



HAL
open science

Etude hydro-climatologique des bassins du N'Fis, du Rheraya, de l'Ourika et du Zat (Maroc)

Mohammed Sirtou

► **To cite this version:**

Mohammed Sirtou. Etude hydro-climatologique des bassins du N'Fis, du Rheraya, de l'Ourika et du Zat (Maroc). Géographie. Université Paul Verlaine - Metz, 1995. Français. NNT : 1995METZ006S . tel-01776162

HAL Id: tel-01776162

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776162v1>

Submitted on 24 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

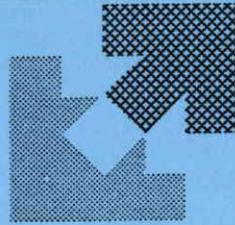
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE METZ



**ETUDE HYDRO-CLIMATOLOGIQUE DES BASSINS DU
N'FIS, DU RHERAYA, DE L'OURIKA ET DU ZAT (MAROC)**

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE METZ

Présentée par

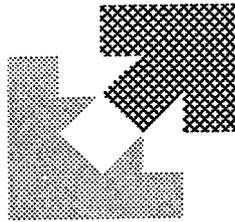
SIRTOU Mohammed

JURY:

**Monsieur François REITEL
Monsieur Brahim AKDIM
Monsieur Abdellah LAOUNA
Monsieur Jean Pierre HUSSON
Monsieur Patrice GAMEZ**

METZ 1995

UNIVERSITE DE METZ



**ETUDE HYDRO-CLIMATOLOGIQUE DES BASSINS DU
N'FIS, DU RHERAYA, DE L'OURIKA ET DU ZAT (MAROC)**

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE METZ

Présentée par

SIRTOU Mohammed

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LETTRES - METZ -	
N° Inv.	1555 033 L
Cote	L173 95/6
Loc.	Magasin 1

JURY:

**Monsieur François REITEL
Monsieur Brahim AKDIM
Monsieur Abdellah LAOUINA
Monsieur Jean Pierre HUSSON
Monsieur Patrice GAMEZ**

METZ 1995

DEDICACE

*Ce travail est dédié,
A mes parents, surtout ma mère qui n'a cessé de m'encourager
avec ses invocations...*

*Mes frères, notamment Salah qui m'a soutenu
moralement et financièrement.*

A tous mes amis en France et au Maroc.

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis au terme de ce travail laborieux d'adresser mes remerciements sans réserves à:

Monsieur le professeur François REITEL, notre directeur de recherche à qui nous devons beaucoup de gratitude pour ses conseils, pour l'intérêt qu'il a accordé à notre travail.

Monsieur P.GAMEZ, que nous remercions de l'attention qu'il a toujours manifesté à notre égard et pour l'intérêt qu'il a sans cesse porté à nos travaux.

Monsieur le professeur B.AKDIM, que nous remercions de l'attention qu'il a accordé pour notre invitation et qui a bien voulu nous faire l'honneur d'être membre du jury.

Monsieur le professeur A.LAOUINA, qui a bien voulu participer à notre jury comme rapporteur.

Monsieur le professeur J.P.HUSSON, qui nous honore de sa présence dans notre jury.

Monsieur M.SARY, responsable du laboratoire de géographie physique de l'université de Metz, et doyen de la faculté des lettres et Sciences humaines, pour le matériel qu'il a mis à notre disposition au centre d'étude géographique de l'université de Metz (C.E.G.U.M).

Monsieur J.F.ZUMSTEIN, Ingénieur hydrologue à l'agence de l'eau "Rhin-Meuse", qui nous a réservé le meilleur accueil à ses cours de D.E.A. d'hydrologie. Il nous a initié au traitement statistique des données hydropluviométriques.

Par ailleurs, notre gratitude s'adresse à: monsieur E.Gille et à tout le personnel de la météorologie nationale et du service hydraulique au Maroc.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, notamment mes amis du laboratoire.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'intérêt de l'étude des bassins atlasiques, affluents du Tensift, est sans aucun doute lié à la grande importance du domaine agricole, le Maroc ayant adopté une politique basée sur l'économie agricole. Cette spécialisation accorde un intérêt particulier à la valorisation du potentiel hydraulique. Toutefois, cette étude nécessite la prise en considération d'un cadre géographique: le Tensift

En effet ce dernier, par sa situation dans une région contrastée (au niveau des caractéristiques topographiques, morphologiques et climatologiques), présente un milieu d'étude typique et séduisant: il dispose de plusieurs conditions favorisant une mise en valeur agricole importante, notamment l'agriculture commerciale. Mais les facteurs climatiques sont très contraignants, surtout la pluviosité. Sa faiblesse provoque un besoin accru en eau, poussant les riverains à chercher des moyens pour y subvenir.

Le Maroc, dispose d'environ 4,3 millions d'hectares de terres agricoles, dont une grande partie est aride ou touchée par la sécheresse. La mise en valeur de ces terres, ne peut donc se faire qu'avec une politique de gestion des ressources en eau. Depuis les années 1960, on a pris conscience de l'importance de l'eau dans le développement global du pays.

Le choix de notre sujet découle donc de ce que le bassin du Tensift en général, et les bassins atlasiques en particulier, présentent un cas exemplaire pour étudier les problèmes hydrologiques et les problèmes d'aménagements hydrauliques; puisque c'est une zone connue par ses contrastes physiques surtout climatiques. C'est une zone de transition d'un climat méditerranéen à un climat "semi-aride", qui influence l'évolution du domaine agraire, couvrant plusieurs zones pouvant être exploitées facilement, en particulier la plaine du Haouz.

Notre objectif dans cette étude hydroclimatologique, est d'aborder les différents facteurs physiques de l'écoulement des bassins-versants atlasiques, en présentant les principales artères qui alimentent l'oued Tensift surtout en sa rive gauche.

Mais le bassin du Tensift, se caractérise par un sous équipement hydrométrique et climatologique. En effet, on ne dispose que de cinq stations hydrométriques et neuf stations climatologiques couvrant une superficie de 3115 km².

Malgré cette insuffisance d'équipement, nous tenons à ce que cette étude soit bien faite, en analysant les variations des paramètres hydrologiques dans l'espace, avec l'influence de quelques autres facteurs physiques notamment météorologiques. Les cartes et les données à notre disposition, ainsi que tous les graphiques, présentent la matière première de notre étude.

Nous étudierons l'espace géographique d'un double point de vue: régional et local. Dans une première partie nous aborderons l'étude des grands milieux et l'organisation du réseau hydrographique de l'oued Tensift, qui permettent de caractériser les principaux facteurs naturels jouant un rôle dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement.

Dans la deuxième partie nous traiterons tout d'abord les facteurs morphostructuraux et les caractéristiques hydrographiques des bassins atlasiques, permettant de localiser la zone qui reçoit les différentes précipitations participant à l'organisation de l'écoulement et du drainage. Cependant les traits lithologiques déterminent le degré de perméabilité des terrains et engendrent la présence d'un écoulement souterrain.

Ensuite nous traiterons les facteurs biogéographiques (couvert végétal) qui protègent la terre ou la laissent exposée aux différentes sortes d'érosion. Ce couvert végétal influence par la suite le ruissellement et l'infiltration des eaux pour alimenter les nappes souterraines. Nous étudierons aussi la climatologie dans la région du Tensift, qui s'intéresse aux facteurs climatiques en général et aux précipitations en particuliers, desquelles dépendent le comportement du réseau hydrographique, ainsi que l'approvisionnement des écoulements souterrains; de plus nous élaborerons le bilan hydrique en fonction des températures et des précipitations.

Enfin nous nous occuperons de l'étude hydrologique basée sur le traitement statistique des données hydrométriques, afin d'appréhender le régime et la modalité de l'écoulement des bassins versants atlasiques.

Ceci, nous conduira par la suite à déterminer le bilan hydrologique et à montrer les facteurs principaux, qui interviennent dans le système de l'écoulement annuel, saisonnier et mensuel, permettant de quantifier l'importance des ressources en eau superficielles et leur variabilité.

Par ailleurs, nous traiterons l'importance des ressources en eaux souterraines, qui influencent d'une manière ou d'une autre le ruissellement superficiel.

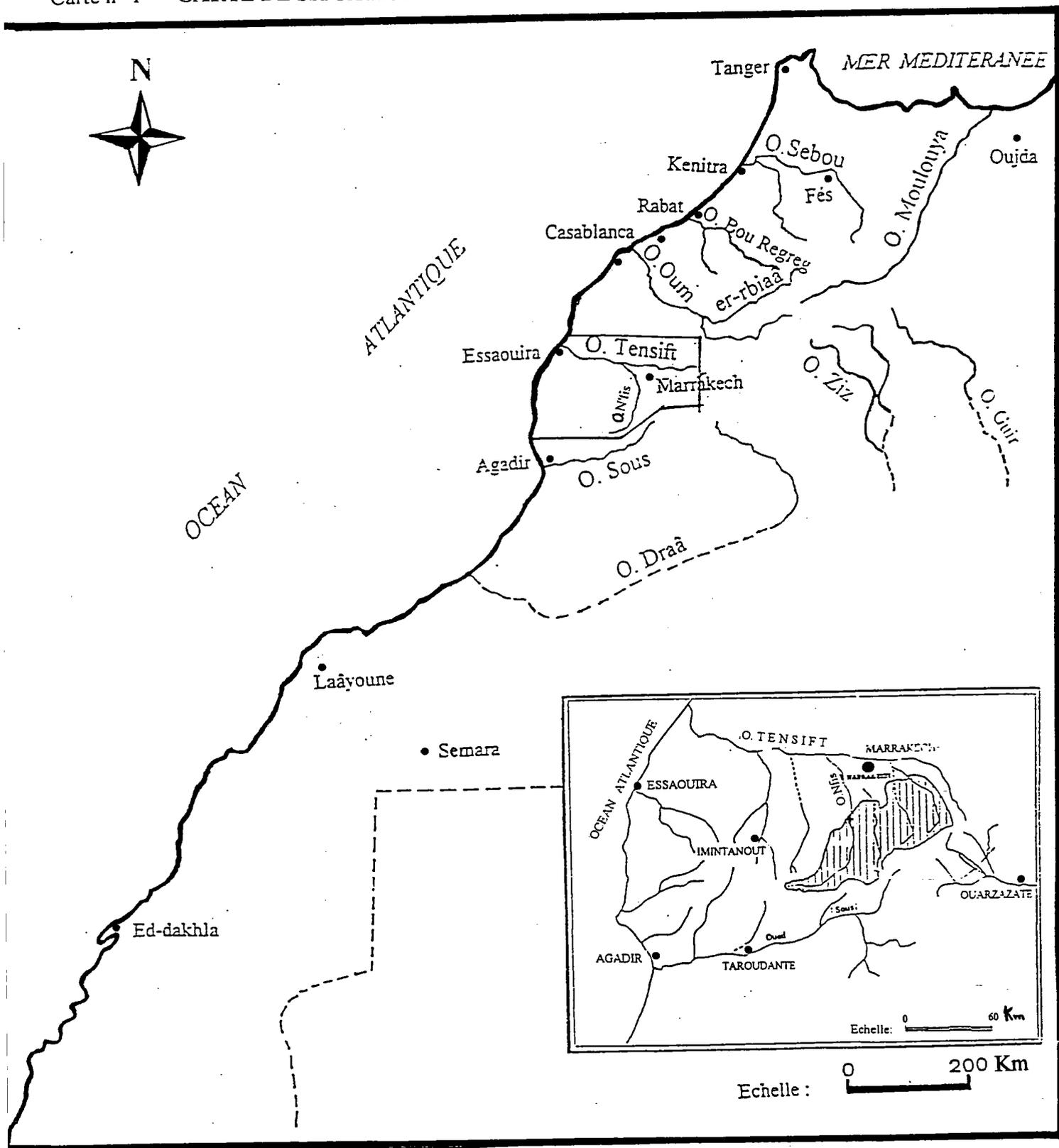
Dans une troisième partie réservée à l'aménagement dans le Haouz (bassin du Tensift), nous soulèverons les problèmes rencontrés pour l'utilisation d'eau dans cette région à climat semi aride, et dégagerons les bases d'une planification spatiale et sectorielle de l'eau.

L'étude de ces problèmes concernant l'eau, nous mène à soulever les difficultés des projets d'aménagement du territoire au sein du bassin du Tensift, pour améliorer ou résoudre en quelques sortes les problèmes d'eau dans la région.

Première partie

**LES GRANDS MILIEUX DU BASSIN-VERSANTS ET L'ORGANISATION DU
RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'OUED TENSIFT**

Carte n° 1 CARTE DE SITUATION DU BASSIN-VERSANT DE L'OUED TENSIFT



Introduction

Le bassin-versant du Tensift, qui s'écoule d'est en ouest pour rejoindre l'Océan Atlantique, après un cours d'environ 200 km constitue l'élément central autour duquel s'organise la région étudiée (Cf carte n°1). On considère que cette région s'étend d'est en ouest, depuis la naissance de l'oued Tensift près de Tamelelt, à Ras el Aïn (31°47' latitude N; 7°37' longitude), jusqu'à son entrée dans les gorges du jebel Aleb (31°44' lat.N; 8°44' long.).

Il est limité au nord par les Djebilettes, à l'ouest par l'Océan Atlantique. Vers l'est par le bassin de l'Oum er-rbiaâ et au sud par les bassins de Ourzazate et de Sous.

Ce bassin-versant au sens large est constitué de quatre grandes unités: les montagnes du Haut-Atlas, les Djebilettes, la plaine du Haouz et la zone occidentale des collines et des plateaux. Ces unités de milieu seront traités dans le paragraphe suivant.

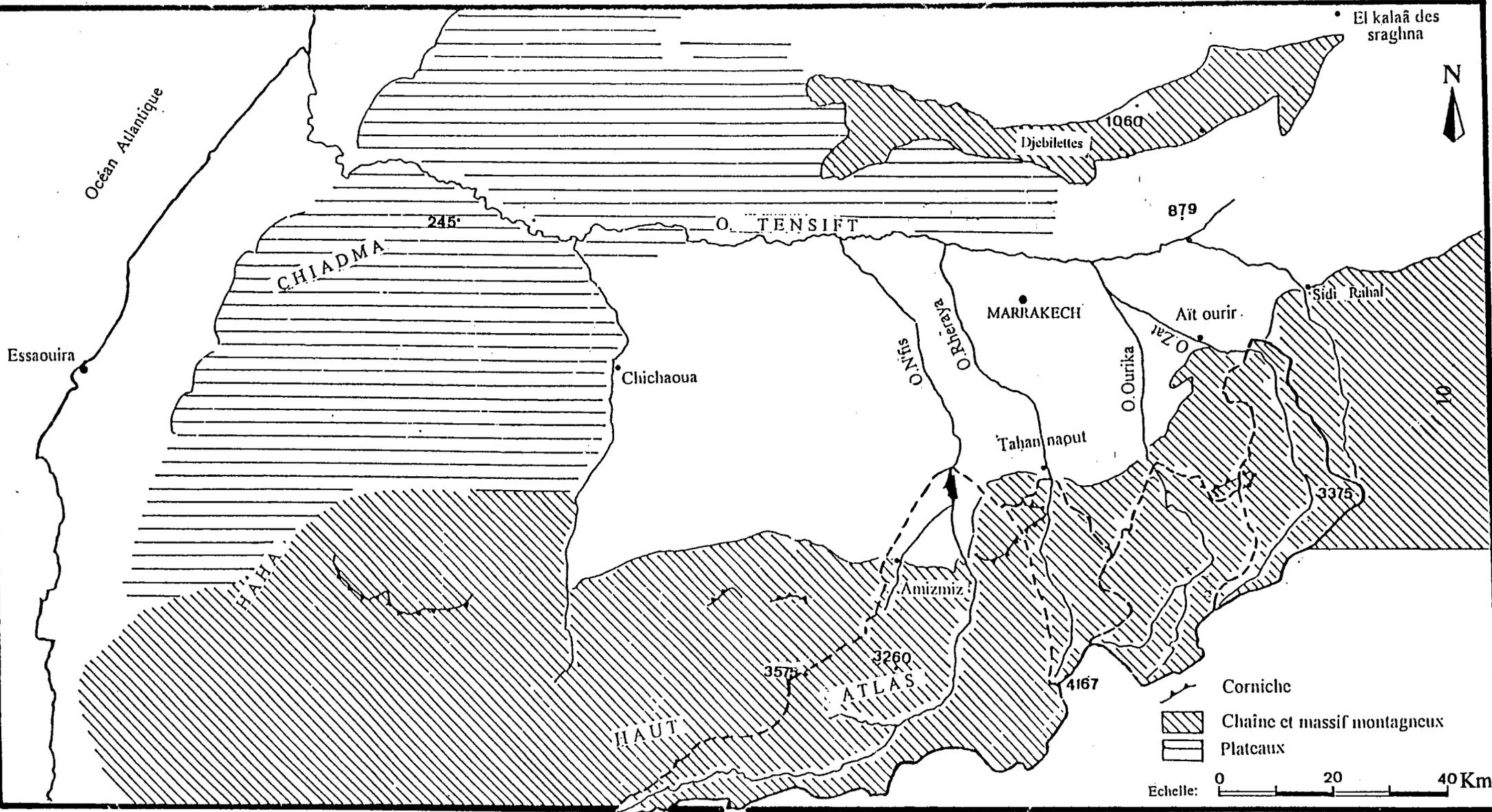
Les limites du bassin du Tensift sont plus nettes au sud suivant la ligne des crêtes, mais vers l'est la confusion de limites avec le bassin de l'Oum-er-rbiaâ, due à la divergence et la divagation des cours d'eau naturels et artificiels, rend difficile l'établissement de limites claires et nettes entre les bassins. C'est la raison pour laquelle les superficies calculées diffèrent d'un chercheur à l'autre suivant les limites adoptées. Cette région étudiée est composée de différentes formes de reliefs (Cf carte n°2).

A/ LES MONTAGNES DU HAUT-ATLAS OCCIDENTAL ET CENTRAL

I) RELIEF ET STRUCTURE

Les montagnes du Haut-Atlas, correspondent à la zone d'exaspération maximum d'un pli de fond orienté est-ouest. Le socle hercynien a été soulevé à des altitudes qu'on ne trouve pas dans le reste de l'Afrique du Nord (Toubkal 4167 m).

Cette partie de la chaîne est limitée à l'est par les terrains formés de marnes, argiles et grès rouge du Trias. Ils ont donné naissance à un couloir relativement déprimé (couloir de l'Ourika).



Legend and Scale:

- Corniche
- Chaîne et massif montagneux
- Plateaux

Echelle: 0 20 40 Km

La vallée de l'oued R'dat affluent de l'oued Tensift à l'extrême est du bassin y prend place, ainsi que le col de Tichka (Tizi-n'-Tichka). A l'ouest, le Haut-Atlas paléozoïque appelé Grand-Atlas de Marrakech, se termine aussi sur une zone disséquée dans le Trias et jalonne un passage nord-sud par le col de Maâchou et l'assif n'aït Moussa.

La vallée de l'oued N'fis (ou pays de Goundafa) se présente dans la montagne comme un véritable fossé du Permo-Trias. Dans cette zone le socle est très épais, il ne disparaît que localement sous une couverture sédimentaire peu plissée avant de se souder à l'Anti-Atlas. Vers le Haouz de Marrakech, le Haut-Atlas dresse une muraille majestueuse que les oueds Rheraya et Ourika ont fortement entaillé donnant des paysages naturels très variés.

Ces derniers ont donné au Grand-Atlas de Marrakech son aspect pittoresque et forment l'un des traits de son originalité. On y distingue deux domaines particulièrement imposants:

1°) La Haute montagne

Elle se situe au dessus de 2500 m, formant ainsi un désert pierreux de gélivation, qui couvre les pentes d'une manière plus ou moins continue. Les colluvions sont généralement étalées et plus épaisses dans les schistes et les grès que dans les rhyolites ou diorites.

Au quaternaire les têtes de vallées et les lignes de crêtes ont été excavées en cirque glaciaire aux formes demeurées suffisamment fraîches pour que certains lacs s'y logent. Suite aux crises climatiques rigoureuses récentes (sécheresse), les tracés de glaciation ont été effacés.

2°) Montagne moyenne (Piemont)

En se dirigeant vers le nord, un relief de piémont se voit clairement, on peut les appeler moyennes montagnes. Ce piémont relie la plaine du Haouz avec la région de Haute montagne. Il est connu sous le terme "Dir" qui est une appellation régionale. Il a la particularité d'offrir un peu partout au Maroc un certain nombre d'avantages qui en font un espace bien différencié.

Cette zone est constituée en général par des matériaux moins durs tels les marnes, calcaires et conglomérats du Villafranchien.

II) CLIMAT ET COUVERT VEGETAL

La région montagnarde du Haut-Atlas a un climat qui change selon l'importance des précipitations. Elle reçoit une quantité de pluie importante environ 800 mm annuelles et qui s'accroît avec l'altitude pour atteindre et même dépasser les 1000 mm annuelles.

Dans le reste de la région, la pluviosité décroît à 500 mm où à 300 mm annuellement sur la côte. L'enneigement, en période hivernale, devient important dès la bordure de la chaîne atlasique où il augmente avec l'altitude. Il neige de décembre à avril inclus, au dessus de 1500 m.

Cependant des réchauffements rapides peuvent se produire, entraînant la fonte des neiges et ce n'est qu'au dessus de 2500 m que l'enneigement persiste pour longtemps. Les températures dans ce massif montagnard sont faibles par rapport à la température de la plaine. Elles diminuent avec l'altitude. La montagne abaisse les températures en hiver alors qu'en été elle accroît ainsi les amplitudes thermiques.

Ces paramètres climatologiques ont pour résultat l'existence d'un couvert végétal naturel varié, peu dense, protégeant mal ces montagnes de l'érosion. On y trouve des chênes verts, qui sont les plus répandus. Ils occupent l'étage altitudinal le plus développé en espèces végétales, entre 1500 m et 2200 m. Sur les basses pentes, ils se mêlent à des peuplements de thuyas, tandis que le genévrier thurifère plus ou moins rabougri, règne au niveau supérieur vers les sommets.

III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le climat plus humide des versants nord du Haut-Atlas, ainsi que la nature des roches éruptive et les pentes raides ont favorisé la naissance du réseau hydrographique, c'est le système des oueds atlasiques tels le N'Fis, Rheraya, Ourika, Zat, Aït ameur et Aït moussa. Cette zone montagnarde est drainée par plusieurs chenaux et des petits ruisseaux intermittents, qui se réactivent pendant la période pluvieuse, ou lors de la fonte des neiges en période printanière

Ces ruisseaux se jettent dans les oueds atlasiques, qui descendent vers la plaine du Haouz pour rejoindre le grand collecteur qu' est le Tensift. Les ruisseaux restent une grande partie de l'année très actifs, contrairement à ceux de la plaine qui le sont momentanément.

B) LA ZONE OCCIDENTALE DES COLLINES ET PLATEAUX (VERS L'OCEAN ATLANTIQUE)

Cette zone se localise à l'ouest et donne sur l'Océan Atlantique.

I) RELIEF ET STRUCTURE

Vers l'extrême ouest, le ruban triasique de l'oued Aït Moussa et la côte atlasique de pli de fond atlasique, s'est levé et a perdu sa vigueur, et la couverture mésozoïque affleure seule ici diversement gauchie et plissée.

Dans la partie septentrionale, que drainent le bassin versant de l'oued Ksob et les drains du haut oued d'Aït Aneur, des accidents d'orientation hercynienne SO-NE compliquent localement un relief de cuesta et de crêts conditionnés par l'alternance des couches marneuses et calcaires dans le Jurassique et le Crétacé.

La plupart des escarpements sont cependant tournés au sud-est en fonction du pendage. Le réseau hydrographique découpe dans cette région, des hauteurs monoclinales ou des fragments de plateau d'altitude inférieure à 1600 m.

A l'ouest les assises mésozoïques disparaissent sous une couverture du Villafranchien et du Quaternaire ancien qui donne un modelé de collines et de vallons et se termine sur l'Océan Atlantique par un étagement de niveau littoraux.

II) CLIMAT ET COUVERT VEGETAL

Au niveau du climat, cette portion occidentale qui limite le Haouz de ce côté, est influencée plus que les autres secteurs précédents par les eaux maritimes froides estivales de l'Océan Atlantique. Elle donne une pluviosité fort médiocre qui varie entre 250 mm et 280 mm par an. Mais elle est heureusement compensée par des précipitations occultes, tels les brouillards et les rosées.

Par ailleurs, les maintiens en saison chaude d'un régime de haute pression sur l'océan voisin évite la pénétration soudaine du Chergui: vent tropical sec, déséchant dans cette région.

Dans ce milieu subtropical, d'une douceur et d'une régularité thermique exceptionnelles, le couvert végétal est formé essentiellement par des forêts de Thuyas et les parcs d'arganier.

III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La région occidentale voisine de l'Océan Atlantique est faiblement drainée. Le réseau hydrographique est moins important. En effet, toutes les rivières sortant de la zone montagnarde deviennent temporaires, sauf l'oued Chichaoua qui fini par rejoindre le Tensift et l'oued Ksob qui se jettent dans l'Océan Atlantique.

C) LA PLAINE DU HAOUZ

Elle a la forme d'un glacis à pente faible. La continentalité s'y annonce par quelques traits significatifs.

I) RELIEF ET STRUCTURE

La plaine du Haouz correspond à une gouttière synclinale qui s'est surtout individualisée lors des paroxysmes orogéniques éogène et néogène de l'Atlas.

Une sédimentation d'origine continentale y prend place avec une alternance de dépôts de conglomérats, de grès et de marnes, pour se terminer par une phase lacustre au Plio-Villafranchien. L'histoire géomorphologique du Quaternaire coïncide avec la mise en place définitive et l'évolution du réseau hydrographique.

Les oueds atlasiques à la sortie de la montagne voisine, ont eu tendance à s'étaler sur des épandages de limons et de galets et ils se sont raccordés avec plus ou moins de difficultés aux artères principales vu la faiblesse des écoulements et le manque de pente très forte.

Le Tensift pour le Haouz, présente un oued dont le thalweg a incisé le matériau détritique accumulé dans les cuvettes. La plaine du Haouz offre une diversité locale dans la structure et les aspects de relief. Elle se caractérise par une pente régulière en générale. Mais des bombements locaux interrompent à la fois l'allure des glacis et les cônes de déjection de piedmont à l'ouest et au centre de la plaine.

Ces bombements sont des éléments du socle hercynien, qui se localisent notamment près de Chichaoua et aux abords de Marrakech (rocher de Gueliz).

A l'est, la tendance synclinale est plus affirmée et se manifeste par la plongée rapide des alluvions grossières du Quaternaire ancien sous le manteau relativement plan des sédiments récents.

II) CLIMAT ET VEGETATION

Située à des altitudes relativement basses, la plaine du Haouz connaît un climat semi-aride, avec une pluviosité modeste entre 200 et 250 mm. L'air polaire qui est à l'origine de la plupart des pluies à tendance à s'affaiblir dans sa course vers le sud.

Ceci explique la faiblesse et l'irrégularité des précipitations. Pendant la période estivale, le front polaire est rejeté à des latitudes plus septentrionales et les seules pluies possibles sont d'origine tropicale à caractère orageux. Mais elles demeurent faibles. La pluviosité annuelle moyenne est de 250 mm environ à la station de Marrakech.

Mais les précipitations se répartissent de façon très inégale. Elles augmentent vers le sud à l'approche de la montagne et de l'ouest vers l'est, elles montrent également une grande irrégularité d'une année à l'autre.

Les températures sont très importantes, leur moyenne annuelle est de 19,4°C environ à Marrakech-aéro. Les amplitudes thermiques sont importantes avec un contraste saisonnier qui atteint son minimum (4°C) en février et son maximum en juillet (39°C). Les amplitudes thermiques traduisent le caractère continental du climat dans le Haouz.

Pour la végétation, on peut dire qu'elle correspond à une maigre steppe essentiellement herbacée et on peut mentionner aussi l'abondance du Doum et des palmiers qui donnent un aspect particulier dans toute la plaine, surtout dans les environs de la ville de Marrakech. En outre les terres agricoles restent pendant une grande partie de l'année toutes nues et exposées à toutes sortes d'érosions.

III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La plaine du Haouz est drainée par la rivière du Tensift, qui prend sa source à Ras el Aïn dans la partie orientale. Elle reçoit en hiver l'apport des oueds atlasiques (N'fis, Rheraya, Ourika, Zat...).

Le tracé du réseau hydrographique dans la plaine du Haouz est confu par manque de pentes, comportant de nombreux affluents, bras et intercommunications servant comme artères importantes pour mieux transiter l'apport en eau des oueds atlasiques vers le Tensift.

La partie septentrionale, sur la rive droite du Tensift, et la bordure sud de la plaine du Haouz sont pauvres en oueds.

On signale aussi l'existence d'un réseau artificiel très dense de Séguias et de Khettarats (des canaux d'irrigation), qui jouent un rôle capital dans le régime des eaux en plaine.

D) LES DJEBILETTES

I) RELIEF ET STRUCTURE

Au nord sur la rive droite du Tensift, une ossature rocheuse prend place pour limiter le bassin-versant du Tensift de ce côté. C'est la petite chaîne des Djebilettes "Montagnettes". En effet, elle est large de 10 à 18 Km et longue d'un trentaine de Km. Elle apparaît comme une muraille, et c'est ici que le contrecoup des mouvements pyrénéo-alpins de l'Atlas se marque non seulement par l'orientation générale des accidents ou déformations, qui recoupent les directions hercyniennes, mais aussi par l'ampleur des dénivellations d'un compartiment à l'autre.

Mais l'érosion a pu travailler d'une manière différentielle dans des assises primaires de dureté inégale, truffées de venues éruptives et disposées en bandes affleurantes de direction NNE-SSO. Ainsi ont été évidés à travers la chaîne, des couloirs localement spacieux qui facilitent le passage vers le Haouz. La désagrégation mécanique semble l'avoir toujours emporté sur les parois abruptes des barres de quartzites ou sur des pyramides des microgranites et des diorites.

II) CLIMAT ET COUVERT VEGETAL

Bien qu'ils soient modestes, les reliefs des Djebilettes ont une influence favorable sur les précipitations. La pluviométrie peut dépasser 300 mm dans la partie nord des Djebilettes orientales, où l'altitude est la plus élevée; elle est plus faible ailleurs et diminue vers l'ouest. Malgré quelques nuances climatiques très localisées, en particulier sur les versants ouverts aux perturbations d'ouest et du nord ouest, on peut admettre que les pluies qui tombent dans la bordure méridionale des Djebilettes ont une même importance que celles qui arrosent le Haouz en rive gauche de l'oued Tensift.

Pour les températures on constate qu'elles ont les mêmes caractéristiques que celles du Haouz: elles ont une variabilité très importante à travers toute l'année, atteignant leur maximum en juillet et leur minimum en février, sauf des petites variations locales qui doivent exister en fonction du relief. Quant au couvert végétal, il apparaît comme précaire dans ce milieu. Il est presque faux de parler de végétation importante à l'exception d'une maigre steppe comme dans la plaine du Haouz.

III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Dans cette région, à part quelques petits ruisseaux temporaires, on ne peut pas parler d'oueds. Ceci s'explique par l'aridité du climat de cette région où la continentalité joue un rôle très important. En effet, les précipitations sont très faibles ou rares surtout dans la partie ouest.

CONCLUSION

Le versant nord du Haut-Atlas central, présente la partie la plus importante du point de vue hydrologique. Il forme un des réservoirs naturels des eaux au Maroc. Il contient des ressources en eau, représentées par les oueds atlasiques formant les artères essentielles pour alimenter oued Tensift qui se jette dans l'Océan Atlantique entre Safi et Essaouira.

Les oueds atlasiques qui débouchent dans le bassin-versant du Tensift en sa partie étudiée, appartiennent à un grand système hydrographique, composé par les oueds N'fis, Rheraya, Ourika et Zat.

Les oueds atlasiques dominent toute la partie occidentale et centrale du bassin-versant du Tensift, chacun d'entre eux forme un "bassin hydrologique" plus ou moins indépendant. Les lits de ces oueds dans la partie aval ne sont pas encore stabilisés. C'est pour cette raison qu'on va établir notre étude sur ces oueds afin de définir leur comportement hydrologique dans leur milieu naturel.

Deuxième partie

LES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES ATLASIQUES DE L'OUED TENSIFT

Introduction

Le régime hydrologique des bassins-versants atlasiques, ne peut être totalement perçu sans établir une étude préalable des conditions physico-géographiques de l'écoulement dont l'interaction complexe détermine l'intensité et la variabilité des phénomènes hydrologiques dans le temps et dans l'espace. De ce fait, on va montrer dans cette partie les caractéristiques et l'importance relative de chacun des facteurs de l'écoulement présentés comme suite:

-L'étude du contexte morpho-structural des bassins et des caractéristiques du réseau hydrographique permettra de situer le cadre de réception des eaux précipitées et l'organisation du drainage.

-Les caractéristiques géologiques des bassins, seront abordées afin de déterminer les possibilités de l'écoulement souterrain en fonction du degré de perméabilité des roches.

-La végétation, qui est déterminée en grande partie par les facteurs climatiques, sera également prise en compte car elle agit sur le ruissellement et l'infiltration des eaux, sa plus ou moins faible protection du sol conditionnant l'érosion hydrique.

-Les caractéristiques morphométriques des bassins-versants qui interviennent avec les autres facteurs physiques pour conditionner l'écoulement.

-Et les facteurs climatiques, phénomènes aléatoires les plus déterminants du comportement hydrologique des cours d'eau et de l'alimentation des nappes, seront analysés. Ils interviennent dans le bilan de l'écoulement essentiellement par les précipitations et par les températures.

Premier chapitre

LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE
ATLASIQUE DE L'OUED TENSIFT

Le bassin-versant du Tensift, dans sa partie étudiée (Cf carte n°1) s'étale sur une superficie de 3115 Km². Il se caractérise par un milieu naturel contrasté au niveau structure et relief.

A/ LES PAYSAGES

I) LE RELIEF

La topographie du bassin du Tensift est caractérisée au point de vue altimétrique par l'existence de deux pentes: une pente transversale sensiblement sud-nord entre le massif montagneux de l'Atlas et les Djebilettes, et une pente longitudinale d'est en ouest.

La pente transversale est importante vers le massif axial où elle peut dépasser 15%. Elle s'atténue à mesure que l'on s'en éloigne vers l'ouest. Mais elle reste relativement importante et supérieure à 5%. La pente longitudinale est moins accusée mais elle reste néanmoins de 2,5% en moyenne.

La région du Tensift, présente généralement un aspect topographique assez irrégulier et contrasté. La zone des avant monts, correspond à la zone des hauts plateaux permo-triasiques. Ces plateaux se relèvent à leur tour en gradins jusqu'à la zone de la chaîne axiale. Ils forment de gigantesques surfaces subhorizontales dont la rutilance des argiles permo-triasiques contraste étonnamment avec les couleurs moins vives des autres zones bordières.

Suspendus au dessus de la zone subatlasique qu'ils dominent par d'impressionnantes falaises, ces plateaux sont tranchés par des oueds, comme c'est le cas des oueds Ourika et Zat en de profondes vallées dont la dénivellation atteint et parfois dépasse 1000 m et dont les versants sont des véritables parois rocheuses.

Les hauts plateaux Permo-Triasiques, constituent au total un important palier topographique en arrière de la zone subatlasique, qu'ils dominent le plus souvent par d'impressionnantes falaises, et en avant des premiers alignements de crêtes.

Au-delà du piémont et jusqu'à plus de 4000 m, se tient la deuxième catégorie topographique, qui forme le relief du versant septentrional de cette partie du Haut-Atlas. C'est la haute chaîne axiale. Elle est caractérisée partout par une altitude presque partout supérieure à 3000 m. On y distingue deux secteurs:

*-La partie occidentale à l'ouest de la vallée de l'oued N'fis, qui constitue une large dépression, entourée de lourds sommets compris

entre 3000 et 3615 m. Crêtes et sommets principaux sont formés de calcaires cambriens et dominent les massifs de granites post-hercyniens comme le Tichka.

*-La partie orientale, à l'est du N'fis, comprend les plus hauts sommets comme le Toubkal (4167 m), formant un toit en forme de crête aiguë, raide et accentuée, qui par son altitude domine toutes les autres parties de l'Atlas, et à partir duquel la vue s'étend partout à l'infini. Cette partie orientale de la chaîne représente une barrière difficilement franchissable car les cols sont toujours au dessus de 3000 m et les voies naturelles de passages se situent de part et d'autre, là où les cols s'abaissent à 2300 m (Tizi n'Test à l'ouest et Tizi n' Tichka à l'est).

Elle se distingue par un certain nombre de traits qui en font une zone, encore une fois, relativement à part: son altitude est beaucoup plus élevée, le tracé de ses crêtes est beaucoup plus sinueux.

Elle est relativement mieux connue que la partie occidentale, ses massifs étant plus fréquentés que ceux de cette dernière. La zone axiale commence ici immédiatement après le N'fis. Les sommets à l'est du N'fis en forme des crêtes aux versants très abrupts d'abord réguliers, larges et ronds, passent ensuite à des plateaux dans certains endroits qui dominent les vallées par de puissantes falaises verticales, comme c'est le cas du Toubkal qui se termine à son sommet par un plateau et atteint à sa base au sud le lac d'Ifni 2295 m. Il se prolonge vers l'est et le nord est par les hauts bassins de l' Ourika et du Haut Zat.

Il s'agit presque partout de sommets massifs, plus ou moins réguliers, le plus souvent subhorizontaux et qui se détachent à peine au-dessus de cols eux aussi élevés. Bien que fortement compartimenté, le massif central du Haut-Atlas, est cependant plus pénétrable par rapport à d'autres chaînes telles que le Rif et surtout le Rif central.

II) LA STRUCTURE

La structure géologique des bassins-versants atlasiques conditionne l'implantation du réseau hydrographique et le développement du relief. Elle contribue également, par le biais de la nature des roches affleurantes, et principalement leur perméabilité à définir les types d'écoulement des eaux souterraines et de surface.

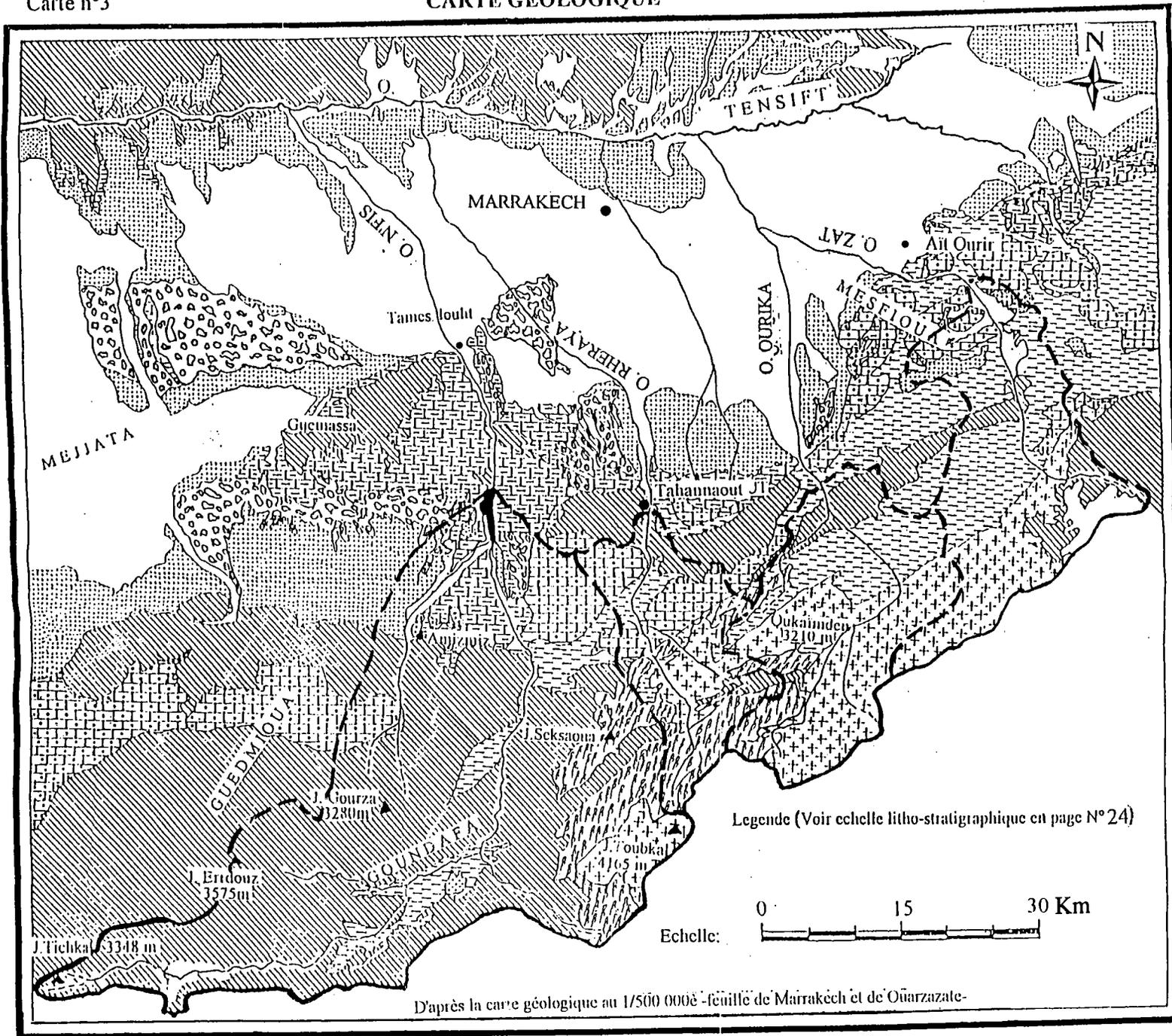


Tableau N° 1

ECHELLE LITHO- STRATIGRAPHIQUE

	Etages	Faciés	Puissance	Légende
ERE QUATERNAIRE	Quaternaire récent	Sédiments.	50 m	
	Quaternaire	Calcaires et dépôts encroutés	Quelques mètres	
	Villafranchien	Conglomérats avec des marnes		100 m
ERE TERTIAIRE	Mio-Pliocène	Calcaires marneux	600 m	
ERE SECONDAIRE	Du Lias à l'éocène	Calcaires avec des marnes et grès	1350 m	
	Permo-Trias	Grès et argiles rouges avec coulées de laves doléritiques	1200 m	
ERE PRIMAIRE	Primaire	Granites et granodiorites	6000-8000 m	
	Primaire	Schistes avec des quartzites, des grès et des calcaires		
	Précambrien	Granites et granodiorites	/	
	Précambrien	Laves andésites, rhyolites		

D'après la carte géologique au 1/500 000 è (feuilles de Marrakech et de Ouarzazate).

1°) Le substratum

a) Géologie

Pour l'étude géologique, on ne dispose que d'une carte géologique générale du Maroc (au 1/500.000è). Elle est essentiellement stratigraphique et ne renseigne qu'imparfaitement sur l'aspect lithologique, le plus important pour une étude hydrologique. Nous disposons également de l'étude de J.Dresch (1941), mais qui s'attache surtout à l'histoire géologique du massif et de la plaine du Haouz et à leur évolution morphologique. On y ajoutera quelques rapports et études modestes des services hydrauliques. Toutes ces contraintes rendent cette étude peu détaillée.

Le tableau n°1 et la carte n°3, nous montrent les classements stratigraphiques des faciès géologiques dès l'ère Primaire jusqu'au Quaternaire récent:

-Le Précambrien et le primaire

Ils sont composés des roches métamorphiques, éruptives et sédimentaires constituant le socle hercynien.

Pour les granites et les roches métamorphiques, nous pouvons dire que la partie orientale du massif ancien du Haut-Atlas, englobe une zone axiale formée essentiellement de granite (secteurs du haut-Ourika et du haut-Zat). Ils sont mélangés avec des gneiss et micaschistes, des quartzites et des schistes métamorphiques.

A l'ouest du N'fis, ces granites sont d'une épaisseur variable, parfois minuscule et en d'autres endroits ils sont très importants, comme au Tichka. Ils sont d'une composition différente (microgranite, diorites).

Les laves sont en principe de l'andésite et de la rhyolite. Dans la partie est, elles forment des massifs très importants comme ceux de l'Ourika et du Zat. A l'ouest du N'fis, elles forment des bancs au milieu ou à la base des formations sédimentaires du Paléozoïque. Elles constituent des zones résistantes qui soutiennent les plus hautes crêtes.

Les séries de calcaires, sont d'une épaisseur très variable, de 60 m, pour les calcaires qui appartiennent à l'Adoudounien et 800 m pour les calcaires géorgiens. Elles constituent à l'ouest du N'fis tous les hauts massifs d'où divergent les grandes vallées.

Les schistes avec des grès et du quartzite, d'âge Cambrien moyen, Cambro-Ordovicien, Silurien, Devonien et Carbonifère, sont très épais. Ils sont souvent plus tendres, d'une couleur grisâtre, et affleurent dans des bassins déprimés au pied du Haut massif Atlasique.

-Le Permo-Trias:

Cet étage est formé de conglomérats, des grès, des marnes ou argiles. Il contient parfois du gypse ou du sel gemme. Ces formations sont toutes d'une couleur rouge. Elles sont d'une puissance importante dépassant 1000 m et s'étendent du Stéphanien à l'infralias.

Les conglomérats se localisent souvent à la base de la série, formant des lentilles discontinues, se caractérisant par des épaisseurs variables.

Les grès se présentent sous forme de bancs variables d'une épaisseur minuscule à une épaisseur importante. Ce sont soit des grès alluviaux, bien stratifiés, soit des grès dunaires qui présentent une stratification entrecroisée.

Les argiles, sont tantôt sous forme de bancs minces interstratifiés dans les grès, tantôt sous forme de bancs épais et mal stratifiés. Elles sont souvent salines notamment au sommet de la série.

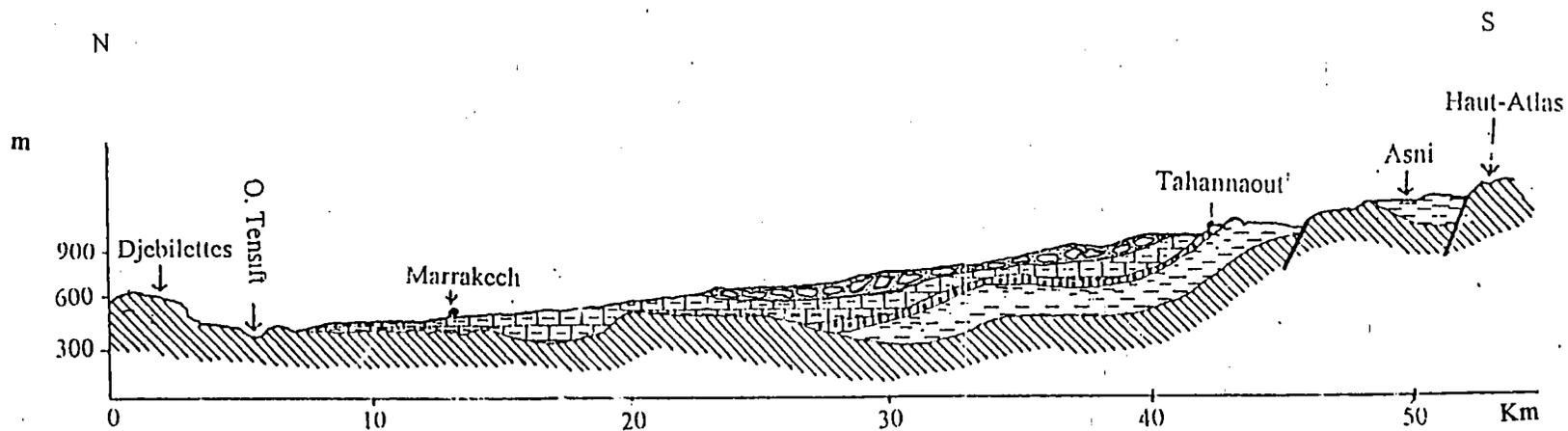
Ces formations permo-triasiques, sont souvent surmontées par des coulées de dolérites reconnaissables à leur teinte grise-verte.

Elles apparaissent largement à l'ouest du N'fis, alors que vers l'est elles s'étendent d'une façon discontinue dans le fossé de l'oued N'fis, en avant des matériaux éruptifs mélangés à des roches schisteuses, précambriennes et ordoviciennes. Elles forment des témoins importants et nombreux dans l'est et le nord du massif ancien du Haut-Atlas.

Elles forment des sommets à la bordure est du bassin. Ces étendues sédimentaires se déposant souvent à la base avec souvent un couvert de coulées de basaltes doléritiques du Trias.

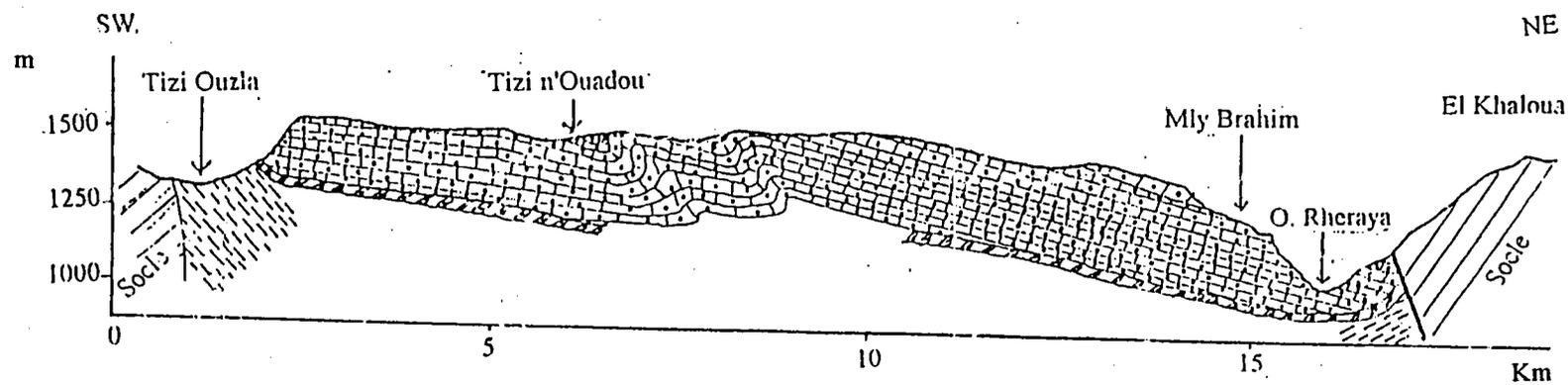
Coupes géologiques des bassins-versants des oueds atlasiques

Fig n°1



D'après R. AMBROGGI et G. TULLI E.

Fig n° 2



D'après la thèse de J. Drèsch (1941)

-Le Jurassique: (voir fig n°1)

Ce système de conglomérats rouges, grès calcaires, marnes et grès rouges (Lias-Dogger), calcaires et marnes du callovo-oxfordien, calcaires dolomitiques du Lusitanien, conglomérat, grès et marnes rouges du Jurassico-Crétacé est nettement visible dans la zone occidentale.

Les séries inférieures disparaissent progressivement vers le nord. Ces formations du Jurassique, affleurent sur les terrains plus récents dans tout le Haut-Atlas occidental. Les dépôts jurassiques, liasiques à la base, recouvrent régulièrement le Permo-Trias sur la bordure orientale du massif ancien du Haut-Atlas. Ce sont des marnes et marno-calcaires coupés de minces bancs calcaires ou gréseux et aussi par des bancs de gypse. Ces matériaux passent plus à l'est à de puissantes séries calcaires et marno-calcaires constituant le Haut-Atlas calcaire.

-Le Crétacé:

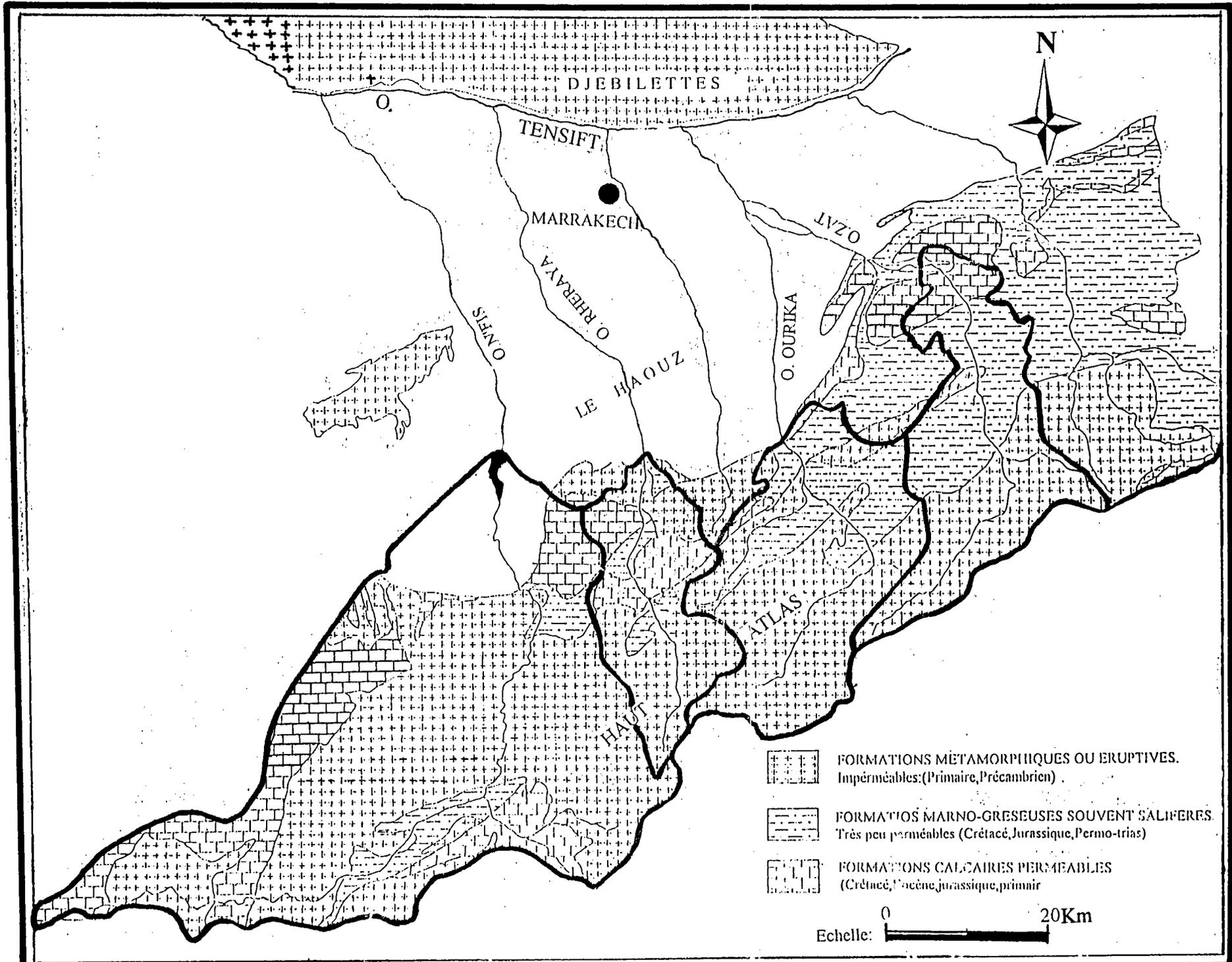
Cette couverture crétacée est limitée par des accidents, en bordure de la chaîne dans les zones subatlasiques nord et sud. Elle s'élargit dans le Haut-Atlas occidental, et elle disparaît absolument dans toute la haute chaîne du massif ancien du Haut-Atlas. *

-L'Eocène: (voir Fig n°2)

Il affleure d'une façon discontinue dans la bordure septentrionale du massif atlasique. Parfois il apparaît sur les plateaux subatlasiques. Il se compose d'une alternance de grès, de calcaires plus ou moins marneux et phosphatés, surmontés par un ou plusieurs bancs de calcaires durs.

-Tertiaire récent:

Cette série est formée essentiellement de divers dépôts continentaux (calcaires marneux) d'une puissance assez forte de l'ordre de 600 m environ. Ces matériaux couvrent différentes zones dans le bassin-versant du Tensift: on les trouve dans le bassin moyen du Rheraya entourés de calcaires, de dépôts encroûtés du Quaternaire ancien. Vers l'ouest, ils occupent une grande surface du bassin moyen du N'fis. Les marnes présentent des caractères salins et gypseux.



-Quaternaire et Villafranchien:

Ils sont composés de matériaux d'origine alluviale: des sables, graviers et galets des oueds, des formations détritiques consolidées de terrasse et les limons de la plaine du Haouz.

Ces formations sont étalées sur de larges surfaces par un écoulement diffus et divagant. Elles forment des épandages alluviaux qui constituent l'ensemble des matériaux superficiels dans presque la totalité de la plaine du Haouz. Dans certaines zones ces matériaux sont affectés par l'encroûtement calcaire connu sous le terme de "Carapace calcaire". Cette dernière est bien représentée au sud du Tensift et s'étend plus largement vers l'ouest.

b) Perméabilité

La perméabilité du substratum contribue largement à la compréhension des circuits hydriques et à l'analyse de l'alimentation différenciée des écoulements dans les oueds. En affleurement, les roches du substratum peuvent favoriser le ruissellement (roches imperméables) ou l'infiltration (roches perméables).

En profondeur, cette perméabilité définit également les possibilités de réserves souterraines qui peuvent alimenter les oueds (sources, drainage de nappes...)

