y retrouve plus nettement les zones de surexploitation, notamment la région sud d'Elguerdane, où l'agriculture prospère (mais à quel prix !). La baisse a atteint ici 36 m en 20 ans, soit une baisse moyenne continue de 1,8 m par an. C'est une baisse énorme qui risquerait d'engendrer, à long terme, des problèmes néfastes, notamment l'invasion de l'aquifère par les eaux marines, le tarissement des sources et des émergences, etc. C'est pourquoi tous les projets hydro-agricoles du Souss ont tous été entrés en exécution pour essayer de redresser la situation. Il faut dire qu'on compte aussi sur les conditions climatiques pour l'avènement d'un cycle humide de quelques années successives, car on estime que le cycle des années sèches a tristement duré depuis 1971, et continue (jusqu'en 1992) de sévir.

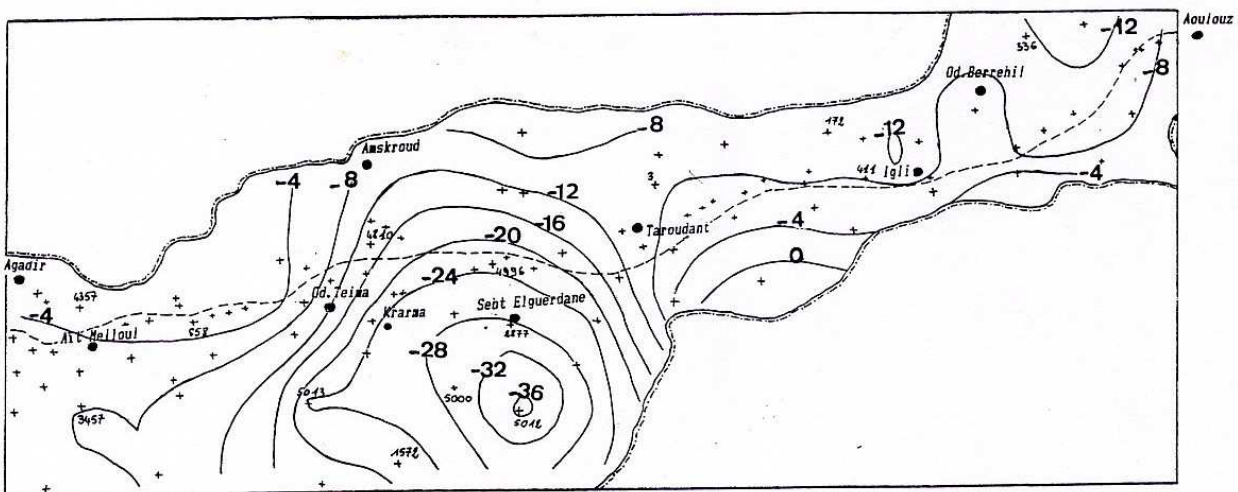


Figure 133: Carte de la baisse du niveau piézométrique de la nappe du Souss entre 1969 et 1989

Au niveau moyen de la plaine, la baisse globale va en diminuant vers la bordure nord et vers l'aval: la baisse n'est que de 8 m à Amskroud et de 4 m à Aït Melloul. En amont de la plaine, la baisse varie entre 4 et 12 m. Enfin, nous avons, en 1989, curieusement retrouvé dans un unique endroit au SE de Taroudant, le même niveau piézométrique qu'en 1969.

- 1989-90:

Pluviométriquement, c'est une année conforme à la normale inter-annuelle. On s'attendra donc à avoir des hausses et des baisses de la nappe selon la facilité de son alimentation et selon l'intensité des pompages. (fig.134). Nous constatons que la courbe de l'isorabattement zéro délimite trois zones distincts de la nappe du Souss:

- * La partie amont de la vallée où la remontée varie de 0 à 4 m. Les fortes remontées ont été observées plus près d'Aoulouz, où la nappe est peu sollicitée et les conditions d'alimentation sont meilleures.
- * La partie moyenne entre Taroudant et Ouled Teïma, la baisse est de 0 à 2 m. C'est la partie qui inclue des zones de grands pompages, pour l'irrigation (El Guerdane, Ouled Teïma), et pour l'adduction d'eau potable (champ captant d'Ahmar Boudhar).
- * La partie aval d'Ouled Teïma, zone de convergence des eaux souterraines. Ici a eu lieu une remontée de 0 à 1 m. Mais d'une façon globale, l'ensemble de la nappe a accusé au terme de cette année un léger déficit de 20 millions de m³. Les prélèvements pour des fins agricoles ont été estimés par l'office régional de mise en valeur agricole (ORMVA) à 400 hm³, et les prélèvements pour l'eau potable à 20 hm³.

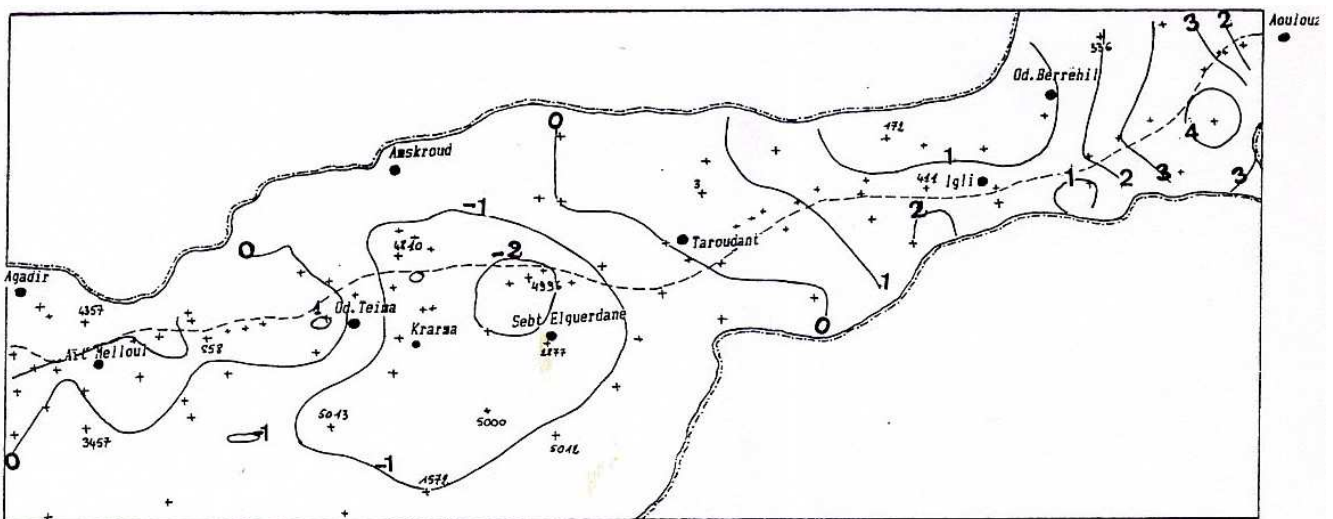


Figure 134: Carte de la baisse de la nappe entre 1989 et 1990

Après deux années de recharge donc, la nappe retrouve de nouveau un bilan déficitaire, et depuis 1969, sa réserve a baissé de 2,41 milliards de m³, soit une baisse moyenne d'environ 100 millions de m³ par

an. Les grandes chutes de niveau s'observent toujours dans la zone médiane, rive gauche; et au terme de 22 ans, on redistingue les mêmes zones précédentes qui ont eu, à peu près, les mêmes évolutions piézométriques (fig.135).