La carte géologique au 1/500.000 è et quelques rapports du service hydraulique, concernant la nature des roches, ainsi que l'existence de la carte pédologique permettent l'élaboration de la carte de perméabilité. Les résultats sont reportés sur le tableau suivant:

Tableau n°2 Tableau de perméabilité des roches

	N'fis	Rheraya	Ourika	Zat
Perméable	178,3 Km2	15,6 Km2	18,1 Km2	46,8 Km2
	10,5 %	4,2 %	3,1 %	9,3
Semi perméable	173,9 Km2	121,3 Km2	149,1 Km2	226,7 Km2
	10,2 %	36,1 %	26 %	45,1 %
Imperméable	1350,6 Km2	197 Km2	406,8 Km2	229,3 Km2
	79,3 %	59,9 %	70,9 %	45,6 %

D'après le tableau précédent et la carte de perméabilité (Cf Carte n°4), on constate que les bassins-versants atlasiques présentent presque une même répartition des différents types de perméabilité. Une majorité de leur surface est située sur des roches imperméables, ce qui favorise l'effet de ruissellement par rapport à l'infiltration.

Les bassins de N'fis et de l'Ourika sont principalement imperméables (79,3% et 70,9%) respectivement parce qu'ils sont totalement inscrits dans la zone granitique ou basaltique en amont du bassin général, alors que les bassins du Rheraya et du Zat présentent un taux d'imperméabilité moindre que les deux premiers bassins; mais il reste important: 60% et 46% respectivement.

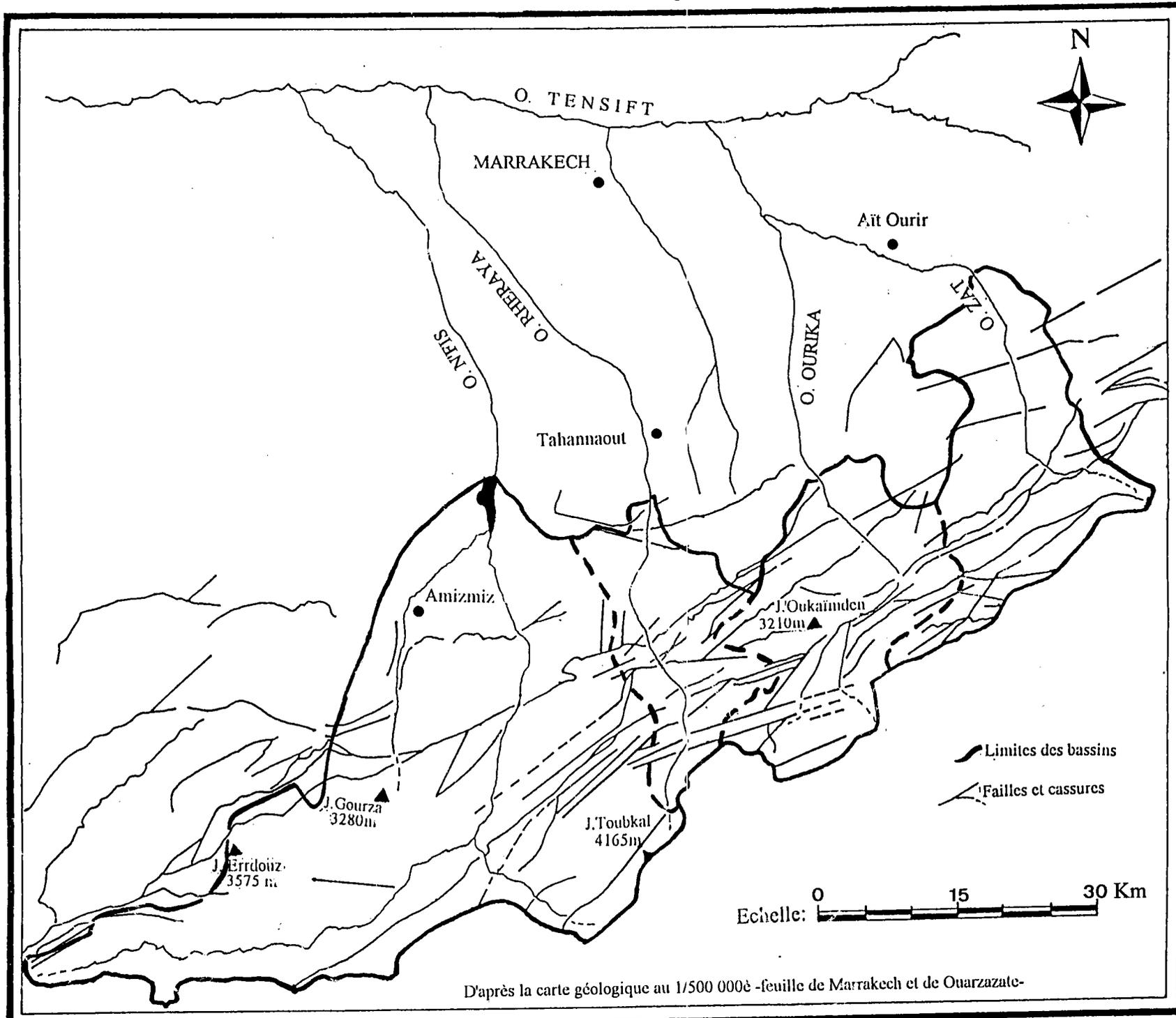
Ces bassins seront donc très favorables au ruissellement, néanmoins une petite infiltration serait possible dans les formations calcaires qui recouvrent partiellement les granites.

Les terrains perméables représentent 10,4% de la superficie du bassin de N'fis. Ils sont presque égaux aux roches semi perméables (10,2%). La perméabilité est de 4,2 au Rheraya et 3,1 à l'Ourika. Aux bassins du Zat et N'fis elle est de 9,3% et 10%. Globalement ces taux sont très faibles.

Un simple examen des chiffres de perméabilité nous montre que les terrains imperméables sont dominants. Ils occupent une superficie importante dans tous les bassins compris dans cette étude.

De ce fait les oueds, durant leur trajet avant qu'ils rejoignent le grand collecteur "Tensift", perdent une grande partie de leurs eaux par évapotranspiration pendant la période chaude, surtout aux mois de juillet et août où les températures atteignent leur maximum.

L'examen de la carte litho-géologique, montre que les formations perméables en grand (roches calcaires d'âge Eocène, Crétacé, Jurassique ou Primaire), sont particulièrement abondantes au nord et au nord-est des bassins, et très peu présentes ailleurs. Par contre les formations imperméables, (formations anciennes, métamorphiques ou éruptives, d'âge Primaire ou Précambrien), sont très développées dans tous les sous bassins du Tensift et particulièrement dans celui du N'fis.



32

D'après la carte géologique au 1/500 000è -feuille de Marrakech et de Ouarzazate-

On peut donc prévoir qu'il y aura un comportement différent dans les bassins-versants puisque la perméabilité est faible, les réserves souterraines seront quasi inexistantes sauf en cas d'infiltration des eaux par fissures ou cassures etc...

Bref, nous pouvons dire que la partie amont de tous les bassins n'est formée que par des roches éruptives et métamorphiques (granites et basaltes). Elles sont imperméables. Cette zone est pauvre en ressources aquifères. Ces caractéristiques du réseau hydrographique déterminent des différences entre les cours d'eau, du sud vers le nord et de l'est vers l'ouest.

2°) La tectonique

Le socle éruptif et sa couverture sédimentaire dans la région du Haut-Atlas central et occidental ont connu deux sortes de mouvements de types orogéniques distincts, qui ont créé des failles ou des cassures (voir carte n°5):

a) La tectonique hercynienne

Elle a résulté des plissements de direction N.N.E-S.S.O. Elle a provoqué dans la région un effondrement de direction N-S, qui limitent les Djebilettes au nord et le Haut-Atlas central au sud.

L'effet des plissements hercyniens est visible dans la boutonnière carbonifère de l'Ourika où les schistes sont assez fortement froissés, créant une voûte anticlinale, qui se suit vers le sud dans la boutonnière de l'Ourika moyen. Les conglomérats de rhyolites dans cette dernière, sont surmontés par des schistes cambriens et carbonifères et s'inclinent vers le sud-est. Cependant le granite apparaît seul sur la rive gauche de l'oued Ourika en sa partie sud.

Le flanc nord de la boutonnière carbonifère de l'Ourika fait affleurer les argiles rouges salifères au dessus des basaltes: région de l'Ourika et rives du Zat.

b) La tectonique atlasique (tertiaire)

Elle a pour conséquence le soulèvement du socle hercynien et de sa couverture. Ce soulèvement massif s'est accompagné de plusieurs accidents violents, ayant une direction O.S.O-E.N.E. En effet, la couverture sédimentaire secondaire a été plus ou moins épargnée par ces plissements du tertiaire. Mais elle a été basculée vers le nord et le sud par la conjugaison des mouvements de pression de la zone axiale.

Le paysage de la région du Haut-Atlas central est donc marqué par des flexures variées (simples, étirées, déversées), des plis-failles ou tout simplement par des failles. Le long des accidents tectoniques, les matériaux ont été violemment perturbés.

Entre le N'fis et le Rheraya, on trouve des fractures qui prolongent encore la flexure subatlasique. Mais elles sont beaucoup plus irrégulières.

Les accidents qui limitent le synclinal du N'fis divergent de nouveau: l'un tourne vers le nord le long de la vallée du N'fis, l'autre continue vers le nord-est et devient difficile à suivre. Une troisième cassure est visible au nord, le long de laquelle sont brusquement relevés les grès et les argiles permo-triasiques dans certains endroits (le bassin de l'Ouirgane: affluent de la rive droite du N'fis). Ces accidents se réunissent et se continuent vers l'est par des failles.

Dans une troisième phase vient se placer un mouvement de type épirogénique, qui a violemment attaqué les parties soulevées en comblant les zones déprimées. Ce qui a provoqué la compensation soit par une subsidence ou par le remplissage des cuvettes de bordure.

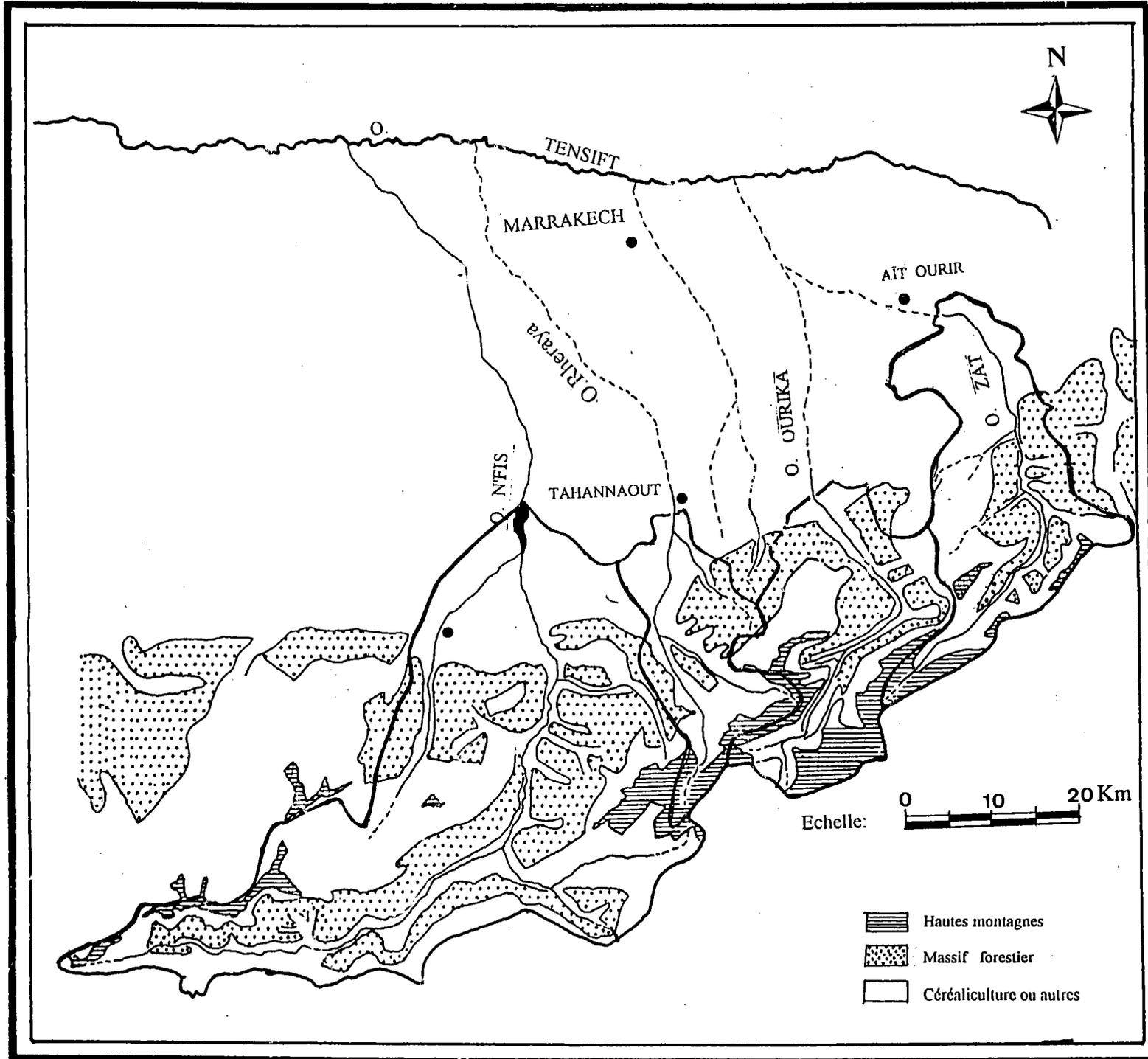
Bref, on peut donc prévoir que tous les bassins-versants atlasiques auront un comportement presque identique. Ils se forment par des roches en majorité imperméables, entraînant un ruissellement important et ne favorisant pas la formation de réservoirs souterrains à couches épaisses.

III LE COUVERT VEGETAL

La végétation intervient pour modifier les écoulements notamment par le phénomène de transpiration durant la période estivale ou par l'infiltration en période hivernale.

1°) Les types de couverts végétaux

Le couvert végétal, est limité presque à la partie sud des bassins, dans le massif montagneux du Haut-Atlas et sur une partie du piémont. Cet aspect est lié automatiquement aux effets du climat, du relief et de la formation lithologique des bassins-versants. Donc, l'humidité et les fortes altitudes, ainsi que d'autres facteurs physiques tels les formations du substratum, font de cette zone montagneuse un domaine de belles forêts formées essentiellement de chênes verts.



Pour l'élaboration de la carte d'occupation du sol on s'est basé sur les cartes existantes (carte topographique au 1/500 000^e et la carte du domaine forestier au 1/250 000^e).

La végétation du Grand-Atlas (voir carte n°6) se subdivise généralement en deux ensembles: le secteur occidental qui s'étend sur le massif primaire et éruptif de la grande chaîne montagneuse et un secteur oriental qui correspond au massif jurassique. Ce dernier est le domaine de plusieurs espèces forestières telles: le chêne vert qui, occupait autrefois une surface beaucoup plus considérable, et en deuxième place le genévrier, le thuya (ou citrus) affectionnant les collines et les formations du Permo-Trias, le pin d'Alep et le cyprès qui n'existent que dans une seule station dans le Grand-Atlas, celle du haut N'fis en Aghbar.

Globalement, la répartition des différents types d'occupation du sol est similaire dans tous les bassins atlasiques. D'une manière générale, les forêts recouvrent les sommets (à partir de 2000 m) et les versants des bassins selon leur exposition aux vents. Les prairies et cultures se localisent dans le fond des vallées.

Le manque de données locales et précises pour chaque bassin, nous a mené à prendre les statistiques globales des types de végétation de toute la région du Grand-Atlas (y compris certaines zones n'appartenant pas à notre étude). Le tableau suivant visualise l'importance de chaque essence forestière:

Tableau n°3 Les principaux types de végétations

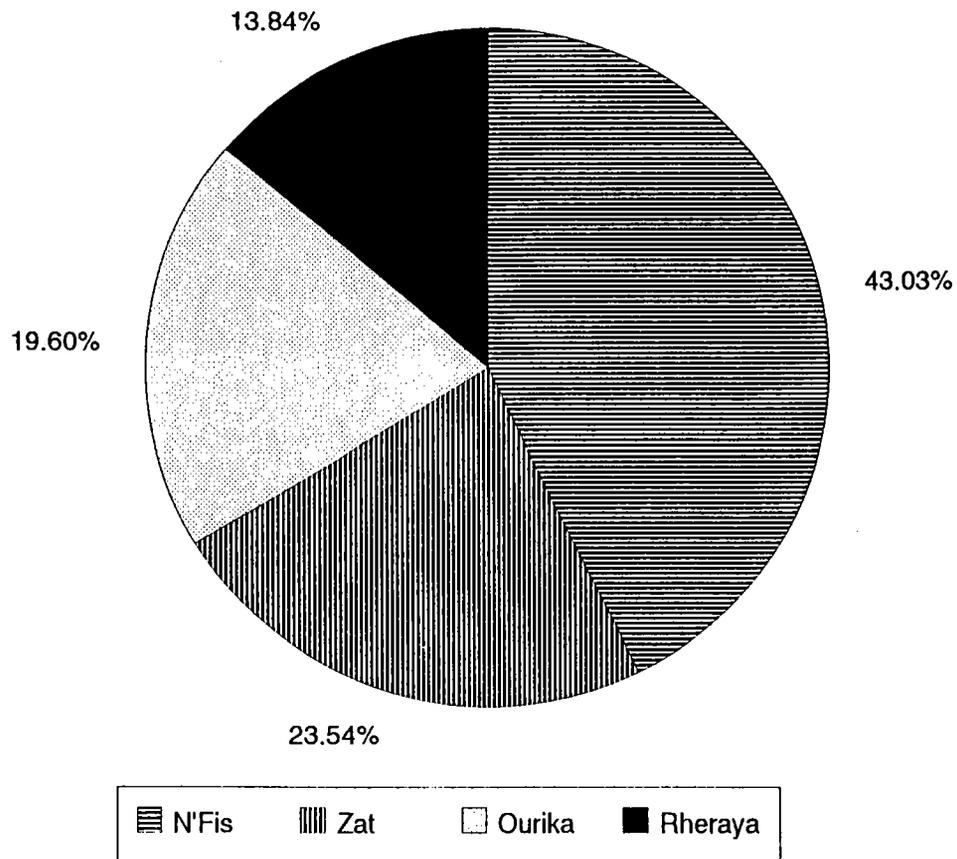
Essences	Superficie (ha)	surface %	Rang
Chêne-vert	165789	55,8	1
Genevrier	34356	11,6	2
Thuya	16358	5,5	3
Pin d'alep	6940	2,3	4
Cyprès	3705	1,2	5
Total	227148	100 %	

Source: service des Eaux et forêts

D'après ce tableau, nous constatons que le Grand-Atlas est caractérisé au point de vue forestier par le chêne-vert qui est le trait phytogéographique le plus original et le plus constant.

Fig^o 3

Répartition de la surface forestière par sous bassin dans la région du Tensift (en %)



Par contre, la surface du couvert forestier est estimée dans tout le massif ancien du Haut-Atlas à 297022 ha (services des eaux et forêts). Les chiffres retirés d'un tableau concernant toute la région de Tensift (voir annexe n°I) montrent les différentes surfaces boisées dans chacun des quatre bassins atlasiques étudiés. Ils sont reportés sur le tableau suivant:

Tableau n°4 L'importance du massif forestier

Massif forestier	Superficie	%	Rang
N'Fis (Goundafa)	85904	43,6	1
Zat (Mesfioua)	45780	23,3	2
Ourika	38235	19,4	3
Rheraya	26898	13,7	4

Source: services des eaux et forêts

le classement de ces massifs (Cf fig n°3) met en évidence l'importance de la vallée du N'fis, qui présente 43,6% de la surface boisée (zone d'étude). Le Zat occupe la deuxième place avec son taux important (23,3%), par contre le bassin de l'Ourika englobe une forêt assez modeste, ne dépassant pas 19,4%, alors que le Rheraya relativement moins arrosé, ne couvre que 13,7% du total de la forêt dans la région.

En plus du couvert forestier naturel, nous pouvons citer aussi l'existence des vergers (pommiers, noyers etc...) et les arganiers les arbres spéciaux des régions sud marocaines. Cet aspect de couvert végétal est lié automatiquement aux effets du climat montagnard favorisant les conditions nécessaires pour son existence.

Signalons aussi certains endroits de broussailles dûs à la destruction de la forêt pour des besoins de chauffage ou autres. Cependant l'intervention du facteur humain a marqué la végétation forestière et elle a abouti par la suite à des conséquences sur l'écoulement.

Un peu vers le nord du bassin, au sein de la plaine du Haouz les conditions pédologiques et climatiques favorisent en quelques sortes l'établissement d'une céréaliculture relativement importante, de type "dry-farming", qui comprend la jachère biennale parmi ses principaux mécanismes. En cas de carence pluviométrique l'irrigation deviendrait une nécessité.

D'une manière générale l'influence du couvert végétal est très importante à partir de 2000 m ou 2500 m d'altitude sur les versants nords du Haut-Atlas. La forêt y a constitué le couvert végétal principal depuis des siècles.

Mais aujourd'hui, devant la pression démographique galopante et une surexploitation des sols qui deviennent de plus en plus stériles et non rentables, le paysan marocain étend ses terres agricoles au détriment de la forêt.

L'acte de défrichement incontrôlé a en partie défiguré ce massif forestier. Les terres nouvelles sont exploitées et orientées vers les mêmes pratiques agricoles qu'autrefois (culture du "Bour" <<culture à sec>> et l'élevage extensif).

La végétation arbustive joue un rôle très déterminant dans la protection des sols contre l'érosion. Or, dans la plaine du Haouz où le couvert végétal est discontinu et saisonnier, l'érosion sous toutes ses formes ne cesse de provoquer des dégâts considérables.

Cette discontinuité de la végétation et l'interaction des autres facteurs physiques (ensoleillement, faibles pluviosités et nature du substratum) interviennent tous pour influencer les débits liquides et solides.

2°) La répartition du couvert végétal et son influence sur l'écoulement.

Pour l'étude de l'occupation du sol des bassins-versants atlasiques, on s'est basé sur les données fournies par le service des "Eaux et forêts". Le tapis végétal selon sa densité et son importance intervient pour protéger ou dégrader le sol.

Parmi les grandes richesses du Grand-Atlas, malgré leur état de dégradation dû aux mauvaises méthodes d'exploitation sont les forêts. En effet, dès la haute antiquité phénicienne et punique, et sans doute bien avant l'histoire, les forêts nord africaines devaient fournir du bois pour les chantiers navals, pour les ateliers, de menuiserie et pour les besoins de l'architecture. Le citrus ou thuya arbre abondant, était recherché par les Romains.

a) Etagement

Parmi les classifications bioclimatiques dans la région du Grand-Atlas, nous citons celle de L.Emberger.

Selon L.Emberger (in Dresch, 1941), la classification bioclimatique du Haut-Atlas a été faite à partir des précipitations et des températures. De la plaine du Haouz au sommet du Toubkal, Emberger distingue les étages suivants:

1) L'étage aride dans la plaine.

2) L'étage semi-aride (900 à 1300 m); c'est l'étage du thuya de Barbarie et du genévrier rouge, on y trouve de nombreuses espèces, telles l'arbousier, l'olivier, le ciste de Montpellier... avec quelques plantes spéciales au Maroc. Au même niveau croissent dans le N'fis le cyprès de l'Atlas et le pin d'Alep.

3) L'étage du chêne vert (de 1300 à 2500 m), qui correspond à la zone climatique la plus humide; il se mélange avec d'autre espèces. Le chêne-vert s'individualise nettement au niveau supérieur.

4) L'étage du genévrier thurifère (de 2500 à 3150 m), cette espèce <<est l'essence de la haute montagne marocaine et principalement des chaînes intérieures du Haut-atlas, qui sont froides et aussi nettement plus sèches que les montagnes périphérique>> L.Emberger in J.Dresch (1941).

5) L'étage de la haute montagne, ne commence qu'à partir de 3000-3500 m. Pour le botaniste elle est dominée par des espèces de végétation croissant en coussinets épineux avec des pelouses dans les parties humides (cuvettes...), que L.Emberger considère comme purement marocaines.

La répartition des étages bioclimatiques d'Emberger repose essentiellement sur les précipitations et les températures. Or, bien que celles-ci croissent ou décroissent avec l'altitude, l'étonnante variété écologique de cette face de l'Atlas doit enseigner sur ce point la prudence.

Les interprétations exactes dans l'ensemble, doivent être nuancées en mettant en évidence les gradients climatiques qui se basent sur l'observation de la dynamique nuageuse et l'enneigement,

car en définitive, malgré tous ces travaux fort détaillés un certain nombre de formations végétales continues ayant souvent une importance physionomique particulière, sont restées inaperçues ou mal étudiées ou mal interprétées.

C'est dire aussi combien la répartition et l'étagement des espèces végétales sont beaucoup plus complexes que ne le laisseraient entendre les travaux antérieurs.

Mais actuellement, dans les conditions sévères du climat régional, la mise en culture et la répartition de l'élevage extensif sur les terrains non cultivables ont contribué à la dégradation de la végétation naturelle, parfois même à sa complète transformation dans le cas des plantations irriguées. Les troupeaux de caprins et ovins, broutant toujours les plus jeunes pousses, exercent une action néfaste vis-à-vis des espèces arbustives, lorsque leurs passages se répètent à intervalles trop rapprochés.

La forêt, reste encore bien représentée dans plusieurs vallées de l'Atlas ou elle est essentiellement composée de chênes verts, genévriers, thuya, pin d'Alep.

b) Discontinuité

Comme l'a signalé R. Frécaut (1972) dans sa thèse, on peut difficilement quantifier l'influence du couvert végétal sur les processus d'écoulement, mais l'on peut tout de même donner des ordres de grandeurs. Le couvert végétal par les phénomènes d'interception et de transpiration des précipitations, influence les processus d'infiltration et de ruissellement.

Le couvert végétal, par l'interception des précipitations et la transpiration, intervient dans les processus du ruissellement et d'infiltration, avec une nuance d'une saison à l'autre et d'une zone à l'autre.

En effet, dans la plaine du Haouz, la pratique de la jachère, en plus des terrains réservés aux cultures qui restent à nu ou quasiment nues durant la saison froide, laisse ces terrains soumis directement aux averses automnales et hivernales à intensité élevée. Ce qui accélère l'effet de l'érosion hydrique, effectuée par le ruissellement diffus lors des orages ponctuels, ou d'épisodes de pluies torrentielles.

Ce phénomène est accéléré par la nature des pentes qui est très variable du sud au nord de la plaine. Ce qui crée une variabilité du phénomène de l'érosion et du drainage des eaux superficielles d'un endroit à un autre.

L'importance de l'infiltration au début de la saison froide est faible. Il résulte un fort ruissellement favorisant le transport d'une grande quantité de matériaux fins, suivant la nature des pentes et la structure granulométrique du substratum.

En été, après les récoltes, les terres sont faiblement couvertes, elles sont exposées au fort ensoleillement. Ce qui favorise une évaporation physique du sol très importante et accroît le déficit d'écoulement par la suite.

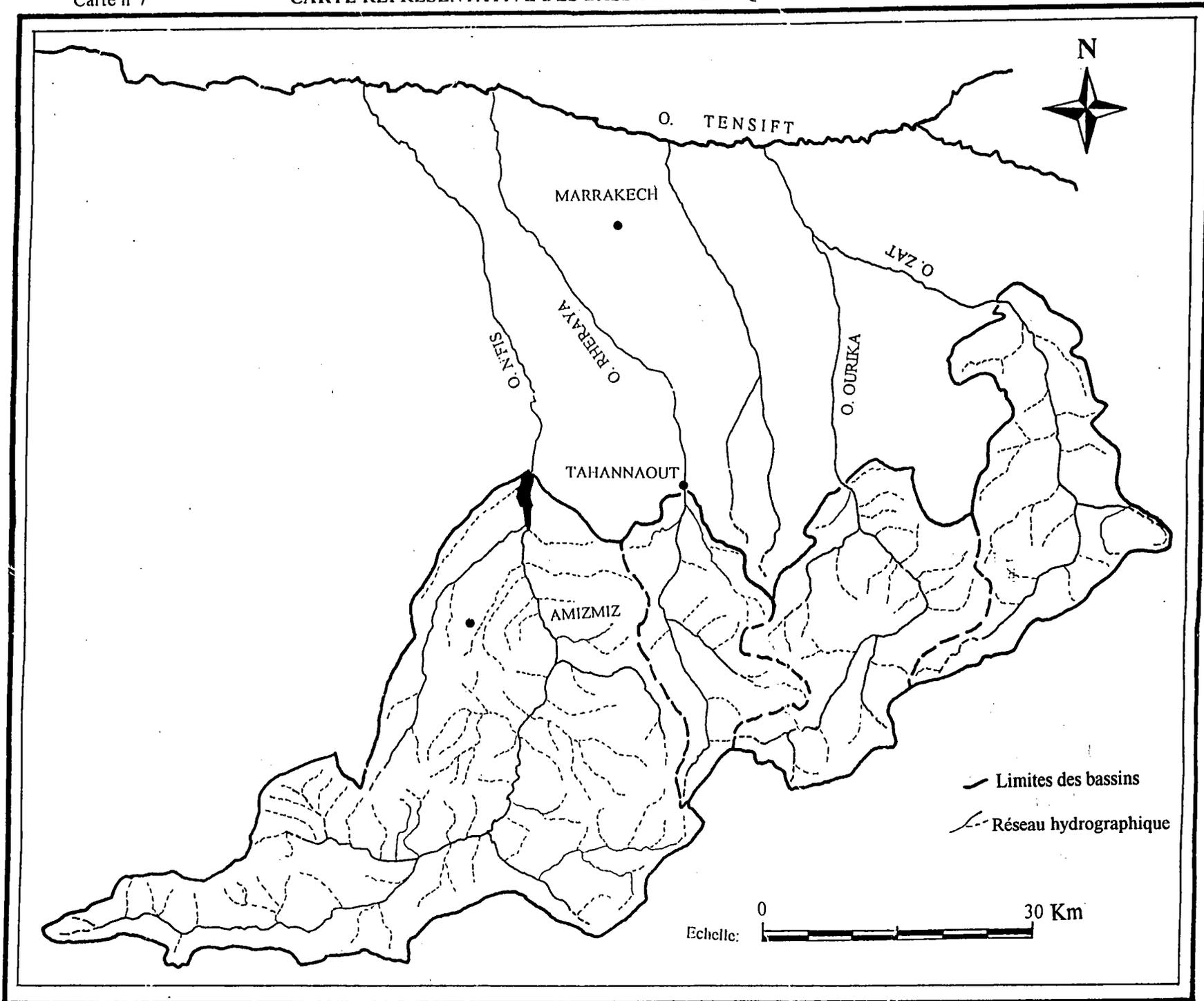
Or, dans la zone montagneuse (massif montagneux du Haut Atlas), le couvert végétal est permanent à partir de 2000 m ou 3000 m, selon l'exposition des versants. Il intervient dans les processus de ruissellement et d'infiltration avec une nuance entre la saison froide et la saison humide: durant l'hiver, l'abondance des pluies et la faiblesse des températures favorisent l'infiltration d'une partie des eaux aux dépens du ruissellement.

Mais cette interception est plus faible au niveau du feuillage car les arbres sont dépouillés: dans ce cas le ruissellement dominera sur l'infiltration.

Pendant la saison dite sèche, les températures élevées et la faiblesse des précipitations, amènent ce couvert végétal à provoquer une évaporation des eaux et à réduire leur impact au sol. Ainsi plus l'interception est importante et plus l'infiltration sera favorisée au profit du ruissellement.

L'évaporation physique du sol et la transpiration des plantes sont favorisées en cette saison. Cependant le déficit d'écoulement s'accroît. Donc, bien que l'infiltration des eaux soit favorable dans la zone à couvert végétal important, nous pouvons dire que la consommation d'eau par les arbres et l'évaporation au sol élevées influencent le bilan hydrologique. L'importance du déficit d'écoulement causé par le couvert végétal dépend de sa densité.

En général, le couvert végétal joue un rôle majeur dans le système d'écoulement du bassin: son absence totale ou sa discontinuité aboutissent à des débits irréguliers. Ce qui provoque les conditions favorables à la genèse de fortes crues surtout dans les terrains à fortes



pentés et où les sols suivant leur formation et leur exposition sont très sensibles aux ruissellements directs.

IV ORGANISATION ET CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES BASSINS-VERSANTS ATLASIQUES

Introduction

Les différents paramètres morphométriques du bassin versant (forme, altitude et pentés...) ont une influence importante d'une manière directe ou indirecte sur le système d'écoulement.

Les caractéristiques morphométriques sont déterminées à l'aide des cartes topographiques à différentes échelles. La délimitation des bassins atlasiques est donc établie à partir des lignes de crêtes qui sont considérées comme des lignes de partage des eaux. Celles-ci sont généralement valables pour les eaux de surface (précipitations et eaux de ruissellement), par contre pour les eaux souterraines ces limites ne correspondent pas toujours aux limites réelles qui sont difficiles à établir (limites hydrogéologiques).

Suite à la complexité physique remarquable du bassin versant, la prudence et la répétition des calculs sont nécessaires lors de l'utilisation des méthodes de mesures, pour que les résultats soient fiables.

En effet, ces règles de calcul ont une validité applicable dans des bassins de petite taille et qui se caractérisent par une homogénéité géologique et orographique.

1° Superficie et forme des unités:

a) La superficie

La partie étudiée dans le bassin-versant du Tensift, après un planimétrage répété plusieurs fois est de 3115 Km² de superficie (voir carte n°7). Elle se compose de quatre sous bassins limités par des stations hydrométriques (N'fis, Rheraya, Ourika, Zat) qui ont des superficies différentes (Cf tableau n°5).

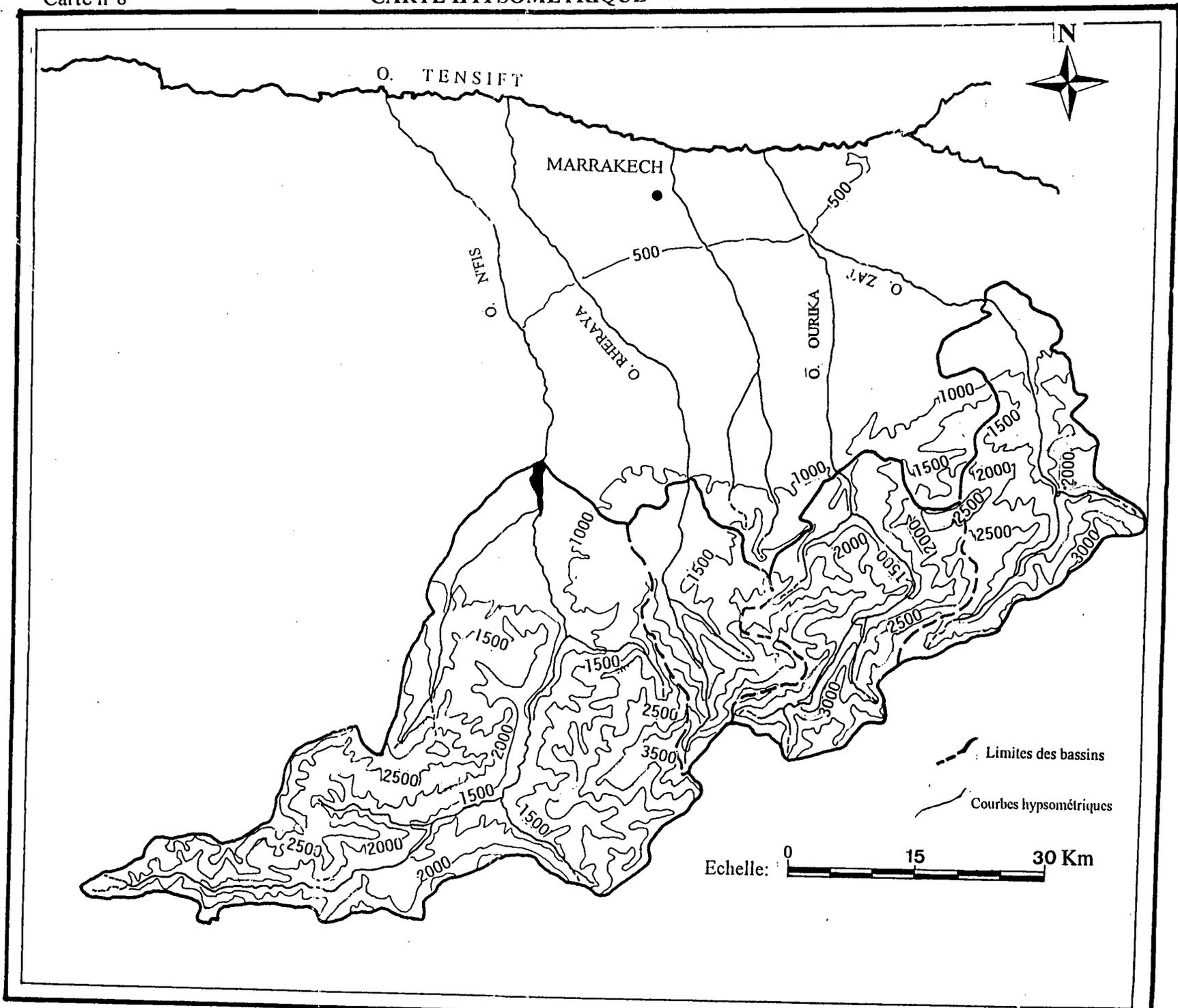


Tableau n°5 Les indices de relief.

BASSINS	Surface (Km ²)	Périmètre en (km)	Alti. Moy. en (m)	Alti Max. en (m)	Alti mini. en (m)	Ind.de Comp en (m)	Ind. de pente globale (%°)
N'Fis	1703	230	1340	4088	650	1,6	40%°
Rheraya	334	101	1240	4167	1000	1,5	77%°
Ourika	575	125	1790	4001	1050	1,5	55%°
Zat	503	145	1300	3300	750	1,8	39%°

b) indices de relief et de forme

Les indices de relief permettent de caractériser à priori la rapidité des écoulements. Si l'on se trouve dans un bassin à pentes faibles, ou relief peu prononcé, les écoulements se feront d'une manière lente contrairement à un bassin aux pentes fortes et au relief vigoureux.

-altitudes:

Les altitudes forment une notion importante au point de vue des ressources hydrologiques du fait du renforcement des précipitations avec l'altitude. Les courbes d'égaux altitudes sont tracées à partir de la carte topographique à l'équidistance de 500 m (voir carte n°8). Elles sont tirées de la carte au 1/500 000 è.

Suivant les courbes de fréquences des altitudes cumulées (Cf fig n°4 à 7), on constate que les différents bassins constituant la zone étudiée se caractérisent par des altitudes variables. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous:

Tableau n°6 Les altitudes des bassins-versants atlasiques

Paramètres Hypsométriques	N'Fis	Rheraya	Ourika	Zat
Altitude à 5 %	158 m	592 m	2910 m	2410 m
Altitude à 50 %	1340 m	1240 m	1790 m	1300 m
Altitude à 95 %	2460 m	2900 m	470 m	136 m
Dénivelé total	3440 m	3170 m	2950 m	2550 m
Dénivelé utile	3270 m	3010 m	2800 m	2420 m

L'altitude moyenne du bassin-versant du Tensift (sans les Djebilettes) est de 1382 m avec une altitude minimale de 650 m et une altitude maximale de 4167 m. Quant à la dénivelée théorique, elle est de l'ordre de 3517 m, en revanche les sous-bassins limités aux stations hydrométriques ont des paramètres hypsométriques variables

L'hypsométrie des bassins atlasiques

Fig n° 4

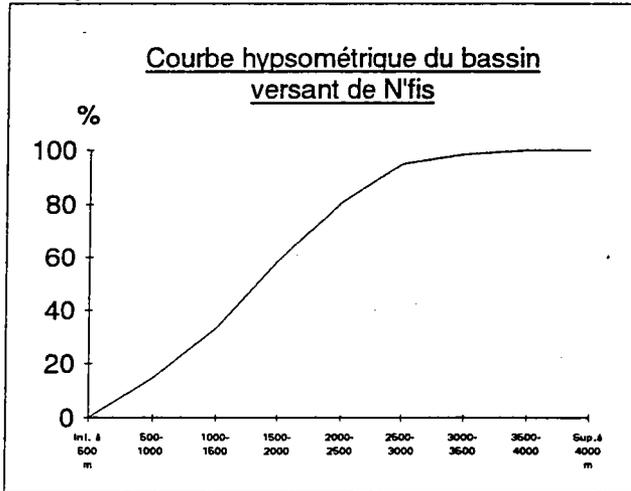


Fig n°5

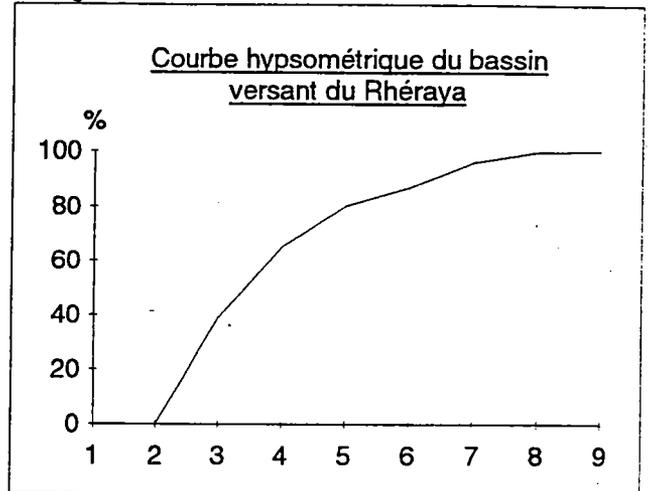


Fig n° 6

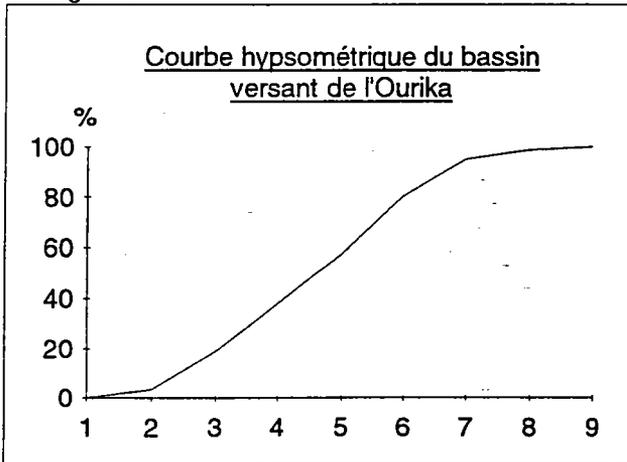
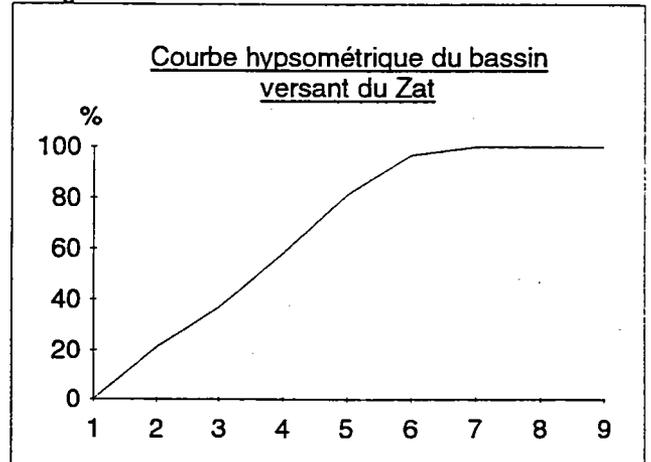


Fig n° 7



d'un bassin à l'autre. Si le bassin -versant de l'Ourika englobe la plus forte moyenne (1790 m), les autres bassins-versants de N'fis, du Zat et du Rheraya ont respectivement des moyennes assez importantes, de l'ordre de 1340 m, 1300 m et 1240 m. Ces altitudes fortes, vont influencer la modalité des écoulements, par la suite.

-pente et relief

L'indice de pente global (Dt/Lre, avec Dt=dénivelée théorique et Lre=longueur maximale à l'exutoire), calculé pour tous les sous bassins atlasiques du grand bassin de Tensift retenus dans l'étude (Voir tableau n°7), montre que la valeur la plus élevée correspond au bassin du Rheraya (Ig=77%), ce qui permet de le mettre parmi les classes de relief très fort. Cet aspect exprime bien l'existence d'importants secteurs montagnards.

Tableau n°7 Les indices de pentes

	N'fis	Rheraya	Ourika	Zat
Lre Rect.Equivalent	94,1	40,8	53,3	64,8
Dénivelé théorique (Dt)	3767	3167	2951	2550
Dénivelé utile (Du)	3578	3009	2803,5	2422,5
Ind.pente global	40 %	77,4 %	55,4 %	39,3 %

les valeurs moyennes sont enregistrées dans le bassin de l'Ourika et le N'fis (55% et 40%) respectivement. Enfin le Zat est le seul bassin qui possède un indice de pente faible (39%) c'est la zone qui présente un relief modéré.

Les quatre bassins sont découpés en deux classes de reliefs comprises entre 900 m et plus de 3500 m: la classe entre 900 m et 2000m qui s'appelle la moyenne montagne et la classe supérieure à 2000 m qui correspond à un relief fort (le massif axial des montagnes du Haut-Atlas). Ces deux classes de relief déterminent un découpage des bassins du sud au nord. Les bassins atlasiques se situent donc dans les classes de reliefs fortes notamment le bassin du Rheraya.

A vrai dire les bassins atlasiques, dans leur partie étudiée, se caractérisent généralement par des classes de relief très fortes, puisqu'on est au sein du massif montagneux du Haut-Atlas, qui englobe le sommet culminant (Toubkal 4167 m).

Globalement, tous les indices utilisés nous ont permis de caractériser des milieux hétérogènes au sein de ces bassins. En effet, les bassins-versants du Zat et de l'Ourika ont des altitudes assez

élevées et reçoivent des précipitations très importantes en raison de leur situation dans la partie orientale qui est bien arrosée. Le ruissellement devrait être favorisé par la structure imperméable des roches et la pente assez forte. Mais ce ruissellement est légèrement perturbé par le couvert forestier, favorisant l'infiltration.

Les bassins du N'fis et du Rheraya avec des altitudes importantes notamment Rheraya (4167 m à Toubkal), sont situés à la partie ouest moins pluvieuse. Les pentes relativement élevées favorisent une concentration des eaux et un ruissellement par la forte proportion des terrains imperméables. Mais l'importance du couvert végétal dans ces deux bassins intercepte une partie du ruissellement.

-forme des bassins:

L'indice de compacité de Gravelius détermine la forme des bassins: selon une formule qui s'écrit ainsi:

$$Kc=0,28 \times P/\sqrt{A}$$

$$\text{avec: } P=(Km) \quad A=(Km^2)$$

Il a une grande influence sur le régime d'écoulement: les bassins de différentes formes ne réagissent pas de la même manière. Si on se réfère aux résultats obtenus dans le tableau indiqué en haut, on peut dire que tous les bassins étudiés ne sont pas tellement compacts car ils présentent des indices de compacité modérés et différents d'un bassin à l'autre.

Cet indice de compacité (Kc) distingue le bassin-versant du Zat des autres bassins: le Zat a 1,8 comme indice de compacité donc, il est beaucoup moins compact que ceux du Rheraya et Ourika. Ces derniers ont des indices identiques ne dépassant pas 1,5 alors que, le bassin du N'fis présente un indice de compacité assez proche ($Kc= 1,6$). Donc l'indice de compacité est important dans les bassins extrêmes de la région d'étude. Ces deux bassins ont une forme plus concentrique favorisant une concentration plus ou moins faible des eaux de ruissellement à l'exutoire.

Pour l'allongement on peut noter qu'il est représenté par le rapport entre la plus grande longueur du bassin à l'exutoire (LH) et la plus grande largeur (IH) perpendiculaire à cette longueur (voir carte n°9). Les résultats obtenus après l'application de la méthode suivante: $IH= \text{Long.}(Km)/\text{larg.}(Km)$ sont reportés sur le tableau n°8

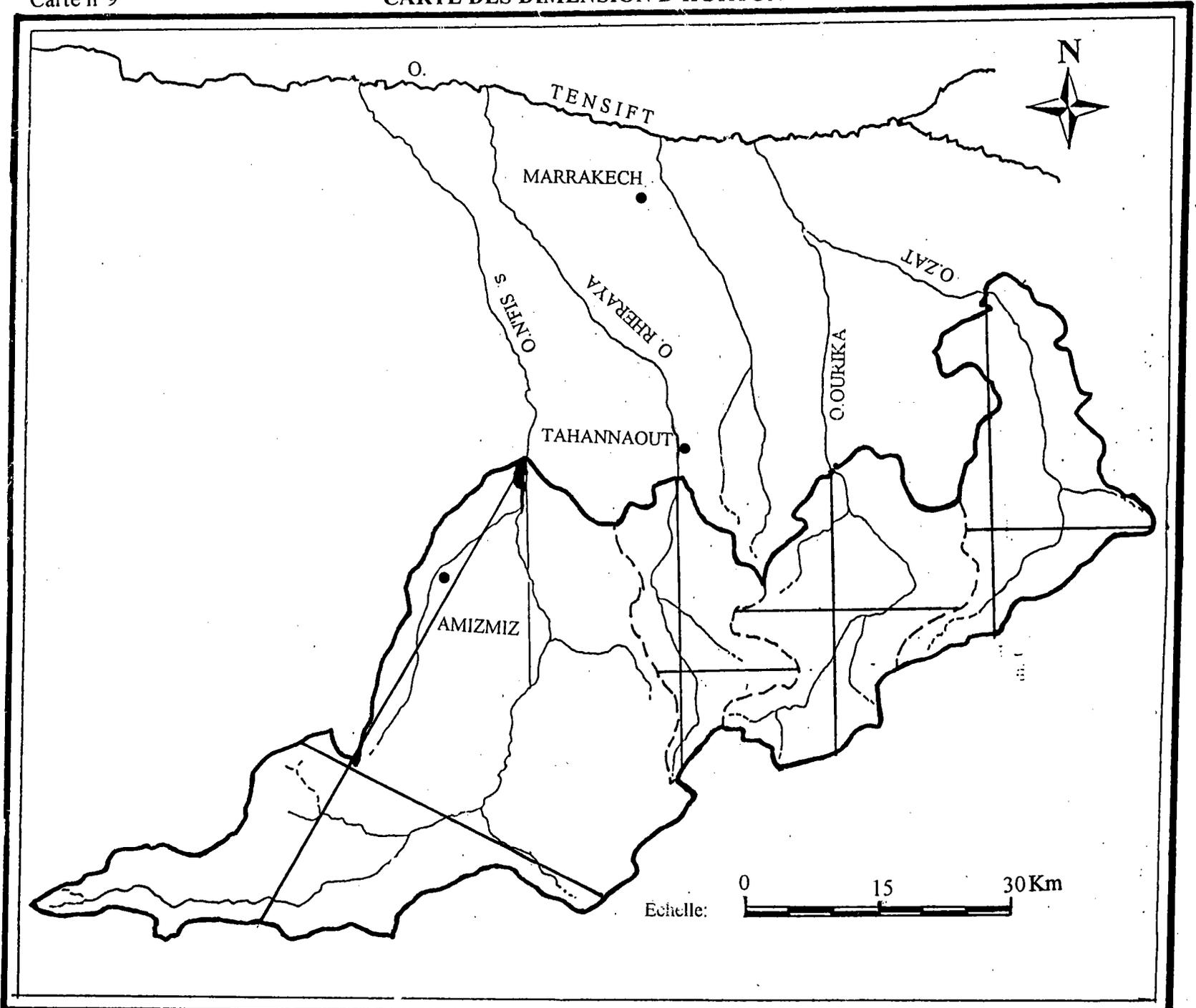


Tableau n°8 L'indice d'Horton

Bassin-versant	LR	IR	IH
N'fis	60	36	1,6
Rheraya	30	15	2
Ourika	29	24	1,2
Zat	36	18	2

avec: LR: Longueur maximale de l'exutoire
 IR: Largeur maximale de l'exutoire
 IH: Indice d'Horton

Le tableau précédent, nous montre que tous les bassins atlasiques ont des indices d'allongement différents. En effet, le N'fis, le Rheraya et le Zat sont allongés. Leur allongement est traduit par les indices assez fort (IH=1,6, 2 et 2) respectivement, alors que l'Ourika présente un indice modeste, il est relativement compact. Le bassin de l'Ourika est donc le plus compact des quatre bassins.

Le bassin-versant du Tensift peut être comparé à un rectangle équivalent, qui a une longueur (Lre) et une largeur (lre).

Par la suite il donne un périmètre (P) en Km, et une surface (A) en Km². Les dimensions citées en haut sont calculées par la formule de M.ROCHE(1963) qui s'écrit ainsi:

$$Lre \text{ et } lre = \frac{P}{4} + - \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

avec: P= périmètre en (Km)
 A= surface en (km²)

En appliquant cette formule, on constate que tous les sous bassins ont des résultats différents, les résultats sont reportés dans le tableau suivant:

Tableau n°9 Les indice du rectangle équivalent

Bassin-Versant	LRE (Km)	lre (Km)	Indice rect.équivalent
N'fis	48	31	1,55
Rheraya	26	13	2
Ourika	27	19	1,4
Zat	27	26	1,04

D'après le tableau précédent, nous constatons que l'indice du rectangle équivalent (IR) est également moins expressif, car il fournit des valeurs élevées notamment pour le Rheraya, le N'fis et l'Ourika.

En conclusion, on peut dire que les bassins-versants atlasiques ont des aspects hydrologiques relativement identiques avec une petite distinction de part leurs indices différents entre l'est et l'ouest et le sud et le nord.

2°) Le réseau hydrographique

a) Présentation

Pour le réseau hydrographique et son importance, nous pouvons dire qu'un simple survol d'une couverture topographique de la région du Haouz central et occidental, notamment le Haut-Atlas occidental, fait découvrir l'ampleur du nombre des cours d'eau qui y prennent naissance. La densité du réseau hydrographique y est, en effet grande bien que variable d'une région à une autre en fonction des différents facteurs physiques signalés au préalable.

Cependant, en dehors de quelques grands oueds, il s'agit le plus souvent des petits organismes, torrents de hautes montagnes, ruisseaux de la moyenne montagne ou simples ravins de la basse montagne.

Les plus importants pour lesquels l'oued Tensift joue le rôle de collecteur et formant le sujet de notre étude sont l'oued N'fis, oued Rhéraya, oued Ourika et oued Zat. Chacun d'entre eux forme un bassin versant formé au moins de deux affluents, comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous:

Tableau n°10 Présentation de quelques sous bassins-versants nord du massif ancien du Haut-Atlas.

OUEDS	Affluents de rive droite	Affluents de rive gauche
N'FIS	-Assif n'ougoundis -Assif n'oumegdoul -Assif n'ouazzaden	-Assif n'ougdemt -Assif n'aït hsayn -Oued Amizmiz
RHERAYA	-Assif Imnane	-Ighzer n'sidi farès
OURIKA	-Assif n'tifni -Assif n'oummellougui -Assif n'oualirhan	-Assif n'tazarza
ZAT	-Assif n'oufra	-Assif n'yagour -Assif n'ouderdour

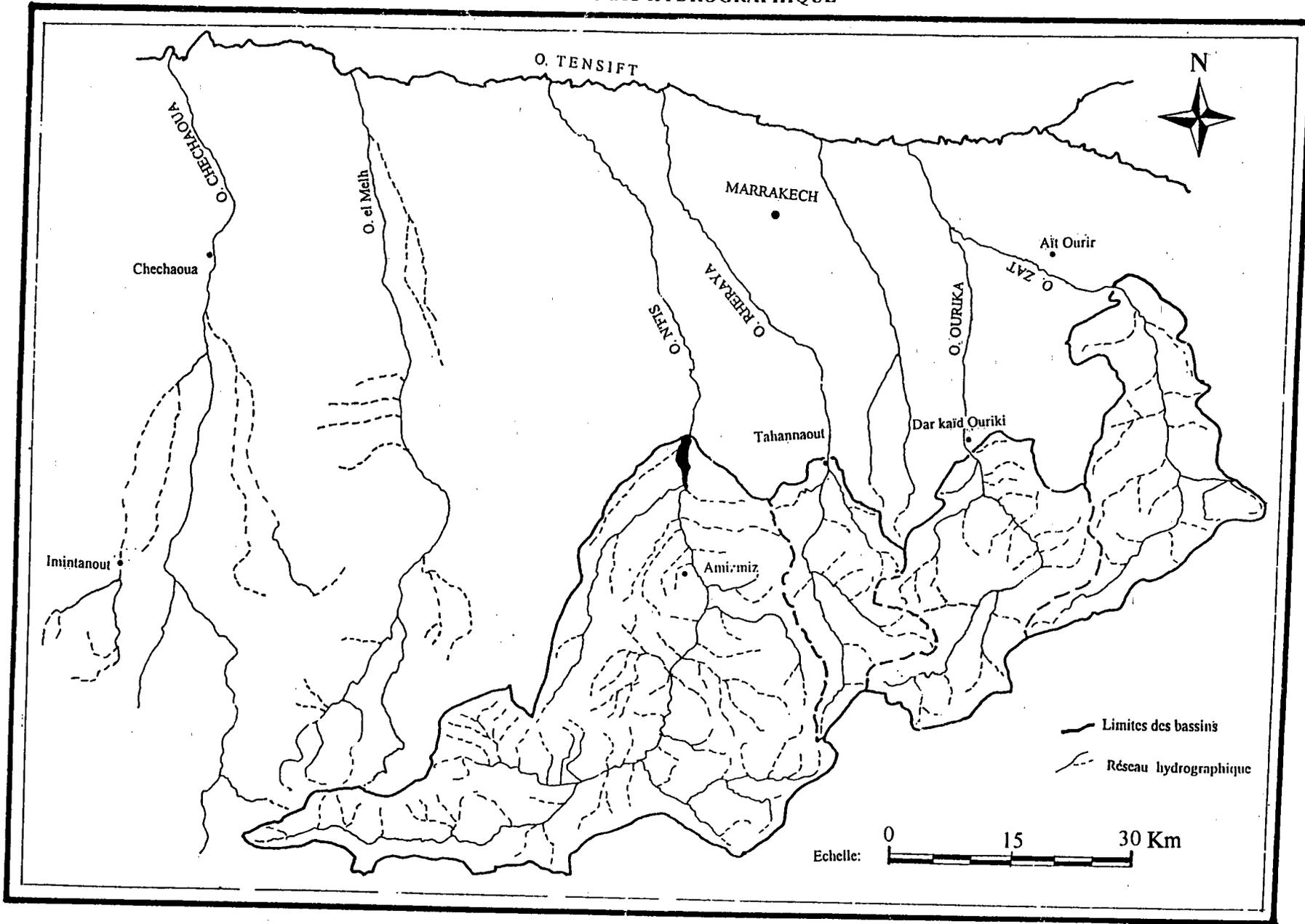
Ces oueds se caractérisent par de grosses différences suivant leur topographie, leur formation géologique et leur situation par rapport aux régions qui reçoivent différentes quantités de précipitations.