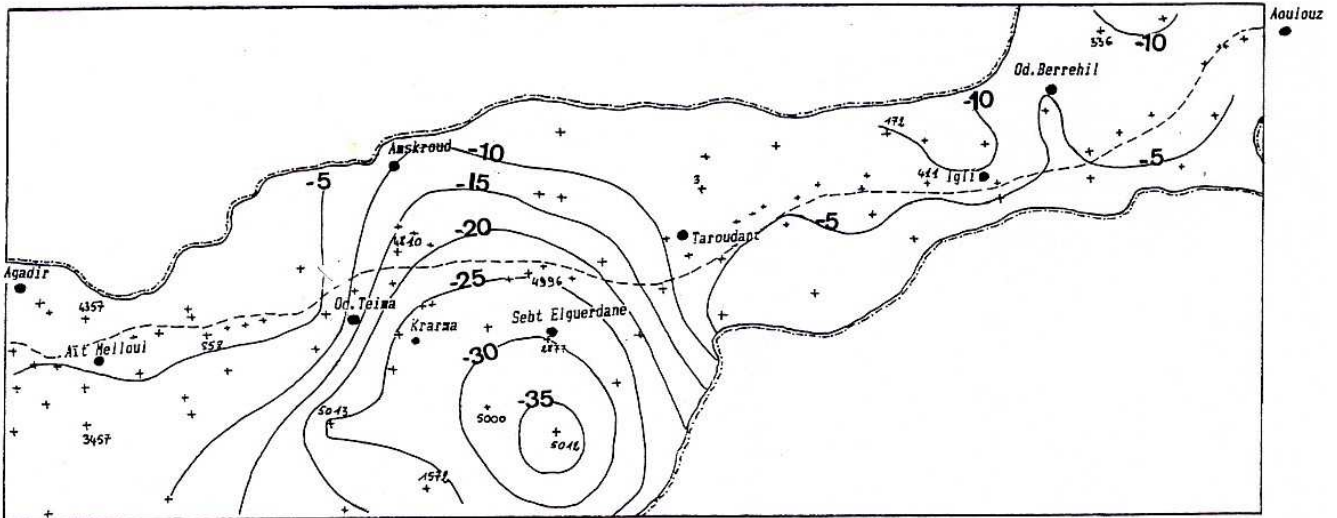


Figure 135: Carte de la baisse de la nappe entre 1969 et 1990

Conclusions :

La nappe phréatique du Souss constitue, dans la région, une précieuse ressource étalée sur plus de 4000 km². Elle circule dans des alluvions, des lentilles conglomératiques, des argiles et dans des bancs calcaires et marnocalcaires, à des vitesses variant de 50 à 200 mètres par jour. Le faciès des eaux est bicarbonaté magnésien en amont, chloruré sodique ou magnésien en aval. La nappe est dans l'ensemble peu profonde pour une zone subaride, ceci malgré la baisse généralisée des deux dernières décennies. Son régime dépend essentiellement des pompages et de l'évaporation en été, et de l'infiltration des eaux de crues en hiver. Et il ressort de l'analyse et l'évaluation des ressources en eaux souterraines que le problème de l'eau est capital et primordial en ce milieu aux tendances arides. Nous avons remarqué que la sécheresse des années 70 et 80, et le développement de la population et des terrains cultivés ont eu un impact très négatif sur le niveau de la nappe phréatique et sa réserve hydrique. Le souci majeur des responsables marocains reste le danger de contaminer les nappes à cause de leur baisse, par les eaux marines. Il existe en effet un biseau salin au niveau du littoral qui progresse et régresse dans le temps et l'espace, et des mesures régulières du taux de salinité des nappes sont effectuées. Le taux de concentration des eaux en chlorures dépasse justement 1 g/l dans les nappes aval d'Aït Melloul. Ici, on assiste à une remontée de quelques kilomètres des marées dans le lit de l'oued Souss, jusqu'à Tarrast. De plus, à cause d'une faible profondeur de la nappe, l'évaporation directe est très active et les eaux se concentrent en sels.

Pour le pompage agricole, la croissance du secteur privé se fait, depuis le début des années 70, au rythme de 250 hectares par an, ce qui correspond à une augmentation des prélèvements au rythme de 3 millions de m³/an. Parallèlement, la population du Souss a plus que doublé en vingt ans. Le besoin en eau a donc inexorablement augmenté. Cela a poussé des responsables à prendre certaines mesures dont la réutilisation des eaux usées. La Direction Régionale d'Hydraulique d'Agadir par exemple, après avoir supervisé les travaux de construction d'une station d'épuration par le sol pour le traitement des eaux usées à 7 km d'Agadir, suit de près son exploitation pour connaître ses performances épuratoires; et grâce à des plans d'aménagement des eaux dans le bassin, on essaye d'établir l'inventaire des ressources en eau connues et les besoins pour les prochaines années, et de définir les mesures à prendre pour assurer l'adéquation ressources-besoin, notamment l'utilisation optimale de la ressource connue, et la prospection de nouvelles ressources.

La politique de construction de barrages a également été adoptée dans le Souss. Pour l'oued Issen par exemples, un plan de développement a permis la construction des barrages d'Abdelmoumen et Dkhila. Ils ont pour but de sauver le secteur d'Ouled Teima, de créer un nouveau périmètre d'irrigation et l'équipement de 6000 hectares. Pour le barrage d'Aoulouz, le plan préconisait sa construction au delà de l'an 2000 (2025) pour recharger la nappe du Souss, mais la forte baisse de la nappe a conduit les responsables à entamer les travaux dès 1988. Ce barrage est mis à l'eau depuis 1990, et sa retenue maximale atteint 110 hm³. Il est destiné principalement à alimenter par infiltration la nappe phréatique. Grâce à des lâchers appropriés, le barrage permettra d'accroître le stockage des eaux de crues dans le réservoir naturel souterrain libéré par la baisse de la nappe. La possibilité de recharge par les différents affluents atlasiques est également étudiée. Ces affluents peuvent en effet permettre une alimentation latérale de la nappe par les bordures. Ceci dit, nous pensons toutefois, qu'il y a lieu de se demander si le fait de retenir des masses d'eau à l'air libre derrière des grands barrages, ne favoriserait pas, sous nos climats arides, leur évaporation. A Aoulouz, par exemple, les températures étant généralement excessives en été, et sont accrues par les vents chauds d'est. Elles sont, en moyenne, de 26° en cette saison, et la moyenne des extrêmes s'élève à 40°C. Sous ces conditions, on imagine que le retour à l'air des eaux s'effectuerait, certes très doucement, mais certainement de façon continue.



CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de l'oued Souss se distingue par sa position intermédiaire entre le domaine méditerranéen semi-aride et subhumide, et le domaine saharien aride et désertique. Son climat est à la fois océanique et continental; il est, selon les endroits, sec ou subhumide, chaud ou froid. Une grande partie des sols du Souss a subi une pédogenèse peu évoluée; leur évolution étant liée aux actions des eaux et des températures sous des climats chauds et humides, alternant avec des saisons sèches. La végétation est généralement clairsemée, et les forêts se dégradent de plus en plus, bien qu'on essaye, tant bien que mal, de remédier au problème par des reboisements.

Jusqu'en 1990, l'observation et les mesures des composantes du milieu naturel souffraient encore de la carence de certains types de données climatiques couvrant de longues périodes, notamment l'humidité de l'air, les vitesses du vent et les durées d'insolation. Les données hydropluviométriques sont cependant relativement abondantes, et leur critique a mis en lumière une grande homogénéité, et par conséquent leur rassurante fiabilité.

Les précipitations nivales s'abattent sur les hauts reliefs du Haut et Anti-Atlas. Elles y sont rarement abritées pendant de longues périodes et achèvent généralement la fonte en fin d'année hydrologique. Les précipitations pluviales sont dans l'ensemble conformes aux moyennes des milieux subarides. Fluctuant entre 200 et 400 mm par an, elles se concentrent dans la saison froide avec 60 % du total annuel qui s'abat de novembre à février et même 90 % en 7 mois d'octobre à avril. L'irrégularité saisonnière se double de l'irrégularité interannuelle pour marquer un premier trait du climat du Souss où l'aridité est étendue sur la plaine, mais atténuée en montagne et sur la bande littorale.

L'oued Souss, qui est un cours d'eau temporaire par endroit, a un régime saisonnier très peu différent de celui des rivières méditerranéennes ou de zones tempérées, c'est à dire caractérisé par les hautes eaux de saison froide; par contre, son trait, particulier aux zones arides, c'est la faiblesse des débits spécifiques, toujours inférieurs à 2 l/s/km². Ce débit est de l'ordre de 1,41 l/s/km² à Aoulouz, puis il devient partout inférieur à l'unité jusqu'à l'embouchure, ces ordres de grandeur appartiennent tout à fait au domaine subaride : *"le débit spécifique de l'Oural à son embouchure par exemple, est de 1,8 , celui du Murray (Australie) est de 0,4 et sur plusieurs longs affluents du Colorado et de l'Arizona, le chiffre est inférieur à 0,3"* (Guilcher, 1965).

Ce régime du Souss, caractérisé par des hautes eaux de saison froide et les étiages d'été, le différencie, cependant, des fleuves des régions qui connaissent leur maximum de précipitations en été. (C'est le cas par exemple des fleuves chinois, gonflés par l'alternance des moussons, qui étendent l'emprise du climat tropical, avec pénurie d'eau en hiver, et gros excès pluvieux en été). L'abondance de la saison chaude

pourrait aussi avoir pour cause une accumulation des neiges de la saison froide jusqu'en été où elles entament la fonte, comme c'est le cas des fleuves sibériens.

Pour l'abondance moyenne, le Souss débite annuellement à Aoulouz 6 m³/s, 3 à Taroudant et 8 m³/s à l'embouchure; le bilan annuel de l'écoulement fait ressortir des coefficients de ruissellement moyens n'excédant pas 15 % à Aoulouz, 4,1 % à Taroudant et 5,5 % à Aït Melloul, pour des précipitations moyennes ne dépassant pas 300 mm. Ces chiffres situent le Souss parmi les cours d'eau les moins abondants du Maroc, malgré sa grande surface réceptrice et des versants montagneux relativement élevés (tab. 63) :

	S (km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	P (mm)	P' (mm)	D (mm)	Coef. d'éc.
Souss à Aït Melloul	16100	8	0,5	289	15,8	273,2	5,50%
Draa à Zaouia N'Ourbaz	13000	10,4	0,8	192	24,8	167,2	12,70%
Moulouya à Missouri	10300	14,4	1,4	368	44,1	323,9	12%
Moulouya à Mechra Kliila	51000	24,4	0,46	233	14,8	218,2	6,20%
Oum Er-riebia à Imfout	30600	101	3,3	546	110	436	20,10%
Sebou à Azib Soltane	16276	69,5	4,3	670	134,7	535,3	20,10%
Sebou à Sidi Allal Tazi	26600	146	5,5	657	173	484	26%
Ouergha à khemichet	7180	97	13,5	840	426	414	50,70%

Tableau 63: Bilans hydrologiques comparatifs de différents bassins versants du Maroc

(S = surface du bassin ; Q = Débit moyen brut ; q = Débit spécifique; P = Précipitations annuelles ;

P' = Ecoulement annuel ; D = Déficit d'écoulement ; Coef. d'éc.=Coefficient d'écoulement moyen annuel)

(■): Bassins arides et subarides ; () : Bassins semi-arides et subhumides

Les crues du Souss, sans être méprisables, sont à l'échelle mondiale peu violentes par rapport à de nombreux cours d'eau de même type, notamment en Californie et en Australie. Le coefficient de gravité A, est au maximum de l'ordre de 17, alors qu'il avoisinait 100 à l'ouest américain et dans les déserts australiens. Les vitesses de propagation des crues du Souss sont, cependant, assez élevées et leurs débits augmentent généralement vers l'aval à cause de l'encaissement et la contribution des affluents. Ces crues sont toujours produites par des pluies importantes et les averses exceptionnelles créent des pulsations brutales très peu fréquentes.

Les coefficients de ruissellement de ces crues sont, cependant, plutôt médiocres dans le bassin du Souss. Ils ne dépassent guère les 20 % bien que celles-ci se produisent exclusivement en saison froide.