L'oued Tensift, s'écoule sur une longueur d'une centaine de kilomètres (208 Km) d'est en ouest. Il prend naissance au pied de Ras el Aïn. Il reçoit une faible alimentation de quelques affluents de Djebilettes, alors que son alimentation essentielle est faite, par les oueds atlasiques en sa rive gauche tel le N'fis, Rheraya, Ourika, Zat, Chichaoua, R'dat, Tassaout et Lakhdar. Notre étude concerne les quatre premiers oueds (Voir carte n°10).

Les montagnes atlasiques jouent un rôle très important, dans l'alimentation des différents oueds affluents du Tensift et la nappe phréatique du Haouz, du fait qu'une partie des eaux se perd sous influence de l'évaporation, l'autre partie s'infiltrant.

Durant la période sèche, certains oueds tel le Rheraya perdent leurs eaux et connaissent une sécheresse presque absolue. Les reliefs et les formations géologiques avec leurs différenciations de résistance, ont mené à une disséquation claire et nette sur la surface totale du Haouz.

Le tracé du réseau hydrographique naturel dans la zone étudiée, dépend des formes du relief, des pentes et des formations lithologiques des bassins. Sans oublier l'effet du paléoclimat sur le tracé de ce réseau hydrographique



Les caractéristiques physiques des bassins atlasiques

Les oueds affluents du Tensift sont dérivés d'un grand système hydrographique. Ils coulent du massif atlasique axial, en traversant la plaine du Haouz pour confluer avec le grand fleuve Tensift, qui draine la région d'est en ouest, pour se jeter dans l'Océan Atlantique entre Safi et Essaouira. Ces oueds atlasiques dominent toute la partie orientale et centrale de la région dite "le Haouz de Marrakech". Chacun d'entre eux forme un bassin hydrographique plus ou moins indépendant.

La comparaison avec les autres oueds fait apparaître la spécificité du N'fis. Cet oued est d'une longueur de 100 Km jusqu'au barrage de lalla Takerkoust: il est près de deux fois plus long que le Zat (58 Km), l'Ourika (44 km) et près de trois fois plus long que le Rhéraya (31 Km). Les longueurs sont représentées sur le tableau suivant:

Tableau n°11 Les longueurs des oueds

OUEDS	Longueur
N'fis	100 Km
Rheraya	31 km
Ourika	44 Km
Zat	58 Km

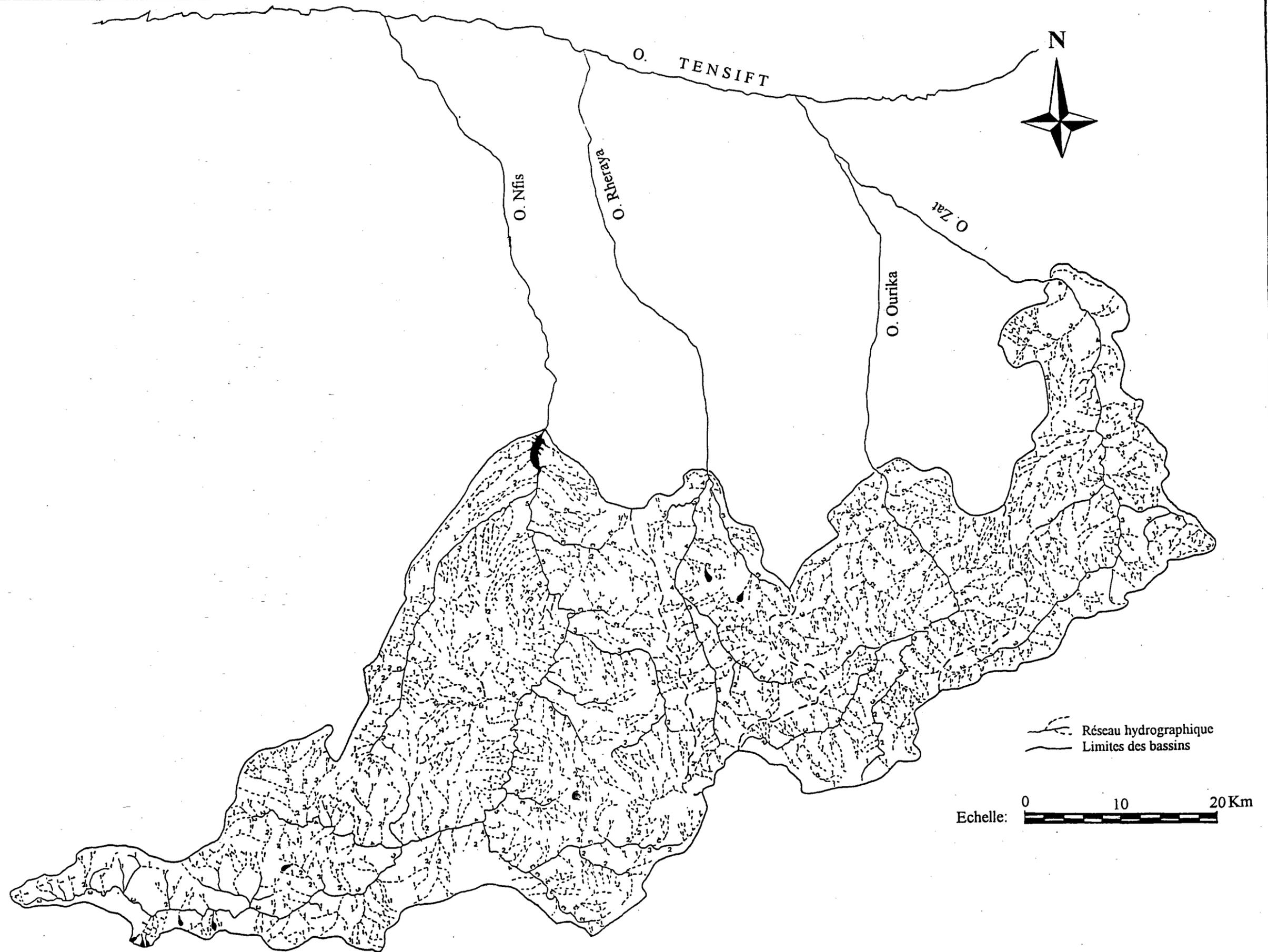
Nous constatons une variation importante des longueurs des cours d'eau. Or la longueur joue en toute logique et à l'avantage de l'oued (elle lui permet de recueillir les eaux d'un grand nombre d'affluents) et à son désavantage (les prélèvements liés tant à l'évaporation qu'à l'infiltration pouvant être grands).

Pour les eaux superficielles, on peut déduire que les bassins montagnards sont actifs et riches en eaux, alors que le réseau de la plaine joue le rôle de transition de leurs apports, au moment où il ne cause pas de perte lors des ruissellements.

On peut signaler aussi l'existence d'un réseau artificiel très dense formé de Khettarats*1 et de séguia*2, ces deux types de réseau d'irrigation jouent un rôle majeur dans le régime des eaux superficielles sur toutes les régions du Haouz.

1*Khettarats: un système d'irrigation (ancien) spécial dans la région.

2*Séguias: des canaux d'irrigation.



b) Hierarchisation et densité de drainage

-hierarchisation

Le réseau hydrographique a été établi à partir de la carte topographique au 1/200.000è.

Pour établir une hiérarchisation suivant la classification de SCHUMM, on a tenu compte du tableau proposé par R.Lambert (1983/1984).

Tableau n°12 La classification des rivières (méthode de SCHUMM)

ORDRE	DESIGNATION	Ordre de grandeur de la surface
1-2	Ru	Inf. à 10 Km ²
3-4	Ruisseau	10-100 Km ²
5-6	Rivière simple	100-1000 Km ²
7-8	Grande rivière	1000-10.000 Km ²
9-10	Fleuve	10.000-100.000 Km ²
11-12	Grand fleuve	100.000-1.000.000 Km ²
13-14	Très grand fleuve	Sup. à 1.000.000 Km ²

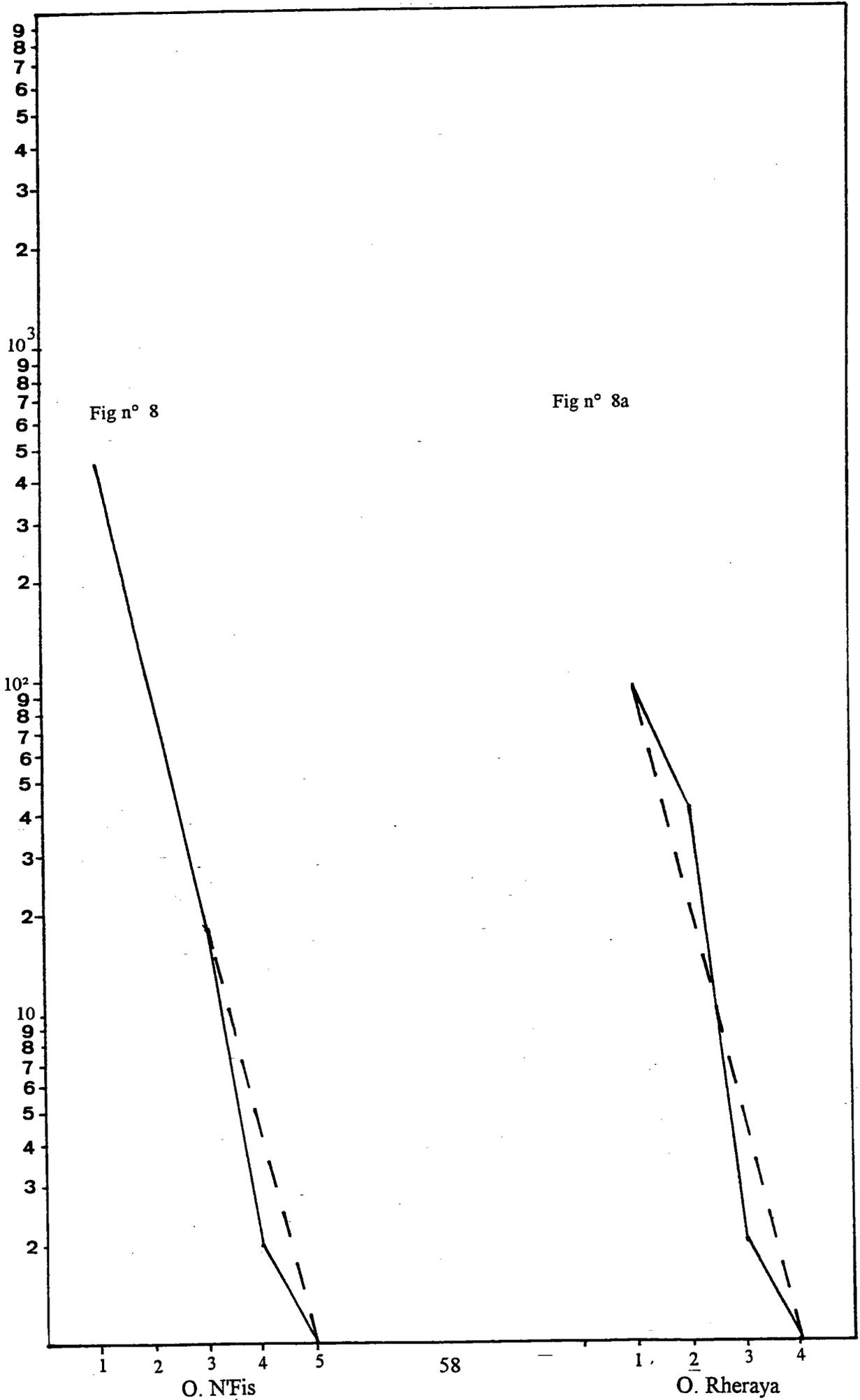
Cette hiérarchisation va du plus petit ruisseau au plus grand. La confluence de deux ruisseau d'ordre (X-1) donne un ruisseau d'ordre X: Exemple l'ordre trois commence à la confluence de deux ruisseaux d'ordre deux (Voir carte n°11).

Après avoir établi la hiérarchisation, on applique les lois d'Horton (1945). Tout d'abord on détermine le nombre des rivières de chaque ordre. Ensuite, on calcule la longueur moyenne des rivières de chaque ordre, les résultats obtenus sont reportés sur les tableaux (Voir en annexe n° II et IIa). Ces résultats sont reportés sur papier semi-logarithmique, en traçant une droite de corrélation (Cf Fig n°8 8a,8b,8c,8d 8e,8f et 8g).

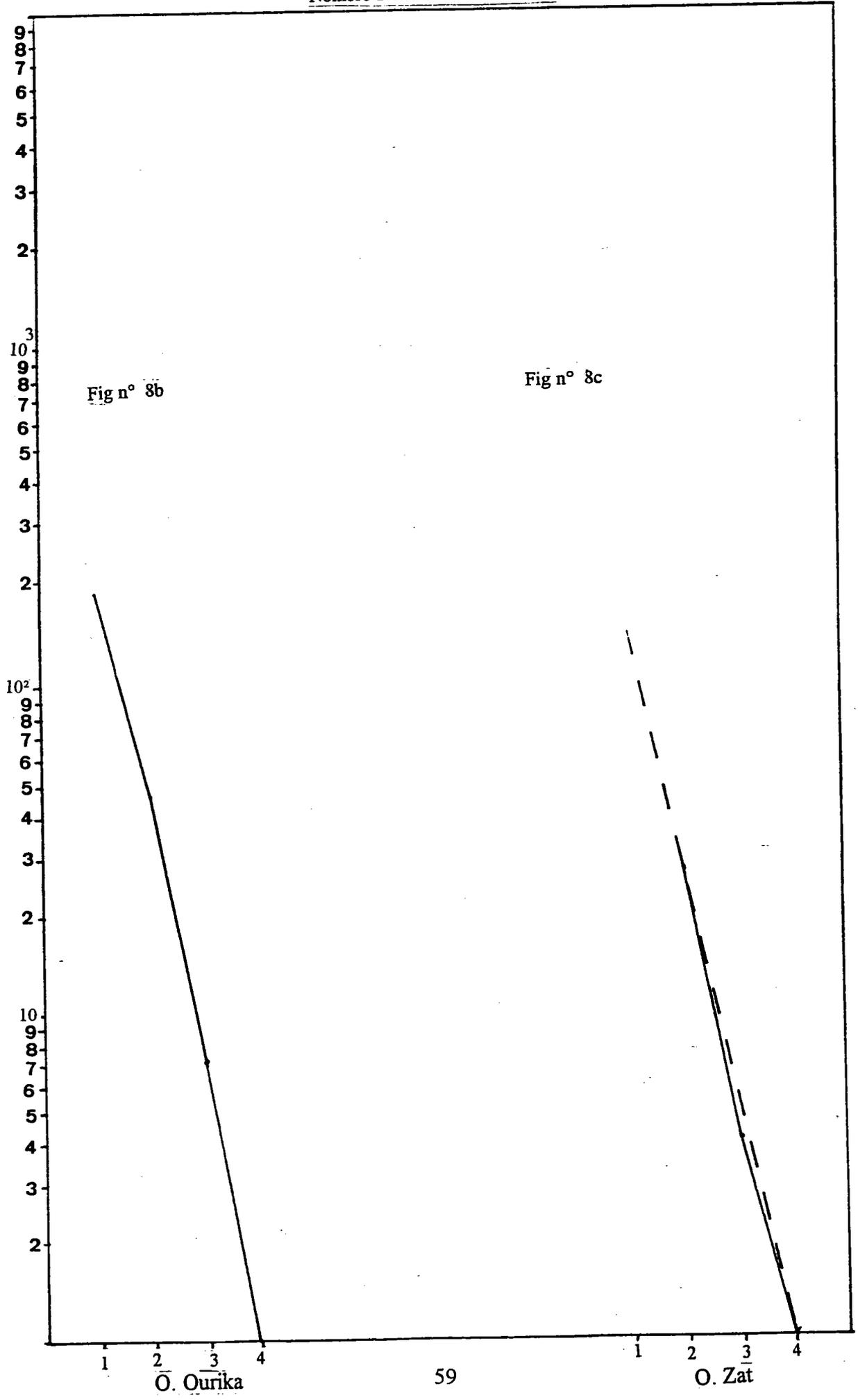
D'après les figures établies sur papier semi-logarithmique et les tableaux précédents, on peut dire que les ordres 1 et 2 dans le N'fis sont très forts, surtout l'ordre un. Ceci est expliqué par la situation de ces ruisseaux en pleine montagne, où les pluies et les neiges sont abondantes surtout pendant l'hiver et le printemps.

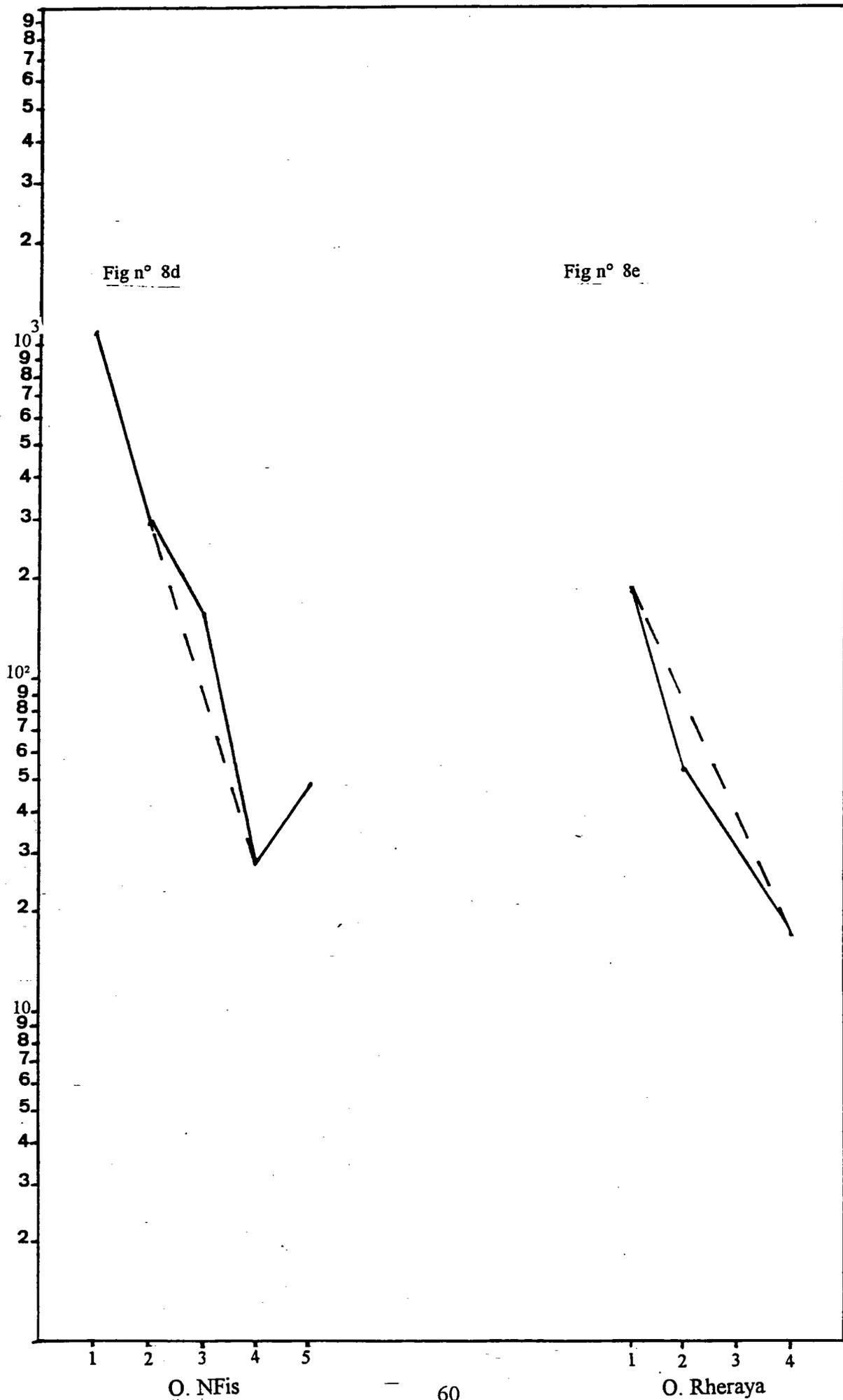
Le nombre des tronçons représente des corrélations moyennes. Les valeurs s'alignent correctement sur une droite avec la même pente sauf la petite cassure au niveau de l'ordre quatre.

Nombre des ordres des rivières

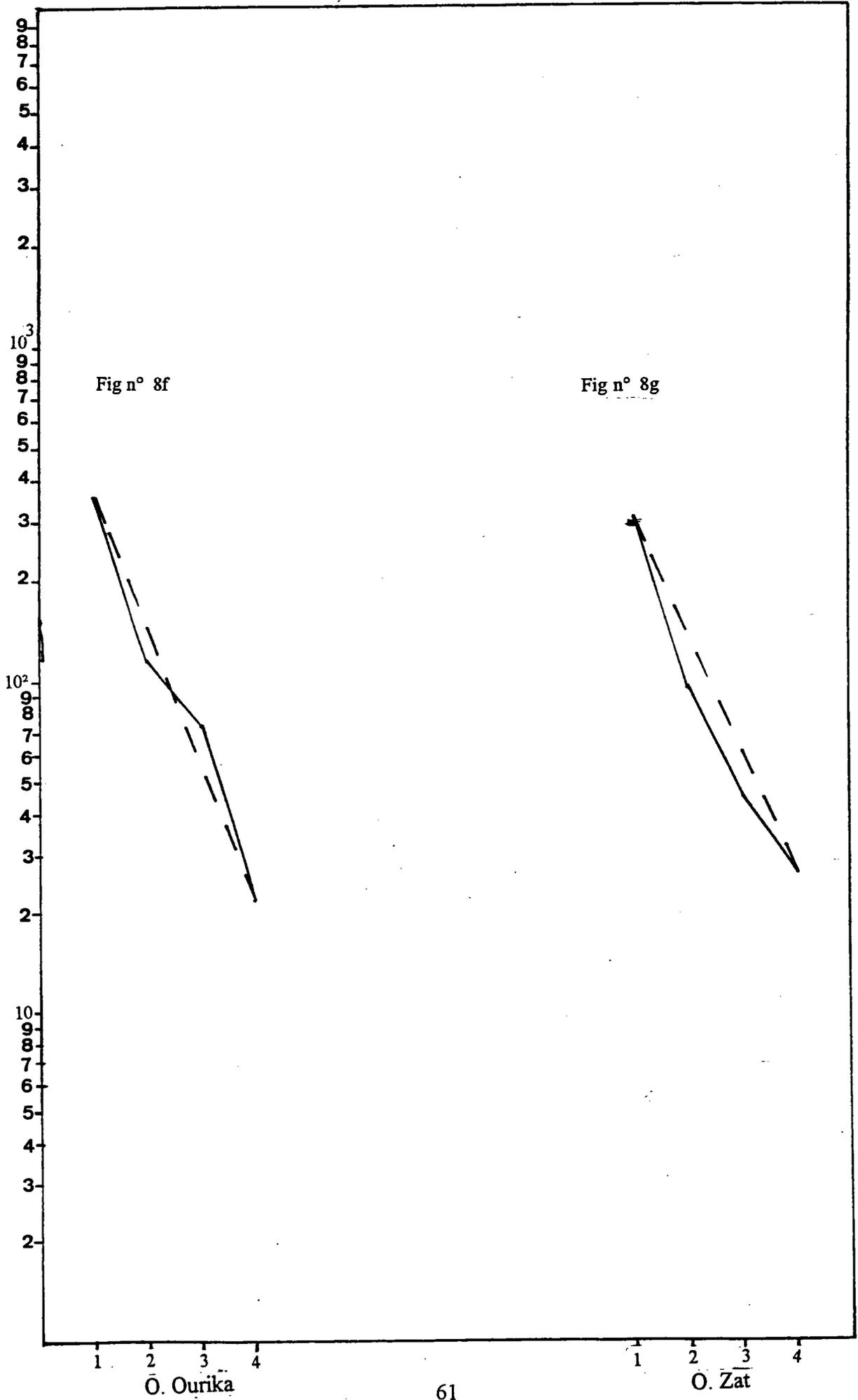


Nombre des ordres des rivières





Longueur des rivières



Pour le réseau pérenne, il se caractérise par une insuffisance d'ordre un du fait de la nature du substratum: 98,2% des chenaux d'ordre un appartient au réseau intermittent. Les ordres trois et quatre sont faibles par rapport aux autres tronçons. Le drain principal d'ordre cinq est bien alimenté par ses ruisseaux des deux rives surtout de la rive gauche.

En comparant la longueur du réseau hydrographique intermittent et pérenne, on peut dire que les ordres un et deux intermittents sont les plus longs.

Pour le Rhéraya on constate que les points ne s'alignent pas correctement sur la droite de corrélation, suite à l'existence des deux cassures au niveau de l'ordre deux et trois, ceci est dû à la variabilité des altitudes et la différenciation des formations géologiques qui ont une grande influence sur l'existence et la multiplicité des différents tronçons. L'ordre un est formé essentiellement par des ruisseaux intermittents, malgré l'existence des altitudes assez fortes tel le sommet de Toubkal (4167m).

Pour le réseau pérenne nous constatons une faiblesse remarquable pour l'ordre un et une insuffisance pour l'ordre deux. Les ordres trois et quatre sont eux aussi assez faibles par rapport aux autres catégories.

Pour l'Ourika, on remarque que les valeurs des différents ordres s'alignent sous forme d'une droite qui se confond avec la droite de corrélation. Les ordres un sont plus denses, mais leur longueur moyenne est la plus modeste.

Le réseau intermittent occupe 98% du réseau hydrographique dans l'ordre un, alors que pour l'ordre deux il représente 91%, et 57% pour l'ordre trois. Ce qui explique l'importance du réseau intermittent pour l'ordre 1, 2 et 3.

Pour le Zat, excepté une légère cassure au niveau de l'ordre trois, tous les autres points s'alignent sur une même droite, qui se confond avec la droite de corrélation. On note que le réseau intermittent est le plus fort pour les ordres un et deux (99% et 48% respectivement), alors que pour l'ordre trois les réseaux pérenne et intermittent sont égaux.

Les longueurs moyennes ne sont pas importantes, elles n'ont aucune influence sur la hiérarchisation du réseau général, c'est la raison pour laquelle on n'a pas pu les présenter comme dans tous les autres affluents sur papier semi-logarithmique.

La présence de quelques chenaux d'ordre un dans le réseau pérenne dans certains oueds, surtout à la partie amont s'explique par l'alimentation plus ou moins régulière des sources présentes dans cette région à climat humide-puisqu'on est au centre des montagnes du Haut-Atlas influencé quelques fois par les fluctuations climatiques océaniques, qui donnent une pluviosité abondante pendant la période hivernale sous forme de pluies ou de neiges et pendant l'été sous forme d'orages.

-densité de drainage.

La densité de drainage permet d'apprécier l'importance du réseau hydrographique et les possibilités d'évacuation des écoulements dans chaque sous bassin, en prenant en considération la surface, la formule de densité de drainage s'écrit ainsi:

$$Dd = \sum Ltx/A.$$

avec: $\sum Ltx$ = la longueur des ruisseaux du bassin en Km.

A= La surface du bassin en Km².

Les résultats acquis sont visualisés dans le tableau ci-après:

Tableau n°13 Tableau de la densité de drainage

		N'fis	Rhéraya	Ourika	Zat
	A (Km ²)	1703	334	575	503
Réseau Général	Ltx	1618,9	290,6	562,5	465,4
	Dd	0,95	0,87	0,98	0,92
Réseau Pérenne	Ltx	270	69,4	83,5	83,7
	Dd	0,16	0,2	0,14	0,2
Réseau Temporaire	Ltx	1349,5	221,2	479	381,7
	Dd	0,8	0,7	0,8	0,8

Le N'fis:

D'après le tableau ci-dessus, on peut dire que le bassin de N'fis connaît une densité de drainage générale de (0,95) cela s'explique par le grand nombre des ruisseaux de différents ordres qui alimentent ce bassin.

Sa situation vers l'ouest et la proximité de l'Océan Atlantique, lui permettent de recevoir une pluviosité modeste sauf lors de la pénétration des flux océaniques. En plus nous signalons le grand rôle du substratum caractérisé par une imperméabilité importante (79%) dans lequel le réseau se développe facilement.

Pour le réseau temporaire, la densité de drainage présente aussi une valeur importante ($Dd= 0,8$), ce type de réseau dominant dans toute cette région caractérisée globalement par un climat semi-aride, alors que les chenaux pérennes ont une valeur modeste, ne dépassant pas 0,16.

Le Rheraya:

En ce qui concerne le bassin de Rhéraya, un simple examen de ses chiffres, nous montre qu'il a une densité de drainage assez faible par rapport aux autres bassins qui l'entourent.

La densité de son réseau général(pérenne et intermittent) est la plus modeste, elle est de l'ordre de 0,87. On constate la même chose pour le réseau pérenne ($Dd= 0,2$) et le réseau intermittent ($Dd= 0,7$).

La petite surface relative et le fait qu'il comporte quelques hauts sommets tel celui de Toubkal (4167 m), peuvent favoriser la formation d'un grand réservoir d'eau de nature solide ou liquide.

Autrement dit, les hautes altitudes et la modestie de la surface, peuvent donner une pente favorisant un ruissellement rapide des ruisseaux pour se concentrer dans le drain principal.

A vrai dire, le Rhéraya est relativement moins drainé malgré les conditions -favorisant un important drainage- qu'il englobe par rapport aux autres bassins (les hautes altitudes où s'accumulent les précipitations sous forme solide ou de lacs).

L'Ourika:

Ce bassin est bien drainé, sa densité de drainage pour le réseau hydrographique général marque la valeur la plus élevée ($Dd= 0,98$). Les ruisseaux temporaires ont aussi une valeur importante ($Dd= 0,8$), par contre le réseau pérenne présente la densité de drainage la plus faible ($Dd= 0,14$). L'importance de cette densité est due à la situation du bassin dans la partie est, connue pour une pluviosité abondante et la nature des roches imperméables qui facilitent le développement du réseau hydrographique.

Le Zat

Il connaît une densité de drainage remarquable surtout pour le réseau hydrographique global, elle est de l'ordre de 0,92. Les chenaux temporaires marquent aussi la même importance ($Dd= 0,8$). Cette valeur est semblable à celles de l'Ourika. Tandis que les cours d'eau pérennes ont une densité de drainage très faible ($Dd= 0,2$) comparable à celle de Rheraya. L'importance des pluies et le taux d'imperméabilité élevé expliquent l'aspect des densités de drainage élevées dans le bassin.

En conclusion, on constate que les réseaux intermittents sont les plus dominants, dans tout le champ d'étude. Ce phénomène s'explique par la situation de la région dans une zone de transition d'un climat semi-aride perturbé quelques fois par des flux océaniques ou polaires.

c) Profil en long

Les profils en long sont des courbes, présentant les différentes altitudes des cours d'eau en fonction de la distance à leur source. Les affleurements des roches dures peuvent induire des ruptures de pente dans les profils.

Sur les versants nord des hautes montagnes atlasiques, les oueds drainent des zones, qui se composent de terrains et de formations géologiques variés. Les profils en long des oueds atlasiques, affluents du Tensift, dans la partie centrale du Haouz de Marrakech, sont empruntés à la thèse de J.Dresch(1941). Ils déterminent différentes pentes. Ces dernières ont une grande influence sur le ruissellement superficiel et surtout sur les vitesses d'écoulement lors des crues.

Fig n°9

Profil en long de l'Oued N'fis

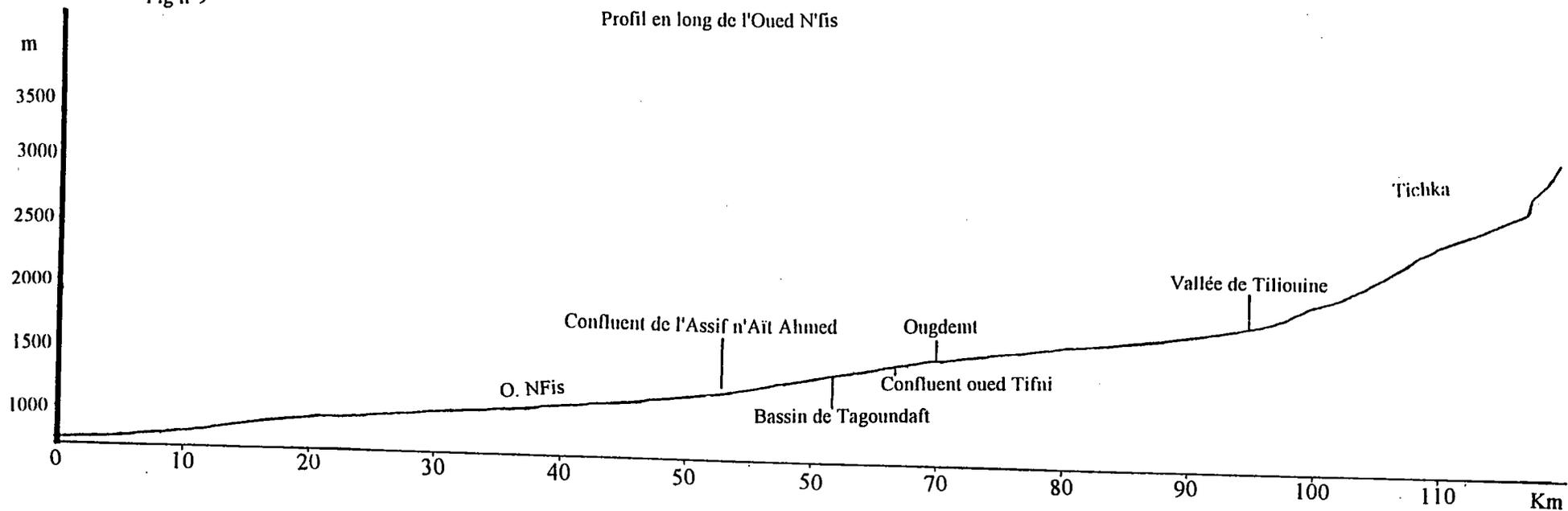
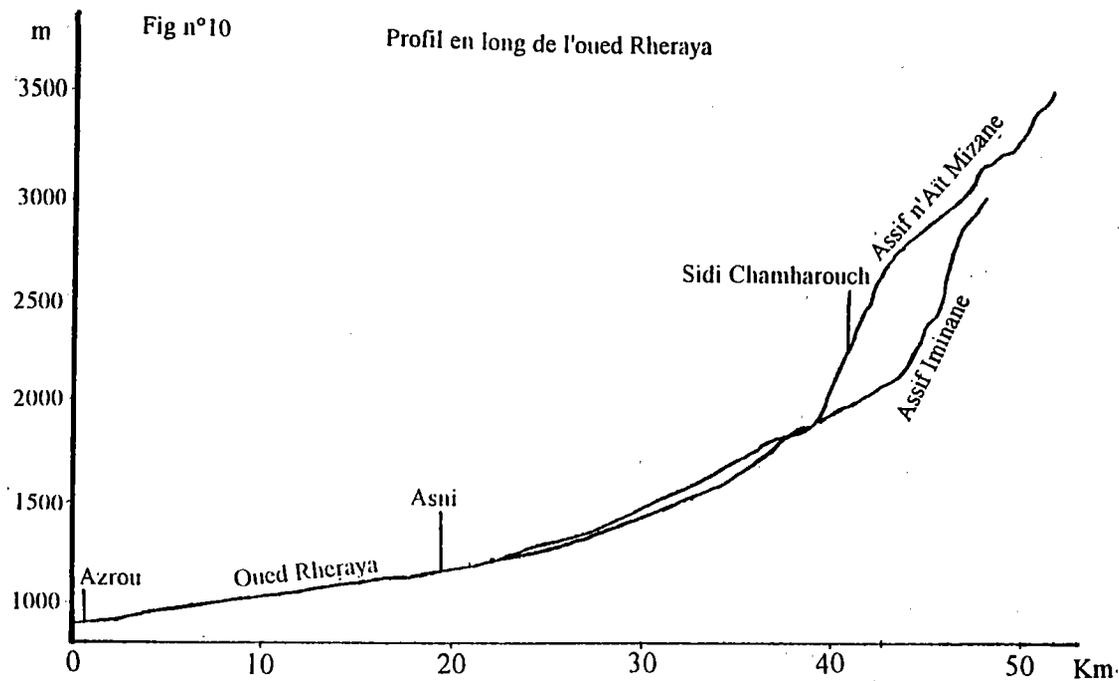


Fig n°10

Profil en long de l'oued Rheraya

D'après la thèse de J.Dresch



Les affleurements des roches dures, peuvent produire des ruptures de pente dans le tracé des profils en long. Puisqu'on ne dispose que d'une carte géologique générale du Maroc au 1/500.000 è, alors une grande prudence est nécessaire pour la réalisation de ce travail, en tenant compte du grand décalage dû aux différentes échelles des cartes topographiques. (Cartes topographiques au 1/200.000).

D'après les profils en long, on peut compléter l'analyse quantitative des caractéristiques des réseaux hydrographiques suivants:

Le N'fis:

Cet oued a un profil, déterminant des pentes variables (Cf Fig n°9). A l'amont la pente est forte (12,3%), au milieu, la pente diminue (5%), puis elle devient faible (1,3%) et régulière jusqu'au point de confluence avec le Tensift.

Le Rheraya:

D'après le graphique (Cf Fig n°10), nous constatons qu'à l'amont la pente est très forte (20%). Cet aspect est dû à la nature du substratum, qui est formé de roches éruptives, imperméables et résistantes aux effets de l'érosion. C'est dans cet endroit que se situe le point culminant (Toubkal 4167 m). Vers l'aval, dans les terrains sédimentaires, les pentes s'affaiblissent régulièrement pour ne pas dépasser 3% dans la plaine du Haouz, jusqu'à l'oued Tensift.

L'ourika:

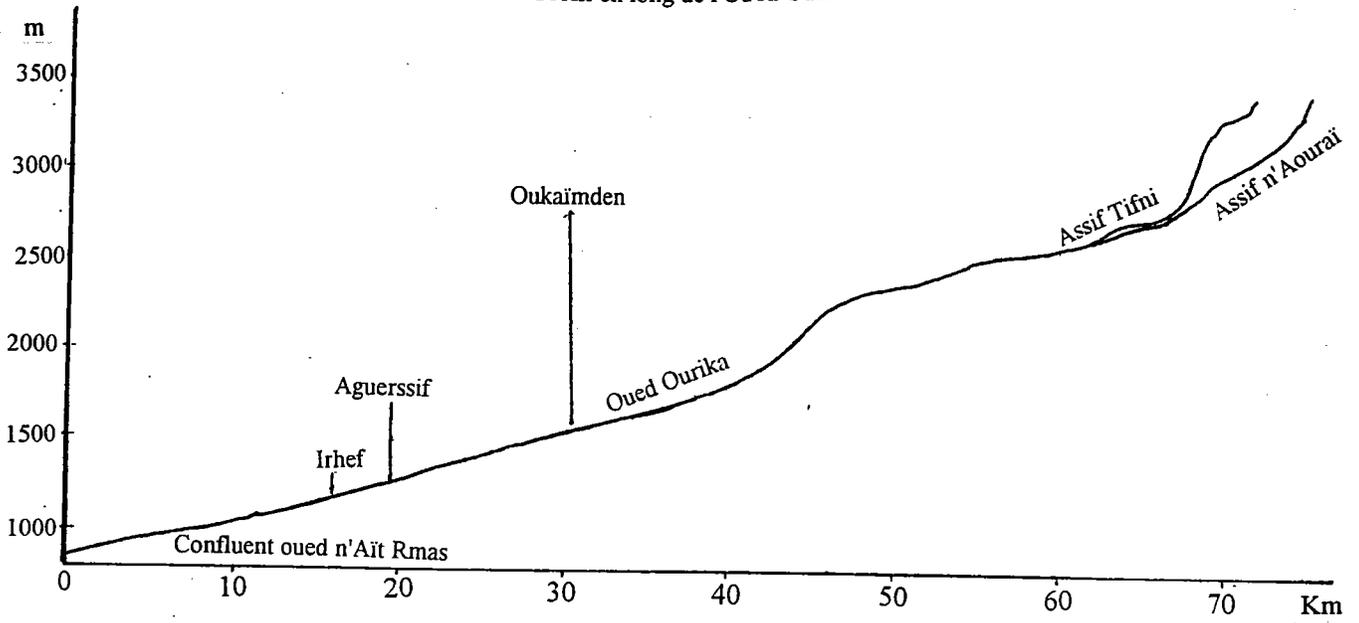
Dans ce profil en long (Voir Fig n°11), la pente se dégrade très lentement de l'amont vers l'aval. En effet, dans l'Ourika-amont, la pente est de l'ordre de 9,4%. Elle diminue vers l'aval d'une façon régulière. Elle s'adoucit progressivement sur les marnes jusqu'à ce qu'elle atteigne les alluvions recouvrant la plaine du Haouz où elle ne dépasse pas 2,5%.

Le Zat:

D'après le profil en long de cet oued, se localisant à l'extrême est de la région étudiée (Cf Fig n°12), nous constatons qu'il présente une pente assez forte à l'amont 12%.

Fig n°11

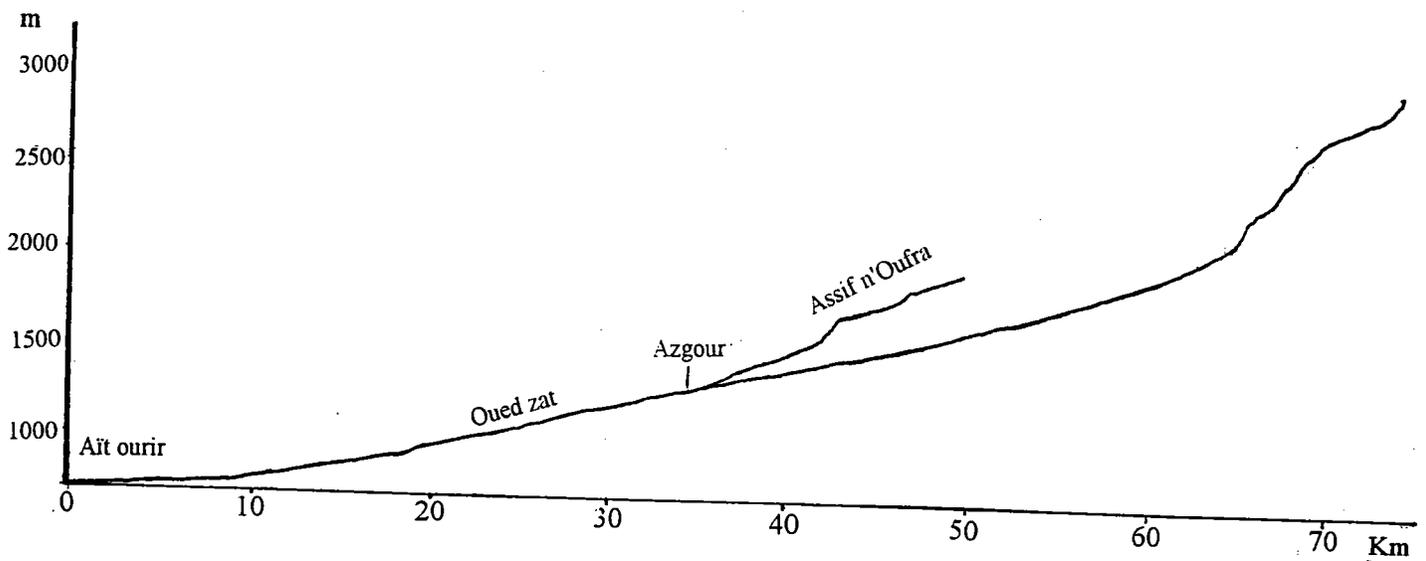
Profil en long de l'Oued Ourika



D'après la thèse de J.Dresch

Fig n°12

Profil enlong de l'Oued Zat



D'après la thèse de J.Dresch

Vers l'aval elle est de 6,6% formant une sorte de bombement (apparition des roches résistantes); enfin cette pente diminue progressivement vers l'aval du bassin pour ne pas dépasser 2,5%. Cependant, elle ne traverse qu'un seul et même milieu structural (la plaine du Haouz).

En effet, cette différenciation est due aux changements de nature des terrains drainés: on passe d'un terrain composé de granites à la partie supérieure, à un terrain sédimentaire formé de roches à faible résistance devant les différents facteurs d'érosion.

Les pentes de tous les affluents atlasiques du Tensift-pris dans l'étude- sont exceptionnellement élevées à l'amont. Elles se situent dans la partie à hautes altitudes. Ces accentuations de pentes, peuvent engendrer à l'échelle des sous-bassins, un accroissement rapide des vitesses d'écoulement.

Leurs décroissances vers l'aval, se font d'une façon régulière. Elles marquent un degré faible, ne dépassant pas 3% dans une grande partie de la plaine du Haouz. Ces faibles pentes se combinent avec l'assèchement du climat pour créer une désorganisation et une dispersion du réseau hydrographique.

Les cours d'eau, en sortant des hautes montagnes, se dispersent dans la plaine du Haouz. Cette plaine à l'exception de quelques légers affleurements dûs à l'emplacement des anciens cônes de déjection des principaux oueds atlasiques, présente une surface presque plane.

Ils sont exposés à l'ensoleillement qui exacerbe l'évaporation des eaux. Ce problème, dans cette région caractérisée par la sécheresse (région à climat semi-aride) a poussé les services concernés à s'intéresser à des aménagements, surtout pour le stockage des eaux (construction des barrages).

A vrai dire, les bassins versants en leur partie aval-la plaine du Haouz- ont une pente moindre; à la partie médiane, les pentes des bassins moyens sont assez fortes.

Elles présentent les conditions les plus favorables pour le déclenchement des crues rapides: concentration des chevelus hydrographiques et densité de drainage relativement élevée.

Globalement, tous les indices utilisés nous ont permis de caractériser des milieux hétérogènes au sein des bassins-versants atlasiques.

Les bassins-versants du Zat et de l'Ourika ont des altitudes assez élevées et recevront des précipitations très importantes en raison de leur situation dans la partie orientale qui est bien arrosée. Le ruissellement devrait être favorisé par la structure imperméable des roches et la pente assez forte. Mais ce ruissellement est légèrement perturbé par le couvert forestier, favorisant l'infiltration en quelques sortes. Leur réseau hydrographique est bien développé, ce qui traduit par la suite une densité de drainage forte.

Les bassins-versants du N'fis et du Rheraya avec des altitudes importantes notamment Rheraya (4167 m à Toubkal), sont situés à la partie ouest moins pluvieuse. Les pentes relativement élevées favorisent une concentration des eaux et un ruissellement par la forte proportion des terrains imperméables. Mais l'importance du couvert végétal dans ces deux bassins intercepte une partie du ruissellement.

CONCLUSION

-Les bassins-versants atlasiques se caractérisent par une hétérogénéité des éléments structuraux, qui jouent un rôle fondamental dans le comportement des écoulements des oueds.

-Les caractéristiques hydrographiques résultent en grande partie de l'évolution morphométrique développée dans des conditions climatiques variées.

B) LES FACTEURS CLIMATIQUES ET LEUR VARIABILITE

Introduction

La climatologie est un élément fondamental dans l'étude d'un bassin-versant. Elle est: *<<l'ensemble des données physiques qui, avec ses variations, traduit l'environnement atmosphérique dans une région.*

Un climat est le cadre géographique des phénomènes météorologiques.>> M.ROCHE (1963).

Tandis que la pluie constitue "la matière première" des cours d'eau, les températures interviennent comme facteur explicatif de l'évapotranspiration, engendrant des pertes d'eau non drainées par les écoulements.

Les différents paramètres climatiques, surtout les pluies, interviennent quantitativement dans l'écoulement, alors que les autres éléments physiques (la lithologie, morphométrie, biogéographie) jouent un rôle dans les modalités de l'écoulement.

Les pluies par leur hauteur annuelle totale, déterminent l'importance de la variation des rivières et suivant leurs variabilités saisonnières, mensuelles et journalières, elles déterminent les régimes hydrologiques des principales rivières.

Enfin, les pluies intenses sous forme d'averses peuvent engendrer des crues importantes selon la durée de ces averses et selon la quantité d'eau tombée.

Les différentes sortes de précipitations connaissent quelquefois certaines modifications variables selon l'intervention des autres facteurs physiques (l'orographie, la géologie et la lithologie...) et ceux du climat telles la température et l'évapotranspiration.

Les précipitations et les autres facteurs climatiques, bien qu'ils soient en général aléatoires dans le temps et dans l'espace, tracent globalement le cadre du régime hydrologique du bassin versant.

L'ensemble du bassin du Tensift, est situé dans une zone charnière entre le climat subtropical au sud, et le climat méditerranéen au nord. La proximité de l'Océan Atlantique à l'ouest et

la présence au sud de la chaîne montagneuse du Haut-Atlas, laissent supposer un climat régional complexe.

Le bassin-versant du Tensift est influencé par les descentes subméridionale d'air froides qui atteignent ainsi la Méditerranée occidentale et l'Afrique du nord.

La remontée de l'air chaud tropical continental ou maritime, et la descente des flux froids continentaux eurasiatiques, font naître un front dépressionnaire temporaire sur la Méditerranée. A celui-ci s'ajoute un autre flux dépressionnaire d'origine polaire atlantique. En fin le bassin est soumis également aux influences dépressionnaires sahariennes.

De cette situation, il résulte des masses nuageuses au dessus des montagnes hautes atlasiques au sud, ou accumulées sur les sommets des Djebilettes au nord du bassin. Elles sont poussées par des vents de direction ouest-nord-ouest vers le Haouz oriental.

Ces nuages demeurent, malgré tout, stériles: il est probable que même pendant le temps dépressionnaire, l'arrivée des vents du nord-est tout au long de la chaîne montagneuse n'engendre pas des précipitations.

Ces dernières ne peuvent avoir lieu qu'à partir de l'instant où le temps cyclonique s'éloigne, ou lorsque les dépressions qui se forment par le sud de l'oeil du cyclone, ne se heurtent pas à la face occidentale de l'anticyclone sibérien.

D'autres situations exceptionnelles peuvent naître autour de la région: pendant l'hiver, l'air polaire ne pénètre que tardivement et par conséquent son effet se dégrade, peu à peu, vers le sud lorsque la chaîne montagneuse se dresse comme un obstacle naturel.

Durant la période chaude, la région du Tensift est soumise aux influences des anticyclones atlantiques chauds, qui se déplacent au nord pendant la saison printanière et estivale.

Les basses pressions sont localisées sur la Méditerranée et exposées aux vents chauds et secs, d'origine saharienne qui soufflent sur le bassin-versant du Tensift en particulier, et sur une grande partie du Maroc en général. Ce type de vent appelé "SIROCCO" se comporte comme un véritable foehn qui favorise les inversions thermiques en hiver et qui se caractérise donc par la pénétration de vents chauds et secs à Marrakech.

L'échauffement inégal de la terre détermine la création d'un vent quelquefois violent, qui soulève des poussières des terres limoneuses et dénudées, surtout dans la plaine du Haouz lors de la saison sèche. Cet échauffement favorise la création des dépressions.

Le vent durant l'été dans le bassin du Tensift, est d'origine ouest-nord-ouest, mais il s'échauffe et se dessèche avant son arrivée à Marrakech. On peut dire que durant cette saison le temps est beau, mais des changements fréquents peuvent créer de temps à autre des orages très violents surtout en pleine montagne.

Ce phénomène est très difficile à illustrer comme l'a signalé J.DRESCH (1941):<<puisque le sud marocain est soumis à des pressions et vents variables localement et puisque cette zone subit des influences complexes et mal connues encore...>>

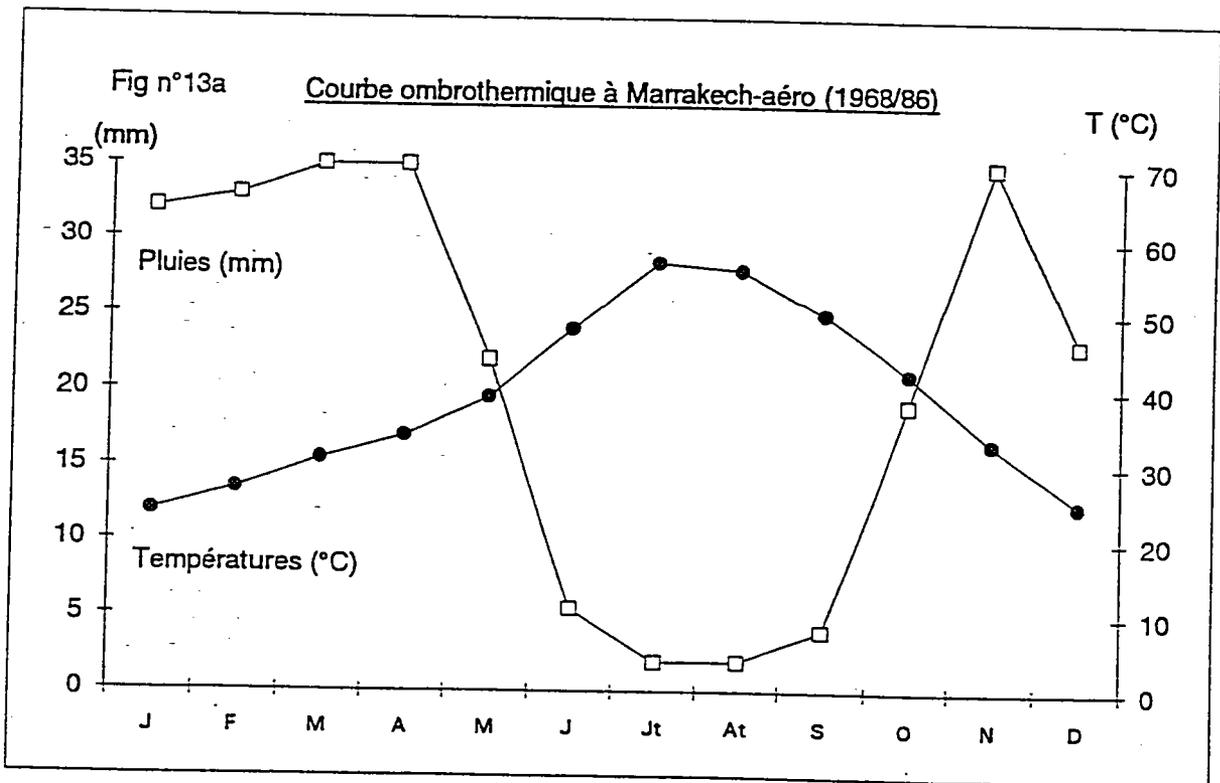
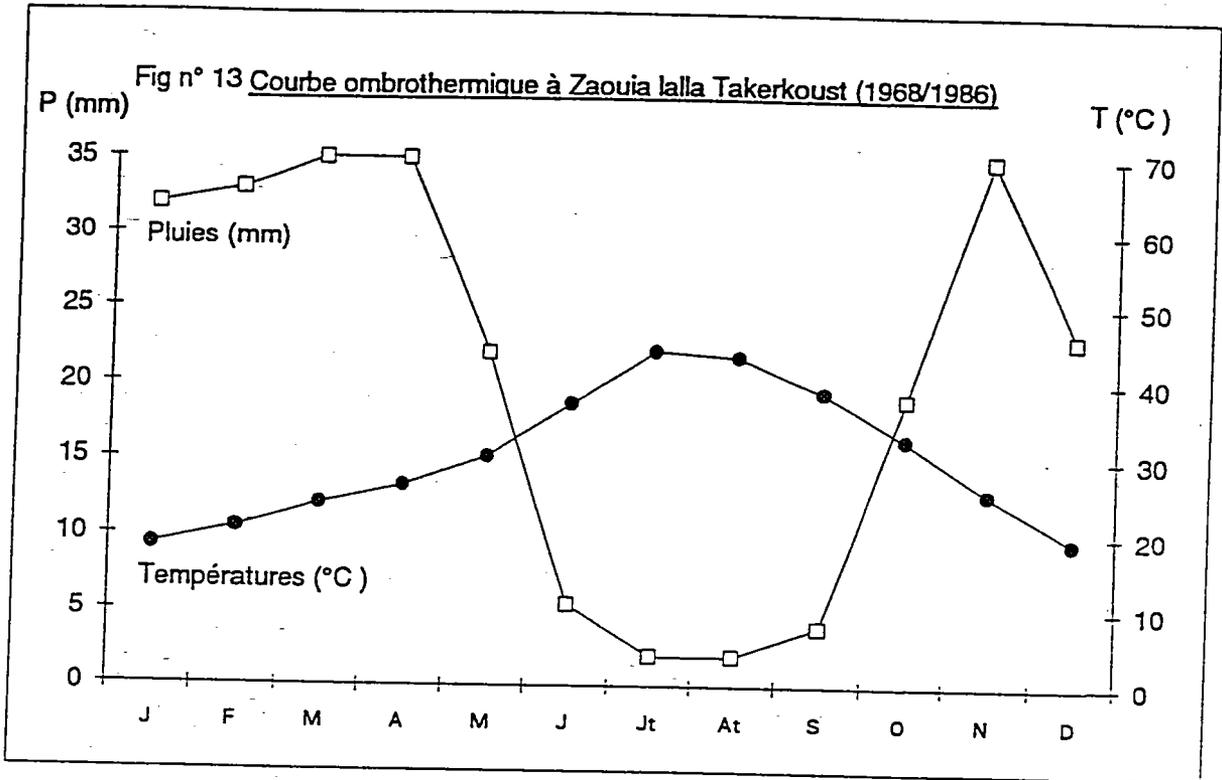
Citons par exemple l'anticyclone des Açores, qui s'avance plus ou moins sur le Maroc et le bassin méditerranéen. Il favorise l'existence des dépressions sahariennes qui peuvent s'étendre sur une grande partie du territoire marocain et les dépressions du front, ou du pseudo-front méditerranéen.

Toutes les dépressions qui se localisent au sein des plaines au nord de l'Atlas, ont une possibilité de faire venir les vents du sud et sud-est, qu'on appelle "SIROCCO" et changer le temps à Marrakech.

Ces courants d'air sont violents et froids au sommet et chauds à la base; ils peuvent perdurer plusieurs jours, se comportant comme le foehn, ce qui favorise la régénération des averses d'instabilité dans l'air chaud.

En plus des vents de "SIROCCO", le Maroc connaît aussi une autre sorte de vent chaud venant de l'est connu sous le nom de "CHERGUI" qui veut dire en arabe "l'oriental". Quand il souffle, toute la partie sud marocaine, connaît un temps lourd et une température très élevée.

Ce vent chaud peut pénétrer même au nord pour toucher une majorité du Maroc septentrional. Le "CHERGUI" naît <<Lorsque l'anticyclone des Açores émet un prolongement sur le bassin méditerranéen ou l'Europe centrale, qui se soude à un anticyclone centré sur l'Afrique du nord orientale, lorsque la dépression saharienne s'étend du sud au nord, sur une bonne partie du Maroc, ou



qu'enfin la dépression saharienne vient se souder à des dépressions du front polaire centrées sur la péninsule Ibérique, des vents violents chauds, soufflent de l'est>> J.DRESCH (1941).

Ces vents "CHERGUI" ont le même comportement que les foehns.

Les deux sortes de vents (CHERGUI et SIROCCO) provoquent des orages dans la montagne et sur la plaine, qui sont responsables de la chute de grosses gouttes, qui rejoignent un sol sec et surchauffé. Dès la fin de l'été, l'air froid de l'arrière de l'oeil du cyclone se heurte aux vents du nord-ouest et provoque ainsi des averses abondantes.

A vrai dire, le massif du Haut-Atlas ne forme un obstacle que pour les influences tempérées et laisse pénétrer les vents du sud et sud-est.

La région du Tensift dite le Haouz de Marrakech, a un climat caractérisé par une précipitation faible et irrégulière ainsi que par des écarts thermiques journaliers et saisonniers très importants.

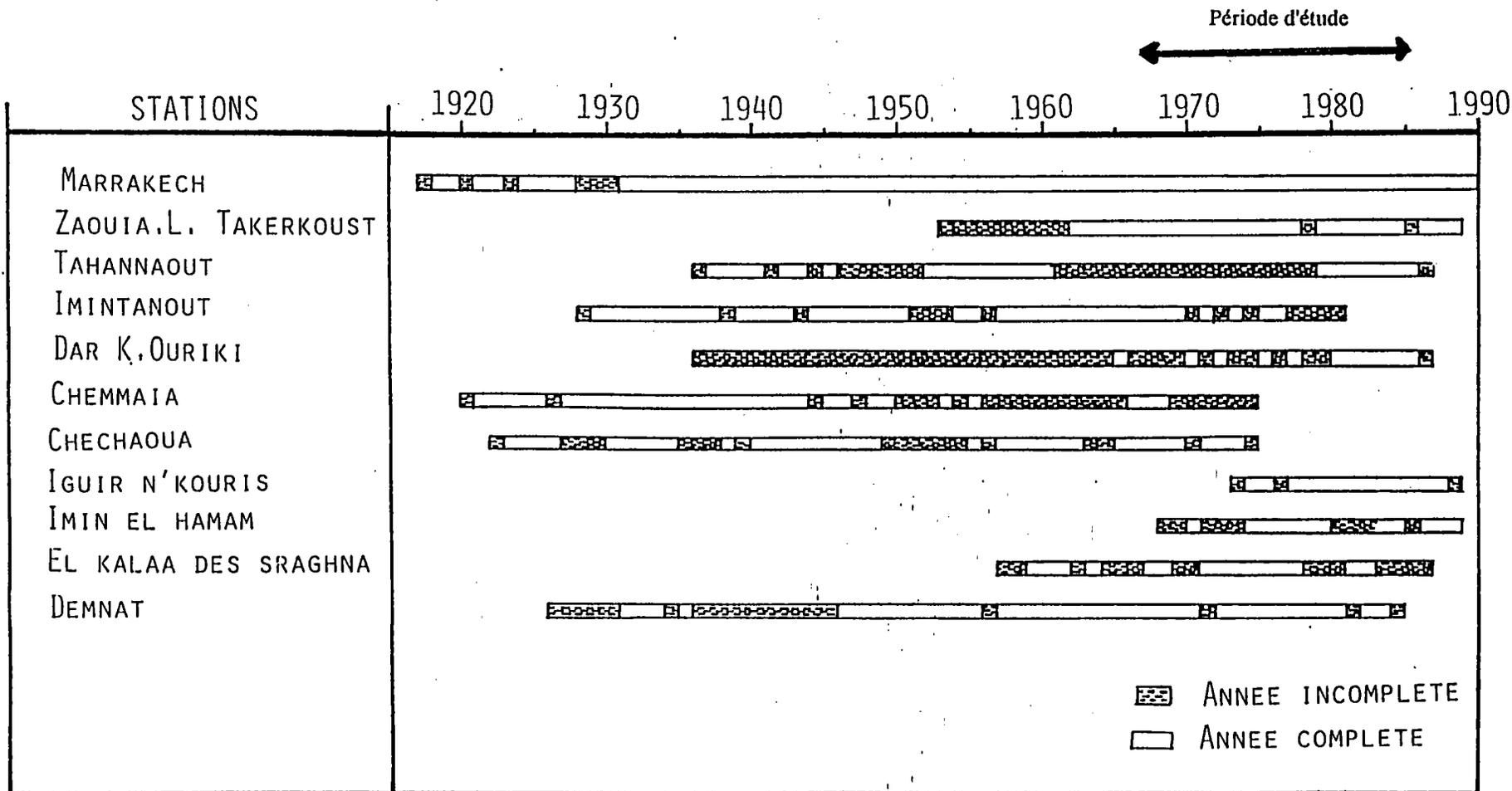
La faiblesse des pluies, les températures très élevées et l'importante évapotranspiration, provoquent une saison sèche extrêmement sévère. Ces conditions traduisent un climat méditerranéen chaud et sec de type continental.

Plusieurs indices proposés par différents auteurs montrent, la sévérité de ce type de climat méditerranéen continental: selon THORNTHWAITE, le climat de la région de Marrakech se place à la limite du climat sub-aride et du climat aride.

La courbe ombrothermique de Gaussen et Bagnouls montre une importante saison sèches d'avril à octobre" c'est un climat xérothermoméditerranéen, comportant entre 150 et 200 jours secs" (Cf Fig n°13 et 13a).

D'après ces informations, on peut dire que le bassin du Tensift dans l'ensemble, se caractérise par un climat assez aride, cette aridité s'accroît d'est en ouest et du sud vers le nord sur le bassin:<< *On a pu observer en 1972 que dans la région de Marrakech, les pluies naturelles n'humidifient que la partie supérieure du sol, et le déficit demeure très important après les pluies du printemps. Cette humidité superficielle diminue dès la reprise de végétation pour se rapprocher rapidement du point de fléchissement. La faible importance du stock*

Fig n°14 TABLEAU DES SERIES D'OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES DES POSTES RETENUS DANS L'ETUDE



d'eau après les pluies traduit l'aridité du climat et l'absolue nécessité d'avoir recours à l'irrigation pour l'intensification de la production agricole dans cette région>> MOURREAU (1973 b).

L'étude climatique dans la région du Tensift, sera menée à partir des documents que nous avons pu collecter auprès des services de la météorologie nationale et des services hydrologiques marocains, malgré leur rareté et les difficultés rencontrées pour les obtenir.

I) LES PRECIPITATIONS DANS LES BASSINS ATLASIQUES

Dans ce passage, notre étude sera consacrée tout d'abord à la critique des données pluviométriques et à l'homogénéisation des séries d'étude. Ensuite, nous comblerons les lacunes existantes à travers toute la période d'étude, pour améliorer la qualité des données statistiques observées et avoir en même temps une série d'années continue.

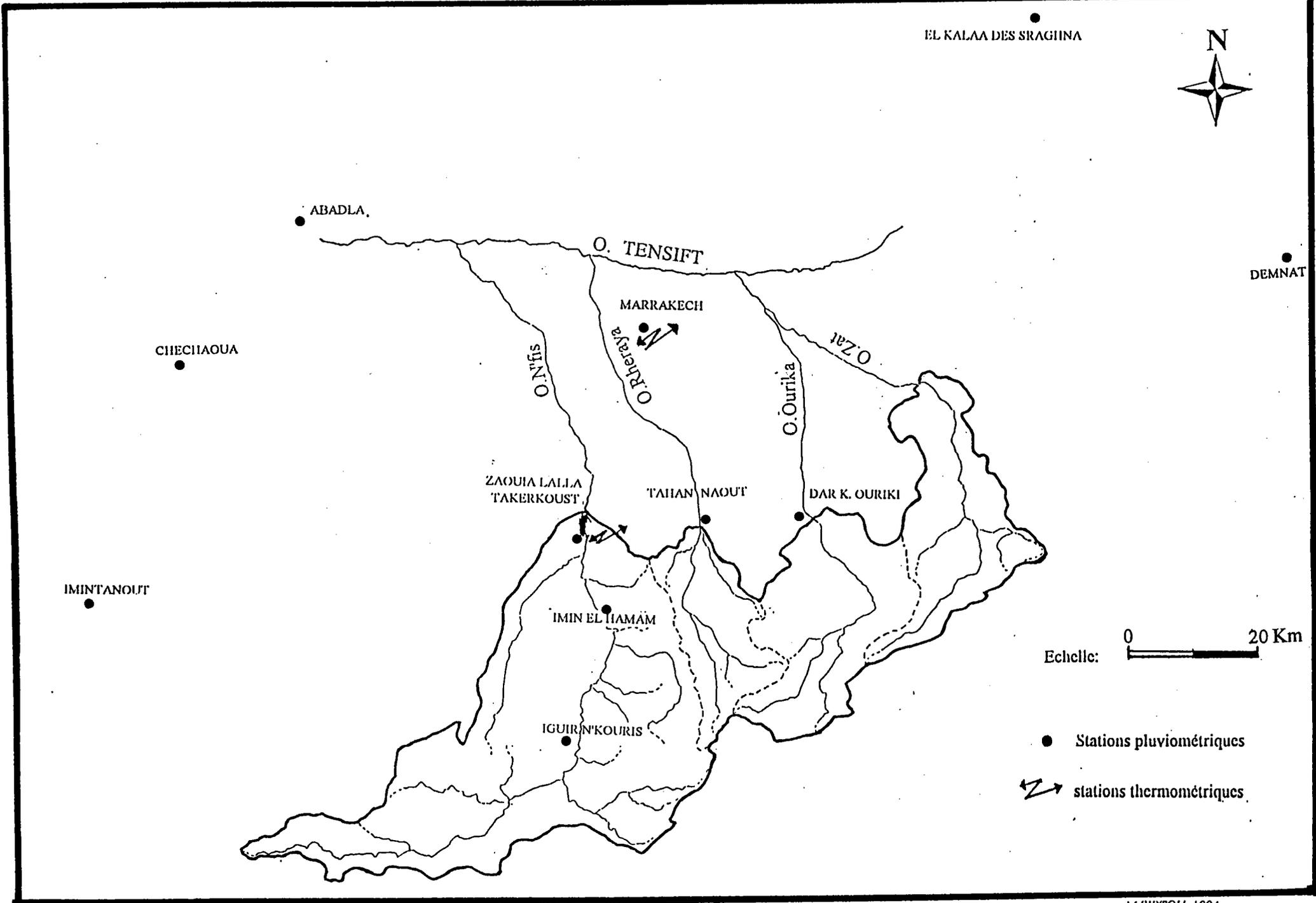
Dans une deuxième phase, nous aborderons les différentes sortes de pluies qui jouent le rôle principal dans l'alimentation en eau des oueds et des nappes souterraines. Nous traitons aussi les fluctuations thermiques annuelles et saisonnières et le rôle de l'important ensoleillement sur le déficit d'écoulement.

1°) Critique et homogénéisation des données pluviométriques

a) le réseau pluviométrique et le choix de la période d'étude

L'examen du tableau synoptique (Cf Fig n°14) montre combien les périodes d'observation des précipitation sont hétérogènes. Dans l'ensemble des stations concernant les bassins versant atlasiques et influençant directement ou indirectement leur régime d'écoulement, nous avons rencontré des séries d'années courtes, comme à Tafériat et des séries plus longues telle la station de Marrakech-aéro.

Le choix de la période d'étude (1968-1986) a été déterminé par le fait qu'elle constitue pour la majorité des stations, la période la moins perturbée et qui englobe des lacunes minimales pour les jours, les mois ou les années observées.



Echelle: 0 20 Km

- Stations pluviométriques
- ↗ stations thermométriques

Par ailleurs, cette série (1968-1986) englobe des années plus sèches (1982/1983), cette sécheresse a touché le Maroc en entier et elle a eu des conséquences sur le système d'écoulement surtout dans les régions semi-arides comme la nôtre ainsi que sur la vie agricole.

b) Critique des données pluviométriques

Une simple observation de la carte figurant les stations d'observations (Cf carte n°12), nous permet de distinguer facilement le faible nombre de postes de mesure pluviométrique et la répartition inégale des stations dans l'espace à travers tout le bassin.

Nous n'avons pu retenir que neuf postes parmi les seize stations disponibles en raison de leur fiabilité, leur situation par rapport à l'ensemble du bassin du Tensift et surtout de leur durée de fonctionnement (périodes brèves et souvent discontinues). Ce sont Marrakech-aéro, Zaouia lalla takerkoust, El kalaâ des sraghna, Dar kaïd ouriki, Abadla, Imin el hamam, Demnat, Iguir N'kouris, Imintanout et Tahannaout.

Neuf postes, pourraient paraître un nombre suffisant pour établir une étude satisfaisante, mais vu l'importance de la superficie du bassin, il est en réalité très faible (un poste pour 346 km²).

Le mauvais équipement dans notre bassin paraît flagrant, surtout quand on voit une absence absolue de poste d'observation pluviométrique dans toute la partie méridionale, formée de massifs montagneux et à priori plus arrosés.

Une majorité de postes a été installée pendant la période du protectorat (Marrakech-aéro pendant les années 1910) et nombreux sont ceux qui ont cessé de fonctionner (Tlate n'yakoub). Ces dernières années de nouveaux postes ont été installés.

De même certains postes ont cessé de fonctionner, après quelques années de service.

En plus, l'emplacement des postes pluviométriques, ne respecte pas toujours les conditions scientifiques telles: le site, l'éloignement des obstacles naturels (arbres, montagnes) ou artificiels (constructions...). En effet, pour qu'un poste soit bien placé il doit être établi à une distance égale ou moins à quatre fois la hauteur de l'obstacle.

c) homogénéisation des données et comblement des lacunes

Faute de fiabilité complète des données pluviométriques acquises par ces services météorologiques nationaux et le service hydraulique, nous serons obligés de prendre des précautions lors de leur traitement et lors de l'interprétation des graphiques qui seront établis par la suite.

En effet, quelquefois nous trouvons deux stations portant un même nom ou ayant les mêmes coordonnées géographiques avec une petite différence d'altitude et de longitude, tel le cas de Zaouia lalla Takerkoust: une qui a commencé à fonctionner depuis 1937 jusqu'à 1980 a pour coordonnées (X= 239,4 Y= 88,2 et Z= 636) et l'autre fonctionne depuis 1953 jusqu'à nos jours: coordonnées (X=239,450. Y= 88,200 et Z= 630).

En réalité, ces deux postes sont distants de quelques kilomètres. Pour le contrôle de la qualité des échantillons pluviométriques, durant la période d'étude et la recherche des anomalies qui peuvent affecter leur homogénéité, nous devons agir avec une grande prudence dans notre étude pour le traitement et l'emploi des graphiques.

L'utilisation de la méthode des doubles cumuls est un moyen pour tester l'homogénéité des hauteurs totales annuelles. Cette méthode se fonde sur la comparaison des totaux cumulés, relevés dans une station pluviométrique avec ceux d'un autre poste ayant fonctionné pendant une longue période, ne possédant pas de lacunes d'observation et se caractérisant par une homogénéité.

L'application de cette méthode est conditionnée par l'appartenance des deux postes à une même région climatique, ce qui n'est pas toujours évident dans tous les bassins-versants car, en plus du mauvais équipement des bassins en appareils de mesure, on trouve une mauvaise répartition des postes dans l'espace.

Ces paramètres ne favorisent pas les conditions d'une étude climatologique bien précise. En effet, tous les postes sans exception, se localisent dans la plaine du Haouz et dans le piémont du Haut-Atlas: la zone montagneuse est vierge de postes de relevés pluviométriques.

On dispose de plusieurs stations pluviométriques, mais le manque de séries communes entre les différentes stations nous a obligé de choisir celles qui ont fonctionné pendant une même période, (stations possédant un maximum d'années en commun).

Le seul poste qui a fonctionné durant une longue période et ne possédant aucune lacune est celui de Marrakech-aéro. Malgré sa position au sein de la plaine du Haouz, on l'a choisi comme poste de référence, même s'il n'est pas représentatif de tout le bassin, car le contraste du relief dans le bassin-versant du Tensift ainsi que l'orientation du massif montagneux du Haut-Atlas (OSO-ENE) et des Djebilettes déterminent une augmentation des précipitations de l'ouest vers l'est et du nord vers le sud.

-Méthode du double cumul:

Pour la critique des données, nous allons appliquer la méthode du double cumul. Elle s'applique aux totaux annuels d'une station de référence "A" et aux hauteurs annuelles de la station à contrôler "B". On obtient un alignement de points sur lequel on peut à priori ajuster une droite de régression. La pente de cette droite est en principe:

$$m = P_{\text{moy}}.B / P_{\text{moy}}.A$$

(P moy A = pluies moyennes du poste A)

Si tous les points s'alignent sous forme d'une seule droite on peut conclure que cette période concernée est homogène; mais si le graphique est affecté par une ou plusieurs cassures, nous jugeons directement que cette série est hétérogène.

Ce phénomène nous oblige à chercher les explications responsables de ces anomalies: elles relèvent en général d'un déplacement du poste, de la perturbation de son environnement ou du changement de type d'appareil, ainsi que, plus rarement, des variations du climat provoquant un changement de situation ou d'exposition.

Lorsque les points se répartissent en plusieurs segments de droites à pente faiblement différentes, les séries homogènes ainsi déterminées correspondent le plus souvent à ces variations du climat capables de modifier le contexte climatique de l'emplacement des postes et qui se caractérisent par la succession des périodes sèches et d'autres humides. Ce phénomène est fréquent dans les climats océaniques et méditerranéens.

Au cas où une cassure remarquable est observée sur la droite de régression, nous serons obligé de chercher la date précise et la valeur du rapport de pente (m/m' ou m'/m) selon les cas.

Pour les stations concernant notre bassin, durant la période choisie (1968-1986), des cassures sont signalées dans les droites présentées sur certaines figures (Cf Annexes n°III à III8): à Jmim el Hamam cette cassure est localisée en l'année 1981, à El kalaâ des sraghna elle est figurée sur le point de l'année 1978, pour Iguir N'kouris c'est l'année 1976 qui présente une cassure et pour Tahannaout, nous constatons la cassure autour de 1981.

Cela nous amène à conclure que la série d'observation, dans la moitié des stations retenues dans l'étude n'est pas homogène. Dans d'autres stations, nous constatons des points qui ne sont pas bien alignés sur la droite de régression mais cela montre une succession d'années pluvieuses et d'années sèches.

Les données pluviométriques à notre disposition, ne sont pas nombreuses et très peu denses spatialement. Les durées des périodes de validité des observations sont quelquefois courtes, d'autres fois elles présentent une série de lacunes assez longue.

Cette situation nous a poussé à rapporter automatiquement toutes les comparaisons à Marrakech-aéro, qui est la seule station la plus ancienne et qui ait fonctionné durant une longue période sans avoir de lacunes d'observation.

-Méthode du simple cumul:

La méthode du simple cumul sert à percevoir l'évolution du climat dans la région du Tensift. Elle se base sur un cumul réalisé par ordre croissant des années d'une seule station afin de réussir à corriger les séries que se soient les séries anciennes en fonction des données récentes ou le contraire.

On porte sur un graphique le temps en abscisse (mois, année) et en ordonnée la pluie cumulée. On obtient un nuage de point auquel on peut à priori ajuster une droite de régression, la pente de cette droite est:

$$\text{Log } P = \text{Somme } P/X$$

(P= Pluies observées et X= le temps)

Cette droite doit s'ajuster à l'intégralité des points du nuages dans un intervalle de confiance. Les points situés à l'extérieur de l'intervalle sont des valeurs non fiables, qui dépendent de l'exposition du poste aux vents dominants ou de sa situation en fond de vallée etc...

Notons encore que le déplacement du poste, la perturbation de son environnement ou le changement du type de pluviomètre provoquent des mesures différentes. Les points qui se répartissent en plusieurs segments de droites à pentes faibles et différentes, déterminent des séries homogènes qui s'expliquent par la succession de périodes sèches et de périodes humides.

L'altitude des différents postes est donnée dans le tableau ci-dessous:

Tableau n°14 La situation altitudinale des stations météorologiques

STATIONS	ALTITUDES (m)
Marrakech-aéro	470 m
Zaouia Lalla Takerkoust	636 m
Imin el hamam	780 m
Dar Kaïd Ouriki	900 m
Tahannaout	1060 m
El kalaâ des sraghna	465 m
Demnat	1000 m
Iguir N'kouris	1010
Chechaoua	355 m

Les courbes du simple cumul des postes étudiés, se trouvent en annexe IV à IV8.

On constate pour la période de dix-neuf années que les droites d'ajustements comportent deux segments de droites sauf pour la station d'Abadla, Imin el Hamam et Imintanout.

En effet, Imin el Hamam et Abadla, ne signalent aucune cassure; sauf que les points ne sont pas bien alignés autour de la droite. Cela serait dû peut-être à la succession des années sèches et des années humides, ou il pourrait s'expliquer par la perturbation de l'environnement du poste, par le changement de poste de mesure ou par un changement climatique. Mais ce n'est pas le cas, car il est dû à la succession de série d'années sèches et d'années humides.

A Marrakech-aéro, la cassure est produite en 1971, elle serait due à un changement d'entonnoir ou à une modification de l'entourage du poste de mesure. Mais le plus probable serait le partage de la série en deux séquences climatiques: une séquence sèche et une séquence humide.

La majorité des postes (5/9 des postes retenus dans l'étude) présente une cassure en 1974. Ce qui amène à déduire que ces stations ont peut être connu un déplacement du poste de mesure, ou qu'elles ont subi un changement de pluviomètre ce qui a provoqué des mesures différentes. Mais la notion de partage de série en une séquence sèche et une séquence humide paraît plus probable.

D'après cette méthode, nous pouvons dire que les points non homogènes de la série sont remarqués sur différentes années, ce qui nous aide à distinguer deux séries d'années comme il est indiqué par la suite:

Tableau n°15 Les séquences humide et sèche (pluies)

STATIONS	1968-1974	1974-1986
Demnat Tahannaout Dar Kaïd Ouriki Iguir N'kouris Zaouia Lalla Takerkoust	Séquence humide	Séquence sèche
	1968-1971	1972-1986
Marrakech-aéro	séquence humide	séquence sèche
	1968-1978	1979-1986
El Kalaâ des sraghna	séquence humide	séquence sèche

En somme cette méthode, nous a aidé à constater l'évolution de la pluviosité et à détecter les séquences sèches et les séquences humides, afin de connaître l'évolution du climat dans la série des années retenues dans notre étude.

-Comblement des lacunes

A l'exception de Marrakech-aéro, toutes les autres stations présentent de nombreuses lacunes d'observation sur plusieurs mois telle la station de Zaouia lalla Takerkoust, ou sur plusieurs années, comme à Tahannaout. La compensation des données manquantes a été établie à l'aide de la méthode de corrélation linéaire qui a pour équation:

$$Y = a X + b$$

Cette méthode nous permet d'estimer les valeurs pluviométriques manquantes. Pour que les comblements soient meilleurs, il faut qu'ils reposent sur le voisinage des postes et que ces derniers fassent partie d'une même région climatique. Ceci reste souvent théorique.

La valeur de "Y" (Y=la hauteur de pluie à déterminer pour la station à lacunes) sera estimée à partir de la variable connue "X" (X= la hauteur de pluies connue) et cela s'effectue à partir de la droite de régression de "Y" en "X". Cette estimation a été faite à l'aide de l'ordinateur (logiciel *regressi*).

Nous avons pu obtenir une matrice de coefficients de corrélations des stations prises deux à deux pour les pluies mensuelles et annuelle (voir tableau n°16). Mais les coefficients de corrélations annuels ne sont pas toujours représentatifs des conditions pluviométriques réelles du bassin, selon les nuances régionales.

Ainsi, nous avons remarqué que ces coefficients de corrélation sont variables d'un mois à l'autre. Les meilleurs coefficients de corrélations sont observés pour les mois de novembre, décembre, janvier, février et au mois d'avril (saison humide) à raison de l'abondance des pluies. Quelquefois le mois de Janvier présente un coefficient faible.

Une grande prudence est donc indispensable parceque certaines fois, on a pu établir des corrélations entre des stations qui n'appartiennent pas à un même secteur climatique. Ceci favorise l'existence des erreurs statistiques. De plus les comblements des données manquantes ont été faits d'après les régressions présentant un coefficient de corrélation élevé, sauf pour quelques stations qui représentent un coefficient relativement faible telles les stations de Tahannaout et Abadla (0,7). Pour la station d'Iguir N'kouris, vu sa brève série de fonctionnement (mise en service en 1974/1975); on n'a pas extrapolé pour une raison de fiabilité (Cf tableau n°16)

Tableau n°16 Les coefficients de corrélation

Postes pluviométriques	Période d'observation	Coefficient de Corrélation ann. avec Marrakech-aéro
Demnat	1968-1986	0,8
Zaouia L.Takerkoust	1968-1986	0,9
Dar Kaïd Ouriki	1968-1986	0,9
Tahannaout	1968-1986	0,83
Iguir N'kouris	1975-1986	Non comblée
Imintanout	1968-1986	0,84
Imin el Hamam	1968-1986	0,8
Abadla	1968-1986	0,78
Chechaoua	1968-1986	0,91

Les reconstitutions des lacunes sont établies mois par mois et année par année pour toutes les stations concernées, en considérant les coefficients de corrélation annuels et mensuels.

Nous avons reconstitué aussi certains totaux annuels pour que les sommes des précipitations mensuelles soient égales aux pluies annuelles reconstituées; nous avons multiplié chaque valeur mensuelle par le rapport somme Pn/somme Pm (Pn=pluies annuelles; Pm= pluies mensuelles)

CONCLUSION

D'après ce qu'on a vu au préalable, nous pouvons dire que la série des données pluviométriques pour la période 1967/68-1985/86 connaissent une hétérogénéité importante.

2°) Les précipitations annuelles et leur irrégularité spatiale et temporelle.

a) La variabilité annuelle

Les données pluviométriques annuelles dans le bassin du Tensift connaissent une grande variabilité annuelle sur la série d'étude (1968-1986) comme on le voit à la station de Marrakech-aéro sur le tableau (Cf tableau n°17)

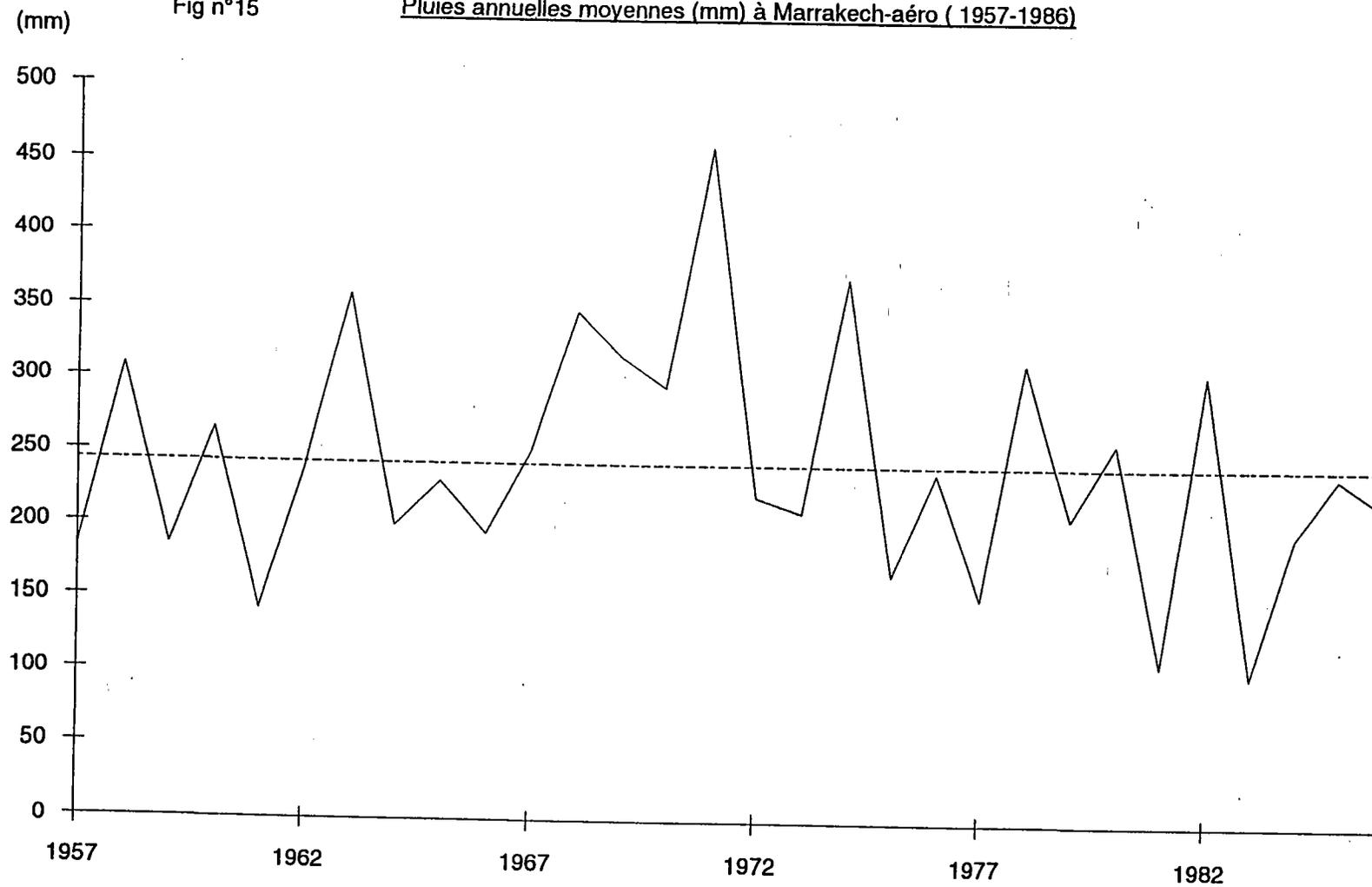
L'examen de ce tableau et du graphique (Cf fig n°15), nous permet de dire que cette période est relativement sèche si on la compare avec la série depuis 1957; elle présente un grand nombre d'années (11 ans) situées sous la moyenne (250 mm) de toute la série.

Tableau n°17 Tableau des pluies annuelles à Marrakech-aéro

Années	Pluies ann.
1957	184
1958	309
1959	185.5
1960	266
1961	141.5
1962	238
1963	359
1964	200
1965	231
1966	195
1967	252
1968	348
1969	317
1970	296
1971	461
1972	221.5
1973	211
1974	372
1975	168
1976	239
1977	153
1978	314
1979	208
1980	260
1981	108
1982	307
1983	101
1984	197
1985	238
1986	217
TOTAL	7297.5
Moyenne	243.25

Fig n°15

Pluies annuelles moyennes (mm) à Marrakech-aéro (1957-1986)



Nous constatons aussi une irrégularité des pluies d'une année à l'autre: sur 30 ans d'observation (1957-1986), une majorité d'années présente de faibles pluviosités surtout pendant la dernière décennie où nous constatons deux années qui enregistrent des valeurs très basses (1981=108 mm et 1982=101mm). Dans l'ensemble, on trouve durant la période d'étude une séquence d'années humides 1968-1974 et une autre d'années sèches (1975-1986), ce fait se distingue sur les graphiques du simple cumul (voir annexes n°IV à IV8).

La série d'années de faible pluviosité est assez longue: elle est d'une durée de onze ans pour la série d'étude. Les années les plus sèches sont presque toujours dûes à la faiblesse des pluies d'hiver ou du printemps, ce qui influence directement le système d'écoulement. Par contre les années pluvieuses connaissent des séquences de pluies longues dûes aux flux de différentes origines.

Globalement les quinze dernières années sont marquées par des pluviosités faibles. Au cours de cette série, le Maroc a connu plusieurs fois des années de très faibles pluies qui ont eu des conséquences désastreuses au niveau du système d'écoulement.

b) Etude fréquentielle des précipitations annuelles

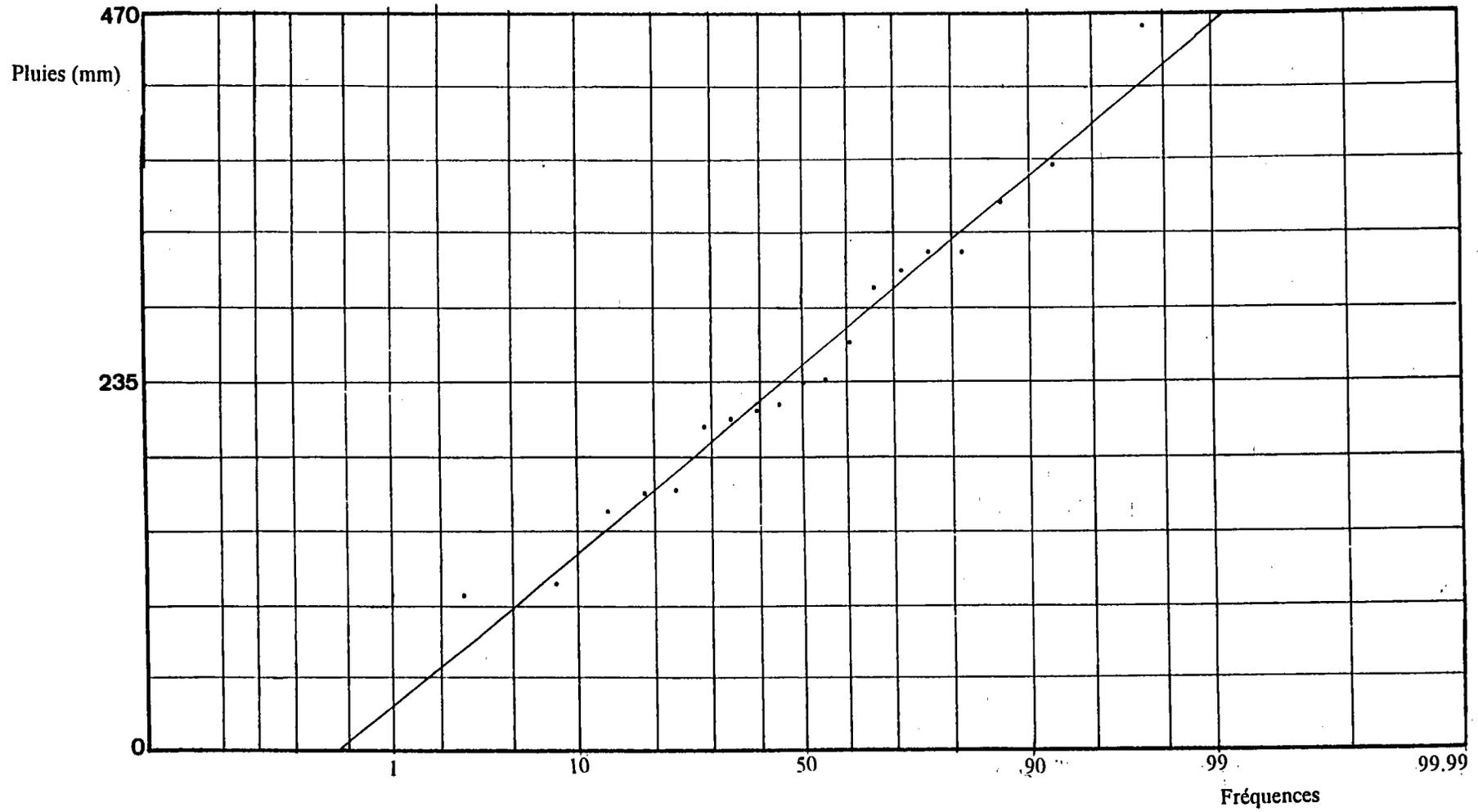
L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations sera complétée par une étude fréquentielle, c'est-à-dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée.

Cette méthode consiste en la recherche d'une loi d'ajustement qui serait convenable à la distribution des pluies annuelles. L'estimation des paramètres d'ajustement de cette loi se base sur les pluies moyennes (P) et l'écart type (σP) des pluies. Ensuite nous déterminerons la variable réduite qui nous aide à calculer les différentes parts de pluies.

L'étude des pluies fréquentielles caractéristiques nécessite l'arrangement des valeurs de pluie par ordre croissant ou décroissant, en donnant à chaque variable son rang dans la série. Dans une deuxième phase, nous calculons les fréquences qui correspondent en appliquant la formule suivante:

$$F = n-0,5 / N$$

Fig n° 16 Pluies annuelles à la station de Marrakech-aéro 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale



(N= taille de l'échantillon, n= rang) les résultats obtenus sont visualisés sur le tableau ci-dessous:

Tableau n°18 Les pluies classées et leur fréquences à Marrakech-aéro (1968-1986)

Pluies annuelles	R a n g	F=n-0,5/N
101	1	0,03
108	2	0,08
153	3	0,13
165	4	0,18
168	5	0,24
208	6	0,29
211	7	0,3
217	8	0,39
221,5	9	0,45
230	10	0,5
234	11	0,55
260	12	0,6
296	13	0,66
307	14	0,71
314	15	0,76
317	16	0,82
348	17	0,87
372	18	0,92
461	19	0,97

Après nous reportons sur un papier gaussio-arithmétique, les fréquences en abscisse et les hauteurs d'eau en ordonnée, ensuite nous traçons la droite d'ajustement à l'aide de:

$F_{0,9} = P_{moy} + 1,28 \times \sigma \times P$ et $F_{0,1} = P_{moy} - 1,28 \times \sigma \times P$, qui nous permet de figurer la loi de probabilité (Cf Fig n°16). C'est ainsi qu'on a pu déterminer les pluies fréquentielles des autres stations retenues dans l'étude. Ce travail a été réalisé à l'aide de l'ordinateur (pour les autres stations voir en annexe n° V à V7).

Les quantiles estimés pour les stations disponibles dans le bassin du Tensift pour les probabilités de retour retenues sont visualisées sur le tableau n°19:

Tableau n°19 Les pluies annuelles fréquentielles

STATIONS	Pluies annuelles fréquentielles				
	F(0,01) 100 ans	F(0,1) 10 ans	F(0,5) 2 ans	F (0,9) 10 ans	F(0,99) 100 ans
Marrakech-aéro	37	132	247	366	464
Zaouia.Lalla Takerkoust	61	150	260	370	459
Dar Kaïd Ouriki	75	249	463	676	850
Demnat	219,5	374	564	754	909
El kalaâ des sraghna	18	111	225	339	431,5
Abadla	13	89	181	273	348
Imin el hamam	126	235	369	502	611
Tahannaout	101	258	450	642	798
Iguir N'kouris	39	110	243	432	625

N.B (Pour les autres stations voir graphiques en annexe N° IV à IV7)

D'après la figure n°16 et le tableau n°19, nous concluons que les précipitations dans la région du Tensift, s'ajustent à une loi normale. Ensuite nous remarquons que les valeurs des précipitations de fréquence décennale humide et biennale, sont importantes avec un écart fort, ce qui nous mène à déduire une fréquence de précipitation minimale sévère comme à Marrakech-aéro.

c) Les nuances pluviométriques spatiales

Un simple aperçu sur les moyennes pluviométriques des stations à la bordure des montagnes et de celles qui sont situées dans la plaine du Haouz, nous montre que le gradient pluviométrique

apparaît très fort aux abords de la montagne, alors que toutes les stations à altitude basse ont des valeurs proches de celle de la station de Marrakech-aéro.

Le volume des précipitations en bordure de la montagne est donc extrêmement sensible à la position et aux conditions orographiques. Les facteurs de différenciation varient suivant l'orientation des flux perturbés, mais concourent dans l'ensemble, à privilégier le *Dir oriental (Dir= piémont)

Nous pouvons remarquer que, malgré quelques nuances très localisées, en particulier sur les versants ouverts aux perturbations d'ouest et du nord-ouest, on peut admettre que les pluies arrosant la bordure méridionale des "Djebilettes", sont du même ordre

d'importance que celles qui tombent dans le Haouz en rive gauche du Tensift. Loin vers l'ouest de Marrakech-aéro la pluie diminue comme on le constate dans la zone sèche de Chechaoua. La moyenne enregistrée à Chechaoua ne dépasse pas 188,5 mm contre 250 mm pour la même période à Marrakech-aéro.

Cette différence est expliquée par les Hauts sommets à Chechaoua qui ne constituent plus comme le Haut-Atlas au sud de Marrakech une barrière continue, mais <<des îlots isolés (ERDOUZ, TICHKA) que l'on voit parfois du Haouz émerger d'une mer de nuages qui déborde sur l'avant pays>> (H.DELANNOY,1971)

Ce qui nous montre que l'effet de l'orographie apparaît moindre et la brusque décroissance des pluies, reste à expliquer à partir des reliefs cotiers d'altitudes modestes.

Sur la bordure septentrionale, au vu de la faible densité des stations nous nous appuyerons sur les données de certaines stations disponibles comme El Kalaâ des sraghna qui a une moyenne annuelle de l'ordre de 225 mm.

On ne peut expliquer cette différence ni par l'altitude, ni par le site qui ne peut jouer qu'à El kalaâ des sraghna localisée au nord d'un ensellement des "Djebilettes" orientales. Il reste alors la position par rapport aux courants perturbés et aux accidents topographiques majeurs.

À vrai dire, un simple aperçu sur la répartition des pluies dans le bassin du Tensift, nous montre que la pluviométrie croît vers le sud à l'approche de la montagne du Haut-Atlas. Ainsi nous retenons que le piémont oriental est plus favorisé que celui à l'ouest.

Cette différence entre les régions situées à l'est par rapport à celles localisées à l'ouest, serait due <<A l'existence d'une zone montagneuse trop différente, dont l'influence s'étendrait pour toucher le Haouz et la région de l'oued Tensift.>> H. DELANNOY (1971).

Sur la bordure montagneuse du Haut-Atlas, le volume des précipitations varie rapidement selon les conditions du relief et selon l'orientation des flux perturbés. Les pluies dans cette zone s'accroissent suivant l'altitude.

L'enneigement aux hautes altitudes est alors très important: la neige devient fréquente dès la bordure Atlasique, elle augmente avec l'altitude (pas de données précises de neige). Généralement, il

neige de décembre à avril inclus, au dessus de 1500 m. Mais des échauffements peuvent être rapides; cependant la neige persiste longtemps au dessus de 2500 m et influence par la suite, surtout au début du printemps, le système d'écoulement (fonte de neige).

CONCLUSION

Les pluies annuelles se caractérisent par une irrégularité temporelle d'une année à l'autre, ainsi que par une disparité spatiale entre le sud et le nord et entre l'est et l'ouest.

3°) La variabilité des précipitations mensuelles et leur régimes saisonnier

a) Les précipitations mensuelles

Le traitement des pluies mensuelles nous aide à connaître les variations des rythmes saisonniers et les fluctuations du volume des précipitations. Ce dernier est marqué par des oscillations légères d'un mois à l'autre et par des variations saisonnières importantes comme représenté dans le tableau suivant à la station de Marrakech-aéro:

Tableau n°20 Les pluies mensuelles moyennes à Marrakech-aéro(1968-1986)

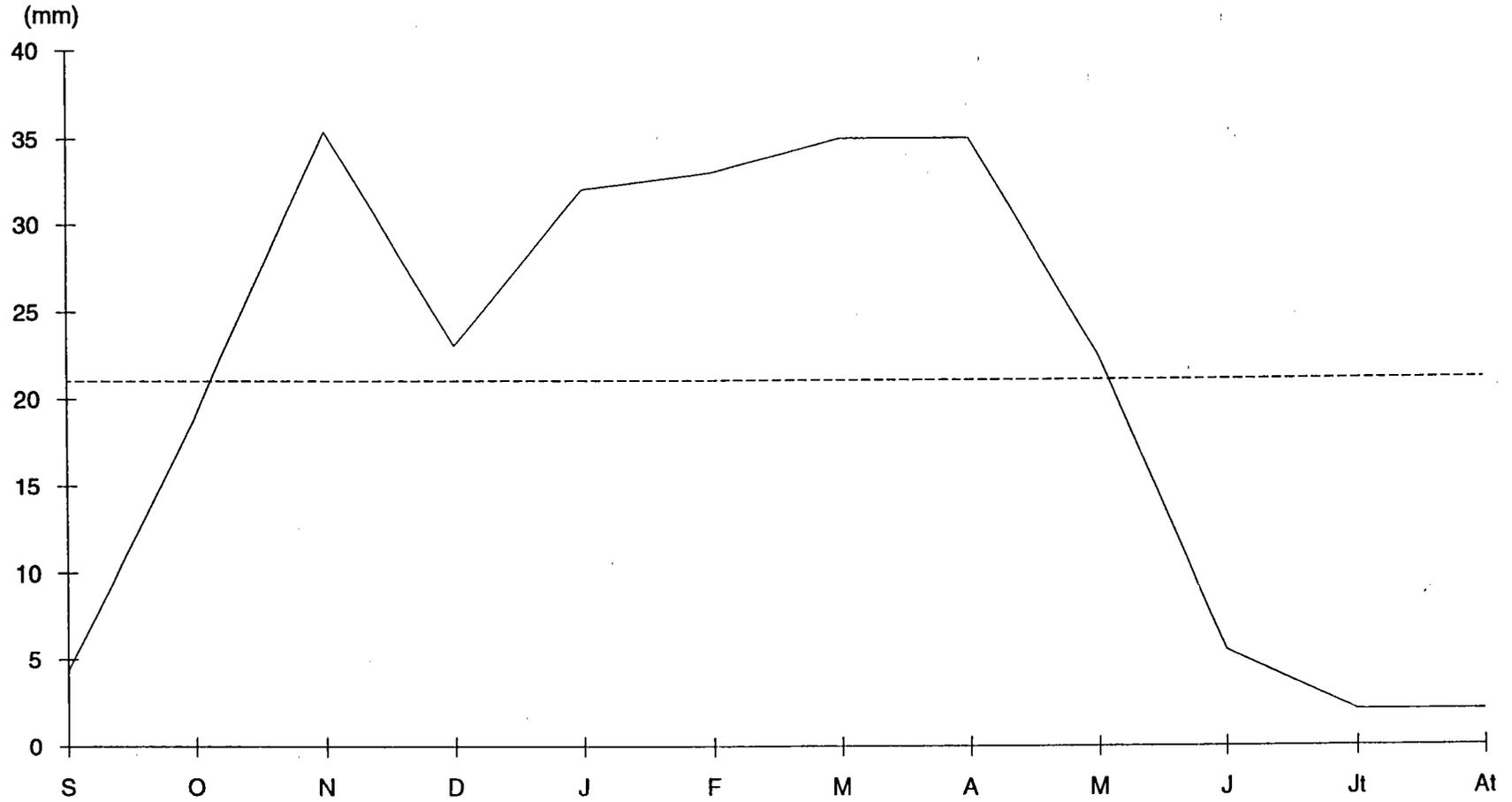
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Somme
P.moy	4,4	19	35	23	32	33	35	35	22	5,5	2	2	249

D'après le tableau précédent des pluies mensuelles qui sont visualisées sur le graphique (Cf Fig n°17), nous constatons que la pluviométrie est très inégalement répartie dans l'année. Elle se caractérise par l'existence de deux saisons: une pluvieuse d'octobre à avril-mai, présentant des maxima en novembre (33,5 mm) et mars-avril (35 mm chacun): elle est dûe à l'influence du front polaire.

Mais la période après janvier est la plus arrosée février (33 mm) Mars (34,9 mm), elle englobe le maximum élevé d'avril (35 mm), et se trouve suivie par une saison de faible pluviosité de mai-juin à septembre. Au cours de cette période les précipitations diminuent brutalement dès le mois de mai (22 mm) à 5,5 mm en juin pour atteindre leur minimum en juillet-août (2,2 mm). Cette variabilité s'aggrave vers la fin de la saison pluvieuse.

Fig n°17

Pluies mensuelles moyennes à Marrakech-aéro (1968-1986)



b) Les régimes pluviométriques saisonniers

Partout le printemps est la saison à maxima pluviométriques où la hauteur des pluies atteint 35 mm surtout en avril. Mais le mois de novembre retrouve aussi cette quantité (35 mm). La concentration des précipitations entre novembre et avril se trouve encore renforcée par le faible nombre de jours de pluies qui ne dépasse pas 7,3 jours en avril 6,6 jours en mars et 6,3 jours en janvier (voir annexe n°VI). Autrement, le nombre de jours de pluie varie d'une année à l'autre: pour le mois d'avril par exemple, nous constatons 14 jours de pluie en 1969 contre 1 jour en 1977.

En été, nous constatons une faiblesse quasi absolue des précipitations avec de fortes chaleurs, surtout en juillet et des vents desséchants (CHERGUI, SIROCCO) dûs à l'influence saharienne. Durant cette saison, les mois de juin, juillet et août totalisent moins de 4% de la pluviométrie moyenne annuelle. La rareté des pluies en période estivale dure généralement cinq mois de mai à septembre. Le mois le plus aride est juillet (1,9 mm). La hauteur la plus élevée a été de (12,4 mm) pendant l'année 1968. De même le mois d'août connaît une indigence aiguë en eau durant toute la série d'étude, sa moyenne s'approche de celle de juillet.

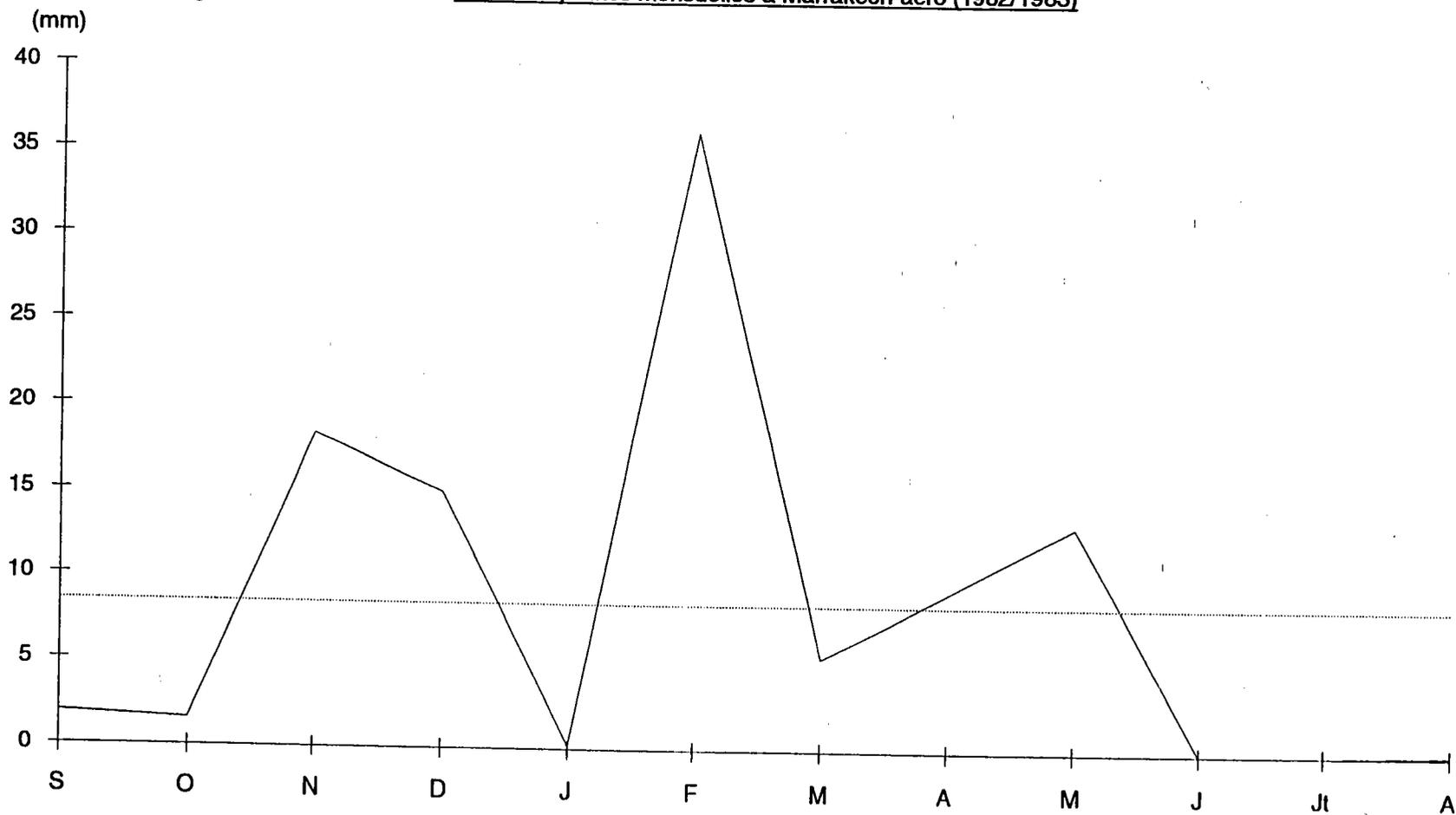
Pour la période estivale, nous pouvons dire que les seules pluies possibles en juillet et août sont celles d'origine tropicale. Le manque de précipitations d'été est montré par la rareté des ondulations, qui provoquent l'instabilité du courant océanique et la stabilité d'une couche épaisse d'air tropical continental sur notre région, qui joue un rôle important pour sécher les gouttes d'eau venant des couches d'air fraîches de l'air polaire maritime.

Les précipitations estivales se caractérisent par une diminution brutale dès le mois de Juin, ceci est montrée par la disparité de certains facteurs moteurs: pendant cette saison, le front polaire est rejeté à des latitudes plus septentrionales, et les seules pluies possibles sont d'origine tropicale. Ce sont de rares précipitations localisées, de caractère orageux et dont le volume est le plus souvent faible.

Par ailleurs, on peut noter aussi l'existence de deux mois transitoires (mai et octobre). En effet, au mois de mai le courant tropical humide d'altitude est responsable de presque la moitié des pluies et le temps de secteur nord occupe une place aussi importante.

Fig n°18

Pluies moyennes mensuelles à Marrakech-aéro (1982/1983)



Mais à partir des dix derniers jours de ce mois, nous constatons une diminution brutale de pluie: la transition entre la saison sèche et la saison humide est donc forte et rapide.

En octobre, une augmentation remarquable des pluies est constatée. Ce qui correspond en quelque sorte à un changement de temps prévenant de l'approche de la saison humide. Ce phénomène est expliqué par l'arrivée des influences du front polaire qui se déplace vers le sud au début de l'hiver.

De plus, les pluies mensuelles connaissent une grande irrégularité d'une année à l'autre, quand on compare par exemple les hauteurs d'eau mensuelles de l'année 1983 (Cf fig n°18). Durant cette année, il n'est tombé que 101 mm, ce qui correspond à une faible pluviosité, par contre nous trouvons 461 mm en l'année 1971.

4°) Estimation des apports pluviométriques dans les bassins-versants atlasiques

Pour quantifier la pluie qui sert à déterminer les lames d'eau précipitées et calculer par la suite la pluie moyenne du bassin, on utilise ou bien la méthode de Thiessen, ou celle des isohyètes ou encore la méthode du gradient pluviométrique.

a) La Méthode de Thiessen

La méthode de Thiessen comme l'a définie M. ROCHE(1963):
<< est une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque pluviomètre un poids proportionnel à une zone d'influence présumée, tel qu'un point situé dans cette zone soit plus près, en distance horizontale du pluviomètre correspondant que de tout autre pluviomètre>>.

L'utilisation de la méthode de Thiessen nous permet de définir la pluie moyenne des bassins versants Atlasiques. La partie influencée par un poste est représentée par un polygone dont les côtés sont les médiatrices des droites qui relient les stations adjacentes. Certains côtés du polygone sont remplacés par les limites du bassin étudié. On calcule la surface du polygone élémentaire affecté par chaque station (A_i). A l'aide de cette méthode, on peut calculer la pluie moyenne des bassins étudiés, par la formule suivante:

$$P_{\text{moy. du bassin versant}} = \frac{\text{La somme de } n \text{ } P_i \cdot A_i}{\text{La somme de } n \text{ } A_i}$$

(P = pluie moyenne et P_i = Précipitations du poste i)
avec A_i = surface du polygone à l'intérieur du bassin.