Les déficits d'écoulement étant toujours élevés, alors qu'en d'autres contrées subarides du globe, les dits coefficients ont pu atteindre et dépasser les 80 %, même en été, en cas de saturation préalable. C'était le cas de la Kansas-river en juillet 1951, avec des coefficients de 80 et 85 % . Les déficits tombaient alors à moins de 60 et de 50 mm pour 250 à 350 mm de précipitations totales. Il en est presque de même pour les crues australiennes, où des rivières des rebords intérieurs occidentaux du "Great Divide" (longue suite de reliefs qui dominent les régions côtières orientales), ont connu en janvier 1956 (donc en été austral), à cause des afflux pluvieux orientaux et nord-orientaux du Pacifique, une énorme averse torrentielle: il tomba 456 mm sur une station en 24 heures, 280 mm à une autre en 18 h; puis 312 mm en un jour sur le bassin supérieur du Mac Intyre Brook, soit sur 1707 km². Et sur 3340 km², 348 mm en deux ou trois jours. Les maxima consécutifs furent 4390 et 5320 m³/s, avec des coefficients d'écoulement de 52 et 46 %, relativement forts pour ces régions, plutôt sèches, mais qui avaient été bien arrosées avant la crue. En pénétrant dans la zone subdésertique, les maxima s'aplatirent: seulement 2100 m³/s pour 24300 km² de bassin, et 820 m³/s pour 38800 km² plus loin. Cet aplatissement des crues et l'affaiblissement de leurs quotients d'écoulement vers l'aval est en effet, une caractéristique des cours d'eau en zone aride. Elle montre de façon saisissante les rôles primordiaux joués par les évaporations et les infiltrations sur des surfaces alluviales souvent perméables sous les climats subdésertiques. Le Souss, lui, se distingue de ces cours d'eau par le vigoureux cadre montagneux qui l'entoure. Celui-ci alimentant par les affluents le cours principal jusqu'à l'embouchure, et les crues peuvent se renforcer et grossir vers l'aval, où l'oued s'encaisse, favorisant la concentration des eaux. En plus l'aval du bassin du Souss jouit d'une relative humidité grâce à son ouverture vers l'océan, à l'opposé de la plupart des oueds du sud-est marocain ou d'autres cours d'eau des régions où l'aridité du climat s'accroît vers l'aval.

Pour la relation entre les pluies et les débits dans le bassin du Souss, nous avons été impressionnés par l'assez bonne corrélation à l'échelle annuelle. Le degré de dépendance a été successivement de 83 %, 87 % et 89 % dans les bassins du Souss à Aoulouz, à Taroudant et à Aït Melloul. Les auteurs qui ont essayé de déterminer, ici, une relation entre les précipitations et l'écoulement annuel, à une époque où les données pluviométriques et les mesures exécutées sur les débits étaient peu suffisantes, ont souvent constaté qu'il n'existe pas de relation bien définie entre les deux paramètres. Mais ils ont, pour la plupart, attribué la cause justement au calcul incertain de la pluviométrie moyenne et à la sous-estimation des débits de grandes crues. C'est pourquoi au terme de 3 à 4 décennies de mesure et d'observation, on a trouvé, en portant en abscisses les pluies annuelles, et en ordonnées les débits contemporains, que les points s'ordonnent et se regroupent autour de la droite de régression témoignant de la linéarité de la fonction. Par ailleurs, les coefficients ou quotients d'écoulement semblaient être peu dépendants de la hauteur des pluies annuelles. Ici, comme pour la plupart des oueds marocains, ces coefficients sont plus étroitement liés à la violence des pluies qu'à leur importance annuelle, et c'est donc la façon dont la pluie tombe dans le temps et l'espace qui importe en ce domaine climatique, où l'évapotranspiration peut anéantir la quasi-totalité des pluies de faible

intensité. En effet, seules des averses d'une certaine violence peuvent déclencher des ruissellements notables.

L'étude des bilans mensuels a mis en lumière un jeu -saisonnier pour une part, interannuel pour l'autre- de recharge et de décharge de la nappe phréatique. La recharge commence toujours avec les premières précipitations et peut continuer durant la saison pluvieuse. La décharge de la nappe maintien, notamment en amont du bassin, un écoulement pérenne, grâce au débit de base assuré pendant les mois secs. Les années très pluvieuses offrent souvent un excédent hydrique qui s'accumule dans la réserve souterraine. Celle-ci restitue et assure cependant une grande part (voire la totalité) de l'écoulement pendant les années sèches. L'alimentation de la nappe s'effectue particulièrement en amont de la plaine et sur ses bordures latérales, et il existe un écoulement souterrain de l'eau qui émerge, dans la partie moyenne et aval, au niveau de plusieurs sources plus ou moins importantes. Nous avons, par ailleurs, constaté que la nappe phréatique a accusé un énorme déficit dans sa réserve, qui a baissé, de 1969 à 1990, d'environ 2,4 milliards de mètres cubes. Ceci est dû à une sécheresse dévastatrice qui a sévi durant les années 70 et 80, et par voie de conséquence, aux puissants pompages agricoles qui puisent dans les réserves hydrogéologiques, essentiellement dans la partie moyenne de la plaine, parsemée de vastes périmètres irrigués. Et dans le but de redresser la situation, plusieurs plans d'aménagement hydro-agricole essayent de définir les mesures à prendre pour optimiser l'utilisation de l'eau en récupérant les eaux qui se perdent à l'océan et en procédant à la recharge artificielle de la nappe ainsi qu'au traitement et recyclage des eaux usées.

Pour l'équipement hydro-météorologique du bassin, nous avons noté avec joie et fierté que le réseau de mesure hydrométrique est actuellement très développé, et que la totalité des principaux affluents du Souss sont jaugés et les hauteurs des eaux sont régulièrement levées. Egalement pour les stations pluviométriques qui offrent, pour certaines, des hauteurs instantanées consignées dans des pluviogrammes, et pour les autres, des données journalières. Ces stations sont surveillées par des observateurs expérimentés. Nous aurions toutefois souhaité que le pluviographe soit installé dans toutes ces stations et que des postes soient placés dans certaines régions montagneuses encore mal couvertes notamment en Anti-Atlas. Enfin, nous ne saurions conclure sans espérer voir développer le réseau de mesure thermométrique sur les montagnes du Haut et Anti-Atlas afin de connaître, à l'image de la plaine du Souss, les conditions thermiques exactes des sous-bassins montagneux, nous pensons particulièrement aux hauts bassins d'Issen, de Tifnoute pour le Haut Atlas et les bassins amont d'Immerguèn et d'Aouerga pour l'Anti Atlas.

Nous souhaitons aussi maintenir, voire développer et étendre, une coopération fructueuse entre l'université et divers organismes privés ou publics s'intéressant au milieu naturel, nous pensons par exemple à l'office régional de mise en valeur agricole, à l'administration de l'hydraulique, aux offices

d'eau potable, au service des mines et aux bureaux d'études.., car ce n'est que par la collaboration entre l'ingénieur et le chercheur que pourront être étudiés tous les aspects d'un phénomène et qu'on peut - sans plus recourir à l'estimation- quantifier et qualifier certains détails du milieu physique, on pense pour le cas du Souss à la turbidité de l'oued par exemple et aux transports solides, à la relation entre la nappe phréatique et les nappes profondes, à la capacité de rétention et la limite de saturation des sols, à la porosité et la perméabilité du substratum et des aquifères, aux modalités de l'écoulement souterrain etc..; nous sommes cependant relativement optimistes pour l'avenir hydrologique et agricole du Souss, car, bien que toujours dépendant des conditions climatiques, cet avenir nous paraît rassurant après la construction des barrages d'Aoulouz et d'Abdelmoumen (oued Issen), ainsi que quelques barrages collinaires sur certains affluents, et après l'utilisation de nouveaux champs captants pour l'adduction d'eau potable. Nous avons noté aussi un essai de réutilisation des eaux, et des contrôles de l'expansion des périmètres irrigués et des pompages élevés, ainsi que la continuité de la prospection de nouvelles ressources.



ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

I - Bibliographie liée au bassin versant du Souss

ANONYME, Note sur la crue du 28 février 1986 de l'oued Souss et ses affluents. Note interne de la direction régionale de l'hydraulique d'Agadir, Maroc, **1986**, 8 p.

ANONYME, Note sur les crues du 18 au 28 janvier 1979, incidence sur la détermination de la crue centennale. Direction régionale de l'hydraulique d'Agadir, DRE, Déc. **1979**, 8 p.

AMBROGGI R. BOURGIN R., Vallée du Souss, in Hydrogéologie du Maroc; Notes et mém. serv. géol. n°97, Maroc, **1952**, pp.269-284.

AMBROGGI R., Etude géologique du versant méridional du Haut-Atlas occidental et de la plaine du Souss. Notes et mem. du serv. géol. marocain n°157, **1963**, 321 p.

BILLON B., Oued Souss à Aït Melloul: Courbes de tarage des hautes eaux, évaluation de la crue centennale. Note interne de la direction de l'hydraulique, Ministère de l'équipement, Maroc. Nov. **1977**, 20 p.

COMBES M., ELHEBIL A., Vallée de Souss, in Ressources en eau du Maroc. T.3, Domaines atlasique et sud-atlasique. Notes et mém. du servive géol. du Maroc n°231, **1977**, p.169-201.

COUVREUR G., Dépôts et déformations plioquaternaires au nord-est du Souss (Maroc), Mélanges offerts à F. Joly, **1985**, pp.57-62

DANIEL J.M., Recherche du mode de gestion optimale des ressources en eaux superficielles et souterraines de la vallée du Souss (Maroc). La Houille blanche 2-3, **1977**, pp.219-235.

DAOUDI M. & BENTAYEB A., Aménagement hydroagricole du Souss amont. Hommes, Terres et Eaux n°37, **1980**, pp.5-18.

DIJON R., Contribution à l'étude hydrogéologique et à l'inventaire des ressources en eaux de la vallée du Souss. Thèse d'état, Montpellier. Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc n°214, **1968**, 292 p.

DRESCH J., Recherches sur l'évolution du relief dans le massif central du Grand-Atlas: Le Haouz et le Souss. Thèse d'Etat, Tours, **1941**, 708 p.

ELHEBIL A., Reconnaissance hydrogéologiques du haut bassin versant de l'oued Souss à Aoulouz, Maroc. Thèse 3^e cycle, univ. Montpellier, **1972**.

ELMODIN M. AMECHGHAL H., Etude hydrogéographique du bassin du Souss. Mém. de maîtrise, Univ. Ibnou Zohr, Fac. de lettres, Agadir. **1991**, 73 p.

GEANAH M., Réflexions sur les études hydrogéologiques de la nappe phréatique du Souss. Sémin. d'info. sur les ressources en eau des régions hydrauliques. Dir. d'Hydraul. Agadir, juin **1983**, 12 p.

HENRY. J.C., Note sur les écoulements superficiels de l'oued Souss à Aït Melloul. Projet FAO/Souss, **1970**, 8 P.

JOLY F., Note de géographie sur le Siroua occidental et sa bordure. Revue de géographie marocaine, **1946**, pp. 3 à 7.

KARST J., Essai d'interprétation des observations hydrologiques recueillies sur le Souss et ses affluents. Rapport inédit. Bur. techn. Serv. Hydraul., Rabat, juil. **1957**, 16 p.

Neltner L., Etudes géologiques dans le sud marocain (Haut-Atlas et Anti-Atlas) Notes et mem.serv.géol.maroc.n°42, Rabat, **1938**.

PELTIER J.C., La végétation du bassin versant de l'oued Souss, Maroc. Thèse d'état es-science, univ. scient. & médicale, Grenoble. **1982**, 201 p.

POPP H., Effets sociogéographiques de la politique des barrages au Maroc (Gharb, Basse Moulouya, Souss, Massa). Thèse Doct. d'Etat. Univ. d'Erlangen-Nuremberg (ex RFA), **1982**, 265 p.

POPP H., Le surpompage dans la vallée du Souss, revue de Géogr. du Maroc n°6 , **1982**,

ROYER H., Etude hydrogéologique de la vallée de l'oued Souss. Mission hydrogéol. Brigade Choubert-Royer. Rapp. inédit; Rabat, Fév. **1942**. 20 p.

SAIDI M.E., Genèse et propagation des crues en milieu sub-aride: exemple de l'oued Souss (Maroc), Bull. Assoc. Géogr. Français. Paris. Janvier **1994**, pp. 94-111.

SNOUSSI M., Nature, estimation et comparaison de flux de matière issus des bassins versants de l'Adour (France), du Sebou, de l'Oum-Er-Rebia et du Souss (Maroc): Impact du climat sur les apports fluviaux à l'océan. Thèse d'état, Univ. Bordeaux I, **1986**, 409 p.

WATTEEUW R., Les sols de la plaine du Souss, et leur répartition schématique au 1/500 000^e. Al Awamia n°10, Rabat, **1964**, PP. 141-185.

WEISROCK A., Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas atlantique. Notes et mém. du sev. géol. N°332, Rabat, **1993**.

II- Bibliographie relative aux milieux arides et semi-arides

BORDET P., Remarques sur la météorologie, l'hydrographie et la morphologie du Hoggar. Trav. de l'inst. Rech. Saharienne IX, **1953**, pp.7-23.

DEMANGEOT J., Les milieux naturels désertiques, SEDES, Paris, **1981**, 261 p.

DERRAZ K., Transition du climat méditerranéen au climat aride dans le Moyen-Atlas marocain: Etude phytoclimatique. Thèse Doctorat, Univ. Paris 7, **1993**.

DESPOIS J., Le Hodna (Algérie). P.U.F, Paris, **1953**. 409 p.

DRESCH J., JOLY F., RAYNAL R., Evolution des versants et creusement à la bordure nord-occidentale du Sahara, Mars-Avril **1951**, Bull.de l'AGF n°216-217, pp.58-63.

DRESCH J., Géomorphologie des régions arides. PUF, Paris, **1982**, 277 p.

DUBIEF J., Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Gouvern. Gén. de l'Algérie, serv. des études scient. Alger, **1953**, 457 p.

GAUSSEN H., DEBRACH J., & JOLY F., Précipitations annuelles, in Atlas du Maroc, Sect.II, pl.4a. Carte et note explicative, **1958**, 36p.

JEBBARI L., Contribution à l'étude de la variabilité de la pluie et de l'écoulement dans le sud-est marocain. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier III, **1990**.

JOLY F., Phénomènes exceptionnels d'écoulement et d'érosion dans le sud marocain et la vallée de la Saoura en oct.1950. C.R Société Sc. nat. Maroc, n°8, **1950**, pp.153-154.