S = Surface totale du bassin

Par suite de l'application de cette méthode, on multiplie la pluie annuelle moyenne de chaque station par K qui est le rapport entre la surface du polygone influencée par la station et la surface globale du bassin. On obtient les précipitations moyennes annuelles pour chaque zone sous influence d'une station, on détermine que la pluie moyenne = $(X \times k1) + (Y \times k2) + (Z \times k3)$.

Mais faute de postes pluviométriques suffisants et bien répartis dans l'espace des bassins-versants atlasiques, on n'a pas établi cette carte.

De plus, la méthode de Thiessen n'est pas représentative de la pluie moyenne des bassins, puisqu'elle ne tient compte que de la distribution spatiale des pluies en une surface plane, sans faire intervenir aucun facteur physique, notamment les différents reliefs au sein du bassin (vu le contraste altitudinal qu'on pressent au sein des bassins atlasiques). C'est pour cela qu'elle apparaît inapplicable ici.

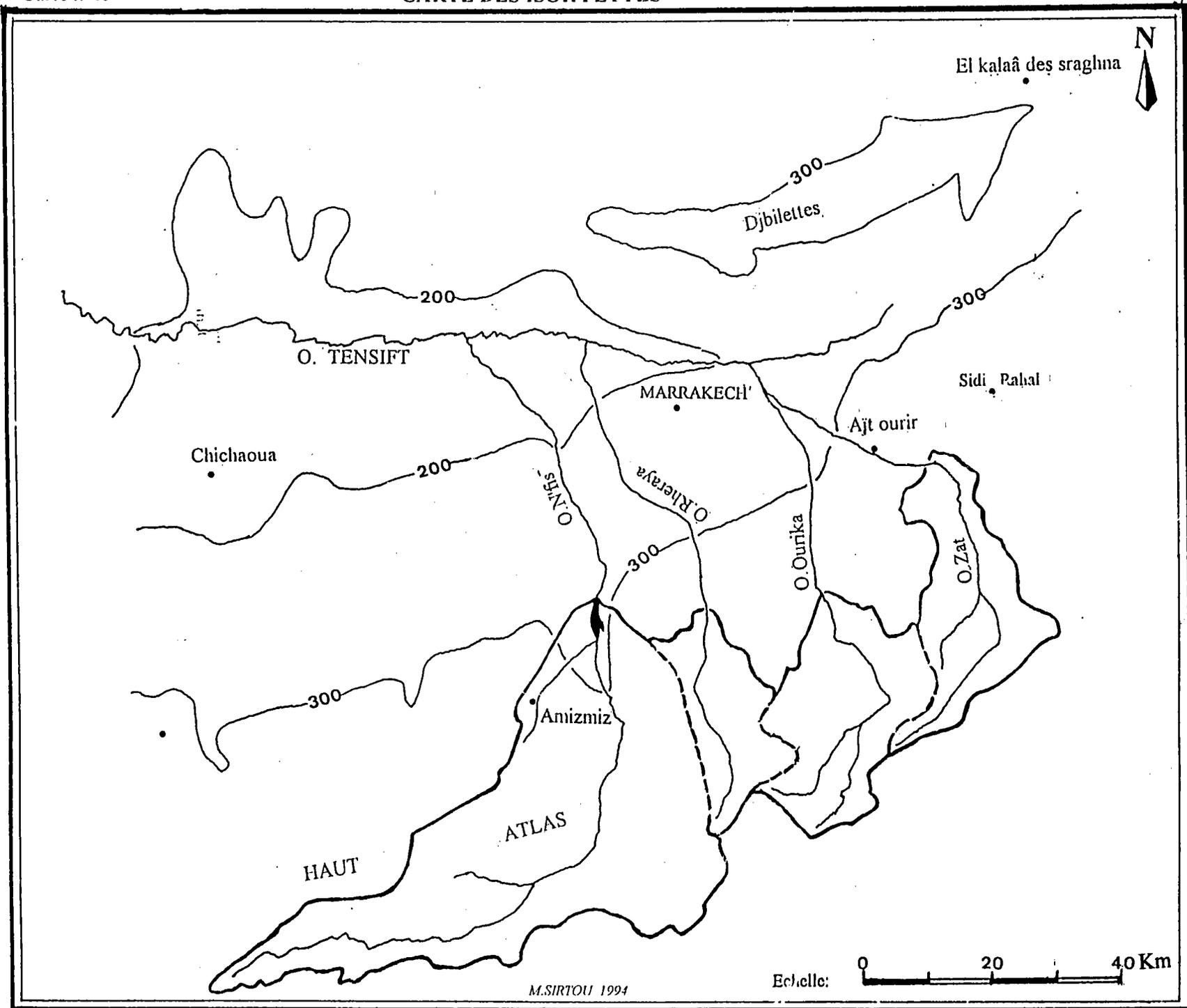
b) La méthode des isohyètes

L'isohyète est le lieu géométrique des points où on trouve la même hauteur des pluies pour une période déterminée. Il est évident qu'on ne peut pas tracer une courbe exacte. Ces courbes représentent approximativement la répartition spatiale de la pluie pour la période prise en considération.

Le tracé des isohyètes, tient compte de la pluviométrie annuelle moyenne des stations pour la période étudiée, de la distance qui sépare les postes entre eux, de l'altitude et l'exposition du relief par rapport aux vents pluvieux dominants, ainsi que des indications fournies par la végétation, car ces facteurs interviennent pour perturber la distribution spatiale des pluies.

Si l'accroissement du relief entre deux stations est régulier, on peut considérer que l'accroissement des précipitations sera proportionnel à la distance.

La méthode des isohyètes, nous facilite la tâche pour calculer la pluie moyenne des bassins-versants contrôlés par des stations hydrométriques. Elle est moins rapide mais plus précise que celle de Thiessen. Elle consiste en un planimétrage des zones cernées entre



M.SIRTOU 1994

Echelle: 0 20 40 Km

Mais l'établissement de la carte des isohyètes dans les bassins atlasiques étudiés, rencontre deux problèmes: d'une part la faiblesse des postes de mesure (un poste pour 347 km²) et d'autre part l'absence de postes pluviométriques dans le massif montagneux du Haut-Atlas: la détermination de la pluie moyenne par cette méthode dans les zones de hautes altitudes serait impossible.

La superficie (A_n) de chacune de ces zones est affectée par la moyenne des valeurs de ces deux isohyètes (P_n). Enfin, il suffit de faire la somme des hauteurs d'eau précipitées des différentes zones et diviser l'ensemble par la superficie totale du bassin versant (S_n):

$$P \text{ moyennes(mm)} = P_n \times A_n / S_n$$

C'est ainsi que nous pouvons déterminer la moyenne pluviométrique des bassins atlasiques. Mais, vu les problèmes signalés plus haut on s'est basé sur une carte générale des isohyètes du bassin dressée par H. DELANNOY en 1971.

D'après cette carte (voir carte n°13) on constate que le bassin du Tensift connaît une première zone de pluies oscillant entre 200 mm et 300 mm et une deuxième zone caractérisée par des hauteurs de pluies annuelles plus élevées dépassant 300 mm.

En effet, la courbe d'isohyète 200 mm passe autour de 450 m et 550 m d'altitude. Elle passe en gros par Marrakech et s'oriente vers l'ouest et le nord-ouest.

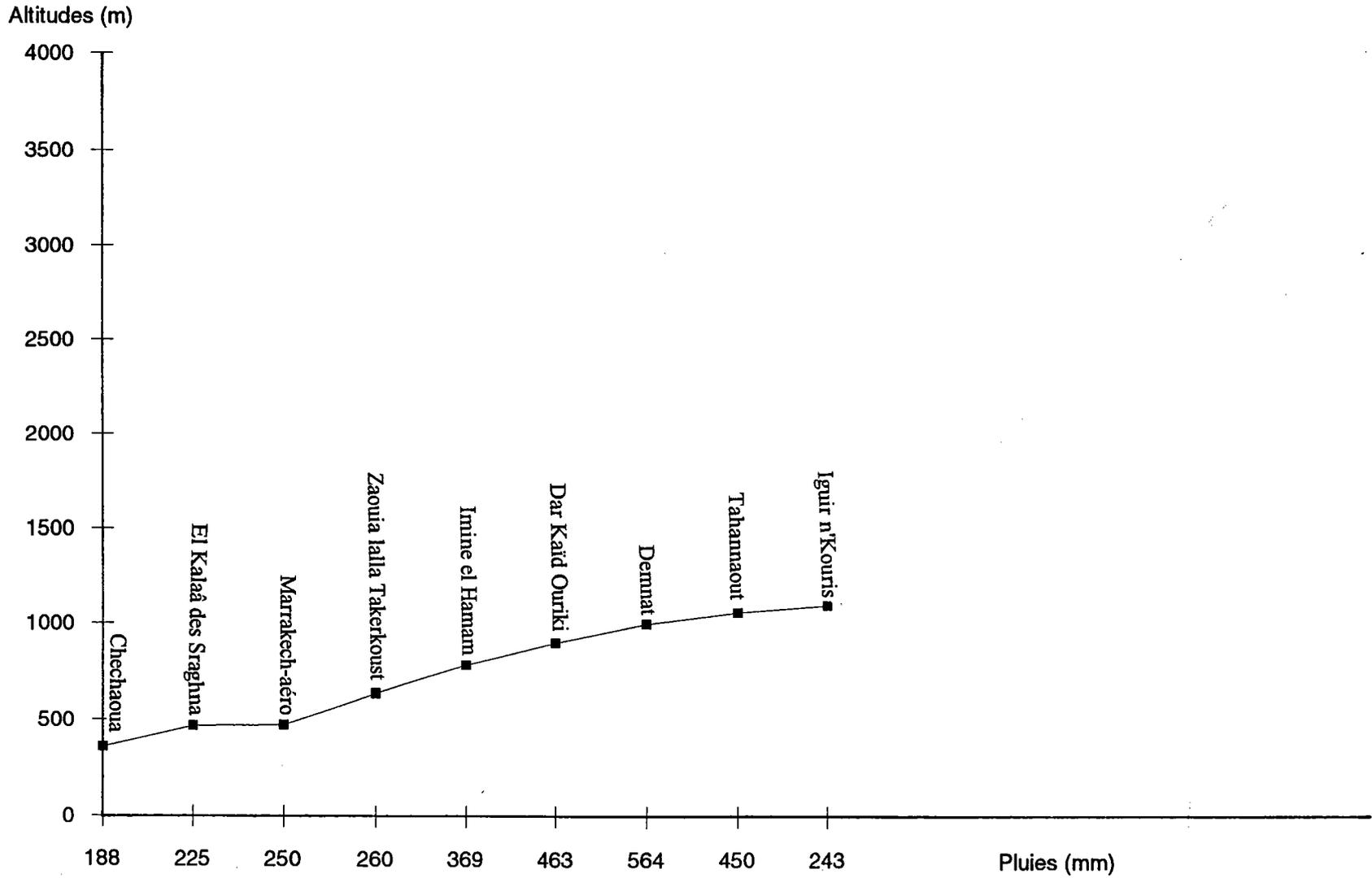
Un peu vers le sud de Marrakech entre 700 et 800 m, l'isohyète 300 mm prend place pour faire une limite entre la plaine du Haouz à faibles précipitations et le massif du Haut-Atlas à pluviosité abondante. Mais au-delà de 1100 m environ, l'estimation des pluies est moins fiable sinon aléatoire. Donc, les isohyètes 200 et 300 mm sont espacées, elles délimitent la plaine du Haouz.

Généralement les hauteurs pluviométriques diminuent en direction du nord nord-est vers l'ouest.

c) La méthode du gradient pluviométrique

Pour éviter une estimation de pluie moyenne trop incorrecte, on s'est basé sur la méthode du gradient pluviométrique. Elle consiste à mettre les pluies moyennes annuelles (en mm) en ordonnées et les altitudes des stations (en m) en abscisse.

Fig n°19 Méthode du gradient pluviométrique dans les bassins-versants atlasiques (région du Tensift)



Nous obtiendrons un nuage de points, nous tracerons une droite qui relie les différents points par la suite. Une telle opération pour le calcul du gradient pluviométrique est donc très délicate au sein de la chaîne montagneuse pour les altitudes supérieures à 3500 m au sud des bassins étudiés.

Un examen du graphique du gradient pluviométrique (Cf Fig n°19), nous montre que les pluies sont croissantes du nord (dans la plaine du Haouz) où les pluies sont modestes, oscillant entre 200 mm et 300 mm, vers le sud où les pluies sont abondantes dépassant 300 mm en fonction de l'orographie.

Remarquons que la méthode du gradient pluviométrique, ne nous permet pas de connaître précisément le système pluviométrique dans les zones de hautes altitudes. Une telle estimation de pluies dans ces zones où demeurent trop de contrastes d'altitude serait aléatoire et incorrecte.

Par la méthode du gradient pluviométrique, on a estimé les pluies dans le bassin-versant du Tensift y compris le massif montagneux à un certain niveau limités (3000 m, zone de neige), pour ne pas avoir des estimations imprécises, les résultats acquis sont reportés sur le tableau suivant:

Tableau n°21 Le gradient pluviométrique dans le bassin du Tensift

Altitudes (m)	Pluies moy.(mm)
465 m	250 mm
900 m	488 mm
1000 m	562 mm
1250 m	582 mm
1500 m	697 mm
2000 m	927 mm
2500 m	1157 mm
3000 m	1387 mm
3500 m	?
4000 m	?

D'après le tableau précédent, nous constatons que le gradient pluviométrique est croissant de la base au sommet et de l'ouest vers l'est.

Les caractéristiques physiques des bassins atlasiques

Les bassins-versants atlasiques dans leur partie amont connaissent une pluviosité très élevée, avec des valeurs très importantes et supérieures à celles qui sont situées dans la plaine du Haouz. L'ampleur de ces précipitations croît en fonction des facteurs orographiques.

Le massif du Haut-Atlas est donc bien arrosé en comparaison avec la plaine du Haouz, mais l'importance de ces précipitations est variable de l'ouest vers l'est et d'une saison à l'autre: la pluviosité du Haut-Atlas occidental, comme c'est le cas pour toutes les régions à climat méditerranéen, est très variable à la fois dans le temps et dans l'espace.

En conclusion, la répartition mensuelle des précipitations dans l'année, nous mène à définir deux saisons pluviométriques différentes.

Les deux méthodes de spatialisation (les isohyètes et le gradient pluviométrique) des pluies, ont des résultats contrastés pour l'estimation des pluies moyennes pondérées du bassin du Tensift, cela est dû sûrement au mauvais équipement du bassin signalé par sa faible couverture en stations de mesures pluviométriques, notamment en sa partie amont et aux contrastes altitudinaux. Donc pour le bilan hydrologique, on va se baser sur les données pluviométriques des stations proches de chaque bassin versant.

II) LES FACTEURS THERMIQUES ET LEUR INFLUENCE SUR L'ÉCOULEMENT

Les températures annuelles et mensuelles influencent l'écoulement avec les autres facteurs météorologiques (vitesse du vent, insolation et humidité...) et géographiques. De plus le facteur d'évapotranspiration agit sur le régime d'écoulement saisonnier et annuel.

1°) Le régime thermique

a) Le réseau de mesure

La rareté des postes de mesures thermiques, nous pousse à baser notre étude du régime thermique sur les deux stations disponibles et présentant des mesures pour une longue période (Zaouia Lalla Takerkoust et Marrakech-aéro); ces deux postes, vu leur position, ne vont pas présenter précisément le système thermique de tout le

Fig n°20

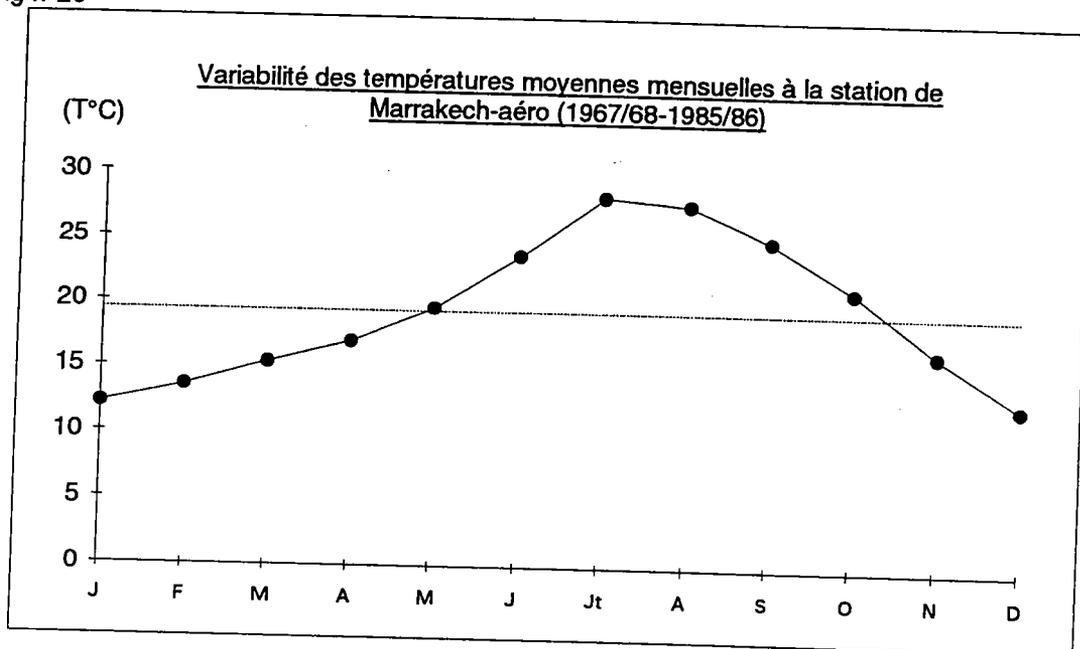
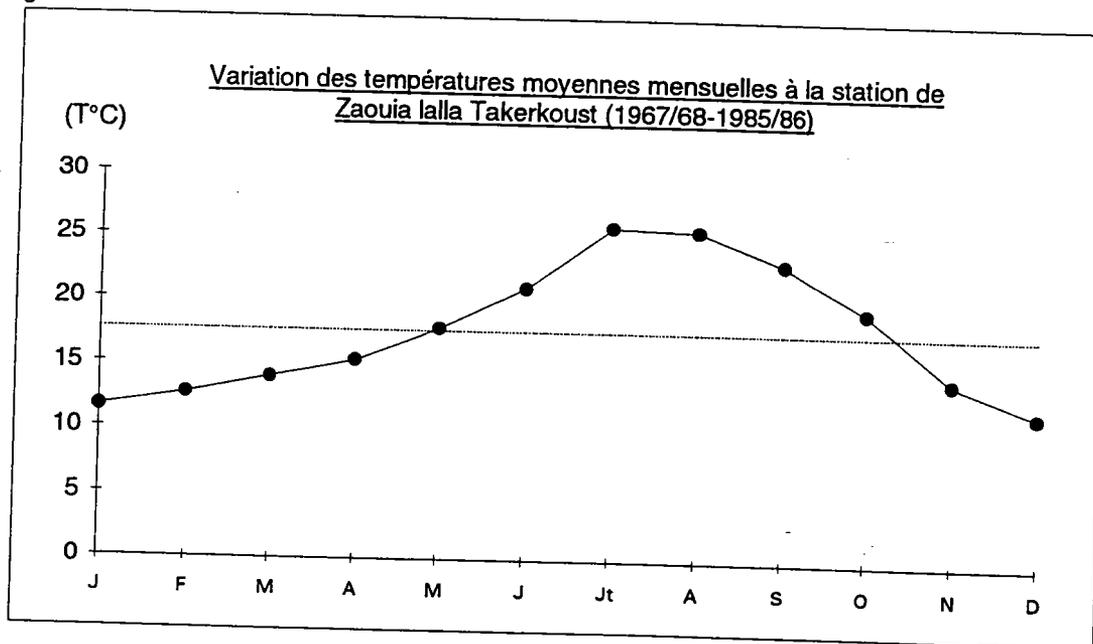


Fig n°20a



Les caractéristiques physiques des bassins atlasiques

bassin, sauf dans la plaine du Haouz (Marrakech-aéro) et autour du piémont dans la région du N'fis (Zaouia lalla Takerkoust).

b) Le régime saisonnier

Les températures des deux stations disponibles pour la série (1968-1986) sont reportées sur le tableau ci-après:

Tableau n°22 Les températures mensuelles moyennes en °C

STATIONS	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy. ann
Marrakech aéro	12,2	13,6	15,4	17	19,6	23,9	28,3	27,8	25	21,2	16,4	12,3	19,4
Zaouia Lalla Takerkoust	11,6	12,6	13,9	15,3	17,8	21	25,8	25,6	23	19,4	14,1	11,7	17,7

Ces valeurs sont représentées sur un graphique (Cf Fig n°20 et 20a). D'après ces figures nous pouvons dire que la température annuelle moyenne est de 19,4°C à la station de Marrakech-aéro et de 17,7°C à Zaouia lalla Takerkoust, avec une oscillation mensuelle très faible.

A l'échelle mensuelle, nous constatons l'existence de deux saisons thermiques nuancées: une chaude qui dure de mai à octobre. Cette période englobe les mois où les valeurs dépassent la moyenne générale mensuelle et une deuxième saison moins chaude d'octobre à avril lors de laquelle les températures sont douces. Le minimum se situe généralement au mois de janvier (12,2°C).

Le minimum absolu, au moyen mensuel, de toute la série est de 4,1°C en janvier 1984 et le maximum absolu est de 41,1°C en juillet de la même année; nous constatons donc une amplitude thermique mensuelle très importante qui varie à travers tous les mois de l'année surtout entre la saison hivernale et estivale.

L'importance de ces amplitudes, nous montre la continentalité du climat dans la région du Tensift dite le Haouz de Marrakech. Les températures en plus des variations dans le temps, connaissent une variabilité dans l'espace.

En effet, les températures moyennes annuelles diminuent du nord (la plaine du Haouz) au sud à l'approche de la bordure des montagnes du Haut-Atlas: à Marrakech-aéro elle est de 19,4°C; un peu vers le sud cette température n'est que 17,7°C à Zaouia lalla Takerkoust. Mais leur décroissance est plus remarquable en saison froide qu'en saison chaude: à Marrakech-aéro la température du mois

de Février par exemple est de 13,6°C, alors qu'à la station de Zaouia lalla Takerkoust la température mensuelle de ce mois n'est que de 12,6°C.

Vers l'ouest et NW de la région (surtout dans la plaine du Haouz) quelques petites variations locales peuvent se créer et l'aspect de la continentalité apparaît: <<le caractère continental tend à s'accuser vers l'ouest, où les températures minimales mensuelles s'abaissent de 1,5°C à 2°C par rapport à celles de Marrakech.>> MORREAU (1982).

Les températures conservent presque le même caractère dans toute la plaine du Haouz jusqu'au début du massif montagneux atlasique, puis elles diminuent en fonction des altitudes, surtout auprès des régions à altitudes remarquables.

En conclusion, nous pouvons dire que le climat de la région du Tensift y compris bien sur nos quatre bassins, connaît une variabilité dans le temps et dans l'espace. En effet, dans la plaine du Haouz, un climat chaud et sec persiste; il est caractérisé par un contraste et une irrégularité thermique et pluviométrique.

L'été est connu pour une chaleur très forte, alors que l'hiver a un minima très important. Les pluies tombent brutalement en quelques jours pendant les mois qui ne sont pas les plus froids. La plaine forme un steppe semi-aride.

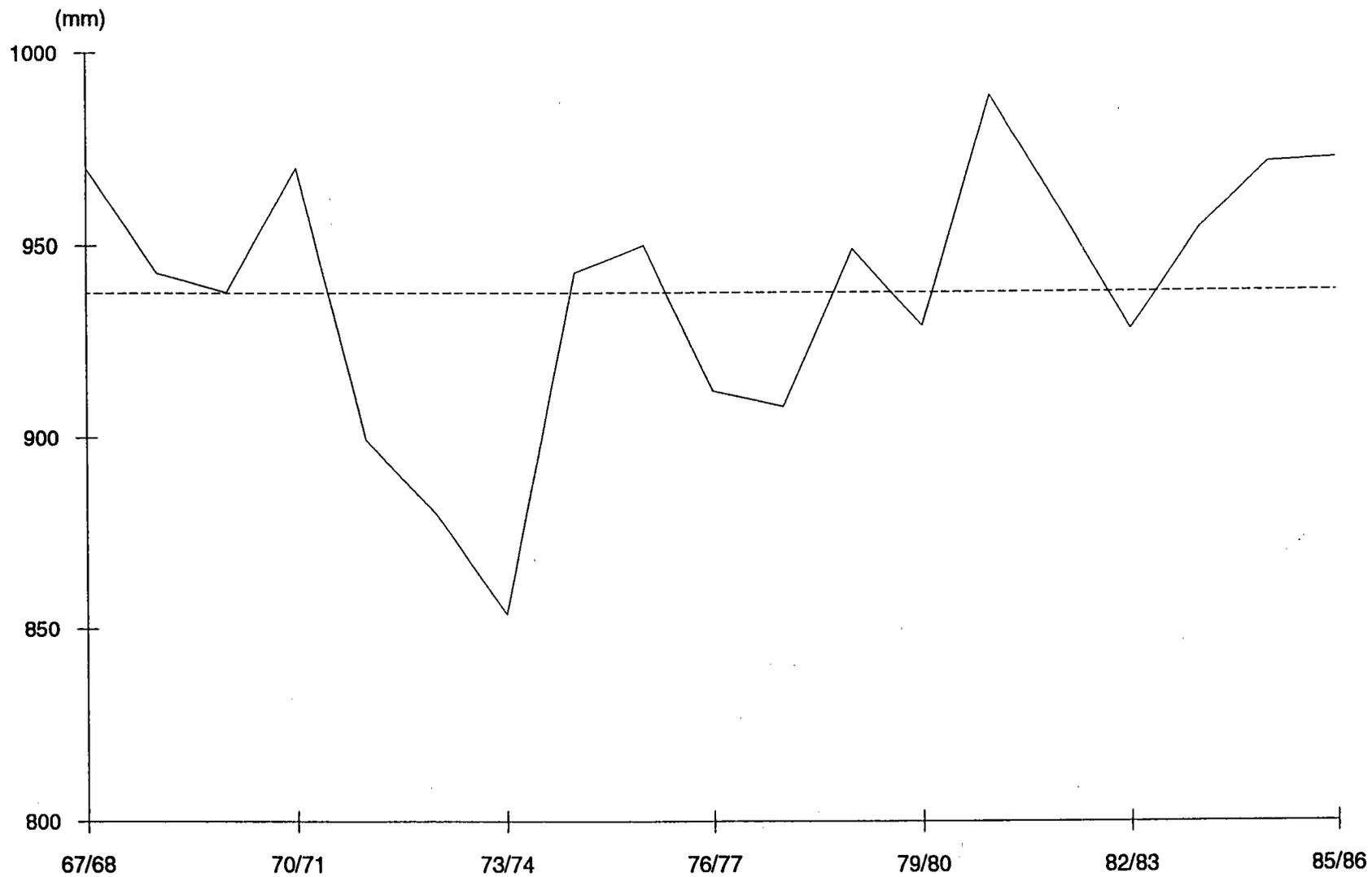
La montagne connaît un climat plus froid et humide que la plaine. Ceci est sensible dès la bordure de la montagne, dans le piémont dit "le Dir" moins chaud et mieux arrosé. Les pluies y sont mieux réparties au cours de l'hiver; en plus elles présentent des écarts moindres d'une année à l'autre.

2°) L'évapotranspiration

Parmi les aspects du cycle de l'eau, nous citons l'évapotranspiration. Elle est la combinaison de deux processus: l'évaporation physique et la transpiration des végétaux. Nous allons tenter de comparer les quantités avec les besoins en eau du système biosphère atmosphère. Les moyennes de l'ETP sont corrélatives des moyennes des températures: plus la température moyenne annuelle est forte, plus l'ETP sera aussi forte.

Pour évaluer l'ETP et l'ETR annuelle, on s'est basé sur les formules de Thornthwaite, Turc et Coutagne:

Fig N° 21 ETP de TORNTHWAITE moyenne annuelle (mm) dans le bassin du Tensift (1968-1986)



ETP (Thorntwaite) = $1,16(10.T/I) \exp a \times k$
avec **T** = température moyenne du mois.
I = somme des indices mensuels *i* de l'année

avec **i** = $0,09 \times T \exp 1,514$

a = $1,6/100 \times (1+0,5)$

k = coefficient correcteur mensuel en fonction de la latitude (31°N).

ETR Turc = $P/V 0,9 + P \exp 2/L \exp 2$
avec **P** = précipitations annuelles en mm,
T = température moyenne annuelle en degré celcius,
L = $300 + 25 T + 0,05 T \exp 3$.

ETR Coutagne = $P - \lambda P^2$
avec $\lambda = 1/0,8 + 0,14 T$
P = précipitations annuelles en mm.

D'après ces formules, on a pu calculer l'ETP et l'ETR des bassins-versants atlasiques étudiés. Les résultats obtenus sont reportés sur les tableaux (Cf tableau en annexes n° VII à VII5).

Un examen des figures (Cf Fig n°21), nous montre que l'ETP dans tous les bassins versants suit l'allure de la courbe thermométrique annuelle, alors que l'ETR obtenue par les formules de Turc et de Coutagne, tracent des courbes presque parallèles, mais avec de fortes différences de valeurs (Voir Fig n°22 à 22c).

Elles signalent un écart de 45% à N'fis, 45% au Rheraya, 47% à l'Ourika et 45,3% au Zat. Ceci s'explique par la nature du substratum de chaque bassin (perméabilité...), par le couvert végétal qui varie du sud vers le nord et l'est vers l'ouest et par la hauteur des volumes d'eau précipités chaque année.

Pour celle de Turc, elle donne une ETR de 354 mm au N'fis, 429,5 mm au Rheraya, 519 mm à l'Ourika et 439 mm au Zat, contre 159 mm au N'fis, 193 mm au Rheraya, 242 mm à l'Ourika et 199 mm au Zat pour celle de Coutagne.

3°) bilans hydriques des bassins-versants de l'oued Tensift

Après on a pu déterminer le bilan hydrique des quatre bassins étudiés, selon la méthode de Thorntwaite. Les résultats acquis sont reportés sur les tableaux suivants:

La variabilité d'ETR (Turc et Coutagne) dans les bassins-versants atlasiques (1967/68-1985/86)

Fig n°22

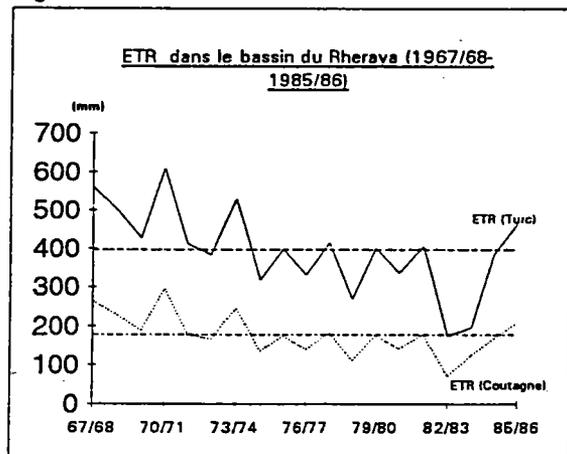


Fig n°22a

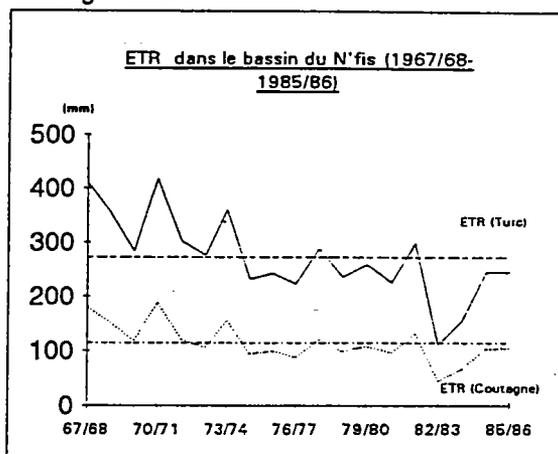


Fig n°22b

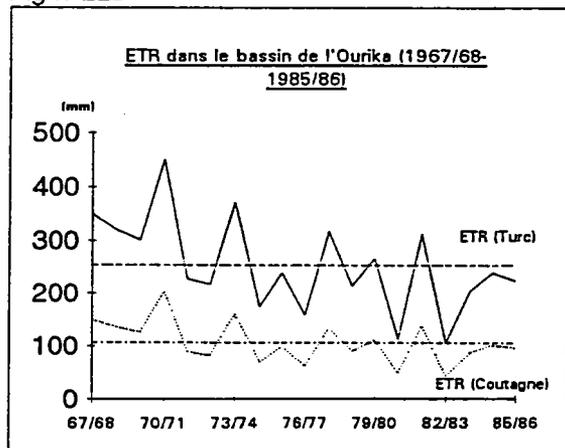


Fig n°22c

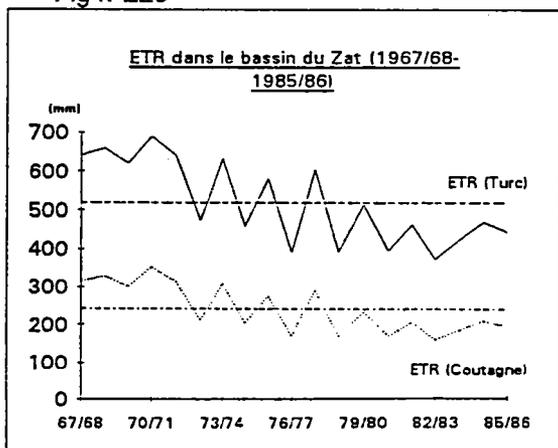


Tableau n°23 Bassin-versant du N'fis (1967/68-1985/86)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
P (mm)	12	35	45	31	40	32	55	70	36	9	3	1	369
ETP (mm)	118	73	34	18	19	27	40	58	94	138	191	175	958
ETR (mm)	12	35	34	18	19	27	40	58	71	23	4	1	342
SH=P-ETP	/	/	11	13	21	5	15	12	/	/	/	/	77
DH=ETP-P	106	38	/	/	/	/	/	/	58	4	188	174	568

Tableau n°23a Bassin-versant du Rheraya (1967/68-1985/86)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
P (mm)	18	32	35	36	53	51	71	62	60	19	7	6	450
ETP (mm)	118	73	34	18	19	27	40	58	94	138	191	175	985
ETR (mm)	4	16	27	18	19	26	25	28	14	3	1	1	182
SH=P-ETP	/	/	1	18	34	24	31	4	/	/	/	/	112
DH=ETP-P	100	41	/	/	/	/	/	/	34	119	184	169	647

Tableau n°23b Bassin-versant de l'Ourika (1967/68-1985/86)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
P (mm)	8	30	53	32	57	56	67	88	58	13	4	3	464
ETP (mm)	175	118	73	34	19	27	40	58	94	138	191	175	1142
ETR (mm)	8	30	34	18	19	27	40	58	81	33	6	3	357
SH=P-ETP	/	/	/	/	38	29	27	30	/	/	/	/	124
DH=ETP-P	167	88	20	2	/	/	/	/	36	125	187	172	797

Tableau n°23c Bassin-versant du Zat (1967/68-1985/86)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
P (mm)	14	41	65	54	70	66	88	91	52	11	3	10	565
ETP (mm)	118	73	34	18	19	27	40	58	94	138	191	175	376
ETR (mm)	14	41	34	18	19	27	40	58	94	18	3	10	376
SH=P-ETP	/	/	31	36	51	39	48	33	/	/	/	/	238
DH=ETP-P	104	32	/	/	/	/	/	/	42	127	188	165	658

N.B SH: Surplus hydrique, DH: Demande hydrique.

Entre les mois d'octobre à avril-mai un surplus hydrique ($SH = P - ETP$) de 112 mm au Rheraya, 124 mm à l'Ourika et 238 mm au Zat se produit et favorise les écoulements. Pour le bassin-versant du N'fis nous constatons qu'il présente un surplus faible qui ne dépasse pas 77 mm.

Cette période comprend la saison d'hiver et le début du printemps caractérisés par les hautes eaux de crues dues à la fonte des neiges et aux précipitations printanières. Cette faiblesse du surplus hydrique durant la période octobre-avril peut varier d'une année à l'autre, avec l'irrégularité des apports pluviométriques.

Durant la période sèche (mai-septembre), il se crée une demande hydrique de 568 mm au N'fis; 647 mm au Rheraya; 797 mm à l'Ourika et 658 mm au Zat. Cette période coïncide avec la saison des basses eaux. Mais selon l'importance de la pluviométrie à travers les années, un étiage bien prononcé peut être réalisé. Cela favorise une demande hydrique importante qui remplace ainsi le surplus. L'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne annuelle est de l'ordre de 342 mm au N'fis; 182 mm au Rheraya; 357 mm à l'Ourika et 376 mm au Zat. Elle présente donc, une valeur très importante.

Le surplus se forme pendant la période hivernale mais s'atténue avec l'arrivée de l'été. La réserve se constitue de même au cours de la saison humide (l'hiver ou l'ETP est faible). Elle soutient l'écoulement durant la période sèche qui connaît un déficit ($ETP - P$) de 568 mm à N'fis; 647 mm au Rheraya; 797 mm à l'Ourika et 658 mm au Zat.

La quantité d'eau précipitée, qui n'a pas participé au bilan hydrique (lorsque la pluie est supérieure à l'ETP et que la réserve du sol est reconstituée), correspond à la part efficace des précipitations qui alimente le débit des cours d'eau.

L'ETR est très élevée surtout durant la période sèche, ce qui entraîne des besoins accrus en eau dans la région surtout au mois de juillet et août.

CONCLUSION

Les valeurs de l'ETP et l'ETR, estimées de façon empirique évoluent au cours de l'année presque dans le même sens que les autres paramètres météorologiques. Elles décroissent progressivement jusqu'au moment où elles atteignent des valeurs inférieures à celles des précipitations; l'accumulation en eaux souterraines se trouve ainsi favorisée sur les terrains perméables.

Pour le bilan hydrique, il existe un contraste entre la saison humide où les besoins sont minimes par rapport à l'abondance en eau et la saison sèche où les besoins dépassent les volumes d'eau disponibles.

La présentation et le traitement des facteurs définissant l'écoulement qui ont été traités au préalable, sont suffisants pour évaluer les ressources en eau disponible dans les bassins atlasiques. Ils doivent être complétés par une étude hydrologique, qui fera l'objet du chapitre suivant.

chapitre second

**L' HYDROLOGIE DES BASSINS-VERSANTS ATLASIQUE DE L'OUED
TENSIFT**

INTRODUCTION

"Les fleuves sont les artères nourricières de la mer. Sur chaque continent, on trouve de grands bassins hydrographiques qui constituent autant d'unités géographiques naturelles. Depuis les torrents glaciaires des montagnes jusqu'aux estuaires marins et aux deltas les cours d'eau dessinent les paysages, et conditionnent l'abondance ou la rareté de la vie.

Chaque rivière possède ses caractéristiques propres aucune n'est identique à une autre"

**COUSTEAU JACQUE-YVES
"LE MONDE DE L'EAU"**

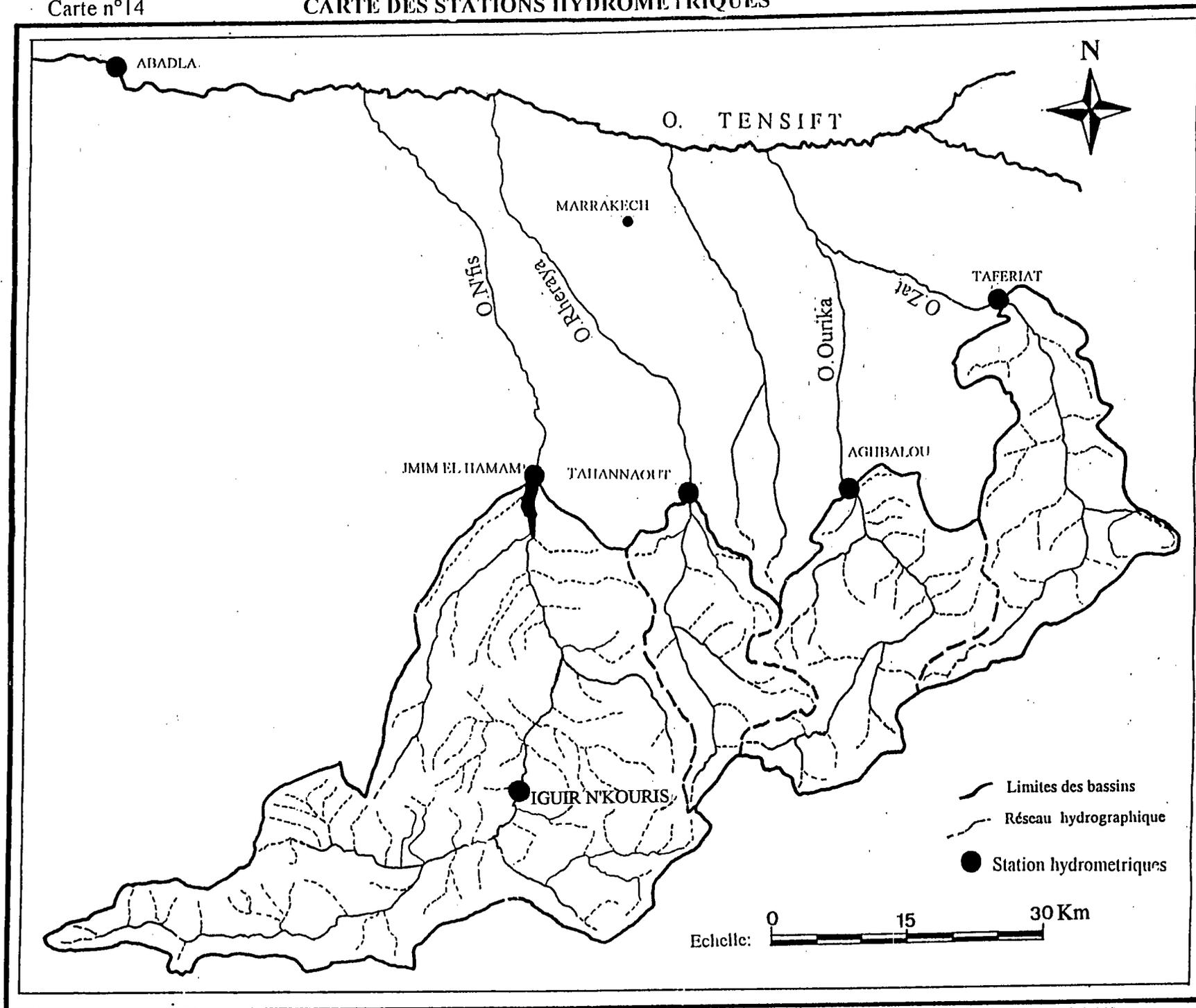
De l'interaction entre les différents paramètres physico géographiques analysés au préalable, surtout ceux du climat, résulte le comportement hydrologique des bassins-versants atlasiques.

Le régime hydrologique des ressources et des rivières <<résulte de l'interaction d'éléments forts divers, de la pluie, de la température, du relief, des sols, de la nature des roches>>

(M.ROCHEFORT, 1963)

La détermination des ressources disponibles en eau est liée au régime hydrologique des cours d'eau et des nappes aquifères.

Le régime fluvial et celui des nappes souterraines influencent les débits des oueds. Ce régime hydrologique dépend des précipitations et de leur volume. Le comportement hydrologique des oueds ne sera bien défini que si l'on confronte les divers paramètres déjà traités, qui sont des données aléatoires, conditionnant et préparant le bassin-versant à avoir un comportement quelconque pour la période (commune entre les différentes stations hydrométriques) 1969/70-1985/86.



AI LES DONNEES HYDROMETRIQUES

I) LES STATIONS ET LES SERIES DES DONNEES HYDROMETRIQUES DISPONIBLES

Les données utilisées proviennent presque uniquement des mesures effectuées et archivées par l'office régional de mise en valeur du Haouz (O.R.M.V.H.M) et les services hydrauliques.

Les nombreuses mesures qui ont été faites sur tous les affluents de l'oued Tensift, permettent d'obtenir des séries de débits assez longues puisque les premières mesures commencent sur l'oued N'fis depuis janvier 1924.

L'oued N'fis constitue une exception importante quant à l'origine des données. En effet, l'existence du barrage Lalla Takerkoust sur cet oued a provoqué plusieurs études avant la construction du barrage et une surveillance des volumes stockés, des débits entrants et des débits sortants après sa mise en eau.

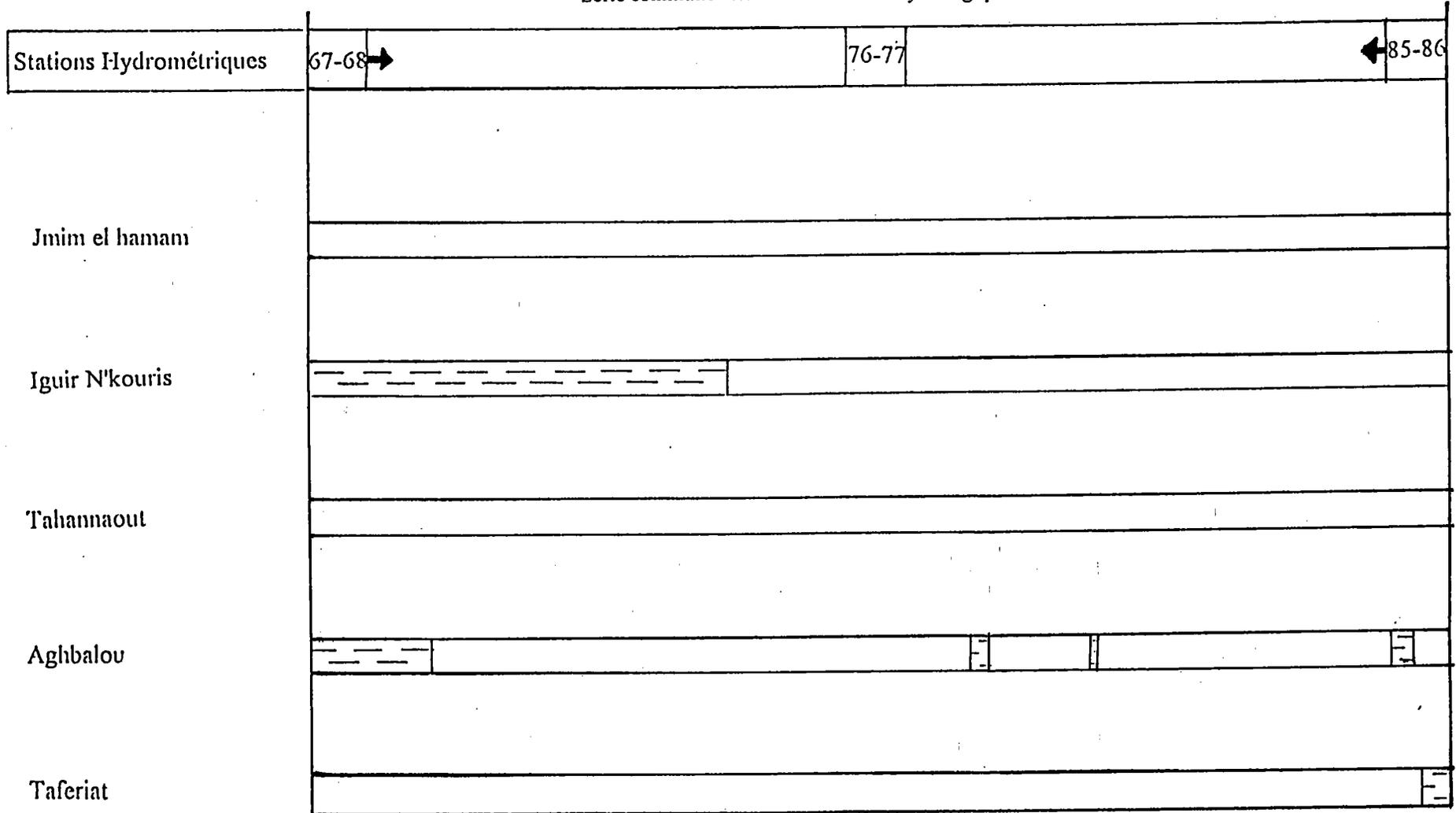
Lorsque les mesures seront plus nombreuses et que notamment le nombre de jaugeages en crue sera plus important, les renseignements apportés par ce réseau de mesure, permettront un contrôle efficace des mesures de l'office du Haouz et une amélioration sensible pourra être apportée à la précision des résultats présentés dans ce rapport.

A l'aval d'un tel point de jaugeage, on a admis que les hypothèses qui paraissent largement superficielles sont négligeables: elles sont largement justifiées par la décroissance importante de la pluviométrie dans cette zone et par la morphologie de la plaine qui se prête très mal au ruissellement.

Les débits des séguias (canaux d'irrigation) constituent des prélèvements sur les apports naturels et l'étude qui fait l'objet de ce chapitre a en réalité pour but de suivre l'évolution de ces apports naturels le long du système hydrographique compte tenu de ces prélèvements. Il s'agit donc fondamentalement d'une opération de compatibilité des eaux.

On dispose de cinq stations de jaugeage fonctionnant dans la zone d'étude (Cf carte n°14). Elles ont été remises en service par le service hydraulique après l'indépendance en 1961-1962 (Cf tableau n°24)

Série commune retenue dans l'étude hydrologiques



1 mois ||—| 1 année

Tableau n°24 Les stations hydrométriques des bassins atlasiques

OUEDS	Stations	Superficie (Km ²)	Date de mise en service	Nature des mesures
O.N'FIS	-Iguir N'kouris	648	1974	DJ
	-Jmim el Hamam	1703	14/7/1966	DJ
O.Rhéraya	-Tahannaout	334	3/8/62	DJ
O.Ourika	-Aghbalou	575	4/4/1969	DJ
O.Zat	-Taferiat	503	1962	DJ

N.B: DJ => Débits journaliers

Le réseau hydrométrique est donc très jeune, mais également de faible densité: une station pour 623 km² en moyenne pour les stations comprises dans l'étude. Mais des lacunes géographiques sont remarquées dans la partie montagneuse, là où le relief influence le régime des précipitations: seul le bassin-versant de N'fis comporte une station dans sa partie médiane (Iguir N'kouris).

La plupart des stations possèdent une échelle limnimétrique et un limnigraphe telle la station de Tahannaout sur l'oued Rheraya. D'autres comprennent un seuil bétonné fixe: station d'Aghbalou sur l'oued Ourika.

II) CRITIQUE ET HOMOGENEISATION DES DEBITS

1°) Critique des données hydrométriques

Pour les stations retenus dans l'étude, les données hydrométriques disponibles (Cf Fig n°23), montrent une série d'année assez longue de (1961/1962 à 1985/1986) pour l'oued Rheraya à la station de Tahannaout et l'oued Zat à Taferiat, et des séries plus courtes pour l'oued Ourika (1969/1970-1985/1986) à Aghbalou et le N'fis (1965/1966-1985/1986) à Jmim el hamam. La seule station présentant une longue lacune (sept ans de 1967/68 à 1973/74) était Iguir N'kouris sur l'oued N'fis; on l'a gardé telle qu'elle était pour éviter des résultats aléatoires et imprécis.

Les séries des débits sont complètes à l'exception de quelques lacunes à l'échelle mensuelle, pour les stations de Jmim el hamam sur l'oued N'fis, Taferiat sur l'oued Zat et Tahannaout sur le Rheraya, tandis que pour les autres stations, nous constatons un manque de plusieurs années dû non seulement aux mauvais relevés des débits, mais aussi à la date de mise en service des projets de mesures qui a commencé tardivement. En effet, la station d'Aghbalou a commencé en 1970; Iguir N'kouris en 1975 et Abadla en 1969.

En ce qui concerne la période d'étude, on a choisi la série correspondante à la durée de 1969/1970 - 1985/1986.

2°) homogénéisation des données hydrométriques

Pour la stations à lacunes, Aghbalou sur l'oued Ourika les deux années manquantes (1979/1980 et 1980/1981), suite à une forte variabilité des débits mensuels, on a été obligé d'établir une corrélation simple pour reconstituer les données manquantes afin d'obtenir une linéarisation parfaite des données hydrométriques. Les débits mensuels manquants ont été établis d'après l'équation:

$$y = ax + b.$$

L'analyse des corrélations entre certaines stations, fait apparaître que le degré de corrélation est plus important en période humide qu'en période sèche. Ce qui rejoint tout à fait la conclusion émise à propos des précipitations; les résultats sont reportés sur le tableau ci-après:

Tableau n° 25 Les coefficients de corrélation (Aghbalou et Tahannaout)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Coef corr.	0,76	0,87	0,91	0,75	0,92	0,85	0,96	0,7	0,83	0,89	0,88	0,66	0,96

L'analyse des corrélations établies entre les différents couples des stations fait apparaître que le degré de liaison entre les deux stations (Aghbalou et Tahannaout) est moins élevé pour les mois de décembre (0,75), avril (0,7) et août (0,66).

En général les meilleurs corrélations s'établissent entre les stations appartenant à un même milieu climatique et sur un même cour d'eau. Cependant, l'interprétation se réduit à cette constatation car la taille relativement réduite des séries d'observations ne permet pas de tirer d'autres résultats significatifs. Il sera, de ce fait, nécessaire de poursuivre les observations hydrométriques (20 à 30 ans au minimum) pour obtenir une bonne stabilité des coefficients de corrélations. Ce qui permettra par ailleurs de reposer le problème de la planification du réseau hydrométrique sur des bases plus sûres.

a) Méthode du simple cumul

La méthode du simple cumul permet de connaître l'évolution des débits. Elle consiste à reporter sur un graphique l'évolution des débits cumulés au cours de la période étudiée.

L'interprétation des graphiques (voir annexe n° VIII à VIII5), montre que les points dans toutes les stations ne sont pas correctement alignés sur la droite. Les cassures sont très variées. En effet, à la station de Jmim el hamam, trois cassures apparaissent au cours des années 1971/1972, 1976/1977 et 1981/1982. A celle de Tahannaout, la courbe des débits cumulés décrit trois segments (deux cassures): un de 1967/1968 à 1971/1972, un autre de 1972/1973 à 1980/1981 et un troisième de 1980/1981 à 1985/1986.

Or, à la station d'Aghbalou les points des débits cumulés, présentent cette fois-ci trois cassures lors des années 1969/1970, 1971/1972 et 1981/1982. Ce qui nous mène à supposer que cette station a certainement subi des variations hydrologiques, liées aux changements climatiques durant la série d'années d'étude.

Quant à la station de Taferiat, contrôlant le bassin-versant du Zat, l'alignement des points est interrompu par deux cassures: une au niveau de l'année 1973/1974 et une autre en 1981/1982.

Enfin, la station d'Abadla présente des cassures en 1971/1972 et 1981/1982. Toutes ces cassures sont dues aux variations des écoulements, liées aux changements climatiques qu'a connus la région du Tensift depuis 1969/1970 à 1985/1986. (l'année 1967/68 était par exemple très humide alors que les années 1980/1981 jusqu'à l'année 1983/84 présente une série d'année de sécheresse).

Les courbes de toutes les stations hydrométriques, ont une caractéristique commune: elles présentent toutes, une cassure autour de l'année 1981/1982, qui est le début d'une série d'années sèches (début de la fameuse sécheresse qui a touché tout le Maroc). Les autres cassures sont dues aux variations pluviométriques annuelles.

Tout au long de cette période d'étude, les stations hydrométriques contrôlant les bassins versants atlasiques ont connu une série d'années sèches longue et une série d'années humides courte.

A partir de là, on peut découper la période (1969/1970-1985/1986) en série d'années humides (1979/1980) et en série d'années sèches (1969/70-1978/79).

Mais une baisse très importante des débits a été enregistrée dès 1981/1982 devenant générale pendant plus de quatre ans. Elle est provoquée par les faibles pluviosités qui ont provoqué en plus de

l'épuisement des nappes phréatiques par les pompages une sécheresse sans précédent.

En dehors de ces phénomènes, l'année 1979/1980 demeure une année humide exceptionnelle, étant donné qu'elle appartient à une période dite sèche.

D'après tout ce qui précède, nous pouvons dire que les fluctuations des débits sont concordantes et liées aux oscillations des données météorologiques et oscillations pluviométriques (Cf 2^{em} chapitre en 2^{ème} partie "Le climat").

A vrai-dire, la période 1969/1968-1985/1986 est donc caractérisée par des contrastes interannuels importants, qui seront étudiés plus tard. Il en résulte une hétérogénéité des modules pour les stations des différents bassins versants atlasiques.

b) Méthode des doubles cumuls

L'application de la méthode des doubles cumules, sert à déterminer la qualité de fonctionnement des postes hydrométriques.

On place les données hydrométriques des deux stations quelconques "A" en ordonnées et "B" en abscisse. Si les points forment une linéarité autour de la droite de Henri on confirme que les deux postes hydrométriques subissent les mêmes facteurs physiques.

En revanche si cette linéarité est interrompue par des cassures (sous forme de segments) ceci prouve qu'il y a un changement d'environnement du site ou encore du poste lui même.

Sur les graphiques (Cf Annexe n°IX à IX5) nous constatons que les droites reliant les points entre eux, ne s'alignent pas parfaitement: presque toutes les stations présentent deux segments de droites, ce qui témoigne une mauvaise concordance entre les modules des différentes stations.

Cette multitude des segments de différentes pentes faibles et fortes, nous permet de déduire d'après les courbes une succession d'années sèches et d'années humides.

Tous les modules des débits cumulés de toutes les stations hydrométriques, reportés sur des graphiques, figurent des segments de droites autour des années 1980/1981/1982. Les variations des débits sont plus importantes à l'est qu'à l'ouest.

Malgré les petites nuances hydrologiques spatiales, on peut dire que toutes les courbes, présentent des caractéristiques communes. En effet, tous les points sont situés sous la droite de régression pour les huit dernières années et ils sont situés sur la droite de régression pour les années à séquence humide au début de la série comprise dans l'étude.

Au cours de cette période, nous constatons que l'année 1977/1978 présente une valeur dépassant la droite moyenne, donc nous pouvons découper la série d'étude (1969/1970-1985/1986) en période humide (1969/1970-1978/1979) et en période sèche (1978/1979-1985/1986). La série des années d'étude est touchée par une hétérogénéité importante des données.

3°) Le choix de l'année hydrologique

L'année hydrologique, au Maroc, choisie par les services de l'hydraulique, est liée à l'année climatique ou à l'année agricole définie de septembre à août.

Le découpage de l'année hydrologique, comme dans presque tous les pays méditerranéens, ne tient pas compte des nuances dues à l'existence de secteurs géographiques variés à travers toute la région d'étude. Mais en réalité c'est la définition des limites des saisons hydrologiques, qui posera le plus de problèmes.

Dans la partie sud de la région d'étude, des précipitations abondantes, tombent en automne dès le mois de septembre, alors que dans la partie nord du bassin-versant du Tensift l'année hydrologique est calée sur le régime thermique: nous constatons l'existence de deux saisons distinctes, une froide de novembre à avril et une saison chaude de mai à septembre, le mois d'octobre présente un mois charnière entre les deux saisons.

C'est ce type de découpage liée aux facteurs thermiques qui nous intéresse le plus, car les réserves d'eaux souterraines épuisées en période estivale, ne peuvent se récupérer qu'en période humide, dès le mois de novembre ou tardivement au mois de décembre.

Nous effectuerons donc cette étude à l'échelle de l'année hydrologique (de septembre à août).

Tableau N° 26

La variabilité des débits annuels moyens dans les bassins Atlasiques (1969/70-1985/86)

STATIONS	OUEDS	69/7	70/7	71/7	72/7	73/7	74/7	75/7	76/7	77/7	78/7	79/8	80/8	81/8	82/8	83/8	84/8	85/8	Moyenne
Iguir N'kouris	N'fis	.	.	.	.	.	0.32	1.58	1.04	5.33	6.02	3.38	2.29	1.29	0.48	2.14	2.87	1.3	2.34
J.el hamam	N'fis	8.32	10.2	4.89	2.56	5.57	1.09	2.47	1.61	5.33	7.59	5.54	3.49	1.81	0.73	2.9	4.08	1.97	4.13
Tahannaout	Rheraya	1.24	2.95	2.45	1.01	2.04	0.54	1.26	1.09	1.44	1.38	1.9	1.18	1.24	0.4	0.64	1.66	0.77	1.36
Aghbalou	Ourika	4.17	10.3	9.88	3.54	6.83	2.29	3.32	2.67	3.58	4.3	6.3	3.5	3.44	0.59	1.27	3.82	1.9	4.22
Taferiat	Zat	3.95	8.83	7.26	2.97	6.5	1.68	3.88	2.1	3.05	2.28	2.24	2.48	2.84	0.56	1.56	2.67	1.54	3.32
Abadla	Tensift	7.09	25.7	15	2.93	14.9	2.73	4.28	2.56	3.92	5.61	6.07	1.22	4.79	0.14	0.9	2.64	0.74	5.95

Les phénomènes climatiques, influencent et déterminent le système hydrologique, qui fonctionne comme l'a expliqué R.LAMBERT (1982/1983): <<Sous l'impulsion des aléas météorologiques moteurs et perturbateurs, par réaction de la structure hydrologique, de l'ensemble des données stables permanentes ou saisonnières du bassin-versant dont l'organisation propre détermine la réponse globale du bassin versant et détermine l'évolution du débit du cours d'eau...>>

CONCLUSION

La période 1967/68-1985/86 est donc caractérisée par des contrastes interannuels importants qui seront étudiés plus tard. Il en résulte une hétérogénéité relative des modules qui affecte de la même manière toutes les stations hydrométriques.

B/ LA VARIATION TEMPORELLE ET SPATIALE DES ECOULEMENTS

Les débits annuels dans les bassins-versants atlasiques, connaissent une variabilité importante liée aux variations climatiques. Il sera alors possible d'étudier la variabilité des modules et de faire une étude fréquentielle, ainsi que de traiter les débits extrêmes et les bilans hydrologiques.

I) LES MODULES ANNUELS

1°) Les modules annuels et leur variabilité spatiale

Une simple lecture des modules annuels des oueds atlasiques (voir tableau n°26), permet de dégager les remarques suivantes:

*Tous les oueds situés à l'est ont un débit annuel moyen relativement élevé, par rapport aux débits des oueds du Haut-Atlas occidental: par exemple l'oued Ourika et l'oued Zat ont respectivement un débit annuel moyen de 4,03 m³/s, soit 8,01 l/s/km², et de 3,44 m³/s pour un débit spécifique de 5,98 l/s/km².

*Le module annuel moyen est de 4,06 m³/s à Jmim el Hamam soit un débit spécifique de 2,38 l/s/km²; à Tahannaout il est de 1,37 m³/s, soit 4,10 l/s/km². Cette variabilité permet en effet, de découvrir les différences de comportement des bassins-versants, puisqu'ils synthétisent l'interaction des divers facteurs physico-géographiques.

Débits moyens annuels aux bassins-versants atlasiques (1969/70-1985/86)

Fig n°24

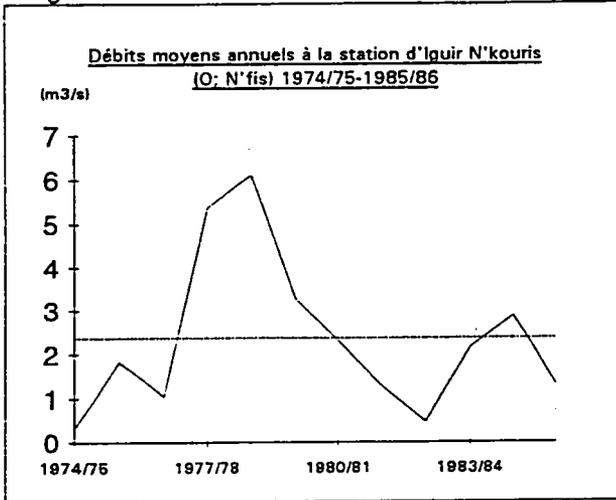


Fig n°24a

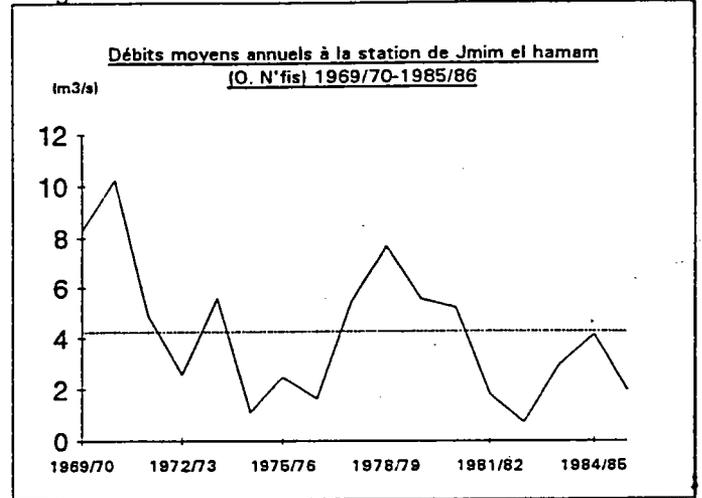


Fig n°24b

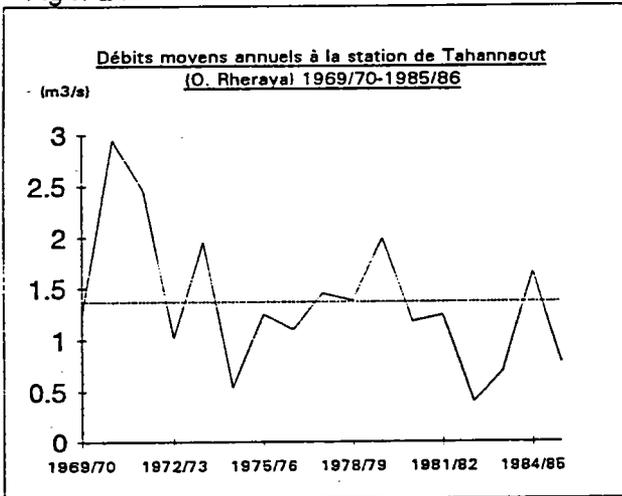


Fig n°24c

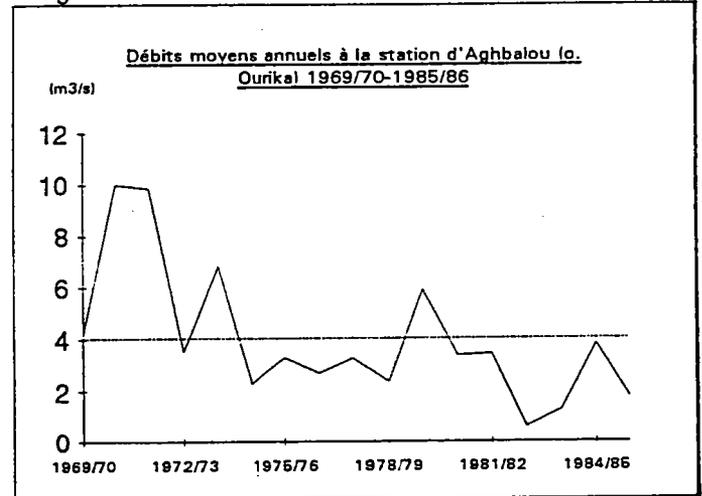


Fig n°24d

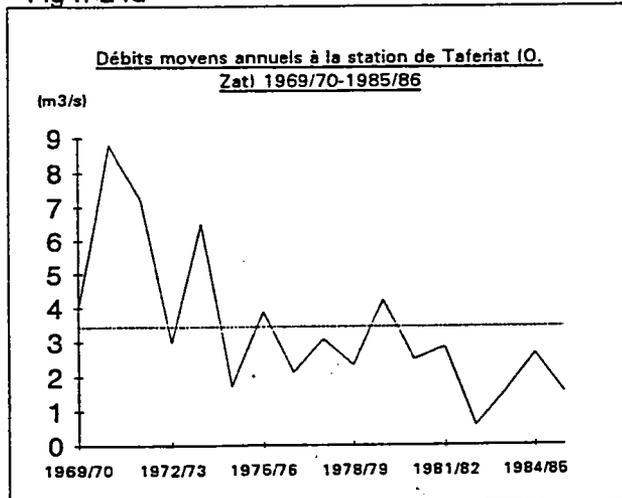
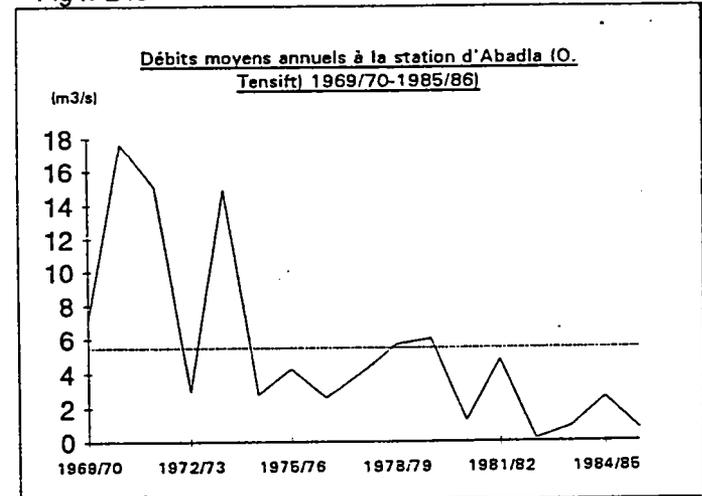


Fig n°24e



Les prélèvements moyens annuels des séguias qui correspondaient théoriquement aux besoins de la population de la région montagnarde en eau d'irrigation ont été estimés en 1979 comme il est indiqué dans le tableau suivant:

Tableau n°27 Les prélèvements moyens annuels des séguias

OUEDS	Apports Moy. Ann. disponibles des débits	Prélèvements moy. des débits par les séguias	Coef. d'utilisation (%)
N'fis	160 x 10 exp. 6 m ³ /s	100 x 10 exp. 6 m ³ /s	62,5 %
Rheraya	58 x 10 exp. 6 m ³ /s	48 x 10 exp. 6 m ³ /s	82,76 %
Ourika	180 x 10 exp. 6 m ³	142 x 10 exp. 6 m ³ /s	78,89 %
Zat	150 x 10 exp. 6 m ³ /s	107 x 10 exp. 6 m ³ /s	71,33 %
Total	668 x 10 exp. 6 m ³ /s	482 x 10 exp. 6 m ³ /s	72,16 %

Source: O.R.M.V.A.H.M (R.G.M, 1970 N°17)

L'apport des bassins atlasiques, est essentiel pour l'existence de l'oued Tensift: ceci est dû au climat montagnard (Haut-Atlas), caractérisé par des précipitations abondantes.

Ainsi on a pu déterminer le coefficient d'utilisation selon la méthode: prélèvement des débits par les séguias/l'apport moyen des débits des séguias x 100, les résultats acquis sont visualisés sur le tableau en haut.

Les modules annuels semblent contrastés. L'analyse de la variance des débits annuels, qui oscillent entre des séquences sèches et humides, nous permet de définir la variabilité des débits annuels aux bassins atlasiques; les stations de Jmim el hamam et Taferiat en fournissent un bon exemple. (Cf Fig n°24 et 24d).

Les débits annuels connaissent une variabilité très importante. Mais cette variabilité ne reflète pas les fluctuations des valeurs enregistrées aux stations pluviométriques; les graphiques de toutes les stations le justifient: ils ne suivent pas l'allure des fluctuations pluviométriques.

Une comparaison entre les bassins de la région illustre, malgré leur appartenance à une même zone climatique, que l'oued Rheraya à Tahannaout, présente un débit très faible de 1,37 m³/s; pourtant ce bassin englobe les hauts sommets (Toubkal 4167 m) où il peut neiger, cette neige pouvant persister longtemps. Ceci peut être dû essentiellement à la faible alimentation pluviale du cours d'eau et au faible apport des réserves en eau souterraines, qui accentuent encore le phénomène, d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique sèche.

A part le Rheraya, tous les autres bassins présentent un débit assez important: l'abondance augmente plus rapidement à l'aval du bassin du N'fis à la station de Jmim el hamam (4,06 m³/s) du fait de l'apport des affluents de l'oued N'fis.

Le module annuel des débits écoulé par le Tensift, doit être assez proche de celui enregistré dans certains de ses affluents en leur aval. Une comparaison peut se faire d'après le tableau ci-après:

Tableau n°28 Les débits annuels moyens des bassins atlasiques

OUEDS	STATIONS	Superficie (km ²)	Module (Q m ³ /s)	Débits spécifique (l/s/km ²)
N'fis	Jmim el hamam	1703	4,06	2,38
	Iguir n'kouris	648	2,37	3,66
Rheraya	Tahannaout	334	1,37	4,1
Ourika	Aghbalou	575	4,03	7,01
Zat	Taferiat	503	3,44	6,84
Tensift	Abadla	10153	5,49	0,541

Pour le N'fis, le module est de 4,06 m³/s à Jmim el hamam et 2,37 m³/s à Iguir N'kouris: nous constatons donc une augmentation vers l'aval. A l'Ourika nous trouvons une valeur de 4,03 m³/s; à Iguir N'kouris le module est de 2,37 m³/s. Nous constatons donc que tous les oueds présentent des valeurs différentes et loins de celle enregistrée au Tensift (5,49 m³/s à Abadla)

Cette variabilité des débits superficiels à l'échelle de tous les bassins atlasiques (N'fis, Rhéraya, Ourika et Zat) peut aussi être caractérisée par les débits spécifiques. Ces derniers permettent d'établir une comparaison entre les différents sous bassins à différentes superficies, car ces bassins totalisent les interactions des paramètres physico-géographiques (la morphométrie, la lithologie, le climat et le facteur biogéographique)

Le bassin du N'fis présente un débit qui croît de l'amont vers l'aval: à l'amont (Igui N'kouris) le module est de 2,37 m³/s, alors que vers l'aval, nous constatons un débit de 4,06 m³/s. Ceci est lié à la nature du substratum en majorité imperméable (74%) et aux reliefs contrastés dans la région, présentant une pente favorisant la concentration des chenaux et des ruisseaux pour faire croître le débit dans la partie avale; ceci sera bien éclairé par une comparaison des débits spécifiques. (Voir les débits spécifiques).

Mais dans la plaine du Haouz où il y a une platitude presque totale (2,5‰), les eaux venant des hautes montagnes, se perdent dans la plaine (évaporation) en raison des caractéristiques du substratum, des facteurs climatiques (températures) et de la faible couverture végétale.

Le couvert végétal dans les hautes montagnes (partie amont) freine en quelques sortes l'écoulement malgré l'abondance des pluies et favorise l'infiltration des eaux. Vers l'aval le manque du couvert végétal conditionne l'écoulement.

2°) La variabilité interannuelle des modules

Les données hydrométriques annuelles des différents oueds sont reportées sur le tableau n°26.

D'après ce tableau nous constatons une variabilité très importante des débits interannuels d'une année à l'autre dans tous les bassins de la région étudiée: au bassin du N'fis à la station de Jmim el hamam (Cf Fig n°24) les valeurs hydrométriques, oscillent entre 10,27 m³/s en 1970/1971 et 0,73 m³/s en 1982/1983 alors qu'à Iguir N'kouris sa courte série est strictement comprise au cours de la séquence à tendance sèche (Voir Fig n°24a), ce qui se traduit modestie des valeurs qui balancent entre 6,02 m³/s en 1978/1979 et 0,32 m³/s en 1974/1975.

Pour le bassin du Rheraya, l'examen des données hydrométriques annuelles enregistrées au poste de Tahannaout ainsi que le graphique de la (Fig n°24b), nous montrent une variation bien nette d'une année à l'autre. La valeur minimale a été enregistrée en 1982/1983 (0,404 m³/s), tandis que le maximum est mesuré en 1970/1971 (2,95 m³/s).

Un peu vers l'est à Aghbalou (Cf Fig n°24c) l'examen des débits annuels montre un contraste net entre les moyennes hydrométriques annuelles durant toute la série d'étude.

Le maximum absolu est atteint en 1970/1971, il est de l'ordre de 10,02 m³/s. Cependant le minimum (0,6 m³/s) est mesuré en 1982/1983. A l'extrême est, le bassin-versant du Zat, contrôlé par la station de Taferiat est caractérisé par des débits annuels contrastés et variables d'une année à l'autre (Voir Fig n°24d). Ils oscillent entre 0,56 m³/s en 1982/1983 et 8,83 m/s en 1970/1971. Cette variabilité est illustrée d'après les coefficients de variation reportés sur le tableau ci-après:

Tableau n°29 Les coefficient de variation des débits moyens annuels extrêmes

OUEDS	Q ann.moy.max. (m3/s)	Coeff.variation	Qann.moy.min (m3/s)	Coeff.variation
Nfis	10,27	0,67	0,732	0,97
Rheraya	2,95	0,77	0,4	1,27
Ourika	10,1	0,11	0,59	0,8
Zat	8,82	0,96	0,56	0,68
Tensift	17,64	1,54	0,15	1,73

Les valeurs indiquées dans le tableau précédent, font apparaître l'extrême irrégularité des oueds atlasiques, surtout dans la partie orientale: importante irrégularité du N'fis (0,67) et la relative irrégularité des autres oueds en particulier l'Ourika (0,1), le Zat (0,96) et le Rheraya (0,77).

Cette variabilité inter-annuelle est forte par le fait qu'elle ne correspond pas toujours à la variation saisonnière des besoins en eau des populations montagnardes.

Ainsi nous pouvons dire que dans toutes les stations, l'année 1982/1983 est marquée par une indigence hydrométrique très importante. Ceci est dû à la fameuse sécheresse qui a frappé le Maroc pendant plus de quatres années successives. En effet, pendant cette période les paysans, en plus des autres secteurs de consommations, étaient obligés de pomper l'eau souterraines pour subvenir aux besoins quotidiens, d'où il résulte un manque de soutien des oueds.

Les séries hydrométriques des bassins-versants atlasiques, sont globalement assez longues. La série de l'oued Rheraya à Tahannaout nous permet de cerner l'évolution des débits pour une longue période sans interruptions depuis le 08/3/1962 jusqu'à nos jours. Mais nous n'avons pris que la période retenue dans l'étude entre (1969/1970-1985/1986) pour la comparer à la série pluviométrique. Les valeurs annuelles sont reportées sur le tableau suivant:

Fig n° 25

Rapport entre pluies et débits annuels à Tahannaout (1969/70-1985/86)

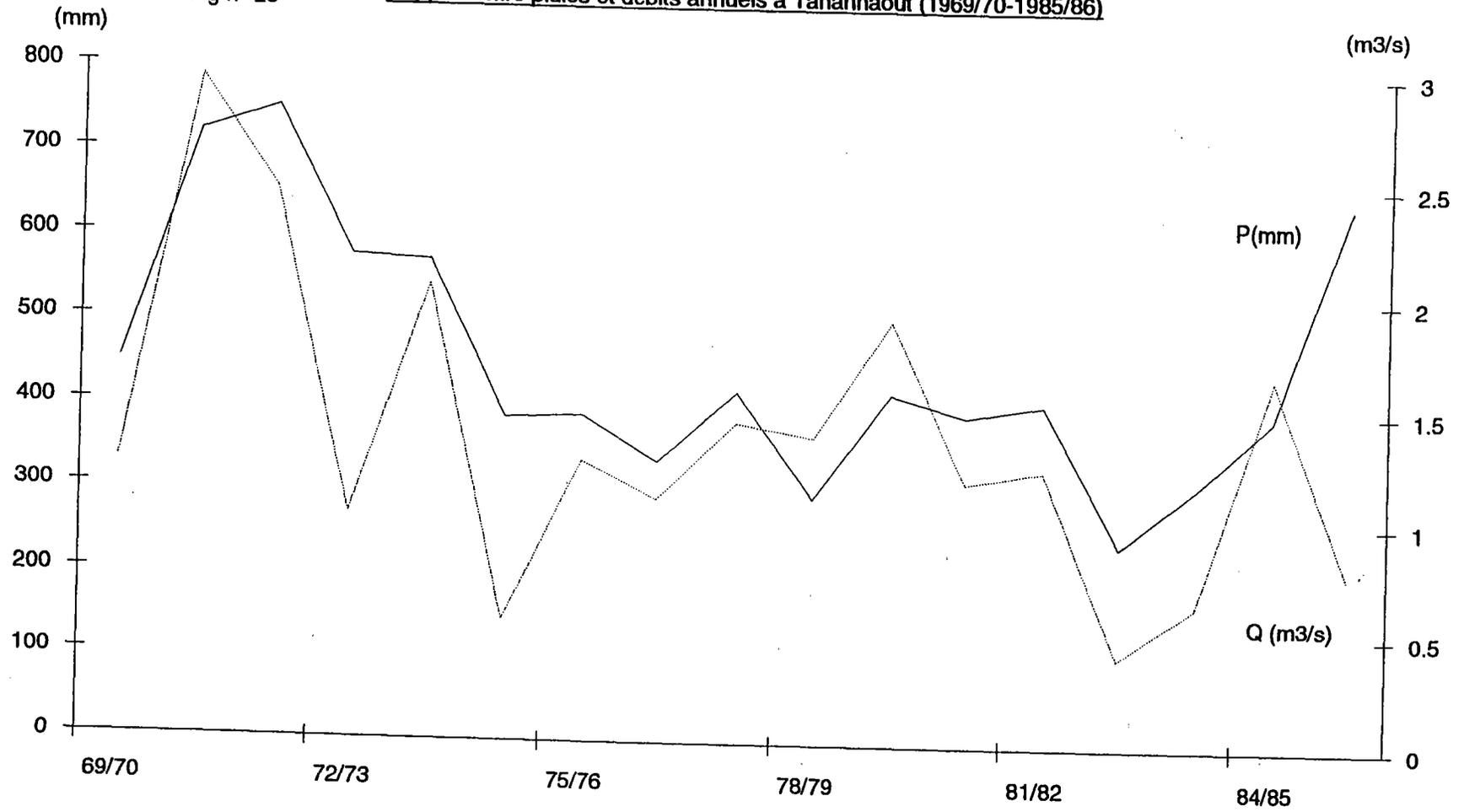


Tableau n°30 Les modules des débits et les pluies annuelles moyennes à Tahannaout (O.Rheraya) 1969/70-1985/86

Années	Modules annuels (m3/s)	Pluies annuelles (mm)
1969/1970	1,24	448
1970/1971	2,95	721
1971/1972	2,45	752
1972/1973	1,01	577,5
1973/1974	2,04	573
1974/1975	0,54	387
1975/1976	1,26	391
1976/1977	1,09	336
1977/1978	1,44	421
1978/1979	1,38	294
1979/1980	1,9	421
1980/1981	1,18	395
1981/1982	1,24	411
1982/1983	0,404	241
1983/984	0,641	312
1984/1985	1,66	395,5
1985/1986	0,774	647
Moyenne	1,453	450

Ces valeurs sont reportées sur le graphique (Cf Fig n°25). L'observation montre que les débits connaissent une fluctuation très importante d'une année à l'autre, ainsi qu'une indigence de l'écoulement pendant la dernière décennie.

En plus de la forte amplitude, les débits de la série (1969/1970-1985/1986) sont en majorité inférieurs à la moyenne générale: onze années sur dix sept enregistrent des valeurs déficitaires. Ce qui nous mène à déduire et confirmer que les deux dernières décennies ont une tendance climatique sèche confirmée par la succession de quatres années de sécheresse aiguë de 1980/81 à 1983/84.

Un simple aperçu de la série commune entre toute les stations (1969/1970-1985/1986), nous montre que les valeurs les plus élevées marquant tous les bassins-versants, étaient constatées durant l'année (1970/1971). Elles sont liées à la forte pluviosité. C'est la seule année ou il y avait une abondance pluviale et fluviale pendant toute la série d'étude.

Distributions statistiques des débits annuels aux bassins atlasiques

Fig n°26

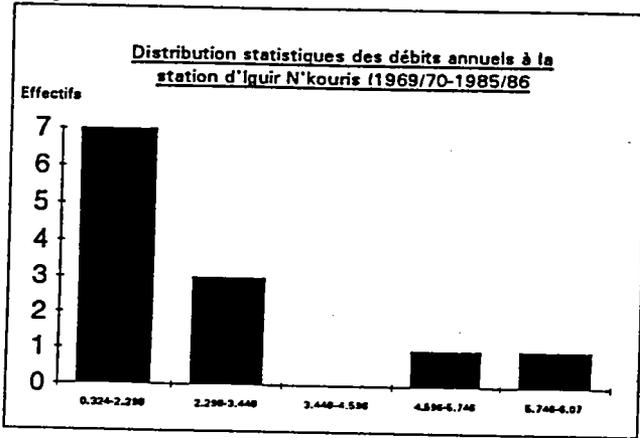


Fig n°26a

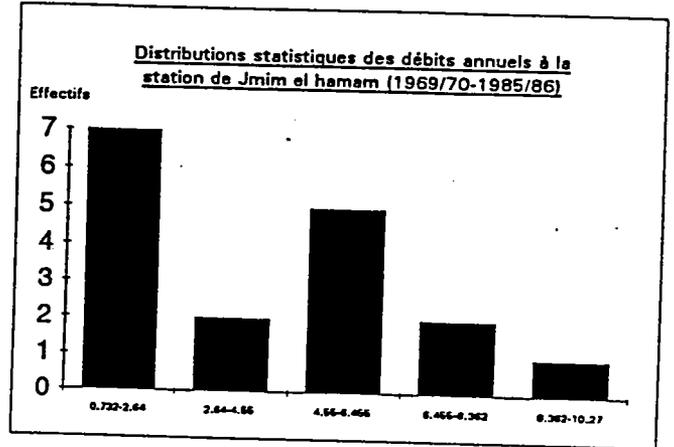


Fig n°26b

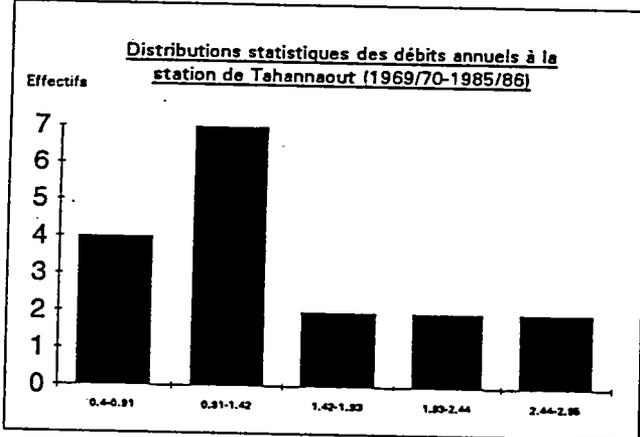


Fig n°26c

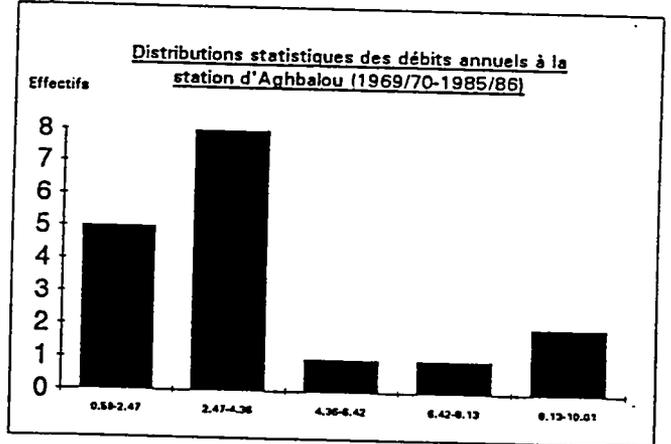


Fig n°26d

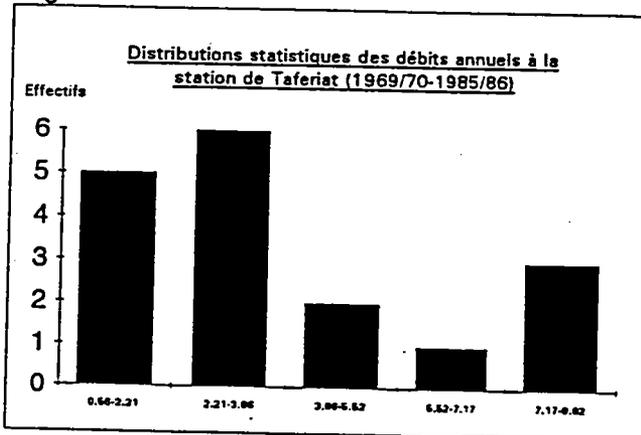
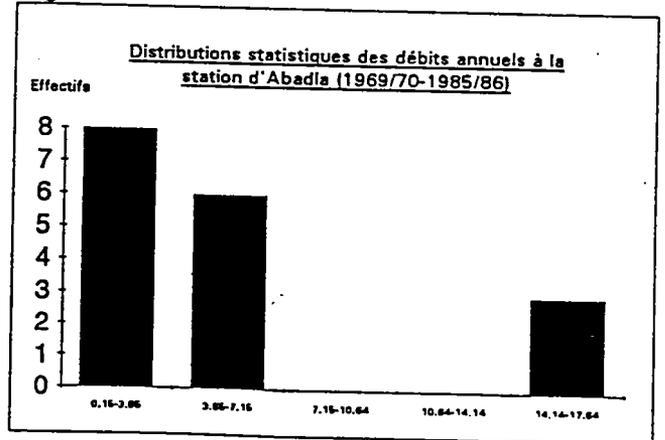


Fig n°26e



A l'opposé, l'année (1982/1983) a partout dans tous les postes hydrométriques la valeur la plus faible. Cette année a été marquée par un déficit pluviométrique très important.

3°) Etude fréquentielle des modules annuels

La réalisation de certains projets d'aménagement hydraulique, nécessite l'établissement d'une étude fréquentielle des modules. Cette étude a aussi pour but de compléter les connaissances sur le phénomène de l'irrégularité de l'écoulement annuel.

Le choix de la période de retour des débits de projet est automatiquement lié à des objectifs économiques, déterminant la nature de l'aménagement. Mais la précision des estimations dépend de la taille de l'échantillon et reste souvent relative.

Pour les bassins-versants atlasiques étudiés, la longueur des périodes d'observation reste dans l'ensemble relativement réduite, ce qui fait que l'estimation des débits de durée de récurrence millénaire reste illusoire. En effet, on ne peut en pratique rechercher un quantile dont la probabilité d'apparition corresponde à une période de retour supérieure au triple de la longueur de l'échantillon (P.Dubreuil 1974).

Le calcul des débits fréquents annuels nécessite une étude préalable de la distribution des échantillons. D'après les histogrammes de distribution des modules dans les différentes stations (Cf Fig n°26 à 26e), nous constatons l'absence des distributions en cloche: caractéristique d'une distribution normale (voir tableau n°31). C'est pourtant ce type de distribution auquel les modules s'ajustent le mieux (P.Dubreuil,1974):

à Tahannaout trois classes sont égales, elles ont deux comme effectif, à Iguir N'kouris les valeurs sèches présentent un effectif de sept années; à Jmim el hamam, Abadla et Taferiat les classes des modules les plus sèches comprennent successivement sept, huit et cinq années. A Aghbalou, ces modules secs ne présentent que cinq comme effectif. (Pour les modules humides ils ont des effectifs relativement faibles.

Nous constatons que les distributions de toutes les stations ne se ressemblent pas, de plus nous remarquons l'absence du centrage de l'échantillon autour de la moyenne. Celui-ci est très dispersé.

Tableau n°31 Les distributions statistiques des débits annuels

STATIONS	Intervalles des Q annuels	Effectifs
Iguir N'kouris	0,324-2,298	7
	2,298-3,448	3
	3,448-4,6	0
	4,6-5,75	1
	5,75-6,07	1
Jmim el hamam	0,732-2,64	7
	2,64-4,55	2
	4,55-6,455	5
	6,455-8,36	2
	8,36-10,27	1
Tahannaout	0,4-0,91	4
	0,91-1,42	7
	1,42-1,93	2
	1,93-2,44	2
	2,44-2,95	2
Aghbalou	0,59-2,47	5
	2,47-4,36	8
	4,36-6,24	1
	6,24-8,13	1
	8,13-10,3	2
Taferiat	0,56-2,21	5
	2,21-3,86	6
	3,86-5,52	2
	5,52-7,17	1
	7,17-8,83	3
Abadla	0,15-3,65	8
	3,65-7,15	6
	7,15-10,64	0
	10,64-14,14	0
	14,14-17,64	3

Mais les modules les plus faibles sont extrêmement regroupés. Ce qui nous mène à dire que les distributions des modules sont donc biaisées à gauche. Ce biais positif est commun à toutes les stations parceque la chronique que nous somme entrain d'étudier est bien marquée par un nombre d'années sèches et par des contrastes interannuels très importants (voir graphiques cités en haut n°26 à 26e)

On peut remarquer que les distributions dans presque toutes les stations sont bimodales; avec une concentration très importante pour les modules secs et un concentration plus étalement pour les années plus humides. Malgré ces distributions contrastées les tests d'ajustement utilisés acceptent la loi log-normale. (Cf tableau n°32)

Tableau n° 32 Les distributions statistiques

Iguir N'kouris

calcul de:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	0,8597	0,8657	0,8267
Seuil de rejet	0,1000	0,1000	0,1000
Résultats	Loi acceptée	Loi acceptée	Loi acceptée

Jmim el hamam

calcul de:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	0,8737	0,8798	0,8948
Seuil de rejet	0,1000	0,1000	0,1000
Résultats	Loi acceptée	Loi acceptée	Loi acceptée

Tahannaout

calcul de:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	0,5384	0,5279	0,6992
Seuil de rejet	0,1000	0,1000	0,1000
Résultats	Loi acceptée	Loi acceptée	Loi acceptée

Aghbalou

calcul de:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	0,1445	0,8664	0,8037
Seuil de rejet	0,1000	0,1000	0,1000
Résultats	Loi acceptée	Loi acceptée	Loi acceptée

Taferiat

calcul de:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	0,7037	0,6650	0,5891
Seuil de rejet	0,1000	0,1000	0,1000
Résultats	Loi acceptée	Loi acceptée	Loi acceptée

Abadla

calcul de:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	0,6095	0,5923	0,5670
Seuil de rejet	0,1000	0,1000	0,1000
Résultats	Loi acceptée	Loi acceptée	Loi acceptée

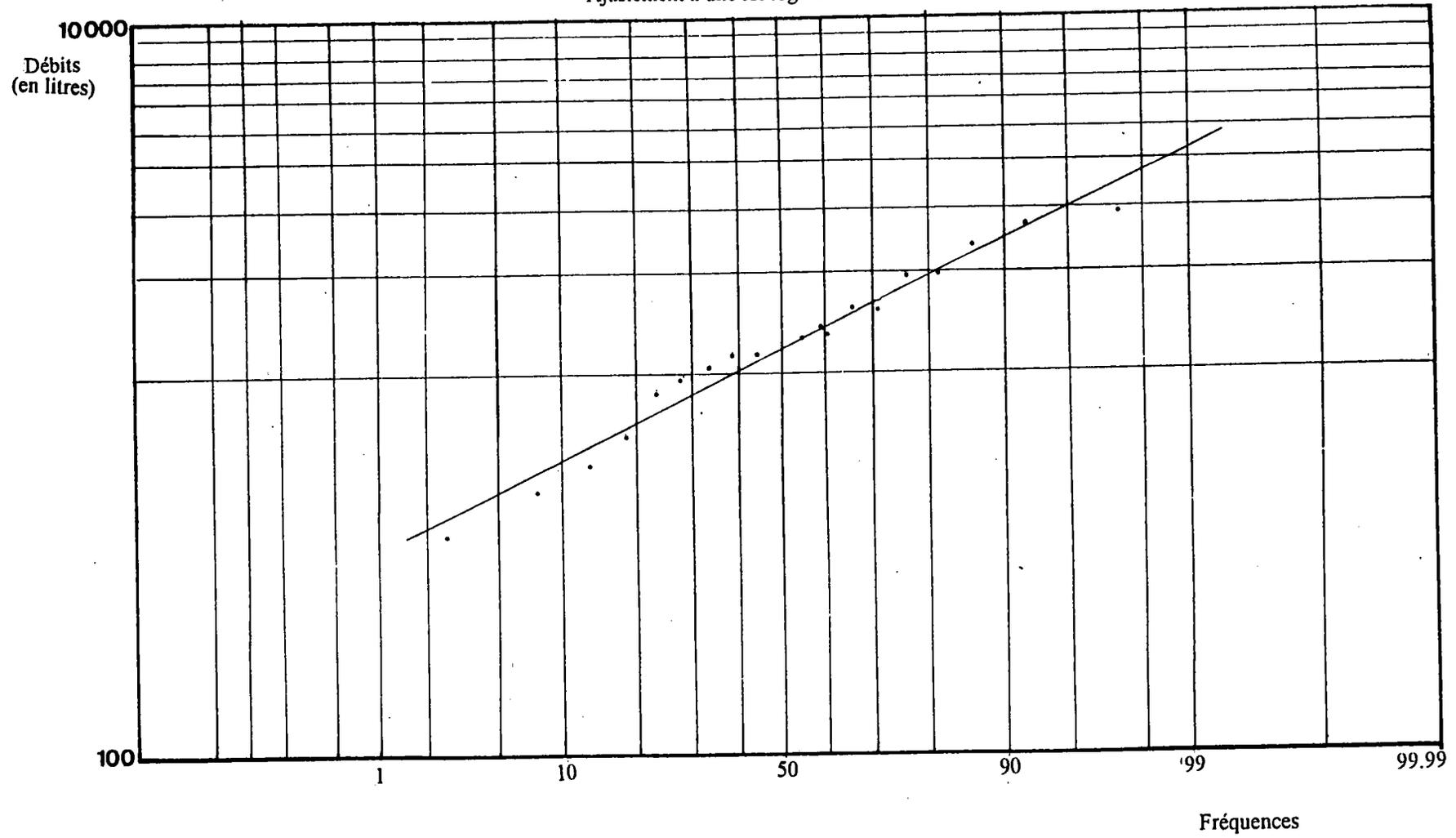
W2: est appelée statistique de Cramer-Von-mise.

U2: est appelée statistique de Waston.

A2: est appelée statistique d'Anderson-Darling.

Fig n° 27

Débits annuels à la station de Tahannaout (O. Rheraya) 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi log-normale



Donc, pour calculer les modules fréquentiels, nous utiliserons la loi log-normale qui nous paraît la plus adaptée pour cette série d'années d'étude. Cette méthode consiste en un classement des modules annuels des débits par ordre croissant ou décroissant (avec F = fréquence, n = le rang du module et N = le nombre d'années traitées) et en un report de chacun des modules sur un papier à échelle gaussio-logarithmique (ce travail a été réalisé par l'ordinateur, à l'aide du logiciel Aled).

Sur tous les graphiques (Cf Fig n°27; pour les autres stations voir annexe n°X à Xe), on remarque une forte dispersion particulière des points autour de la droite de Henri. Les modules les plus secs dont la fréquence expérimentale est inférieure à 0,5 se situent pour la plupart en dessous de la droite de Henri. A l'opposé les modules humides dont la fréquence expérimentale est supérieure à 0,5 se situent au dessus de la droite de Henri. Cette organisation des points est très certainement liée aux variations interannuelles des débits.

Il existe des débits extrêmes qui semblent former des paliers, des limites qu'il ne peuvent dépasser dans toutes les stations. C'est le cas de l'année 1982/1983, qui représente une année exceptionnellement sèche, d'un module proche du minimum absolu correspondant au rendement des aquifères.

Les années les plus humides, s'alignent aussi et tendent vers un débit maximum lié à un maximum pluviométrique annuel. Les essais d'ajustement statistique s'adaptent à cette distribution

On peut par la suite calculer les modules fréquentiels caractéristiques des débits; les résultats acquis sont reportés sur le tableau n°33:

Tableau n°33 Les débits annuels fréquentiels en m³/s (1969/1986)

STATIONS	F(0,1)	F(0,5)	F(0,9)	Q(0,1)/Q(0,9)
Jmim el hamam	1,286	3,29	8,42	0,153
Iguir n'kouris	0,553	1,715	0,532	1,039
Tahannaout	0,617	1,209	2,370	0,26
Aghbalou	1,398	3,442	8,474	0,165
Taferiat	1,211	2,836	6,639	0,182
Abadla	0,662	3,313	16,572	0,04

Débits moyens mensuels aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)

Fig n°28

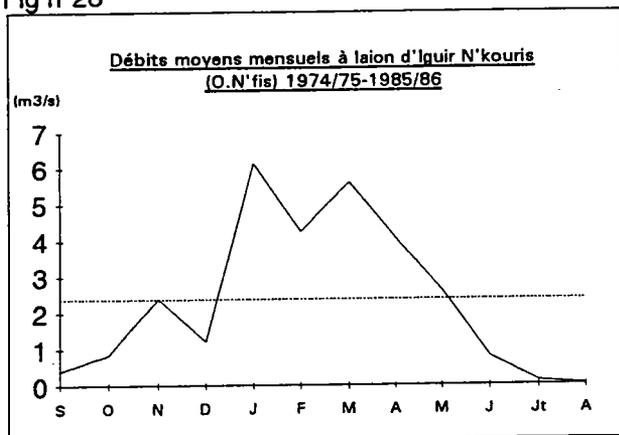


Fig n°28a

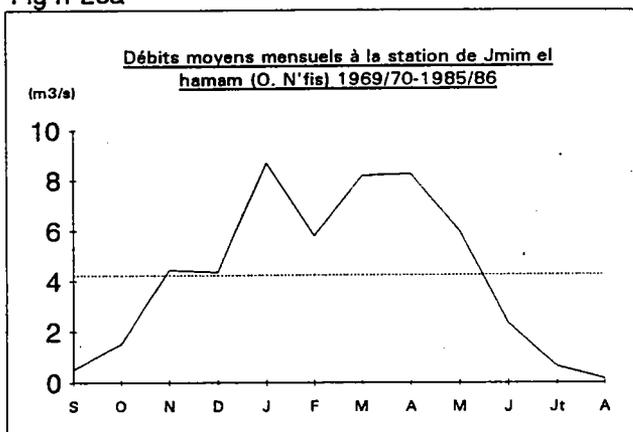


Fig n°28b

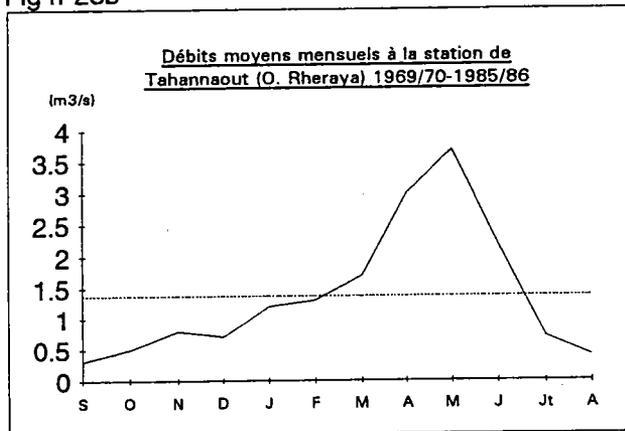


Fig n°28c

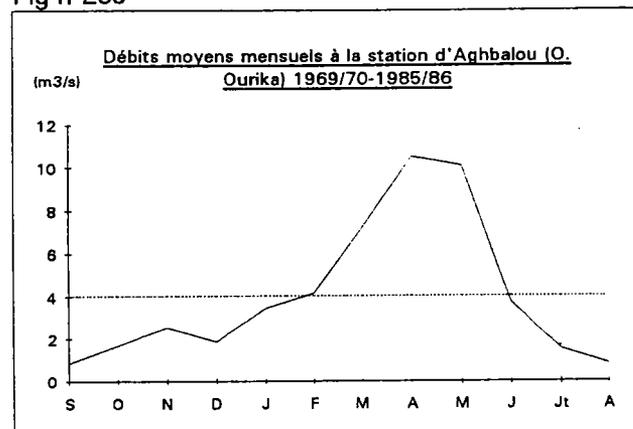


Fig n°28d

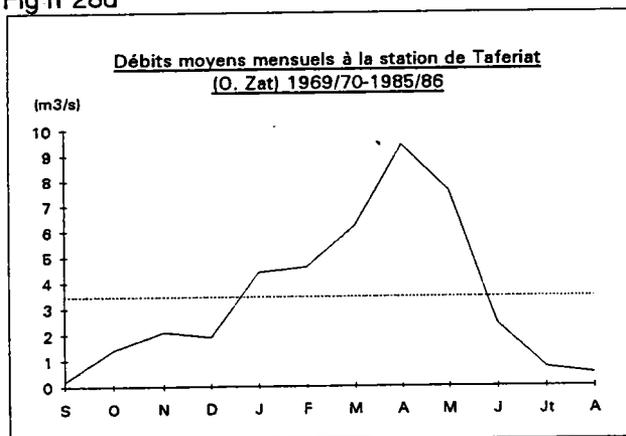
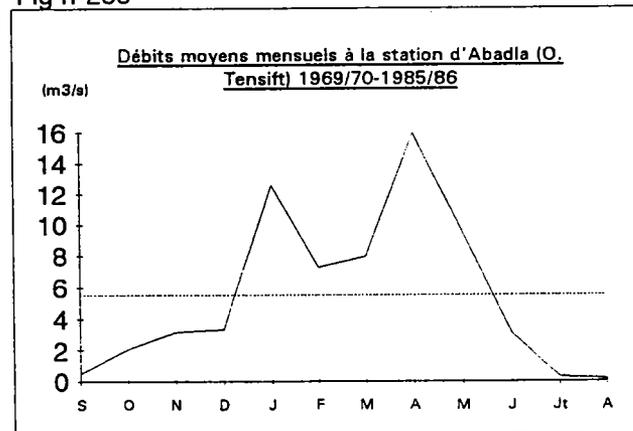


Fig n°28e



Le rapport entre les modules des débits fréquentiels décennaux, montre une pente de la droite de Henri plus forte à Iguir N'kouris (1,039) et plus faible à Abadla (0,04) et Tahannaout (0,26). A Taferiat et Aghbalou cette pente est moins forte de l'ordre de (0,182 et 0,165) respectivement.

Cette différence entre les stations est dûe aux variations interannuelles des précipitations et au contrastes climatiques entre l'est (humide) et l'ouest (sec).

Suite aux résultats précédents, nous pouvons nous poser le problème de la représentativité de la période de récurrence (1969/1970-1985/1986). Elle se montre très sèche et trop contrastée, en raison de l'ampleur des variations des modules.

Dans ce cas là, les débits annuels fréquentiels calculés, sont peut être sous estimés, ou surestimés. Cependant l'étude des pluies sur une longue période permet de constater que les années de la période (1969/1970-1985/1986) comptent parmi les plus sèches ou les plus humides. Pour cette série d'étude l'année 1982/1983 est l'année la plus sèche de même l'année 1970/1971 est la plus humide.

La forte dispersion des débits annuels mise en lumière par les valeurs élevées du coefficient de variation laisse supposer une distribution dissymétrique des échantillons. Comme le montrent les points représentatifs des débits en face de leur fréquence expérimentale (voir graphiques n°27 et annexe n°X).

II) LES REGIMES HYDROLOGIQUES

1°) La variabilité des débits mensuels

Un examen des débits mensuels moyens, nous montre que les débits se caractérisent dans la région du Tensift par une variabilité très importante à travers toute la série d'étude et d'un bassin à l'autre.

En effet, au bassin de N'fis, malgré sa situation à l'extrême ouest de la région d'étude, il a un débit mensuel moyen de 4,23 m³/s qui balance généralement entre 8,702 m³/s et 0,16 m³/s. Cette variation des débits, est visualisée clairement sur le graphique (Cf Fig n°28).

Dans le bassin-versant du Rheraya contrôlé par le poste hydrométrique de Tahannaout, nous remarquons (voir Fig n° 28a) que les débits sont un peu faibles. Ils ont un minimum moyen de 0,3 m³/s et un maximum moyen de 3,7 m³/s soit un module de 1,375 m³/s.

A la station d'Aghbalou, contrôlant le bassin d'Ourika, on constate (Cf Fig n°28b) que les débits oscillent entre 0,8m³/s et 10,49 m³/s.

Au bassin-versant du Zat contrôlé par la station de Taferiat, les débits varient entre 0,2 m³/s en septembre et 9,4 m³/s en avril avec une moyenne de 3,45 m³/s. Le graphique n°28c nous montre cette variabilité.

Vers le nord à la station d'Abadla, il apparaît d'après le graphique (Cf Fig n°28d) l'existence d'un contraste très important entre le minimum faible (0,195 m³/s) et le maximum élevé (15,92 m³/s). De même le module est plus élevé par rapport à ceux des autres bassins. Ceci est tout à fait normal, puisque Abadla contrôle les débits du Tensift, le grand collecteur des oueds atlasiques.

Par ailleurs, la faiblesse des débits spécifiques à Abadla (0,541 l/s/km²) est liée à la modestie des débits par rapport à la grande surface de l'oued Tensift. De même par la non participation partielle ou entière de certains affluents à l'alimentation de l'oued Tensift: dans la région du Tensift surtout dans la plaine du haouz, les besoins quotidiens en eau poussent les riverains à pomper l'eau des cours d'eau par les cannaux d'irrigation et les Khettarats. Ce qui entraîne une diminution des débits.

La variabilité mensuelle est très prononcée. Pour tous les oueds, l'étiage a lieu en août, mais dès le mois de septembre-d'octobre la courbe commence à se redresser grâce aux premières pluies automnales et accuse un maximum en liaison avec les pluies de la fin d'automne et du début de l'hiver. Notable dès le mois de janvier le redressement de la courbe atteint son maximum entre mars et mai, avec une pointe en avril.

Pour la station de Tahannaout, les débits moyens mensuels augmentent régulièrement de mars jusqu'au mois de mai, car la neige persiste plus longtemps dans les hautes altitudes (Toubkal 4167 m), et sa fonte se réalise tardivement pour soutenir les débits de l'oued Rheraya.

Tableau n°34 Tableau des débits mensuels moyens des bassins- versants atlasiques en m3/s (1969/70-1985/86)

Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moyenne
Iguir N'kouris	0.41	0.83	2.39	1.21	6.14	4.24	5.6	4.08	2.35	0.805	0.11	0.02	2.34
Jmim el hama	0.502	1.509	4.44	4.364	8.702	5.812	8.175	8.239	5.958	2.317	0.632	0.161	4.23
Tahannaout	0.34	0.432	0.751	0.673	1.19	1.29	1.8	3.02	3.67	2.204	0.718	0.363	1.371
Aghbalou	0.783	1.624	2.537	1.838	3.435	4.17	7.2	11.07	10.08	3.752	1.531	0.805	4.07
Taferiat	0.2	1.442	2.059	1.856	4.396	4.556	6.229	9.366	7.624	2.363	0.668	0.489	3.437
Abadla	0.535	2.074	3.18	3.319	12.56	7.258	7.95	15.92	9.477	3.087	0.293	0.195	5.487

A la station de Jmim el hamam et Iguir N'kouris, les débits de pointe se réalisent au mois de janvier. Ce phénomène est dû aux pluies hivernales qui soutiennent les débits.

En général, cette différenciation entre les bassins s'explique par leur situation dans deux régions climatiques différentes: l'ouest caractérisé par la modestie des pluies et l'est qui connaît des pluies (relativement) abondantes.

Les mois de juin et juillet correspondent aux basses eaux. Autrement dit une variabilité intra-annuelle qui rappelle dans ses grands traits celle des précipitations. La confrontation entre le débit d'étiage et le débit maximum permet d'appréhender l'amplitude de cette variabilité saisonnière et par conséquent, de saisir le degré d'irrégularité des débits. Les chiffres reportés sur le tableau n°34, illustrent bien cet aspect de variabilité.

Cette irrégularité dont on a déjà parlé s'accroît en été, surtout dans leur section aval par un dessèchement presque absolu aux mois de juillet et août où les pluies sont très rares: au N'fis (0,63 m³/s et 0,162 m³/s); au Rheraya (0,7 m³/s et 0,4 m³/s); à l'Ourika (1,53 m³/s et 0,8 m³/s) et (0,293 et 0,195 m³/s) à Abadla.

Aucun de ces oueds n'arrive à son débouché en plaine et la majorité d'entre eux ne débite qu'une mince tranche d'eau qu'au delà de la limite de la moyenne montagne. A l'opposé de cet aspect nous dirons que les crues peuvent être importantes et régulières en hiver et au printemps; elles peuvent être très dangereuses en automne.

En effet, après une longue période de sécheresse, les premières pluies du début de l'automne peuvent changer brusquement l'allure des rivières. M.Aïchane (1986) a noté que *<<le débit journalier apparent du N'fis, nul pendant 103 jours à partir du 28 juillet, est passé subitement à 13,7 m³/s à Iguir N'kouris le 8/11/1982 >>*.

Aux débits moyens maximums des mois humides, notamment ceux de mars avril, correspondent des besoins minimes pour les populations montagnardes.

A l'opposé durant les mois secs les besoins en eau sont plus importants. Les disponibilités hydrologiques des oueds fléchissent et tendent à devenir nulles. Ce qui traduit par la suite une rareté ou un

manque d'eau. Cette eau est abondante en hiver et au printemps, alors qu'elle devient rare en été et surtout en automne.

La disponibilité en eaux, qui varie entre les mois humides et les mois secs, ne s'accorde pas avec la disponibilité en terres entre l'amont et l'aval.

En effet, l'eau est souvent abondante dans les parties amonts des oueds, qui souffrent d'un manque terrible de terre; et elle devient rare dans les parties moyennes et avales (la plaine) où les disponibilités en terre sont relativement meilleures.

C'est pour cela que les tribus de la région essaient toujours d'optimiser l'exploitation des eaux dans les sous bassins-versants. Le problème de l'eau donc, est une question de vie ou de mort chez les riverains (dans la région du Tensift).

Les précipitations jouent un rôle très important sur l'écoulement, les débits annuels varient selon la variabilité des précipitations.

Globalement, la variabilité des débits mensuels à travers tous les bassins atlasiques dépend de leur situation par rapport aux régions humides ou sèches, et de leur formation lithologique.

2°) Les régimes saisonniers et leur variabilité spatiale

L'étude des débits mensuels moyens permet de caractériser les régimes des cours d'eau, ainsi que leurs variations. Le régime moyen des bassins-versants atlasiques est lié essentiellement aux types pluviaux comportant des basses eaux au cours de la saison sèche de mai à octobre et la saison des hautes eaux qui se différencie d'une station à l'autre:

*à la station d'Iguir N'kouris et Jmim el hamam, la saison humide se prolonge entre décembre et mars-avril avec un débit de pointe de 5,6 m³/s et 4,04 m³/s successivement.

*A la station d'Abadla, la période des hautes eaux commence de janvier à avril-mai avec un débit de pointe de 15,92 m³/s en avril et 9,48 m³/s en mai.