JOLY F., Quelques phénomènes d'écoulement sur la bordure du Sahara, dans les confins algéro-marocains, et leurs conséquences morphologiques. Congrès géologique international, Comptes rendus de la 19ème session, Alger, **1952**, 11 p.

JOLY F., "Les crues d'octobre 1950 dans le sud marocain et le sud oranais". Travaux de l'institut de recherches sahariennes. T.IX, 1^{er} trimestre **1953**. pp 165-166.

JOLY F. & MARGAT J., Remarques sur les bassins hydrographiques du Ziz et du Rheris (SE marocain) Notes et mem. serv. géol. marocain III, **1955**, pp.41-55.

JOLY F., Les milieux arides, définition, extension. Notes marocaines n°8, **1957**, pp.15-30.

LARBI HENIA L., Climat et bilan de l'eau en Tunisie: Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Thèse d'Etat, Univ. Paris IV, **1987**.

- LECOMPTE M.**, Biogéographie de la montagne marocaine: Le Moyen Atlas central. Ed. du CNRS, **1986**, 202 p.
- LOUP J.**, L'oum-Er-Rebia : Contribution à l'étude hydrologique d'un fleuve marocain. Editions de l'institut scientifique chérifien, Série Géol. & Géogr.Phys. Rabat, n°9. Maroc, **1960**, 252 p., 56 tabl., 39 fig.
- MARGAT J.**, Les eaux salées au Maroc, hydrogéologie et hydrochimie. Notes et mem. du serv. géol. n° 151, **1961**, Maroc, 137 p.
- PERENNES J.J.**, L'eau et les hommes dans le Maghreb. Ed. Karthala, Paris, **1993**, 646 p.
- RAYNAL R.**, Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental). Etude géomorphologique. Thèse, Rabat, **1961**, 619 p.
- ROBAUX A.**, Les territoires du sud marocain et les ressources en eau. L'eau n°4, Paris, **1951**, pp.71-73.
- ROGER L.**, "La crue du Guir le 21 mars 1959". Bulletin de liaison saharienne n°34, juin **1959**, pp 117-119.
- SAUVAGE Ch.**, Etages bioclimatiques, carte et notice n° 6-b, in Atlas du Maroc. Comité national de géographie du Maroc. **1963**.
- TRICART J. & CAILLEUX A.**, Le modelé des régions sèches, Traité de géomorphologie, Tome IV, SEDES, Paris, **1969**, 472 p.
- VANNEY J.R.**, Pluie et crue dans le sahara nord-occidental (mars 1959), institut de recherches sahariennes de l'université d'Alger. Monographie régionale n°4, **1960**, 118 p.

III- Bibliographie générale

- ARLERY R., GRISOLLET H., GUILMET B.**, Climatologie, méthodes et pratiques. Ed. Gautier Villars, Paris, 1973, 433 p.
- BERNIER J.**, Sur l'application de diverses lois limites des valeurs extrêmes. La houille blanche, Nov.1956, p.718-725.
- COUTAGNE A. DE MARTONNE E.**, De l'eau qui tombe, à l'eau qui coule. Evaporation et déficit d'écoulement. Ass. int. d'hydrologie scientifique, Congrès de Lisbonne, 1933, 32 p.
- DACHARRY M.**, Hydrologie de la Loire en amont de Gien. (2 tomes) Thèse d'état, Paris I, 1975, 295 et 285 p.
- DAVY L.**, L'Ebre, Etude hydrologique. (3 tomes), Thèse d'état, Univ. Montpellier III, 1976, 803 p.
- DE MARTONNE E.**, Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. Annales de géographie N°288, oct-Nov. 1942, pp. 241-250.
- DUBREUIL P.**, Initiation à l'analyse hydrologique. Ed. Masson & ORSTOM. Paris, 1974, 216 p.
- EMBERGER L.**, Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de botanique. Géologie et zoologie de la faculté des scien. de Montpellier, 1955, fascic.7, pp. 3-43.
- GAUSSEN H.**, L'indice xérothermique, Bulletin de l'association de géographes français, 1952, pp. 10-16.
- GUMBEL E. J.**, Méthodes graphiques pour l'analyse des débits de crues. La Houille blanche. Nov.1956, pp.709-717.
- HUMBERT J.**, Cinq années de bilans hydrologiques mensuels sur un petit bassin versant des hautes Vosges (1976-1980): Le bassin du Ringelbach. Rech. Géorg. Strasb. n°19-21, pp. 105-122.
- KASSAB F.**, Les très fortes pluies en Tunisie. Publications de l'université de Tunis, 1979, 234 p.
- LARRAS J.**, Prévision et prédétermination des étiages et des crues. Ed. Eyrolles, Paris, 1972, 159 p.
- MARSILY G. de.**, Hydrogéologie quantitative. Ed. Masson, Paris, 1981, 215 p.
- MIQUEL J.**, Guide pratique d'estimation des probabilités de crues. Eyrolles. Paris, 1984, 160 p.
- O.R.S.T.O.M.**, Le bassin de la Mejerdah (Tunisie), Monographie hydrologique N°6, Paris, 1981, 451 p.
- PARDE M.**, Les facteurs géographiques du bilan annuel de l'écoulement fluvial. Br.géogr.physique, 1949, 12 p.

PARDE M., "Sur la puissance des crues en diverses parties du monde". Geographica Ano VIII, 1961, Zaragoza, Espagne, 1961, 296 p.

PARDE M., Quelques données sur des crues remarquables en divers contrées et sur le bilan de leurs écoulements. Br. géogr. phys. Genève, 1964.

PEGUY Ch.P., Précis de climatologie. Ed. Masson, 1970, 468 p., 119 fig., 20 tableaux.

REMENIERAS G., Eléments d'hydrologie appliquée. A.Colin, Paris, 1960.

REMENIERAS G., L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles. Paris, 1986, 456 p.

ROCHE M., Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villard. Paris, 1963, 430 p.

ROCHE M., Dictionnaire français d'hydrologie de surface. Ed. Masson, 1986, 288 p.

VANNEY J.R., L'hydrologie du bas Guadalquivir, 1970.

TURC L., Le bilan d'eau des sols: relation entre les précipitations, l'évapotranspiration et l'écoulement. Institut national de la recherche agronomique, Paris, 1955, 253 p.

Liste des figures

Première partie : Présentation générale du Souss

- 1 : Travaux antérieurs sur certains secteurs du bassin du Souss
- 2 : Carte toponymique des régions du bassin du Souss
- 3 : Situation géographique du bassin du Souss
- 4 : Subdivisions du bassin versant du Souss
- 5 : Disposition des crêtes du Haut Atlas
- 6 : Carte hypsométrique du bassin versant du Souss
- 7 : Courbe hypsométrique du bassin du Souss à Aoulouz
- 8 : Profil en long des oueds du bassin du Souss à Aoulouz
- 9 : Courbe hypsométrique du bassin du Souss à son embouchure
- 10: Log stratigraphique des Ida-ou-Zal (Haut Atlas)
- 11: Log stratigraphique d'Amagour (Anti-Atlas occidental)
- 12: Carte géologique schématique du bassin du Souss
- 13: Coupes géologique N-S à travers la plaine du Souss
- 14: Réseau hydrographique du bassin du Souss
- 15: Profil en long du Souss et de ses principaux affluents

Deuxième partie : Le milieu climatique

- 16: Localisation des postes pluviométriques dans le bassin du Souss
- 17: Ajustement de la loi normale aux pluies annuelles de la station d'Agadir
- 18: Ajustement de la loi normale aux pluies annuelles de la station de Taroudant
- 19: Ajustement de la loi normale aux pluies annuelles de la station d'Aoulouz
- 20: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Agadir-Aïn Asmama
- 21: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Agadir-Ikakern.
- 22: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Agadir-Argana
- 23: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Agadir-Aïn Tiziouine
- 24: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Agadir-Aïn Chaib
- 25: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Agadir-Aït Baha
- 26: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Taroudant-Mentaga
- 27: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Taroudant-Amagour
- 28: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Taroudant-Timdiouine
- 29: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Taroudant-Talekjoute
- 30: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Taroudant-Tafingoulte
- 31: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Taroudant-Ouled Berrehil
- 32: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Aoulouz-Immerguène

- 33: Homogénéisation des pluies annuelles par le test des double-cumuls : Aoulouz-Taliouine
- 34: Précipitations moyennes annuelles à Aoulouz
- 35: Précipitations moyennes annuelles sur le bassin du Souss à Taroudant
- 36: Précipitations moyennes annuelles sur le bassin du Souss à Aït Melloul
- 37: Polygones de Thiessen sur le bassin du Souss à Aoulouz
- 38: Polygones de Thiessen sur le bassin du Souss à Taroudant
- 39: Polygones de Thiessen au bassin du Souss à Aït Melloul
- 40: Carte des isohyètes du bassin de Souss de 1960 à 1990
- 41: Précipitations moyennes saisonnières à Aoulouz
- 42: Variation des pluies saisonnières dans le bassin du Souss à Taroudant
- 43: Variation des pluies saisonnières dans le bassin du Souss à Aït Melloul
- 44: Variation mensuelle des précipitations dans les bassins du Souss
- 45: Variation des températures mensuelles à Aoulouz
- 46: Variation des températures mensuelles à Taroudant
- 47: Variation des températures mensuelles à Agadir
- 48: Températures moyennes mensuelles à Aoulouz, Taroudant et Agadir
- 49: Evaporations mensuelles au Piche dans le bassin du Souss
- 50: Diagramme ombrothermique de la station d'Aoulouz
- 51: Diagramme ombrothermique de la station de Taroudant
- 52: Diagramme ombrothermique de la station d'Agadir
- 53: Etages climatiques des stations du Souss et quelques stations du Maroc
- 54: Etages climatiques dans le bassin du Souss selon Brignon et Sauvage (1963)
- 55: Répartition schématique des sols sur la plaine du Souss
- 56: Répartition de l'arganeraie dans le bassin du Souss
- 57: Carte de végétation du bassin du Souss

Troisième partie : Le régime fluvial

- 58: Variation du profil en travers du lit de l'oued Souss à la station d'Aoulouz
- 59: Variation du profil en travers du lit de l'oued Souss à la station de Taroudant
- 60: Variation du profil en travers du lit de l'oued Souss à la station d'Aït Melloul
- 61: Débits moyens annuels à Aoulouz
- 62: Débits moyens annuels à Taroudant
- 63: Débits moyens annuels à Aït Melloul
- 64: Coefficients et débits moyens mensuels à Aoulouz
- 65: Coefficients et débits moyens mensuels à Taroudant
- 66: Coefficients et débits moyens mensuels à Aït Melloul
- 67: Courbes des débits mensuels d'après leurs fréquences à Aït Melloul
- 68: Débits moyens journaliers à Aoulouz pendant l'année 1960-1961

- 69: Débits moyens journaliers à Aoulouz pendant l'année 1970-1971
- 70: Courbe des débits classés à Aoulouz de 1960 à 1990
- 71: Débits classés à Taroudant de 1960 à 1990
- 72: Hydrogramme des débits moyens journaliers à Aït Melloul de 1962-63
- 73: Courbe des débits classés à Aït Melloul de 1962 à 1990
- 74: Ajustement de la loi de Gumbel aux crues du Souss à Aoulouz de 1941 à 1991
- 75: Ajustement de la loi de Pearson III aux crues du Souss à Aoulouz de 1941 à 1991
- 76: Ajustement de la loi de Gumbel aux crues du Souss à Taroudant de 1941 à 1991
- 77: Ajustement de la loi de Gumbel aux crues du Souss à Aït Melloul de 1941 à 1991
- 78: Répartition mensuelle des crues du Souss à Aoulouz
- 79: Répartition mensuelle des crues à Taroudant
- 80: Répartition mensuelle des crues à Aït Melloul
- 81: Hydrogrammes de la crue du 28 janvier 1979
- 82: Hydrogrammes de la crue des 2-3 novembre 1987
- 83: Hydrogrammes de la crue des 25-26 octobre 1987
- 84: Hydrogrammes de la crue du 20 décembre 1963
- 85: Hydrogramme de la crue du 27 décembre 1961 à Aït Melloul
- 86: Hydrogramme de la crue du 10 janvier 1969 à Taroudant
- 87: Hydrogramme de la crue du 3 février 1965 à Aït Melloul
- 88: Hydrogrammes de la crue des 17-18 janvier 1956
- 89: Hydrogrammes de quelques crues du Souss à Aït Melloul
- 90: Hydrogrammes de la crue des 17-18-19 mars 1980
- 91: Situation météorologique le 16 janvier 1956
- 92: Situation météorologique le 17 janvier 1956
- 93: Crue des 26-27-28 septembre 1976
- 94: Isohyètes des pluies des 6 et 7 novembre 1966
- 95: Schéma des volumes d'eau écoulee lors de la crue du 1^{er} mars 1986
- 96: Situation météorologique le 28 février 1986
- 97: Situation météorologique le 1^{er} mars 1986
- 98: Situation météorologique le 10 novembre 1988
- 99: Crue du 10 novembre 1988

Quatrième partie: Les bilans hydrologiques

- 100: Corrélation entre précipitations et débits annuels dans le bassin du Souss à Aoulouz de 1960 à 1990
- 101: Corrélation entre précipitations et débits annuels dans le bassin du Souss à Taroudant
- 102: Corrélation entre pluviosité et hydraulité dans le bassin du Souss à Aït Melloul
- 103: Corrélation entre précipitations et débits annuels dans le bassin du Souss à Aït Melloul
- 104: Corrélation entre précipitations et déficits annuels dans le bassin du Souss à Aoulouz