La variabilité des coefficients mensuels des débits aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)

Fig n°29

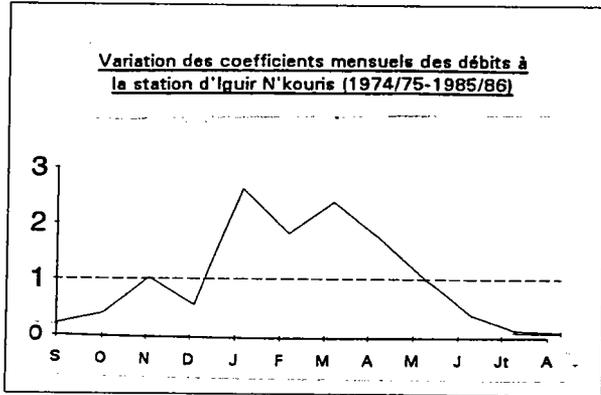


Fig n°29a

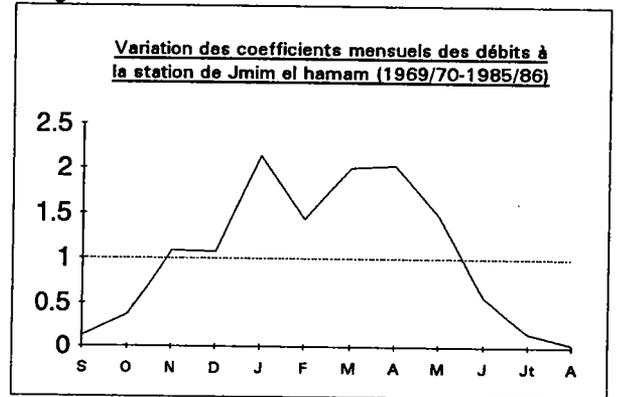


Fig n°29b

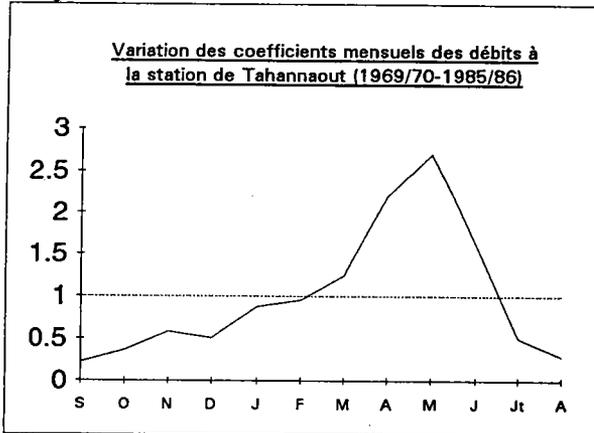


Fig n°29c

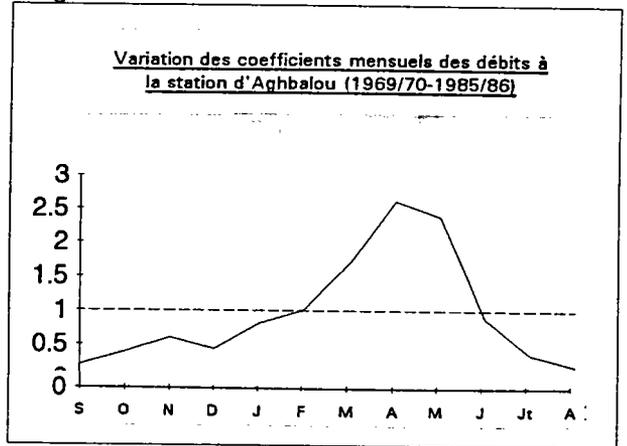


Fig n°29d

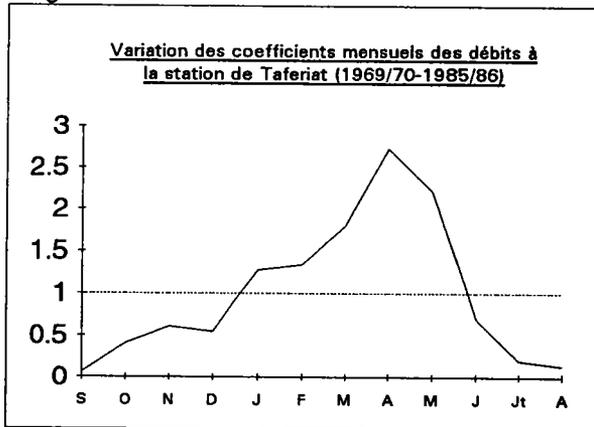


Fig n°29e

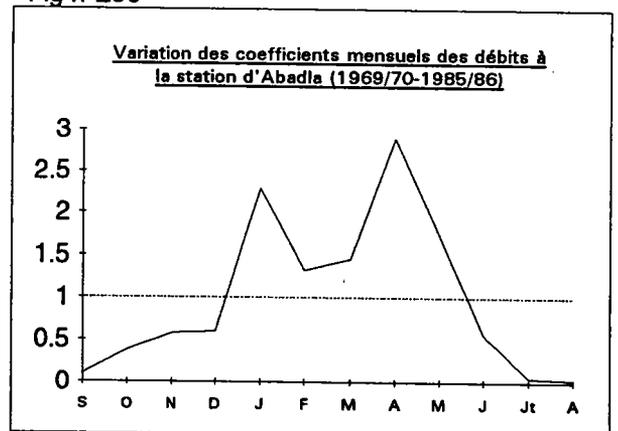


Tableau n°35 Les coefficients mensuels des débits (1969/70-1985/86)

Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A
Iguir n'kouris	0.137	0.35	1.01	0.51	2.59	1.79	2.36	1.705	1.1	0.34	0.5	0.01
Jmim el hama	0.12	0.37	1.09	1.07	2.14	1.43	2.01	2.03	1.47	0.57	0.16	0.04
Tahannaout	0.22	0.36	0.58	0.51	0.88	0.95	1.24	2.19	2.7	1.61	0.51	0.29
Aghbalou	0.21	0.41	0.63	0.46	0.85	1.03	1.79	0.38	2.5	0.93	0.38	0.2
Taferiat	0.06	0.41	0.61	0.55	1.28	1.34	1.8	2.73	2.21	0.7	0.2	0.14
Abadia	0.1	0.38	0.58	0.6	2.29	1.32	1.45	2.9	1.73	0.56	0.05	0.03

* A la station de Taferiat la période des hautes eaux est prolongée de janvier jusqu'au mois d'avril-mai en présentant un débit de pointe de 9,4 m³/s en avril et 7,6 m³/s en mai.

*Pour l'oued Ourika, les hautes eaux n'apparaissent qu'en février pour présenter un débit de pointe en avril de 10,49 m³/s.

*Pour l'oued du Rheraya la période des hautes eaux est assez décalée dans le temps: elle ne commence qu'au mois de février du fait de l'importance relative de la neige qui fond tardivement pour réaliser un débit de pointe de 3,7 m³/s en mai.

Ces régimes sont éclairés par l'importance des coefficients mensuels des débits (voir tableau n°35). Le coefficient élevé se situe en janvier à Jmim el hamam et Iguir n'kouris (2,14 et 1,82) successivement. Ceci est lié à l'influence des pluies automnales et hivernales, pour la station d'Aghbalou il est situé au mois de mai (2,5), alors que pour Abadla et Taferiat, ils sont situés en avril (2,9 et 2,73). Ce phénomène est le produit des pluies de la fin d'hiver et de la fonte de neige au début du printemps.

A Tahannaout, le maximum du coefficient mensuel des débits est localisé au mois de mai (2,7), ceci est dû au retard de la fonte de neige.

Par ailleurs, les plus faibles valeurs de ces coefficients mensuels des débits correspondent aux mois des basses eaux (Cf Fig n° 29 à 29e). Cette période s'étend de mai à octobre pour Jmim el hamam et de mai à décembre pour Iguir n'kouris; de juillet à février pour Tahannaout; de juin à février pour Aghbalou et de juin à décembre pour la station de Taferiat et Abadla.

Les stations prises dans cette étude, montrent les caractéristiques hydrologiques générales des sous bassins-versants atlasiques du Tensift.

Les débits sont donc très importants (hautes eaux) pendant les mois d'avril et mai. Ce phénomène est lié automatiquement à la fonte de la neige accumulée en haute altitude et aux pluies printanières, qui sont souvent très importantes. Par contre les valeurs enregistrées en juillet, août et septembre sont très faibles: 0,2 en juillet, 0,14 en août et 0,06 en septembre à Taferiat.

Nous constatons une variation notable du régime hydrologique selon les saisons (contrastes météorologiques) et selon la situation des oueds. De ce fait, les moyennes sont nuancées d'une saison à une autre durant la série d'observation, comme va le confirmer plus loin la forte disparité des coefficients de variation.

Si on prend par traitement les coefficients mensuels des débits, nous constatons que tous les bassins-versants atlasiques ont les mêmes caractéristiques hydrologiques et ils sont presque identiques: des coefficients mensuels des débits élevés en saison hivernale et des coefficients mensuels faibles durant la saison estivale, avec une petite différenciation entre les bassins situés à l'est et les bassins localisés à l'ouest:

*Vers l'ouest à Jmim el Hamam le C.M.D (Cf Fig n°29a) est caractérisé par un contraste entre la faible valeur en août (0,04) et la valeur la plus forte en janvier (2,14).

*Pour Tahannaout, nous constatons que le C.M.D (Cf Fig n°29b) connaît un changement important entre la saison sèche où il ne dépasse pas 0,29 en août et la saison humide où nous trouvons une valeur assez importante au mois de Mai (2,7).

*Pour Aghbalou sur l'oued Ourika d'après le graphique (Fig n°29c) nous constatons que le C.M.D oscille entre un minimum marqué en août (0,2) et un maximum en mai de (2,5).

*A Taferiat, durant la période humide le coefficient mensuel des débits (Fig n°29d) est important, il atteint une valeur très élevée en avril (2,73), alors qu'en période estivale, il est toujours faible. Il ne dépasse pas 0,14 en août.

A vrai dire, tous les C.M.D des bassins-versants atlasiques, sont faibles au mois de juillet, août et septembre. Cette différenciation est due à des raisons climatologiques.

Les débits au sein des bassins-versants atlasiques, connaissent une variabilité saisonnière très importante selon les régions et leur situation. Cette variabilité se voit d'après le coefficient de variation et les débits spécifiques:

Le coefficient de variation dans les bassins-versants atlasiques (1969/70-1985/86)

Fig n°30

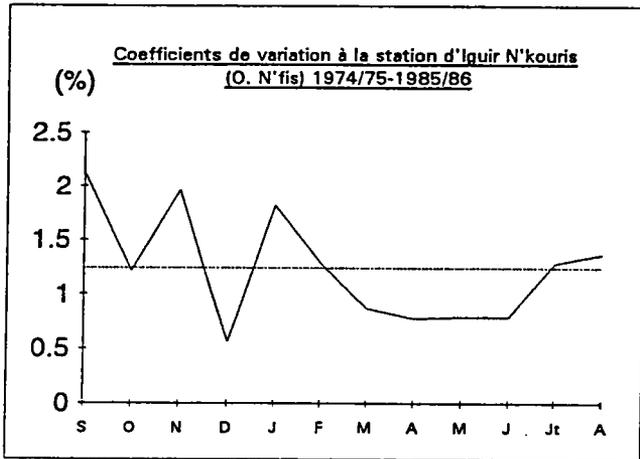


Fig n°30a

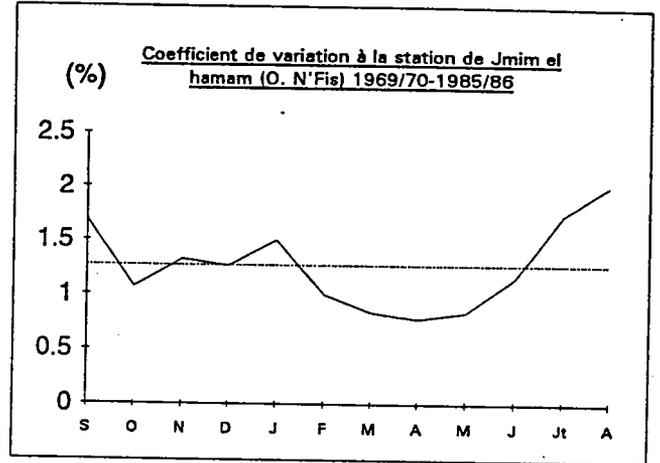


Fig n°33b

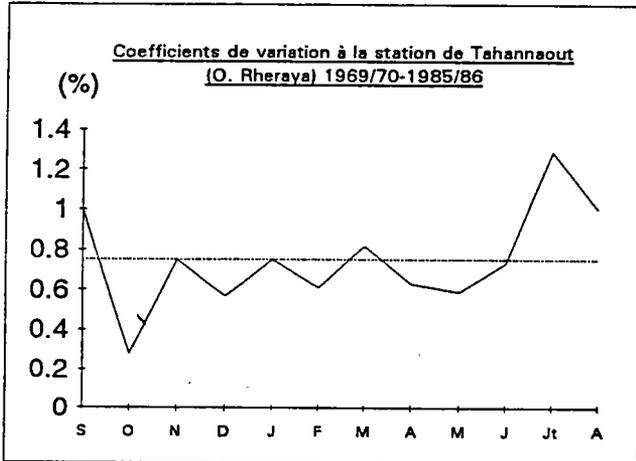


Fig n°30c

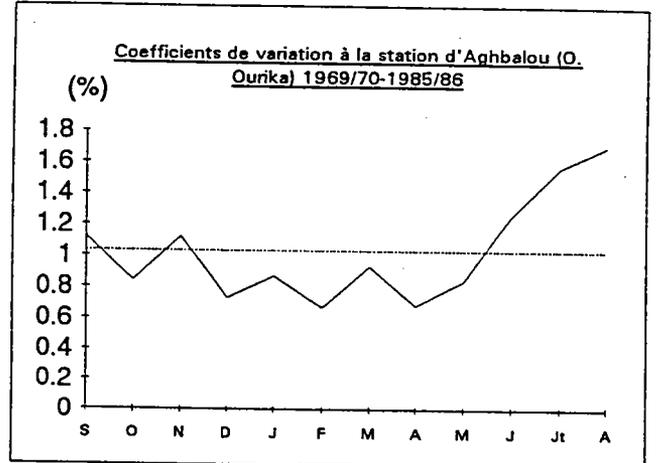


Fig n°30d

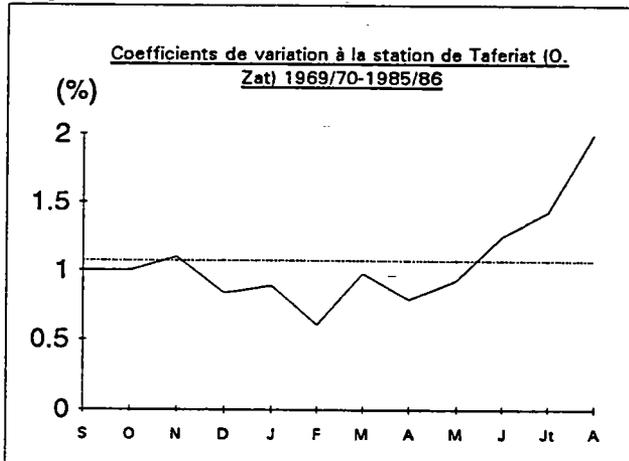
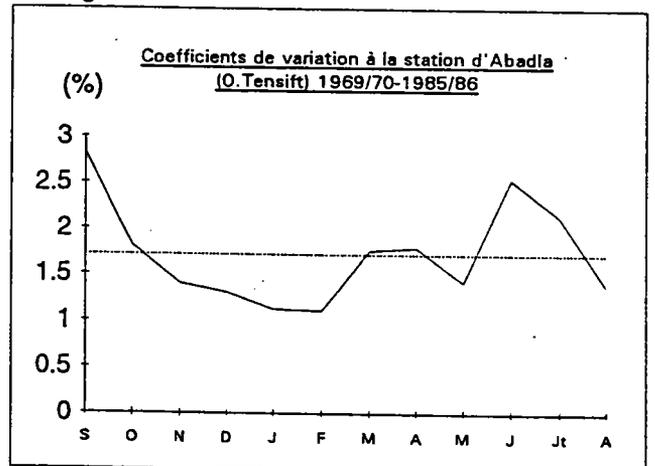


Fig n°30e



a) Le coefficient de variation

Les débits saisonniers varient d'un oued à l'autre. Le tableau n°36, nous permet de constater que les coefficients de variation oscillent entre 0,5 et 2,66 avec une différenciation bien claire entre les bassins de l'est et ceux de l'ouest. Ceci se retrouve sur les graphiques n° 30 à 30e.

Tableau n°36 Les coefficients de variations des bassins atlasiques

Stations/Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moy
Iguir N'kouris	2.13	1.21	1.96	0.56	1.82	1.28	0.87	0.77	0.75	0.79	1.27	1.36	1.23
Jmim el hamam	1.69	1.07	1.32	1.26	1.5	1	0.84	0.78	0.84	1.15	1.73	2.01	1.27
Tahannaout	1	0.8	0.75	0.57	0.75	0.61	0.82	0.63	0.59	0.73	1.29	0.4	0.83
Aghbalou	1.12	0.84	1.12	0.73	0.87	0.67	0.93	0.68	0.84	1.26	1.57	1.71	1.03
Taferiat	1	1	1.1	0.84	0.89	0.61	0.98	0.79	0.93	1.25	1.43	2	1.07
Abadla	2.83	1.81	1.4	1.3	1.12	1.1	1.75	1.79	1.41	2.54	2.12	1.37	1.71

En effet, le bassin du Rheraya à l'ouest connaît un coefficient faible oscillant entre 0,4 et 1,29; soit un coefficient moyen de 0,83 alors que les bassins d'Ourika et du Zat, ont des coefficients moyens de l'ordre de 1,03 et 1,07 successivement.

A Jmim el hamam (bassin-versant de N'fis) le coefficient de variation est élevé, il varie entre 0,84 et 2,01 avec une moyenne de 1,27 comme à Abadla il est de 1,71 avec une oscillation entre 1,1 et 2,83. Ceci reflète l'effet de compensation de la variabilité interannuelle de l'écoulement dans l'ensemble du bassin du Tensift qui est caractérisé par un débit moyen mensuel très variable, oscillant entre 15,92 m³/s en avril et 0,195 m³/s en août et un débit annuel aussi contrasté et variable entre 17,64 m³/s en 1970/71 et 0,15 m³/s en 1982/83.

Cette forte variabilité est liée à la nature des roches et à l'importance des pluies qui connaissent un contraste interannuel important. En effet, en cas d'une année non pluvieuse le faible rapport des réserves en eau souterraine aggrave la situation et accentue la variabilité des débits des cours d'eau.

Cette variabilité importante est liée à l'importance des pluies. En cas de période climatique sèche, le faible apport des réserves en eau souterraine, aggrave la situation et accentue la variabilité de l'est vers l'ouest en fonction des facteurs climatiques et de leur oscillations régionales:

-Les bassins orientaux

Par l'abondance relative des pluies dans la partie orientale, les débits sont importants, la période des hautes eaux commence dès le mois d'octobre jusqu'au mois d'avril. Mais la moyenne tombe un peu au dessous de l'unité en décembre. Le maximum d'écoulement est atteint en avril (10,49 m³/s à Aghbalou et 9,4 m³/s à Taferiat).

Les pluies du début de l'année hydrologique (qui se font au mois d'octobre), n'interviennent pas efficacement dans le soutien de l'écoulement superficiel, en raison de leur faiblesse ajoutée à la faiblesse des réserves qui sont épuisés en période estivale, et à la non saturation des sols. Cependant, toute la quantité tombée sera infiltrée. Les basses eaux sont remarquées dès le mois de mai-juin et s'accroissent pendant les mois de juillet et août pour favoriser un étiage important: à Taferiat par exemple en juillet on a que 0,7 m³/s et en août le débit moyen ne dépasse pas 0,5 m³/s.

-Les bassins occidentaux

Tous les affluents dans la partie ouest, se caractérisent par un écoulement modeste, lié à la faiblesse de la pluviométrie.

Le mois d'août dans tous les bassins englobe des moyennes hydrométriques faibles: Aghbalou (0,8 m³/s) et Jmim el Hamam (0,16 m³/s). Le mois de janvier est marqué en quelque sorte par une faiblesse hydrométrique à la station de Tahannaout sur l'oued Rheraya (1,2 m³/s).

En général, dans tous les bassins affluents du Tensift (étudiés), les moyennes mensuelles minimales sont toujours réalisées en août.

Ceci peut s'expliquer à priori par le faible soutien dû aux eaux souterraines, le régime hydrologique étant lié aux variations saisonnières des précipitations, et aux effets importants de l'E.T.P.

L'adaptation du régime hydrologique au régime pluviométrique nous paraît concordante, ceci ressort de l'allure générale des courbes des coefficients mensuels des débits, qui nous rappellent les régimes de précipitations traités précédemment.

Signalons aussi que les régimes hydrologiques dans le grand bassin du Tensift, sont nuancés entre l'est (a pluies abondantes) et l'ouest du bassin (moins arrosé). Mais le parallélisme entre ces deux phénomènes est plus ou moins modifié par l'importance de la lithologie qui facilite l'infiltration et par la température, renforçant les prélèvements au détriment des écoulements de surface.

Ces phénomènes sont généralisés dans tous les bassins méditerranéens. Ils se caractérisent d'après les graphiques du C.M.D par une variabilité importante de l'amont vers l'aval et de l'est vers l'ouest. L'allure des graphiques des C.M.D de toutes les stations prises dans l'étude (Cf Fig n°29 à 29e commentés en haut) représente cette variabilité.

Les débits dans toutes les stations contrôlant les oueds atlasiques sont caractérisés par une variabilité importante sur le plan mensuel. La plus forte variabilité de l'écoulement fluvial concerne la période humide ou des hautes eaux, notamment les mois de janvier, février, mars et avril.

En effet, à Jmim el hamam nous trouvons un coefficient de variation de 1,5 en janvier; 1 en février; 0,84 en mars et 0,78 en avril. Ce phénomène peut s'expliquer par l'abondance des eaux écoulées dûes aux fortes précipitations ou à la fonte de neige au début du printemps, favorisant la genèse des crues à une fréquence très importante.

La variabilité relativement modérée des basses eaux est expliquée par la faiblesse régulière des précipitations durant la saison sèche. Par ailleurs, la variabilité intermensuelle des débits est accentuée dans l'ensemble des bassins-versants atlasiques pris dans l'étude. Ce phénomène est dû à la variabilité des hauteurs pluviométriques entre la saison humide et la saison sèche.

b) Les débits spécifiques

Les débits spécifiques annuels, croissent de l'ouest vers l'est comme on peut le visualiser sur le tableau suivant:

Tableau n°37 Tableau des débits spécifiques des bassins-versants atlasiques

Bassin-versant	Stations hydrométriques	Débits spécifiques
N'fis	Jmim el hamam	2,38 l/s/km ²
N'fis	Iguir n'kouris	3,66 l/s/km ²
Rheraya	Tahannaout	4,1 l/s/km ²
Ourika	Aghbalou	8,01 l/s/km ²
Zat	Taferiat	5,98 l/s/km ²
Tensift	Abadla	0,54 l/s/km ²

D'après le tableau précédent, nous pouvons dire que les débits spécifiques les plus importants sont enregistrés dans l'est à l'oued Zat (5,98 l/s/km²) et à Ourika (8,01 l/s/km²). Le débit spécifique le plus faible marque les bassins occidentaux au N'fis: 2,38 l/s/km² à Jmim el hamam et 3,66 l/s/km² à Iguir N'kouris. Le bassin du Rheraya a une valeur intermédiaire de 4,1 l/s/km².

Ils nous rappellent le schéma de distribution spatiale des pluies qui suit la même évolution. En effet, la valeur maximale est atteinte dans l'oued Zat à l'est (564 mm à la station de Demnat); pour la période 67/68-85/86 (et non 69/70-85/86) car les pluies sont abondantes et les pentes importantes, ce qui favorise un écoulement de surface.

Le débit spécifique annuel du N'fis est égal à 2,38 l/s/km²; il est inférieur à celui du Rhéraya de 1,7 fois, plus petit que celui de l'Ourika (8,01 l/s/km²) de 3,4 fois, et plus petit que celui du Zat de 2,5 fois (5,98 l/s/km²). Le N'fis par ailleurs, connaît un écoulement assez important par rapport aux autres bassins versants—atlasiques (4,88 m³/s) à la station de Jmim el hamam.

A quoi est liée cette infériorité du N'fis ?

Une première réponse peut être la faible quantité d'eau fournie par les précipitations annuelles, puisqu' il est situé dans la partie ouest connue par sa faible pluviosité. La hauteur moyenne de pluie retenue pour le N'fis, durant la période (1969/1970-1985/1986) est de 354 mm (Imin el Hamam), elle est la plus petite moyenne de tous les autres bassins: à oued Rheraya la moyenne est de 460 mm, à oued Ourika elle est de 461 mm. Le Zat englobe la part la plus importante avec 542 mm.

C'est la faiblesse de son apport pluviométrique et l'importance des terrains imperméables (79,4%), qui expliquent donc l'infériorité du N'fis.

La faiblesse hydrique du N'fis s'explique par les "conditions d'efficacité" (M.ROCHEFORT,1963) qu'une chute de pluie rencontre dans le bassin où elle tombe. Ces conditions variables suivant les bassins, se ramènent aux facteurs déterminant l'évaporation (les températures) et l'infiltration (la nature des roches); ainsi que la longueur des cours d'eau, ces paramètres jouent un rôle très important.

III) LES PHASES HYDROLOGIQUES EXTREMES

1°) Les crues

<<lorsqu'il pleut et que l'eau ruisselle, elle contribue directement à l'alimentation des cours d'eau. Ce qui caractérise ce monde d'alimentation, c'est l'extrême rapidité avec laquelle l'eau parvient aux thalwegs, mais inversement aussi la faible persistance de cet écoulement après la fin de la pluie.

Aussi bien le ruissellement joue-t-il un rôle essentiel dans la formation des débits de pointe et la genèse des crues.>>

RENE NEBOIT GUILLHOT.

"Les eaux continentales p13"

Dans ce passage, nous aborderons les débits journaliers instantanés maximaux, durant toute la série (1969/1970-1985/1986) et les crues qui ont été enregistrées dans toutes les stations au cours de cette série d'années.

En plus des effets des roches, ayant la capacité d'emmagasiner l'eau et favorisant les écoulements n'oublions pas les conditions météorologiques. Ces deux facteurs sont responsables de l'alimentation des cours d'eau. Donc il semble nécessaire de prendre en considération les crues de saison chaude et celles de saison froide, qui se différencient par leur genèse, leur durée, leur puissance, leur fréquence et leur extension dans l'espace.

Les jaugeages effectués par la méthode des vitesses superficielles manquent de précision, surtout pour les débits forts, alors que les jaugeages plus précis au moulinet sont effectués par l'O.N.I (Office national des irrigations) à partir de juin 1962 sur l'oued N'fis et l'oued Rheraya.

Pour l'ensemble des oueds pris dans l'étude, l'étiage se produit en août, puis les débits progressent lentement de septembre à février pour atteindre leur maximum de mars à avril. Après, une décroissance brusque des débits se produit en juillet août.

Nous constatons que ces oueds connaissent une irrégularité des apports, ce phénomène est lié aux caractéristiques de leur bassin versant: perméabilité des formations géologiques, pluviométrie, enneigement et végétation etc...

Cette irrégularité des oueds du bassin-versant du Tensift apparait forte: le record est detenu par le N'fis. La variabilité accentuée des apports annuels et interannuels marque profondément les conditions naturelles offertes au système de l'écoulement.

Pour une étude précise des crues, la connaissance des débits journaliers et instantanés maximaux qui ont une probabilité de se produire, est une nécessité.

a) Formation et évolution des crues
(généralité)

Les crues sont dues à une convergence de plusieurs facteurs responsables du ruissellement superficiel tels les précipitations, la saturation des sols par les premières pluies d'automne, surtout dans les secteurs semi-perméables et la baisse des températures, ce qui affaibli l'évapotranspiration, l'influence du couvert végétal étant plus réduite.

Les paramètres morphométriques du bassin-versant et la nature des facteurs hydrométriques tels la forme des bassins versants, la pente des cours d'eau, la densité de drainage, ainsi que les caractéristiques physiques des lits fluviaux interviennent pour déterminer la genèse et l'évolution des crues; mais tous ces paramètres s'alimentent essentiellement par les pluies et leur importance.

En hiver les averses génératrices des crues sont à la fois durables et extensives, ce qui influence tout le bassin ou une partie du bassin. Il se peut que ces averses se répètent plusieurs fois, ce qui engendre plusieurs crues successives et non seulement une unique montée des eaux.

Les crues sont plus fréquentes à la fin de cette saison froide, notamment en mars et avril. Elles ne coïncident pas avec les mois les plus pluvieux de l'année. Ce phénomène est lié à la saturation des nappes par les pluies hivernales et printanières très importantes.

Au printemps, surtout à la fin de cette saison, la fonte de neige entassée dans les hautes altitudes ainsi que l'importance des averses en ce moment, interviennent dans la formation des crues.

Les valeurs extrêmes des débits instantanés maximaux sont d'une variabilité annuelle très importante d'un secteur géographique à l'autre: elles évoluent de l'amont vers l'aval, suivant l'importance des précipitations à travers tout le bassin-versant et suivant l'organisation et la densité du réseau hydrographique. De même la vitesse de propagation des maxima dépend de plusieurs facteurs: pente, nature du lit mineur et étendue du lit majeur. Les pluies constituent un élément initial dans l'évolution spatiale des crues; ensuite viennent la fonte des neiges et les paramètres hydrogéologiques.

Les bassins-versants atlasiques, dans leur partie amont englobent les conditions qui favorisent la formation et la propagation rapide des crues, telles les pentes et la concentration du réseau hydrographique.

b) Analyse de la crue d'avril 1974

Par abondance des pluies sous forme d'averses, dans le bassin de l'Ourika, une crue s'est produite le 9/4/1974. L'hydrogramme relatif à cette crue est très intéressant dans la mesure où il laisse apparaître deux montées des niveaux d'eau:

Un premier maximum s'est provoqué le 3/4/1974, il a atteint 25,5 m³/s; mais après 3 ou 4 jours une autre averse plus intense du 7 au 11 avril a engendré une montée brutale de l'écoulement déterminant un maximum instantané de 77,5 m³/s à 21h le 9/4/1974 (Cf Fig n°31).

Cette crue serait due à la saturation des sols par la première averse préparatoire. La concordance de cette saturation et l'intensité de la deuxième averse ont déterminé la crue.

Les deux débits moyennes journaliers les plus forts sont enregistrés le 9/4/1974 (46,9 m³/s) et le 10/4/1974 (47 m³/s). La succession des deux crues nous montre le caractère durable des précipitations en saison froide.

Débits des crues aux bassins-versants atlasiques (avril 1974)

Fig n°31

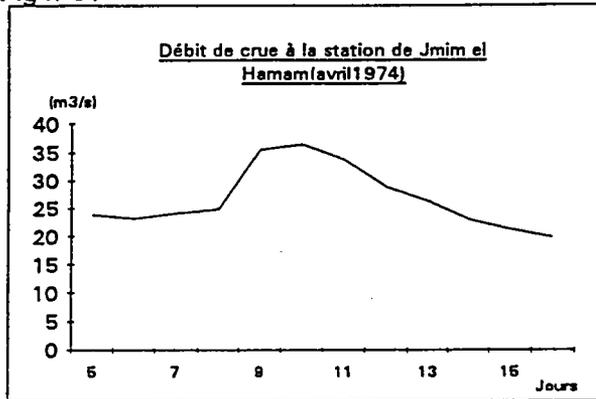


Fig n°31a

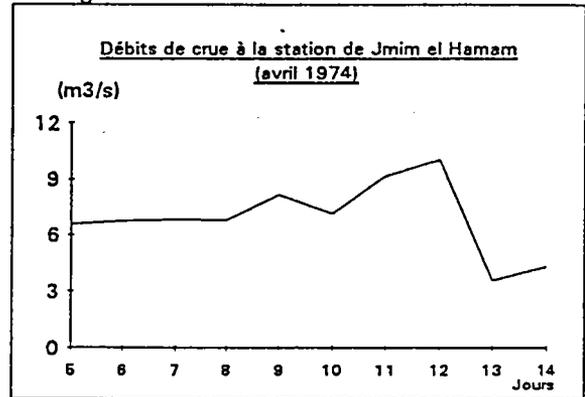


Fig n°31b

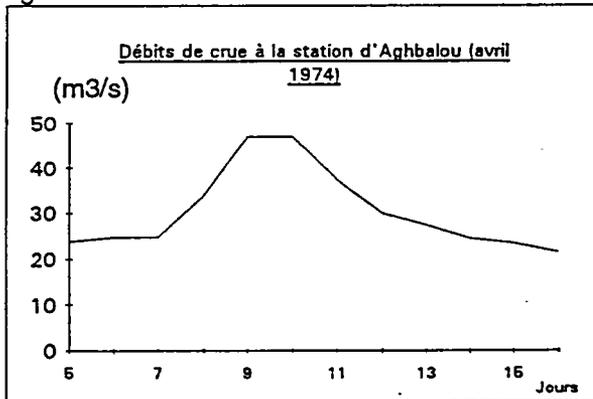


Fig n°31c

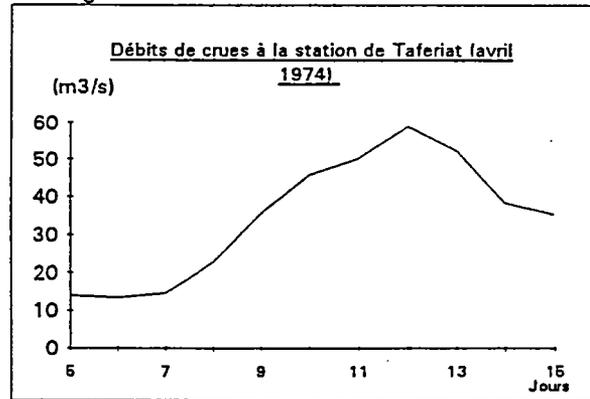
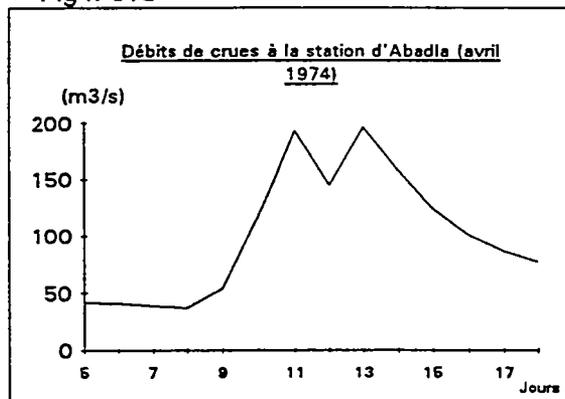


Fig n°31d



A l'opposé de la crue, la décrue s'est réalisée d'une façon plus lente. Elle s'est étendue sur plusieurs jours avant que le débit de base ne se rétablisse, comme il est visualisé dans le graphique cité plus haut.

La station d'Aghbalou est mise en service en mai 1969; des témoignages ont pu être obtenus sur les niveaux maximaux atteints par la crue du 3 Mars 1967. Il est à signaler qu'au cours de cette crue, les terrasses limoneuses ont été emportées sur une largeur de 10 à 20 m. Elle était catastrophique, elle aurait dévasté toute la vallée de l'Ourika. Le lit de cet oued était étroit, toute la vallée étant occupée par des terrasses cultivées.

D'après les témoignages signalés par les services hydrauliques, en une nuit, la crue aurait absolument tout dévasté, ne laissant en place que les gros galets et les blocs qui constituent le remplissage actuel du lit majeur.

Pour les autres oueds aux différentes stations, nous signalons qu'ils ont connu des crues. En effet, pour l'oued N'fis à la station de Jmim el Hamam la croissance des débits paraît sur le graphique (Cf Fig n°31a) très importante dès le 9/4/1974, pour enregistrer un débit journalier moyen de 36,4 m³/s le 10/4/1974, suivi par une diminution de crue lente qui a duré jusqu'au 16/4/1974.

Signalons aussi qu'au bassin du N'fis, les informations de l'année 1967 montrent que la crue du mois de novembre (13/11/1967) correspondait au plus fort débit de pointe connu, qu'il importe de prendre en compte dans les calculs de probabilités de dépassement des crues.

Les inondations dangereuses qui peuvent toucher souvent ce bassin, ont imposé la construction du barrage de Zaouia lalla Takerkoust, afin de régulariser les débits et jouer le rôle d'un barrage réservoir.

A l'oued Rheraya contrôlé par la station de Tahannaout, une crue assez importante a été enregistrée le 12/4/1974. Cette crue est caractérisée par un débit journalier moyen de 10,1 m³/s. Elle s'est déclarée dès le 8/4/1974 (Voir Fig n°31b). Contrairement à la montée, la décrue s'est faite d'une manière très brusque.

D'après les relevés enregistrés, le maximum a été atteint le 13/11/1967. A l'époque la section de la rive gauche n'étant pas remblayée, donc on peut supposer qu'elle était au moins égale à l'actuel section de la rive droite. Dans les gorges de Moulay Brahim, à 2,5 km à l'aval de la station, des traces de crue sont visibles sous le pont de la route secondaire N°501.

En raison de l'importante végétation qui occupe les berges de l'oued et une partie du lit, les crues contemporaines les plus fortes de l'oued Rheraya semblent avoir présenté des débits de l'ordre de 200 à 250 m³/s.

Si on prend par traitement la station toute proche de l'exutoire de l'oued Tensift, Abadla, contrôlant tous les débits dans l'ensemble du bassin-versant du Tensift y compris d'autres sous bassins en plus des quatre retenus dans notre étude, nous pouvons dire que la crue du 13/4/1974, était très abondante (Cf Fig n°31d) avec un débit journalier moyen de 196 m³/s.

Au bassin du Zat, une crue s'est produite dès le 7/4/74, elle a atteint un seuil très élevé le 12/4/1974 de 58 m³/s, comme il est montré d'après Fig n°31c.

A vrai dire, les crues dans les bassins-versants atlasiques se caractérisent par une variabilité importante, accompagnée par un aspect de gravité surtout en fin de saison froide. Ce phénomène s'explique par l'importance des pluies printannières et la fonte de neige.

c) La puissance des crues et leur durée de récurrence

Les crues forment un phénomène, traduisant la réaction des bassins pendant un pas de temps réduit à une averse ou séquence pluvieuse donnée.

-Coefficient de puissance des crues

L'importance des crues peut être quantifiée par plusieurs critères: son volume d'eau écoulé, son débit maximal absolu et spécifique et par le coefficient de puissance "A" qui s'écrit ainsi:

$$A = Q/\sqrt{S}$$

avec Q= débit en m³/s et S= surface du bassin en km².

Tableau n°38

La variabilité des débits instantanés maximaux dans les bassins atlasiques (1969/70-1985/86)

STATIONS	OUEDS	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86
Iguir N'kouris	N'fis	.	.	.	.	.	0.83	24	119	263	403	127	44.1	25.8	33.8	393	45.9	20.3
J.el hamam	N'fis	720	110	38.5	40.7	47.6	50.1	36	111	301	400	132	44.8	50	51.4	482	86.5	57
Tahannaout	Rheraya	8.69	9.94	12	15.6	16.2	21.6	22.5	23.4	24.2	30.9	33.7	33.7	36.3	39	42.3	47.6	54
Aghbalou	Ourika	1.09	2.6	18.4	21.9	23.4	24.2	37.4	40.1	40.8	52.6	55.2	77.5	91.3	95.5	96.7	101	117
Taferiat	Zat	14.7	32	47	48.7	50.2	63.2	85	96.6	106	106	108	108	108	108	109	138	680
Abadla	Tensift	524	456	274	68	288	126	88.2	88.2	146	440	610	166	540	3.74	177	175	226

Ce coefficient constitue un bon outil pour établir une comparaison entre les puissances des crues dans des bassins de tailles variables.

Les valeurs calculées pour les crues annuelles (débits instantanés maximaux) sont reportées sur le tableau n°38. Elles permettent de constater les fortes variations de la puissance des crues extrêmes d'une station à l'autre: en saison humide le coefficient "A" varie entre 2,9 à Tahannaout; 4,3 à Aghbalou; 15,8 à Iguir N'kouris; 5,75 à Taferiat et 5,4 à Abadla. Pour la saison des basses eaux ce coefficient oscille entre 2,6 à Tahannaout; 5,2 à Aghbalou; 4,7 à Iguir N'kouris; 28,4 à Taferiat et 6,05 à Abadla.

Ce coefficient "A" illustre la forte irrégularité de l'écoulement au cours d'une journée de crue, surtout en saison chaude où les averses sont localisées, d'une intensité et d'une durée très variables. Ce qui entraîne des montées d'eau extrêmement rapides et brutales, se traduisant par des hydrogrammes très pointus.

L'importance des coefficients de puissance "A" dépend de l'importance des pluies de la grandeur du bassin, ainsi que de la nature du ruissellement qui varie à travers les saisons, et d'un secteur hydrologique à l'autre.

En effet, les coefficients de puissance des crues de la saison froide sont importants au bassin du N'fis (5,8) contre 4,7 pour les crues de la saison chaude; on constate la même chose au bassin de Rheraya (2,9 pour les crues de saisons froides) contre 2,6 pour celles de la saison chaude.

Il se peut parfois que les crues de la saison chaude présentent un coefficient de puissance des crues plus fort que celui des crues de la saison froide; l'oued Zat en donne l'exemple: les crues de la saison chaude présentent un coefficient de 28,4; alors que les crues de saison froide ont un coefficient faible, ne dépassant pas 5,75. Ce phénomène est valable aussi pour le bassin de l'Ourika (5,2 pour les crues de saison chaude et 4,3 pour les crues de saison froide) et à Abadla (6,05 pour les crues de saison chaude et 5,4 pour les crues de saison froide).

Ce phénomène est lié à la brièveté des pluies estivales et à leur forte intensité, qui coïncide avec la nudité des terres (après les récoltes); ce qui favorise la saturation des sols, d'où il résulte un fort ruissellement provoquant des débits importants dans un temps bref.

Tableau n°39

Les débits journaliers instantanés maximaux aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)

ANNEE	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86
Iguir N'kouris																	
	a: 17/12/74	a: 15/12/75	a: 26/9/76	a: 7/1/78	a: 18/1/79	a: 16/3/80	a: 8/11/80	a: 6/3/82	a: 8/11/82	a: 16/11/83	a: 8/11/84	a: 1/3/86					
	b: 0.828	b: 24	b: 119	b: 263	b: 403	b: 127	b: 44.1	b: 25.8	b: 33.8	b: 393	b: 45.9	b: 20.3					
	c: 0.828	c: 7.91	c: 35.3	c: 161	c: 182	c: 63.4	c: 18.5	c: 7.44	c: 10.8	c: 204	c: 13.6	c: 12.5					
	1	3.03	3.37	1.63	2.21	2	2.38	3.47	3.13	1.93	3.38	1.62					
Jmim el hama	a: 4/1/70	a: 28/2/70	a: 8/3/72	a: 18/6/73	a: 9/4/74	a: 6/5/75	a: 7/5/76	a: 26/9/76	a: 7/1/78	a: 18/1/79	a: 16/3/80	a: 3/10/80	a: 8/5/82	a: 8/11/82	a: 16/11/83	a: 8/11/84	a: 1/3/86
	b: 720	b: 110	b: 38.5	b: 407	b: 47.8	b: 50.1	b: 36	b: 111	b: 301	b: 400	b: 132	b: 44.8	b: 50	b: 51.4	b: 482	b: 86.5	b: 570
	c: 55.5	c: 76.3	c: 13.8	c: 12.9	c: 36.4	c: 23.4	c: 16.9	c: 38.5	c: 54.9	c: 87.3	c: 81.4	c: 18.9	c: 16.5	c: 19.2	c: 200	c: 44.3	c: 42.9
	13	1.44	2.8	31.5	1.31	2.14	2.13	2.9	5.5	4.6	1.62	2.4	3.03	2.7	2.41	1.95	13.3
Tahannaout	a: 10/10/69	a: 1/1/71	a: 7/11/71	a: 22/6/73	a: 28/7/74	a: 1/8/75	a: 31/5/76	a: 30/10/76	a: 7/9/77	a: 21/6/79	a: 8/9/79	a: 13/11/80	a: 30/10/81	a: 10/5/83	a: 7/5/84	a: 12/4/85	a: 15/10/85
	b: 8.69	b: 24.2	b: 15.6	b: 42.3	b: 47.6	b: 12	b: 16.2	b: 33.7	b: 21.6	b: 8.94	b: 39	b: 36.3	b: 33.7	b: 22.5	b: 30.9	b: 23.4	b: 54
	c: 3.98	c: 13.5	c: 7.79	c: 9.74	c: 8.19	c: 2.92	c: 7.13	c: 8.37	c: 7.1	c: 5.41	c: 13.2	c: 13.9	c: 10	c: 14.5	c: 6.18	c: 13.7	c: 8.78
	2.2	1.8	2	4.3	5.2	4.1	2.3	4.03	3.04	1.84	2.95	2.8	3.4	1.55	5	1.7	6.15
Aghbalou	a: 2/3/70	a: 18/5/71	a: 10/5/72	a: 22/3/73	a: 9/4/74	a: 5/5/75	a: 17/5/76	a: 21/1/77	a: 9/9/77	a: 28/1/79	a: 1/7/80	a: 8/8/81	a: 27/4/82	a: 10/5/83	a: 8/5/84	a: 25/7/85	a: 31/7/86
	b: 96.7	b: 117	b: 55.2	b: 21.9	b: 77.5	b: 23.4	b: 101	b: 52.6	b: 95.5	b: 18.4	b: 1.09	b: 2.6	b: 91.3	b: 24.2	b: 37.4	b: 40.1	b: 40.8
	c: 33.9	c: 56.1	c: 40.7	c: 29.7	c: 46.9	c: 16.8	c: 25.6	c: 17.9	c: 23.6	c: 0.7	c: 61.4	c: 0.52	c: 32.9	c: 14.8	c: 9.51	c: 24.6	c: 6.72
	2.85	2.1	1.4	0.74	1.65	1.4	3.94	2.94	4.05	26.3	0.02	5	2.8	1.9	3.93	1.63	6.1
Taferiat	a: 9/1/70	a: 1/1/71	a: 17/1/72	a: 17/1/73	a: 12/4/74	a: 19/4/75	a: 13/4/76	a: 13/4/77	a: 12/4/78	a: 18/1/79	a: 16/3/80	a: 3/10/80	a: 14/8/82	a: 22/12/82	a: 2/5/84	a: 7/1/85	a: 8/3/86
	b: 50.2	b: 96.9	b: 108	b: 47	b: 109	b: 63.2	b: 48.7	b: 108	b: 32	b: 108	b: 138	b: 108	b: 680	b: 14.7	b: 106	b: 106	b: 85
	c: 27.9	c: 69.8	c: 75.7	c: 26.5	c: 58.9	c: 39.5	c: 38.9	c: 44.1	c: 25.1	c: 45.2	c: 105	c: 30.2	c: 76.2	c: 6.02	c: 51.5	c: 53	c: 26
	1.8	1.4	1.43	1.8	1.85	1.6	1.25	1.5	1.3	2.4	1.31	3.6	8.92	2.44	2.1	2	3.3
Abadla	a: 4/1/70	a: 18/5/71	a: 18/1/72	a: 4/12/72	a: 13/4/74	a: 12/4/75	a: 10/5/76	a: 22/1/77	a: 23/10/77	a: 27/10/78	a: 10/9/79	a: 14/11/80	a: 27/4/82	a: 13/2/83	a: 16/11/83	a: 7/1/85	a: 3/5/86
	b: 524	b: 456	b: 274	b: 68	b: 288	b: 126	b: 88.2	b: 88.2	b: 146	b: 440	b: 610	b: 166	b: 540	b: 3.74	b: 177	b: 175	b: 226
	c: 198	c: 265	c: 105	c: 46.8	c: 196	c: 26.8	c: 67	c: 58.8	c: 46	c: 144	c: 96.2	c: 185	c: 308	c: 95.9	c: 2.33	c: 103	c: 72.3
	2.67	1.72	2.6	1.45	1.47	4.7	1.32	1.5	3.17	3.05	6.34	0.9	1.75	0.01	75.97	1.7	3.13

a=Date

b= Débits instantanés maximaux

c= Débits journaliers maximaux moyens

Les fortes variabilités du coefficient "A" sont conditionnées par le système d'alimentation en eau et la nature du ruissellement qui varie à travers les saisons et les secteurs hydrologiques.

- Rapport entre le débit de pointe et le débit moyen journalier maximal

Le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen maximal journalier est un autre élément de l'étude de la variabilité des crues. Il permet de confirmer le caractère aléatoire du régime méditerranéen.

Les valeurs indiquées dans le tableau n°39, montrent que ce rapport s'élève à 75,97 à la station d'Abadla en 1983/1984; il varie entre 6,15 en 1985/1986 et 1,55 en 1982/1983 à Tahannaout.

Pour la station d'Aghbalou ce rapport enregistre une valeur élevée de 24,86 en 1978/1979 et une valeur minimale de 0,02 en 1979/1980. A la station de Jmim el hamam, ce rapport varie entre 31,5 en 1972/1973 et 1,31 en 1973/1974; par contre si on prend le bassin du Zat nous remarquons que ce rapport est très faible, les variant entre 8,92 en 1981/1982 et 1,31 en 1979/1980.

Ces nuances s'expliquent par une différenciation au niveau de la lithologie (formée en grande majorité par des roches éruptives), de la perméabilité (tous les bassins présentent un taux d'imperméabilité très important 79,3% au N'fis; 59,9% au Zat; 70,9% au Rheraya et 45,6% au Zat) et de forme des bassins: tous sont allongés, avec des indices de compacité très élevés (1,6 pour le N'fis; 1,5 pour le Rheraya et l'Ourika et 1,8 pour le Zat).

Nous pouvons dire que ces chiffres, illustrent la forte irrégularité des écoulements dans les oueds atlasiques, au cours d'une journée de crue, surtout en saison chaude quand les averses sont brèves, très localisées et variables. Ce qui entraîne souvent des montées d'eau très importantes se traduisant par des hydrogrammes très pointus: 31,5 m³/s au bassin du N'fis à Jmim el hamam le 18/6/1973; 5,2 m³/s au bassin du Rheraya à Tahannaout le 28/7/1974; au bassin de l'ourika à Aghbalou 6,1 m³/s le 31/7/1986 et à Abadla, la station qui contrôle oued Tensift 6,34 m³/s le 10/9/1979.

Ce phénomène d'irrégularité de l'écoulement va apparaître dans le cadre des estimations fréquentielles des débits instantanés maximaux annuels. Du fait du caractère arbitraire des limites saisonnières des crues inhérentes aux régimes hydrologiques différenciant les bassins-versants et du manque de données de crues

Distributions statistiques des crues aux bassins-versants atlasiques (1969/70-1985/86)

Fig n°32

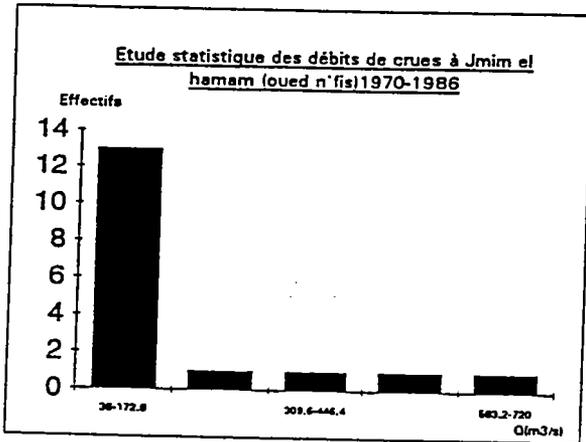


Fig n°32a

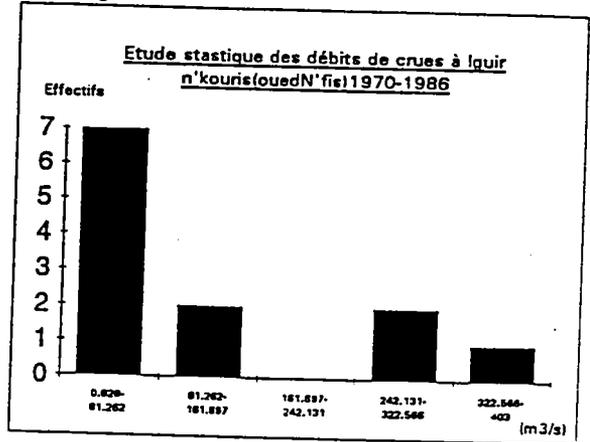


Fig n°32b

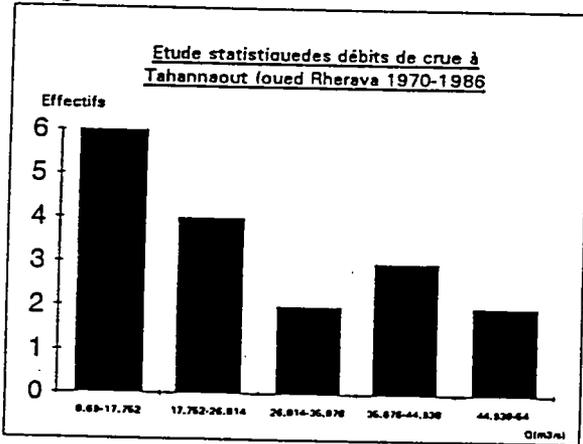


Fig n°32c

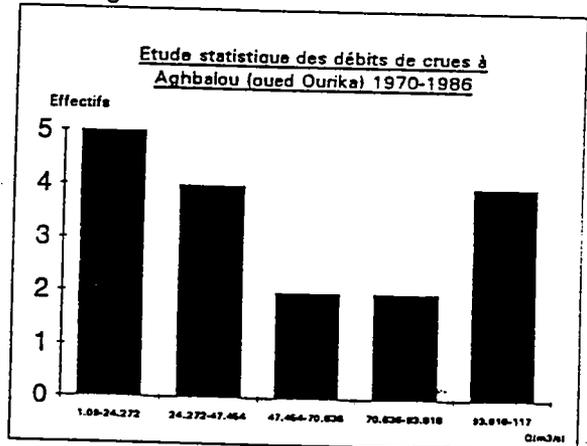


Fig n°32 d

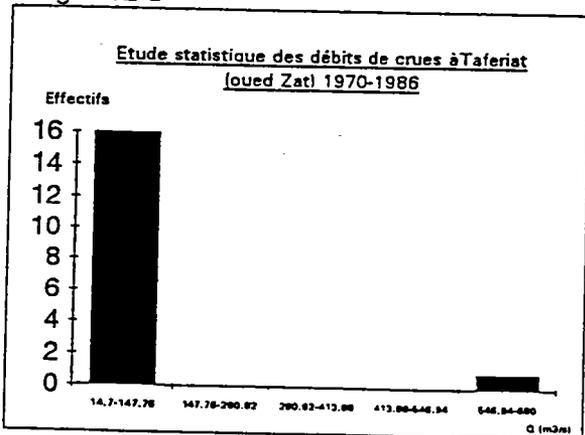
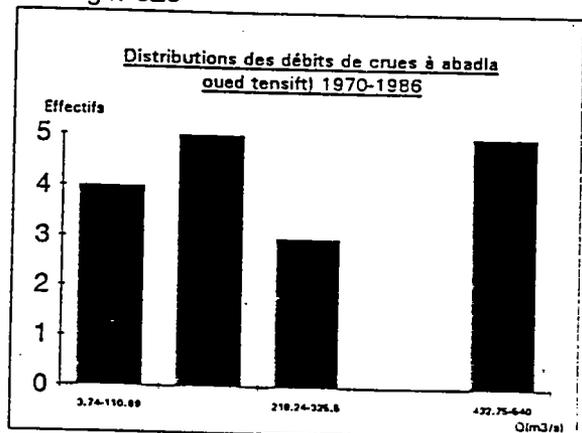


Fig n°32e



journalières, on a tenu compte des crues maximales annuelles (les débits instantanés maximums) pour obtenir une distribution statistique satisfaisante.

-fréquence de retour des crues annuelles

Le calcul des valeurs fréquentielles des crues nécessite une étude de la distribution des échantillons. Les résultats de cette étude sont reportés sur des graphiques (Cf Fig n°32 à 32e).

Sur ces histogrammes de fréquence des crues, on ne reconnaît pas de distribution en cloche caractéristique d'une distribution normale. C'est pourtant ce type de distribution auxquels les modules s'ajustent le mieux (P.DUBREUIL,1974). Mais nous constatons à travers toutes les stations, que les valeurs connaissent des distributions différentes:

à Jmim el hamam la répartition des débits de crues est très étalée, quatre classes ont un effectif de quatre années, la classe des modules les plus humides comprend treize années.

A Tahannaout, la répartition des modules est relativement décroissante. Elle forme un biais à droite.