- 105: Corrélation entre précipitations et déficits annuels dans le bassin du Souss à Taroudant
- 106: Corrélation entre précipitations et déficits annuels dans le bassin du Souss à Aït Melloul
- 107: Corrélation entre précipitations et coefficients d'écoulement annuels dans le bassin d'Aoulouz
- 108: Corrélation entre précipitations et coefficients d'écoulement annuels dans le bassin de Taroudant
- 109: Corrélation entre précipitations et coefficients d'écoulement annuels dans le bassin du Souss à Aït Melloul
- 110: Corrélation entre précipitations-déficits globaux et altitudes moyennes des bassins
- 111: Schéma des infiltrations et des restitutions des eaux des nappes du bassin amont
- 112: Allure des principaux termes du bilan hydrologique de l'année humide 1967-68 à Aoulouz
- 113: Allure des principaux termes du bilan hydrologique de l'année sèche 1982-83 à Aoulouz
- 114: Bilans mensuels de l'eau dans le bassin du Souss à Aït Melloul de 1967-68 et 1968-69
- 115: Bilans mensuels de l'eau dans le bassin du Souss à Aït Melloul de 1969-70 et 1970-71
- 116: Bilans mensuels de l'eau dans le bassin du Souss à Aït Melloul de 1980-81 et 1981-82

Cinquième partie: Hydrogéologie

- 117: Réseau piézométrique sur la plaine du Souss
- 118: Forages schématiques dans la plaine du Souss
- 119: Carte piézométrique de la nappe du Souss en 1952
- 120: Carte piézométrique de la nappe du Souss en mai 1963
- 121: Carte piézométrique de la nappe du Souss en février 1986
- 122: Fluctuation du niveau piézométrique de la nappe du Souss pendant les années 1968-69 et 1969-70 et pluies contemporaines
- 123: Fluctuation du niveau piézométrique de la nappe du Souss pendant les années 1988-89 et 1989-90 et pluies contemporaines
- 124: Fluctuation interannuelle du niveau piézométrique de la nappe du Souss de 1950 à 1984
- 125: Variation interannuelle du niveau d'eau dans le piézomètre 1572/70
- 126: Variation interannuelle du niveau d'eau dans le piézomètre 336/62
- 127: Variation interannuelle du niveau d'eau dans le piézomètre 4357/70
- 128: Carte de la baisse des puits témoins de la nappe du Souss en 1977 par rapport à 1968
- 129: Carte de la baisse des puits témoins de la nappe du Souss en 1983 par rapport à 1968
- 130: Carte des iso-rabattements de la nappe du Souss entre 1986 et 1987
- 131: Carte de remontée du niveau de la nappe du Souss entre 1987 et 1988
- 132: Variation du volume de la réserve en eau de la nappe du Souss de 1969 à 1988
- 133: Carte de la baisse du niveau piézométrique de la nappe du Souss entre 1969 et 1989
- 134: Carte de la baisse de la nappe entre 1989 et 1990
- 135: Carte de la baisse de la nappe entre 1969 et 1990

Liste des tableaux

- 1 : Caractéristiques physiques du bassin du Souss à Aoulouz.
- 2 : Caractéristiques physiques du bassin du Souss à Aït Melloul
- 3 : Hauteurs des précipitations annuelles à la station d'Agadir de 1960 à 1990, et leurs fréquences expérimentales
- 4 : Coefficients de corrélation entre les pluies annuelles des stations du Souss
- 5 : Stations pluviométriques entre Aoulouz et Taroudant
- 6 : Superficies des polygones de Thiessen dans le bassin du Souss.
- 7 : Résultats du planimétrage de la carte des isohyètes du bassin du Souss à Taroudant
- 8 : Résultats du planimétrage de la carte des isohyètes du bassin du Souss à Aït Melloul
- 9 : Estimations des précipitations moyennes annuelles dans le bassin du Souss.
- 10 : Précipitations saisonnières dans le bassin du Souss à Aoulouz.
- 11 : *Précipitations mensuelles (en mm) et leurs coefficients dans les bassins du Souss*
- 12 : Nombre moyen de jours de pluie et intensité moyenne journalière dans le bassin du Souss.
- 13 : *Estimation de la hauteur des averses maxima dans le bassin du Souss*
- 14 : *Evaporations mensuelles à la station d'Issen-pont*
- 15 : Indices de De Martonne dans le bassin du Souss.
- 16 : Mois à écoulement maximal dans le bassin du Souss.
- 17 : Fréquences des débits journaliers à Aoulouz.
- 18 : Débits caractéristiques de l'oued Souss à Aoulouz.
- 19 : Fréquences des débits journaliers à Taroudant.
- 20 : Débits caractéristiques de l'oued Souss à Taroudant.
- 21 : Fréquences des débits journaliers à Aït Melloul.
- 22 : Débits caractéristiques du Souss à Aït Melloul.
- 23 : Débits maxima instantanés annuels du Souss à Aoulouz de 1941 à 1991.
- 24 : Estimation des débits de crues à Aoulouz d'après la loi de Gumbel.
- 25 : Débits maxima instantanés annuels du Souss à Taroudant de 1941 à 1991.
- 26 : Débits maxima instantanés annuels du Souss à Aït Melloul de 1941 à 1991.
- 27 : Estimation des débits de crues à la station d' Aït Melloul d'après la loi de Gumbel.
- 28 : Crues décennales et centennales de l'oued Souss.
- 29 : Inventaire des crues du Souss de 1955 à 1990.
- 30 : Répartition mensuelle des crues du Souss à Aoulouz.
- 31 : Répartition mensuelle des crues du Souss à Taroudant.
- 32 : Répartition mensuelle des crues à Aït Melloul.
- 33 : Vitesses de propagation des crues entre Aoulouz et Taroudant.
- 34 : Vitesses de propagation des crues entre Taroudant et Aït Melloul.
- 35 : Classification génétique des crues de l'oued Souss.

- 36 : Débits de pointe des affluents amont de Taroudant.
- 37 : Débits de pointe des affluents aval de Taroudant.
- 38 : Bilan de la crue du 1er mars 1986.
- 39 : Caractéristiques de quelques crues en région sub-aride
- 40 : Bilans hydrologiques particuliers annuels dans les bassins du Souss.
- 41 : Bilans hydrologiques globaux dans les bassins du Souss.
- 42: Différences entre déficits calculés et mesurés dans les bassins du Souss
- 43: Différences entre les débits mesurés et calculés dans les bassins du Souss
- 44: Coefficients de correction pour la latitude 30°N.
- 45-48 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aoulouz de 1967-68 à 1970-71
- 49-52 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aoulouz de 1980-81 à 1983-84
- 53-56 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aït Melloul de 1967-68 à 1970-71
- 57-60 : Bilans hydrologiques mensuels du Souss à Aït Melloul de 1980-81 à 1983-84
- 61: Pluviométrie sur la plaine du Souss de 1968 à 1977
- 62: Baisse de la nappe du Souss de 1984 à 1985
- 63: Bilans hydrologiques comparatifs de différents bassins versants du Maroc