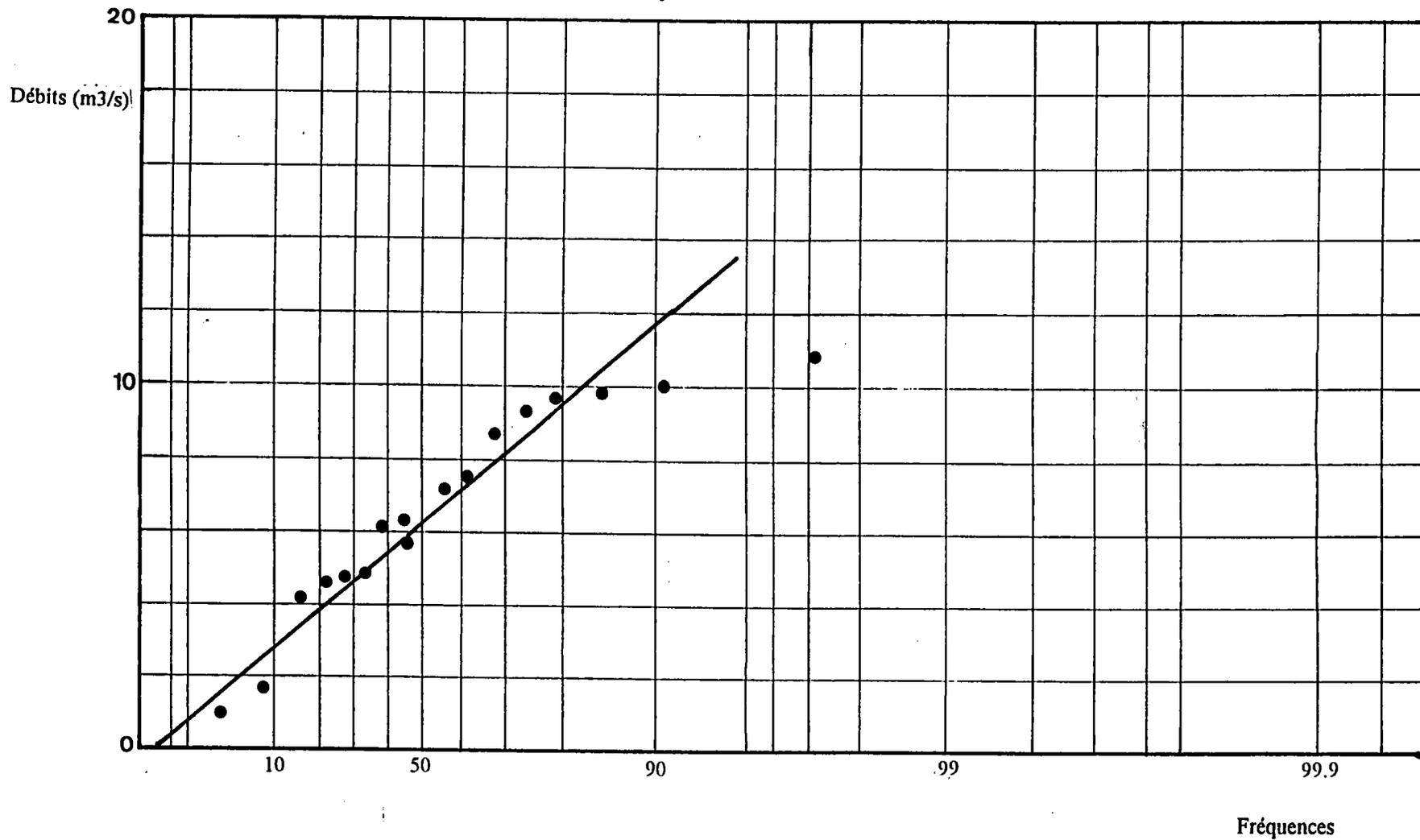
A Aghbalou et à Iguir n'kouris, les débits de crues les plus humides sont extrêmement contrastées, elles sont biaisées à droite.

Ce biais important à droite vers les valeurs les plus basses est commun dans toutes les stations. Ce sont les valeurs les plus élevées qui nous intéressent. Cette allure de la distribution est très certainement liée à un mélange de données. Beaucoup de maximums instantanés ne sont pas représentatifs de points de crues ce qui nous mène à dire que la chronique prise en considération est marquée par des contrastes interannuels importants.

Pour déterminer des débits fréquents significatifs des pointes de crues, nous avons utilisé une loi de Gumbel (loi des valeurs extrêmes) qui nous paraît satisfaisante, et semble être la plus appropriée pour traiter ce type de données. Cependant en prenant les données brutes, l'ajustement pour certaines stations n'est pas satisfaisant: nous avons donc transformé les débits en prenant la racine carré de leurs valeurs pour la station d'Aghbalou et Jmim el Hamam et le Logarithme de leurs valeurs pour les stations de Taferiat et Iguir N'kouris.

Fig n°33

Débits des débits instantanés maximaux annuels à la station d'Aghbalou (O. Ourika) 1970-1986
Ajustement à une loi de Gumbel



Les débits fréquents provenant de cet ajustement peuvent être considérés comme représentatifs. La probabilité de réalisation des écoulements maximaux des oueds atlasiques peut donc être estimée de manière satisfaisante. Cela permettra de fournir des valeurs fréquentielles représentatives des débits maxima absolus, de pointes de crues. (ce travail a été réalisé à l'aide de l'ordinateur). Les débits fréquents estimés sont visualisés sur les graphiques (Voir Fig n°33; pour les autres stations voir en annexe n°XI à XId).

D'après les graphiques précédents, nous pouvons dire qu'il faut se méfier de ces ajustements, notamment au-delà de la fréquence centennale car le mélange des crues de saison d'hiver et de saison d'été risque de donner lieu à une sous estimation de la valeur réelle des débits instantanés maximaux. Donc, pour les fréquences biennales et décennales les débits estimés sont les plus sûrs, parce que généralement les estimations ne devraient pas dépasser le double ou le triple de l'échantillon. A ce titre on a pu calculer ces deux sortes de débits fréquents des crues pour toutes les stations selon la loi de Gumbel qui est une loi généralisée dont la fonction de répartition s'écrit ainsi:

$$F(Q) = \exp(-\exp(-(X-X_0)/a))$$

avec $X = \mu - 0,45 \times \sigma$ $a = 0,78 \times \sigma$

μ = moyenne.

Les résultats acquis sont reportés sur le tableau suivant:

Tableau n°40 Les débits de crues fréquents (en m3/s)

STATIONS	Surf.(km ²)	Durée de récurrence		
		F (0,5) 2 ans	F (0,9) 10 ans	F(0,9)/F(0,5)
Iguir N'kouris	648	69,4 m3/s 107,1 l/s/km ²	291,4 m3/s 449,7 l/s/km ²	4,2
Jmim el haman	1703	70,8 m3/s 41 l/s/km ²	208,9 m3/s 122,7 l/s/km ²	2,95
Tahannaout	334	25,5 m3/s 76,35 l/s/km ²	46,4 m3/s 138,9 l/s/km ²	1,82
Ourika	575	39,44 m3/s 68,6 l/s/km ²	136,2 m3/s 236,9 l/s/km ²	3,45
Taferiat	503	77,62 m3/s 54,3 l/s/km ²	229 m3/s 455,3 l/s/km ²	2,95
Abadla	10153	197,4 m3/s 19,44 l/s/km ²	638,1 m3/s 62,8 l/s/km ²	3,23

D'après ce tableau, nous pouvons dire que les écarts entre les débits fréquentiels estimés sont très importants. Ce qui montre la gravité des crues lors de fréquence rare. Ceci reste toujours lié aux changements météorologiques qui décident en combinaison avec le couvert végétal et la nature des sols ces débits exceptionnels.

Si on examine les rapports des débits instantanés maximums et les débits maximums journaliers, nous pouvons dire que les écoulements maximaux se caractérisent par une forte brutalité. Ce rapport paraît plus élevé tant que la durée de retour est importante.

Selon le tableau cité en haut on a pu établir une comparaison entre les débits de même fréquence dans tous les bassins Atlasiques dans la région du Tensift.

En effet, pour la crue biennale c'est à dire une année sur deux exprimée par les débits spécifiques, elle nous montre la différenciation du comportement des bassins-versants.

Sur l'oued N'fis à la station de Jmim el hamam nous constatons une valeur assez forte pour les crues biennales est de 41 l/s/km². Ce fait serait dû aux pluies de forte intensité et de brèves durées, et à la forte capacité de ruissellement du début de la saison humide quand les sols ne sont pas encore saturés, et de période estivale quand les terres sont sèches.

Pour la station d'Iguir N'kouris, caractérisée par une brève série d'observation (1974/1975-1985/1986), nous constatons un accroissement important entre les crues biennales (107 l/s/km²) et décennale (449,7 l/s/km²), ce qui donne un rapport très élevé de 4,2.

Le bassin-versant du N'fis est donc, le plus dangereux des bassins en fréquence rare, ceci serait dû à la nature des précipitations, qui y sont malgré leur faiblesse quantitative moyenne (région relativement sèche par rapport aux régions orientales): elles peuvent avoir de très fortes intensités en fréquence rare. Cette intensité croissante est capable de déclencher des crues très fortes sur des terrains à imperméabilité forte.

Les valeurs à Tahannaout, sont relativement fortes (76,35 l/s/km²) pour la crue biennale et 138,9 l/s/km² pour la crue décennale, avec un rapport de 1,82. Donc, le bassin de Rheraya connaît le plus faible rapport: il nous semble qu'il réagisse d'une façon relativement modérée surtout en fréquence rare.

Ceci est lié à la fois à sa portion du couvert végétal faible (13%) ce qui favorise un ruissellement, à sa forme allongée ($K_c=1,5$), à sa pente globale ($77\%^\circ$), à sa courte longueur et à sa faible densité de drainage (0,87) par rapport aux autres bassins-versants.

L'accroissement des débits de crues fréquentielles est également fort au niveau de la station d'Aghbalou, enregistrant 68,6 l/s/km² pour la crue biennale et 236,9 l/s/km² pour la crue décennale (le rapport est de 3,45). Mais généralement cet accroissement des crues est important en raison des influences de la nature du substratum et de l'importance des pentes ($55\%^\circ$).

Ces forts débits, s'écoulent sur des terrains mal couverts par la végétation ce qui conduit à des crues de grande ampleur, provoquant des inondations inattendues et des destructions très importantes. Le rapport des débits fréquents décennaux par les débits biennaux, nous montre le danger des crues.

Ce phénomène serait peut être lié à la forte intensité des averses, qui déclenche des crues catastrophiques. Mais ceci ne peut être vérifié qu'après une analyse statistique très minutieuse des averses par leur durée, leur intensité et leur fréquence.

Nous pouvons conclure, que le phénomène des crues est le produit de la combinaison complexe des divers éléments caractérisant l'organisme fluvial: état de saturation des sols, importance des pentes, densité de drainage, taux de couverture végétale, forme du bassin etc... Son étude permet de mettre en lumière la réaction du bassin versant, pendant un pas de temps réduit, à une averse ou séquence pluvieuse donnée.

2°) Les étiages

Introduction

L'étiage correspond à la période de vidange des nappes. Théoriquement, les précipitations et le ruissellement n'interviennent pas dans le soutien des débits. L'étude d'étiage sera menée à partir des débits moyens mensuels minimaux de chaque année pour la période 1969/1970-1985/1986.

Ces débits présentent des sévérités variables. Sur la durée d'un mois des pluies peuvent influencer le débit de sorte que l'écoulement n'est plus exclusivement soutenu par les nappes. Certains

mois des pluies peuvent influencer le débit de sorte que l'écoulement n'est plus exclusivement soutenu par les nappes. Certains mois ne seront donc pas représentatifs d'un étiage. Cette disparité entre les débits réellement représentatifs d'un étiage et les débits moyens mensuels influencés par des précipitations sera montrée par la distribution de ces débits d'étiage.

L'étude des étiages, nous permet de découvrir la forte décroissance des débits en cas de tarissement et le rôle des nappes aquifères dans l'écoulement.

Nous étudierons leur genèse, leur évolution spatio-temporelle et leur fréquence, ainsi que leur influence sur le système d'écoulement, car les étiages, surtout en période estivale, représentent un problème délicat pour le système naturel d'écoulement des cours d'eau. Donc une étude détaillée, est nécessaire puisque ces étiages constituent une contrainte majeure dans l'économie et la gestion de l'eau.

Cette étude des étiages impose une analyse de certaines variables telles que les débits moyens mensuels minimaux ainsi que les débits journaliers minimaux. Le traitement des débits mensuels minimaux, serait le meilleur moyen pour mieux rendre compte de l'état des étiages et de leur durée, surtout dans une région méditerranéenne à dominance d'un climat semi-aride.

a) Genèse et variabilité spatiale des étiages

Les étiages sont générés par un déficit d'alimentation des cours d'eau, qui est lié à certaines conditions: les températures très élevées, le manque de précipitations et la faiblesse des restitutions des eaux souterraines dans le lit des oueds dans cette région méditerranéenne où le maximum thermique d'été coïncide avec le minimum pluviométrique, et la forte activité de l'E.T.R. Cependant, le niveau des nappes souterraines baisse et n'intervient que faiblement pour soutenir l'écoulement dans la région: il en résulte un fort déficit des écoulements superficiels, provoquant un étiage sévère.

Les eaux stockées dans le sous sol proche de la surface, sont affectées par une évapotranspiration très active au cours de la saison sèche, notamment entre juillet et août et quelques fois en septembre, induisant un étiage aigu. Au cours de cette période, il arrive que les apports de nappes soient inférieurs aux prélèvements évaporatoires: en conséquence les débits sont nuls.

L'étude des étiages, sera traitée suivant en fonction des données statistiques disponibles. Ces dernières doivent être utilisées avec beaucoup de prudence, puisqu'une perturbation artificielle importante, liée aux interventions anthropiques, peut fausser les données statistiques.

L'oued N'fis illustre clairement ce problème: son débit est indigent du fait des eaux dérivées pour l'alimentation des petits villages ou des villes comme Marrakech, ainsi que par les séguias et les khettarats lors du pompage pour des besoins d'irrigation. Le N'fis, en considérant sa grande surface et la modestie de ses précipitations, connaît une indigence d'écoulement.

Les principaux prélèvements créent un déficit d'écoulement superficiel par transfert d'eau d'un sous bassin à l'autre ou hors du bassin du Tensift. La moyenne de perte dans tout le bassin-versant du Tensift est très importante, comme visualisé sur le tableau n°54 dans la 3ème partie (partie d'aménagement). Elle dépasse la moyenne d'étiage, ce qui entraîne par la suite une sécheresse absolue pour une majorité des oueds, surtout dans la partie aval de la plaine du Haouz.

La perméabilité joue un rôle majeur pour l'emmagasinement de l'eau et conditionne la régularité du régime hydrologique. L'examen de la carte lithologique, montre que les formations perméables correspondant aux roches calcaires d'âge éocène, crétacé jurassique ou primaire, sont particulièrement abondantes dans les bassins orientaux, bordant le bassin-versant du Tensift et très peu représentées dans les bassins pris dans cette étude.

Par contre les formations imperméables, formations anciennes, métamorphiques ou éruptives d'âge primaire ou précambrien sont très développées dans tous les bassins tributaires du Tensift et particulièrement dans celui du N'fis.

Ces diverses caractéristiques (impermeabilité des roches, faiblesse de la pluviométrie etc...) permettent de nuancer les écoulements d'étiage au sein des bassins atlasiques.

L'irrégularité des oueds du bassin du Tensift apparaît nettement plus accentuée. On notera que le record d'irrégularité est détenu par le N'fis:

*l'écoulement est presque nul pendant plusieurs années. Pour tous les bassins-versants atlasiques (N'fis, Rheraya, Ourika et Zat), la moyenne des débits minimaux observés est très faible (0,05 m³/s à Abadla et

Tableau n° 41

La variabilité des débits minimaux moyens annuels (1969/70-1985/86)

ANNEE	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	Moyenne	
Iguir N'kouris																			
Jmim el Hamam																			
Tahannaout																			
Aghbalou																			
Taferiat																			
Abadla																			

Débits d'étiage aux bassins-versants atlasiques

Fig n°34

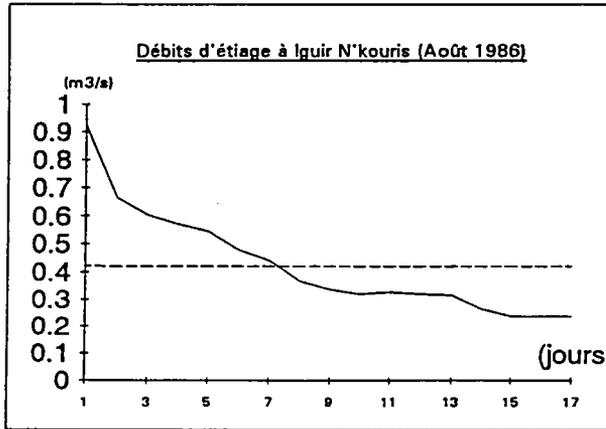


Fig n°34a

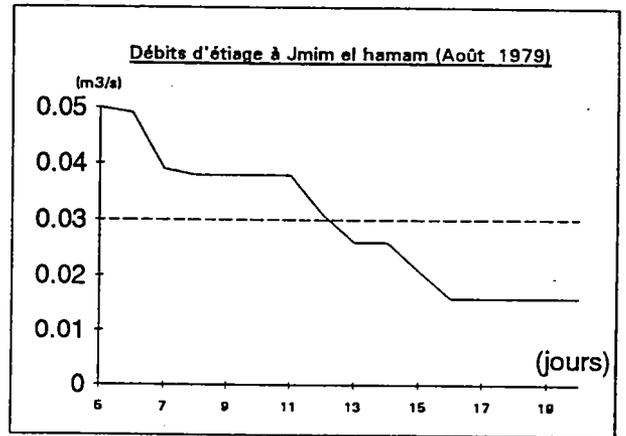


Fig n° 34b

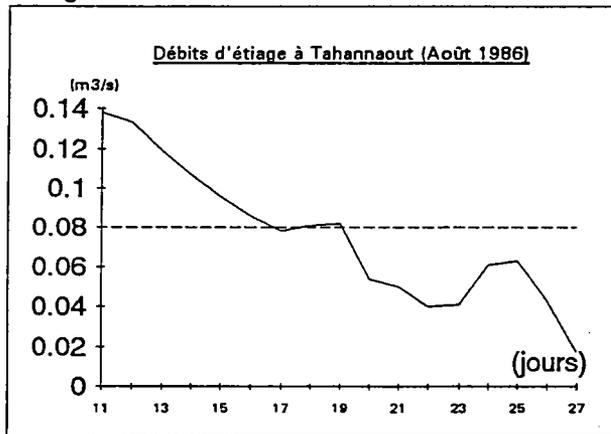


Fig n°34c

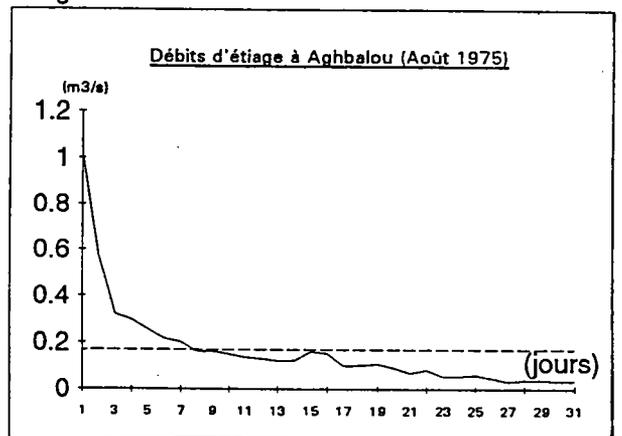


Fig n°34d

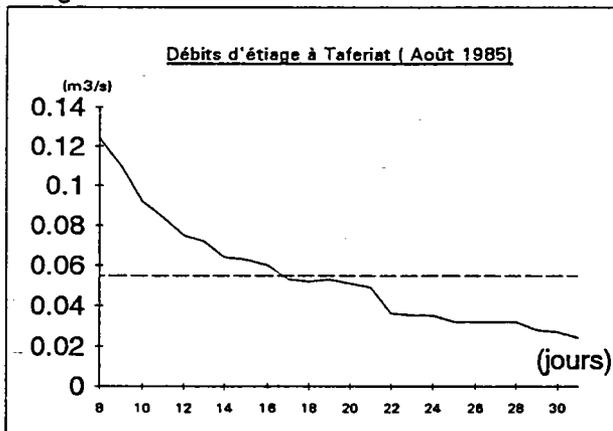
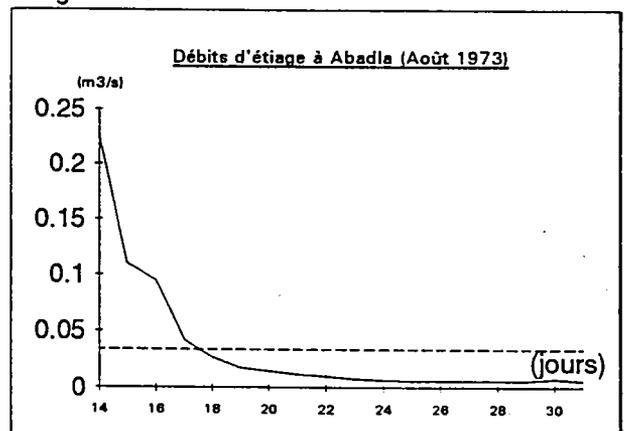


Fig n° 34e



0,04 m³/s à Iguir n'kouris), alors qu'elle atteint 0,17 m³/s à Tahannaout et 0,3 m³/s à Aghbalou (Cf tableau n°41). Ceci s'explique par les prélèvements destinés à l'irrigation traditionnelle (khettarats) ou moderne par pompage (Cf tableau n°27).

*nous retiendrons que l'écoulement d'étiage, reste soutenu dans la partie amont grâce à l'existence d'un grand nombre de sources dans les zones calcaires et gréseuses. Plus loin vers l'aval, les débits mensuels minimaux s'annulent (surtout dans les oueds situés dans la partie ouest). Cette pénurie d'écoulement est due aux températures très élevés, à la rareté des pluies et aux prélèvements des eaux par les Khettarats et les séguias pour des raisons d'irrigation et d'alimentation des centres urbains.

Le bassin-versant du Tensift dans sa partie aval (la plaine du Haouz) draine une nappe phréatique très importante dont le dôme piézométrique est proche de la surface du sol. Mais une évaporation très importante est produite, qui se cumule avec les prélèvements anthropiques pour accentuer la pénurie, surtout en période sèche (Cf Fig n°34 à 34e). Ce phénomène se produit souvent au mois d'août.

De fois, surtout en années sèches, après la crue les courbes restent presque horizontales et les débits d'étiages ne sont pas toujours soutenus. Ce qui entraîne par la suite un débit nul: comme on le voit dans l'oued N'fis où le débit d'étiage tend vers zéro pour les années (1979-1982-1984).

Sans oublier de rappeler le rôle des facteurs géographiques surtout hydrogéologiques qui sont variables d'un sous bassin à l'autre, selon sa situation dans le grand bassin du Tensift. (d'est en ouest et du sud au nord).

Les bassins-versants atlasiques drainent en leur partie avale (plaine du Haouz) une nappe phréatique assez étendue, toute proche de la surface, mais n'ayant qu'une alimentation réduite et soumise à d'importants prélèvements. C'est pour cela que tous les oueds surtout en aval, sont pratiquement à sec en phase de tarissement en raison de l'énormité des prélèvements, de la nature des roches (alluvions et limons) et du manque eau abondantes.

b) Sévérité et récurrence des étiages

Pour l'ensemble des oueds atlasiques, l'étiage se produit généralement en juillet, août et septembre. Durant ces mois, surtout les deux premiers, l'E.T.R. atteint son maximum et les réserves en eau

Tableau n°42 Tableau des indices de sévérité d'étiage dans les bassins Atlasiques (1969/70-1985/86)

Stations/Années	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	Moyenne	
Iguir N'kouris							2.02	0.59	0.84	0.59	4.26	1.77	2.87	3.04	0.08	3.5	0.84	1.69	1.84
Jmim el Hamam	3.03	3.2	10.27	1.23	1.23	0.69	0.52	1.13	1.65	0.66	2.66	2.22	3	0.1	0.54	0.76	0.17	1.94	
Tahannaout	18.32	19.71	35.62	7.3	9.93	8.69	51.31	7.88	15.84	11.68	23.58	13.28	12.55	5.84	6.42	3.14	7.74	15.23	
Aghbalou	5.81	4.71	27.79	13.05	9.28	4.14	2.68	4.52	18.1	6.67	14.54	2.43	2.53	0.77	0.77	2.6	6.23	7.45	
Taferiat	2.76	2.03	15.35	5.29	3.92	3.2	1.8	1.8	2.76	0.9	1.48	12.67	4.21	2.82	1.1	0.81	0.67	3.74	
Abadla	0.96	1.46	4.68	0.55	0.07	2.08	1.31	0.07	2.15	0.6	0.15	0.05	0.33	0.51	0.04	0.09	0.05	0.89	

souterraines diminuent d'une manière vertigineuse. Il se peut que l'étiage se produise au mois d'octobre.

La décrue débute dès le mois de juin pour atteindre son maximum en juillet-août. Le débit d'étiage peut apparaître aussi en septembre et octobre. (voir tableau n°41).

-Indice de sévérité:

Cet indice, représente un critère important pour tester la sévérité de la sécheresse dans la région; il se calcule ainsi:

$$I_s = \frac{Q \text{ mensuel minimal}}{\text{module}} \times 100$$

Tant que le rapport entre le débit mensuel minimal et le module annuel x 100 est plus élevé, on dit que la "I.S" est faible alors que s'il est faible on dit que la sévérité des étiages est plus forte. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau n°42.

D'après ce tableau, nous constatons que l'indice de sévérité des étiages dépend de la nature des écoulements qui sont influencés par d'autres facteurs tels: les températures, l'importance des précipitations et la nature du substratum etc...

Ainsi, nous constatons que l'année 1982 est une véritable année d'étiage: l'on relève la plus forte sévérité avec un indice de 0,77% à Aghbalou en 1982/1983 et 1983/84. Les indices de sévérité extrêmes sont de l'ordre de (0,08) à Iguir N'kouris et Jmim el hamam (Oued N'fis) en 1982/83 et de 35,62% à Tahannaout pour 1971/1972. La sévérité extrême se répète pour plusieurs années dans le bassin du N'fis.

De grandes différences apparaissent entre les bassins. En effet, la sévérité des étiages croît de l'est vers l'ouest, suivant les nuances météorologiques: les bassins situés à l'ouest (N'fis et Rheraya), sont caractérisés généralement par une faible pluviosité, alors que ceux qui sont localisés vers l'est (Ourika et Zat) connaissent des précipitations abondantes.

Pour toute la série des années d'étude, la moyenne de "I.S" est faible dans tous les bassins Atlasiques: à l'ouest 1,84% à Iguir N'kouris et 1,94% à Jmim el hamam, avec une croissance vers l'est pour atteindre une valeur de 15,23% au bassin de Rheraya et de 7,45%

Distributions statistiques des débits d'étiages aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)

Fig n°35

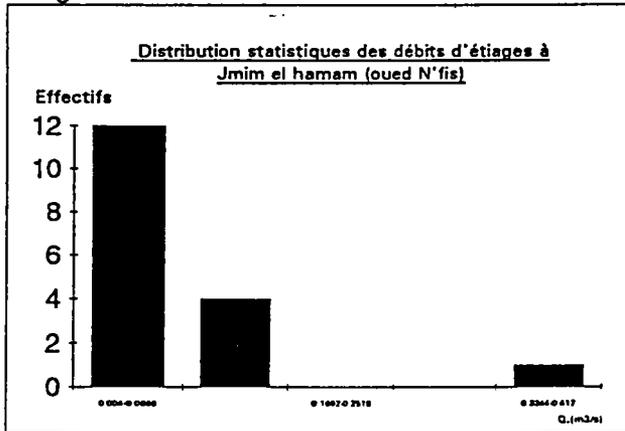


Fig n°35a

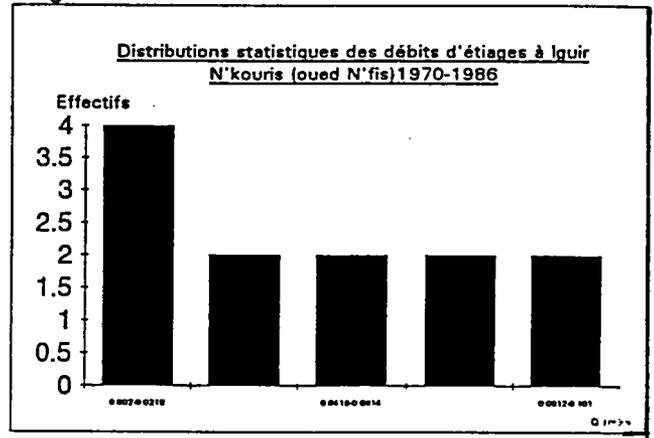


Fig n°35b

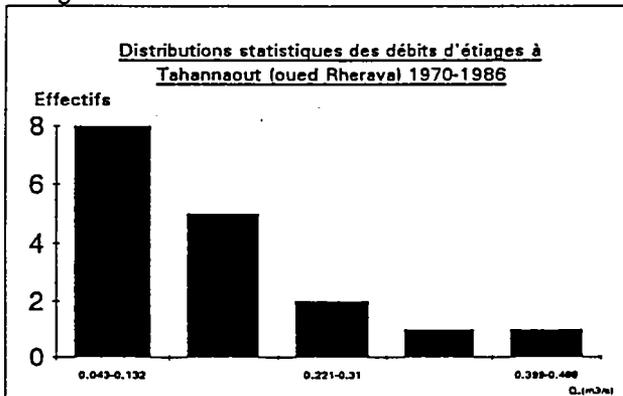


Fig n° 35c

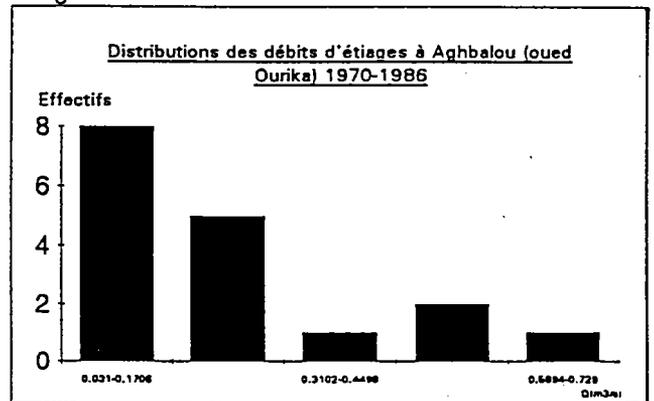


Fig n°35d

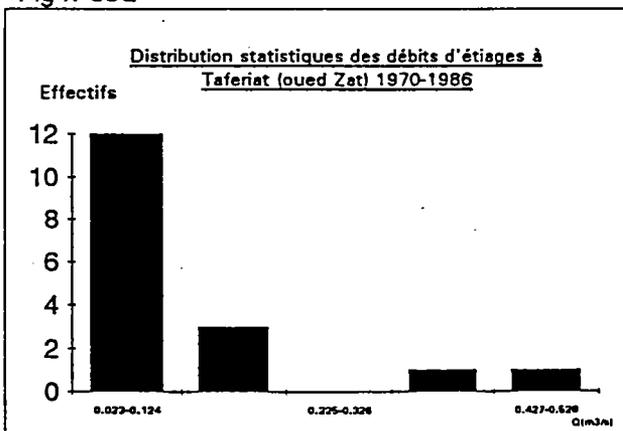
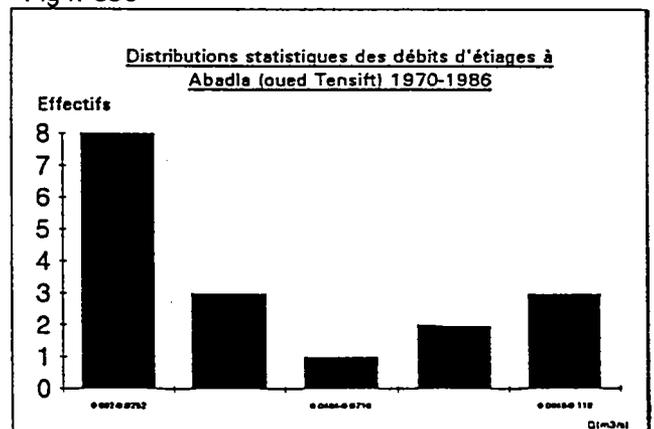


Fig n°35e



à l'Ourika. Au Zat cette moyenne est de 3,74%, elle présente une valeur faible par rapport aux bassins médians.

La sévérité moyenne des étiages dépend généralement du volume d'eau précipitée durant l'année dans chaque bassin: si les valeurs des débits sont plus fortes que les débits moyens mensuels, l'indice de sévérité sera plus faible: cas de l'oued N'fis à la station d'Iguir N'kouris (1,84); par contre si le module annuels de la série d'étude est plus faible par rapport aux débits moyens mensuels l'indice de sévérité sera plus fort: cas de oued Rheraya (7,45).

-Les débits fréquentiels d'étiages

Les débits moyens mensuels les plus bas de l'année caractérisent une situation de basses eaux. Cependant les pluies d'été peuvent influencer les débits moyens mensuels en période de basses eaux. Ce qui nécessite une étude fréquentielle basée sur un traitement statistique de la distribution des débits mensuels d'étiage, afin de définir la nature de l'ajustement.

D'après les graphiques représentant les histogrammes des effectifs (Cf Fig n°35 à 35e), les classes ont été déterminées pour pouvoir comparer les stations entre elles. Il apparaît que toutes les stations présentent un biaisage vers la droite (biais positif). Cela prouve que les débits d'étiage très sévères, sont plus nombreux.

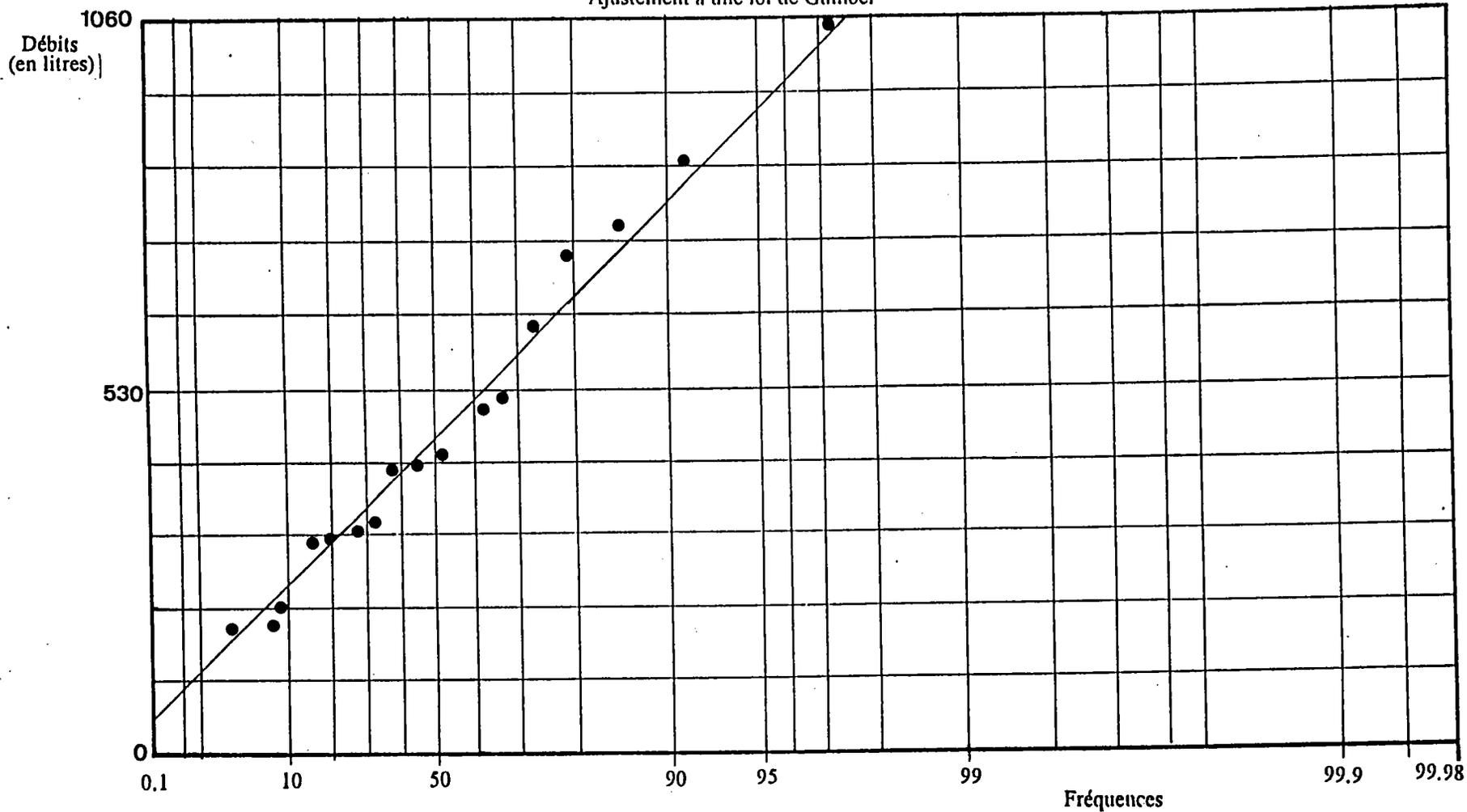
Les débits mensuels minimaux durant toute la période (1969/1970-1985/1986), ont été ajustés à une loi de Gumbel qui nous paraît la plus convenable. Cette distribution montre une disparité entre les débits qui représentent réellement un étiage, les débits influencés par des précipitations, et les débits sévères où l'écoulement tend à s'annuler.

Les points sinuent autour de la droite de Henri (voir Fig n°36; pour les autres stations voir en annexe n°XII à XIId) et ne déterminent pas un ajustement très satisfaisant. Les échantillons statistiques constitués par des débits moyens mensuels d'étiage dans toutes les stations, comprennent deux types de données: suivant l'importance de l'influence des précipitations durant les mois d'étiage et suivant l'importance des écoulements à travers toutes les années de la série.

On a calculé les fréquences des débits mensuels moyens d'étiage à partir de l'équation suivante:

Fig n°36

Débits des étiages à la station d'Aghbalou (oued Ourika) 1970-1986
Ajustement à une loi de Gumbel



$$X = X_0 - a \times \ln(-\ln(F))$$

avec $X_0 = Q \text{ moy.} - 0,45 \times \sigma$,

et $a = 0,78 \times \sigma$. Cette opération a été réalisée à l'aide de l'ordinateur (logiciel de statistiques *Aled*). Les résultats obtenus seront reportés sur le tableau suivant:

Tableau n°43 Les débits mensuels fréquents d'étiage

STATIONS		Durée de récurrence					(0,9/0,5)
		0,1 (10 ans)	0,2 (5 ans)	0,5 (2 ans)	0,9 (10 ans)		
Iguir N'kouris	Q(m3/s)	0,0032	0,007	0,024	0,093	3,9	
	q(l/s/km2)	0,005	0,011	0,037	0,143		
Jmimel hamam	Q(m3/s)	0,01	0,017	0,045	0,156	3,5	
	q(l/s/km2)	0,006	0,01	0,026	0,092		
Tahannaout	Q(m3/s)	0,068	0,087	0,141	0,31	2,2	
	q(l/s/km2)	0,204	0,260	0,422	0,928		
Aghbalou	Q(m3/s)	0,056	0,091	0,21	0,64	3,05	
	q(l/s/km2)	0,097	0,158	0,365	0,111		
Taferiat	Q(m3/s)	0,03	0,044	0,087	0,235	2,7	
	q(l/s/km2)	0,06	0,09	0,173	0,467		

D'après le tableau précédent, nous retiendrons que les débits fréquents d'étiage des oueds atlasiques, sont très importants en comparaison avec les modules.

Ces quantiles sont assez contrastés. Le rapport entre le débit décennal et le débit biennal est de 3,9 à la station d'Iguir N'kouris; de 3,5 à la station de Jmim; de 2,2 à la station de Tahannaout; de 3,05 à la station d'Aghbalou et de 2,7 à la station de Taferiat.

Nous constatons donc, que l'oued N'fis et Ourika présentent un fort rapport (3,9 et 3,05), alors que l'oued Rheraya a un rapport relativement faible de 2,2. L'oued N'fis à la station de Jmim el hamam est relativement peu soutenu en fréquence rare: le débit mensuel minimal décennal tombe à 0,009 l/l/km2 soit un rapport de 3,5.

L'ajustement des valeurs des débits mensuels moyens d'étiage à une loi logarithmique, présentent des difficultés liées à la disparité et la variabilité des valeurs interannuelles. D'autre part la série de 17 ans est relativement courte pour un traitement statistique élaboré.

En plus cette série d'étude (1970-1986) est caractérisée par une tendance sèche, ce qui ne représente pas en quelque sorte la situation réelle d'étiage des débits. Nous pouvons également comparer

les débits mensuels moyens d'étiage aux différentes stations, en utilisant l'indice de sévérité d'étiage.

En conclusion l'étude des étiages est indispensable car ils constituent une contrainte capitale dans l'économie de l'eau et favorisent les phénomènes de pollution. Par ailleurs, les étiages restent un problème délicat, qui s'accroît avec les perturbations du régime naturel des cours d'eau (évaporation...) les perturbations artificielles (pompage...) très importantes, en été auxquelles s'ajoutent des difficultés de mesure du phénomène lui-même.

CONCLUSION

L'étude des débits extrêmes (crues et étiages), ne peut être réalisée que dans leur succession chronologique, allant de quelques heures à plusieurs jours.

Pour les crues, par manque de limnigrammes et de chroniques d'averses correspondant aux principaux épisodes à étudier, nous nous sommes limités aux caractères généraux des crues tels que leur genèse, leurs variations spatio-temporelles et leurs fréquences.

Quant aux étiages, phénomènes moins brutaux dans leur apparition, leur étude permet de mettre en valeur la forte décroissance des débits en phase de tarissement et leur influence sur les cours d'eau, en précisant les restitutions des nappes aquifères à l'écoulement fluvial. Ils étaient envisagés du point de vue de leur genèse de leur évolution dans le temps et dans l'espace et de leur fréquence.

C) BILANS HYDROLOGIQUES DES BASSINS-VERSANTS ATLASIQUES DE L'OUED TENSIFT

La modalité des écoulements représente un paramètre intéressant dans l'étude géographique qui montre les relations entre les cours d'eau et le milieu naturel du bassin-versant.

Nous allons établir un bilan hydrologique sur chaque station représentant un milieu hydrologique. Ce bilan se base sur la relation entre les apports et les pertes en eau.

Le bilan se base sur les entrées qui sont les pluies (P), les sorties (les écoulements (E)) en plus de l'ETP et l'ETR) et les stocks (R mm). Ils servent à quantifier les transferts d'eau issus des précipitations. L'équation du bilan hydrologique d'un bassin s'écrit ainsi:

$$P \text{ (mm)} = E \text{ (mm)} + DE \text{ (mm)}$$

avec $P(\text{mm})$ = lame d'eau moyenne annuelle précipitée.

$E(\text{mm})$ Lame d'eau moyenne annuelle écoulée, soit

$$E(\text{mm}) = Q \text{ m}^3/\text{s} \times T \text{ s} \times 10^{-6} / 10^{-3} \times S(\text{km}^2)$$

$$= q \text{ l/s/km}^2 \times T \text{ s} \times 10^{-6}$$

DE = déficit d'écoulement (mm) = $P - E$

S = surface du bassin (km^2).

Q = débits bruts (m^3/s)

T = nombre de seconde par an.

Ces paramètres ont été calculés pour tous les bassins versants atlasiques compris dans l'étude. Mais pour que la formule du bilan soit claire on utilise la notion du coefficient d'écoulement

$$C_e = E/P \times 100 \text{ (en \%)}$$

Ce coefficient d'écoulement exprime bien l'importance des différents facteurs physico-géographiques, qui influencent le comportement hydrologique de chaque bassin, les résultats acquis sont reportés sur le tableau ci-dessous:

Tableau n°44 Les coefficients d'écoulement

OUEDS	P(mm)	E(mm)	$C_{E=E/P \times 100}$
N'fis à Jmim el hamam	354	87	24,6 %
Rheraya à Tahannaout	460	130	28,3 %
Ourika à Aghbalou	461	252	54,7 %
Zat à Taferiat	542	189	34,9 %

Suite aux résultats figurés sur le tableau précédent, nous concluons que le coefficient d'écoulement est très élevé à oued Ourika, il est de l'ordre de 54,7%. Au bassin du Zat il est aussi important, il atteint 34,9%. Pour les deux bassins situés à l'ouest, ce coefficient est moins important il est de 24,6% à oued N'fis et 28,3% à oued Rheraya.

I) BILANS ANNUELS:

Il s'agit du traitement de chaque bassin pour la période 1967/1968-1985/1986, les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau n°45 Les bilans hydrologiques annuels

OUEDS	STATIONS	P(mm)	D(mm)	E(mm)	ETR Turc(mm)	ETR Coutagne(mm)
N'fis	Jmim el hamam	354	267	87	356	155
Rheraya	Tahannaout	460	330	130	411	183
Ourika	Ourika	461	272	189	423,5	191
Zat	Taferiat	542	290	252	504	221

Le bilan hydrologique des différents oueds étudiés, est très variable selon les secteurs et selon la composition de leur substratum. En effet, pour le N'fis le déficit d'écoulement serait de 267 mm par rapport à une précipitation de 356 mm soit 75% des précipitations. Ceci est dû à la nature lithologique du terrain qui comporte des formations imperméables (schistes, marnes et calcaires marneux) importantes (79,4% de la superficie du bassin), alors que les matériaux perméables et semi-perméables ne dépassent pas respectivement 10,4% et 10,2%, ce qui laisse les eaux précipitées exposées à l'évaporation.

Le bassin-versant du Rheraya a une surface de roches imperméables moins élevée (59,9%). L'oued entaille des basaltes et des granites en amont, des marnes des calcaires marneux, des schistes en aval. Cette formation explique le déficit d'écoulement élevé (330 mm) contre une pluie de 460 mm.

Si on prend l'Ourika et le Zat, on constate que ces deux bassins présentent aussi un déficit d'écoulement fort (272 mm et 290 mm). Ce déficit caractérise la faible portion des terrains perméables (Ourika 3,1% Zat 9,3%), accentuant le phénomène d'évaporation et d'évapotranspiration.

L'intensité des prélèvements évaporatoires et évapotranspiratoires se produit sur les zones imperméables qui favorisent une évaporation directe sur les oueds exposés à l'ensoleillement et les zones couvertes de végétations surtout dans la partie amont (massif du Haut-Atlas) qui favorisent l'évapotranspiration (le couvert végétal présente 43,6% au N'fis Rheraya 13,7% au Rheraya, 19,4% à l'Ourika et 23,3% au Zat)

II) BILANS SAISONNIERS:

Les bilans sont à utiliser avec prudence. On retrouve les différents résultats de chaque bassin-versant dans le tableau suivant:

Tableau n°46 Les bilans hydrologiques saisonniers

	HIVER			ETE		
	P (mm)	E (mm)	DE(mm)	P (mm)	E (mm)	DE(mm)
N'fis à Jmim el hamau	294	79	215	60	8	52
Rheraya à Tahannaout	384	98	286	76	32	44
Ourika à Aghbalou	394	207	187	67	45	22
Zat à Taferiat	461,5	165	296,5	80,5	24	56,5

Pendant l'hiver, nous constatons que la lame d'eau précipitée varie d'un bassin à l'autre, de l'est vers l'ouest. Au N'fis, elle est de 294 mm avec une lame d'eau écoulée de 79 mm. Au Rheraya 384 mm d'eau précipitée correspond à 98 mm pour la lame d'eau écoulée. Pour l'ourika et le Zat, nous constatons que les lames d'eau écoulées sont de l'ordre de 207 mm et 165 mm (successivement) pour une lame précipitée de 394 mm à Ourika et 461,5 mm au Zat. La situation de ces deux bassins situés à l'est (la partie la plus humide) nous explique ce phénomène.

En été, les écoulements sont très faibles. Ce phénomène est lié au régime thermique de la région, à l'importance des roches imperméables et à la faiblesse des précipitations estivales. Donc, les écoulements en cette saison dépendent fondamentalement des eaux stockées dans les nappes souterraines, ce qui implique par la suite un épuisement des réserves constituées en période hivernale.

Le déficit d'écoulement apparaît très élevé. Cette hausse est liée à la faiblesse des précipitations estivales et à l'importance des facteurs thermiques et de l'évapotranspiration. En effet, dans le bassin versant du N'fis le déficit est de 52 mm; soit 86,66% des pluies précipitées durant cette période (60 mm). Ce déficit paraît aussi important au Zat, il est de 56,5 mm, alors qu'il ne tombe que 80,5 mm présentant 70,2% des pluies précipitées.

Au bassin-versant de l'Ourika, nous constatons que le déficit est moins sévère par rapport aux deux premiers bassins: il est de l'ordre de 22 mm soit 32,84% des précipitations (67 mm), tandis que dans le bassin-versant du Rheraya il est de 44 mm pour 76 mm de pluies, soit 57,9% de cette dernière.

Ce phénomène est lié à la nature du substratum formé en majorité par des roches imperméables (des roches métamorphiques ou éruptives d'âge primaire ou précambrien). Elles sont très développées dans les bassins tributaires du Tensift et particulièrement dans celui du N'fis.

Les données des bilans hydrologiques des bassins-versants Atlasiques montrent simultanément un déficit d'écoulement et une indigence importante des écoulements. Le déficit d'écoulement reste généralement fort dans la région du Tensift -les bassins atlasiques- et particulièrement, dans la partie occidentale, caractérisée par une faiblesse remarquable des précipitations, surtout dans le bassin du N'fis.

Consécutivement au calcul du déficit d'écoulement, nous pouvons nous demander si la lame d'eau précipitée sur les bassins versants ne serait pas surestimée. Cette hypothèse ne peut être vérifiée que grâce au perfectionnement des équipements de mesures climatologiques.

Par ailleurs, le traitement des données hydrométriques, en année hydrologique, provoque une légère différence entre les bilans annuels et les bilans saisonniers.

Globalement, les différenciations spatiales du bilan hydrologique moyen annuel, se traduisent par l'augmentation remarquable des indices et des coefficients d'écoulement de l'amont vers l'aval et de l'ouest vers l'est. En effet, pour le bassin-versant du N'fis le coefficient d'écoulement est de 24,6% à Jmim el Hamam. Dans le bassin du Rheraya il représente 28,3% et 54,7% dans le bassin de l'Ourika. Au bassin du Zat il est de l'ordre de 34,9%.

Tableau n°47

Tableau des apports en eaux à la station d'abadla en m3

APPORTS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moyenne
Apports maximaux	2280960	40443840	45360000	34283520	137401920	57576960	124009920	214876800	111421440	84758400	6963840	2075760	71787780
Apports moyens	1389312	5972832	8138880	9669024	34229952	19327930	23061024	47018880	27801792	8890560	1076717	562464	15594947
Apports minimaux	10368	13392	33696	50890	241056	107741	455328	103680	53568	62208	5357	10714	95666
Appots max./appotrs min.	220	3020	1346	674	570	534	272	2072.5	2080	1362.5	1300	194	1137

III) LES DISPONIBILITES EN EAU

1°) Eaux de surface

Les variations saisonnières des débits sont aussi importantes que celles à l'échelle annuelle. Les données hydrométriques enregistrées aux différents postes, nous montrent ceci surtout à Abadla (la station qui contrôle les débits de l'oued Tensift): eaux disponibles au cours de la saison des hautes eaux et déficit hydrologique durant la période des basses eaux.

Les apports en eaux oscillent entre 47,2 Millions m³ en avril et environ 0,56 M m³ en août. En parallèle nous trouvons que l'apport moyen de chaque mois durant toute la saison de mai à octobre connaît (basses eaux) inférieur à la moyenne annuelle des volumes mensuels écoulés (tableau n°47).

Ces apports sont considérables; ils atteignent leur maximum en saison humide, en avril (214,877 M m³), et en janvier (137,402 M m³); ils s'atténuent en été surtout en juillet pour ne pas dépasser 5356,8 m³.

Ce sont les volumes minimaux d'eaux écoulées, qui présentent un intérêt économique important: ils indiquent les possibilités effectives de prélèvement dans un système fluvial naturel, non aménagé. Durant les années à faible hydraulité ces cours d'eau atteignent un seuil critique.

D'après ce qui précède, il apparaît que les ressources en eau superficielle connaissent de très fortes variations saisonnières et mensuelles. Elles sont faibles par rapport aux besoins quotidiens des habitants, dans cette région à climat semi-aride où les eaux sont rationnées par un comité des tribus pour l'irrigation, surtout lors de la saison chaude lorsque les besoins agricoles sont très importants.

2°) Eaux souterraines

Les eaux souterraines, connaissent également une forte variabilité entre saison humide et saison sèche. En effet, en hiver, il n'est pas nécessaire de les estimer puisque c'est la saison des hautes eaux: les problèmes d'alimentation en eau ne se posent guère. Alors qu'en été, le maximum thermique coïncide avec le minimum pluviométrique, ce qui se traduit par un fort déficit d'alimentation en eau de surface. A ce moment, ce sont les eaux souterraines qui prennent le relais, traduisant la vidange des nappes.

Mais, faute de données de mesures en continu des niveaux piézométriques des nappes, et des débits des sources, on ne peut apprécier de façon précise le rôle de ces apports souterrains sur l'évolution des besoins en eau.

CONCLUSION

-Malgré le contraste des débits, il est possible de nuancer le régime interannuel et annuel des bassins-versants atlasiques en faisant une distinction entre les années sèches et les années humides.

-La variabilité des facteurs physiques et climatiques de l'est vers l'ouest et du sud vers le nord, influence le comportement des cours d'eau atlasiques et caractérise leur écoulement par une irrégularité annuelle.

CONCLUSION GENERALE DE LA DEUXIEME PARTIE

Parmi les conditions physico-géographiques caractérisant les bassins-versants atlasiques, citons:

-La lithologie du substratum qui facilite une infiltration importante ou pas, suivant le degré de perméabilité des roches.

-Le couvert végétal strictement discontinu, sinon absent dans la plaine du Haouz mais important dans le massif montagneux, qui influence le ruissellement.

-Les caractéristiques morphométriques, déterminant l'importance de la sensibilité des terrains envers le ruissellement.

-Le climat méditerranéen très variable dans le temps et dans l'espace, donc influençant importante le ruissellement.

Tous ces facteurs déterminent le comportement hydrologique du bassin-versant du Tensift en général et de ses sous bassins atlasiques.

En plus des facteurs classiques (relief, perméabilité des roches, précipitations et végétation), la densité de drainage intervient aussi pour déterminer les caractéristiques de l'écoulement, plus que les autres paramètres morphométriques.

Elle est à la fois un facteur d'écoulement et un indice de l'évolution de cet écoulement. Suivant ces paramètres et leur variabilité, nous pouvons subdiviser la zone de notre étude en trois secteurs:

-La zone montagneuse (L'amont)

Ce secteur à fortes altitudes offre toutes les conditions d'infiltration (pluie abondantes, couvert végétal presque continu et températures modérées).

Le couvert végétal y joue à la fois le rôle d'un facteur retardataire du ruissellement, de l'évapotranspiration et de l'infiltration lorsque les roches sont fissurées.

-Le piémont ou la partie moyenne

Ce secteur dispose de certains paramètres morphométriques et physiques, favorisant un écoulement conditionné par l'importance des pluies et du couvert végétal forestier.

-La partie aval (plaine du Haouz)

Les conditions physico-géographiques (climat, couvert végétal lithologie...) y sont propices à l'infiltration et à l'évaporation. Ce qui a pour conséquence, vu la modestie des pluies et la discontinuité du couvert végétal entre périodes hivernale et estivale un ruissellement diffus faible ou absolument absent. Le rôle de la végétation dans cette partie aval est secondaire

La présentation et le traitement des facteurs définissant l'écoulement d'évaluer les ressources en eau disponibles dans les bassins atlasiques. Mais ils doivent être complétés par une étude hydrologique.

Concernant l'hydrologie, il apparaît que les débits des oueds atlasiques se caractérisent par une variabilité très forte.

Par ailleurs, le traitement statistique les débits annuels permet de déterminer les valeurs fréquentielles annuelles propres aux différents oueds.

Enfin, l'étude des débits extrêmes fréquents complète l'étude des régimes fluviaux des affluents atlasiques de l'oued Tensift.

Troisième partie

ELEMENTS POUR L'AMENAGEMENT DU HAOUZ

INTRODUCTION

De tous les pays du Maghreb, le Maroc est le mieux pourvu en eaux superficielles et souterraines. Les chaînes montagneuses du Haut-Atlas et du Moyen-Atlas, qui s'allongent perpendiculairement aux vents humides du nord-ouest, bénéficient d'une pluviométrie importante. Elles forment ainsi un véritable château d'eau.

Les sources statistiques sont gérées par l'Office National de l'Eau Potable (O.N.E.P). Cette administration fournit les chiffres bruts des productions d'eau potable vendues aux régies de distributions.

Dans cette partie, nous traiterons du bilan des ressources et besoins en eau, et de leur évolution spatio-temporelle dans la région du Haouz, afin de compléter notre étude du bassin-versant du Tensift.

Cette étude, nous permet par comparaison avec les ressources potentielles et réelles, d'établir une planification de l'eau dans tout le bassin. Il est donc nécessaire d'évaluer les besoins en eau actuels et futurs pour les différents secteurs d'utilisation, en fonction de la croissance démographique.

Cette procédure nous donne le pouvoir d'élaborer le bilan ressources-besoins, qui facilite par la suite la détermination de l'importance du déficit ou de l'excédent en eau selon les secteurs de consommation et selon l'espace géographique.

Introduction

La région du Tensift, regroupe trois ensembles physiques et surtout hydro-climatiques: se pose donc la problématique de l'eau dans cette région et ses différentes localités.

Toutes les ressources d'eau existantes au Maroc font partie du domaine public de l'état, quelle que soit leur origine d'après les dahirs (lois de l'état) en vigueur.

Après quelques années, l'état a reconnu les droits à privatisation des eaux au profit des individus ou des collectivités. De nos jours, en raison de l'importance de l'irrigation traditionnelle et du développement de l'agriculture moderne irriguée, une grande partie des eaux, sinon la majorité des eaux du Haouz, est propriété des particuliers.

C'est ainsi qu'apparaissent des difficultés inévitables dans la réalisation de tout projet de mise en valeur, ayant pour but la création par l'état d'aménagement hydraulique.

Les droits de répartition des eaux dérivées des oueds sont soumis à une loi tribale.

La puissance publique a tenté de codifier le système de prélèvement de chaque séguia par un arrêté non pas en valeur absolue, mais en valeur relative, en fonction des débits de l'oued. Cette réglementation a créé une répartition irrationnelle entre l'amont, à gaspillage, et l'aval qui souffre de pénurie. Cette réglementation est incomplète à l'échelle du Haouz, mais totale pour le bassin du N'fis.

La mise en valeur dans le Haouz reste incomplète suite aux problèmes rencontrés dans la répartition et la bonne gestion des ressources en eau.

A/ LA MISE EN VALEUR DANS LE BASSIN DU TENSIFT

I) HISTORIQUE

Sur la totalité du bassin, les habitants pratiquaient l'élevage extensif et la céréaliculture. Les "foums", débouchés des oueds, étaient les seules zones irriguées, sous la surveillance des citadelles seigneuriales (Azibs) autour des garnisons de Makhzen.

L'agriculture reposait sur la production du blé dur, de l'orge, la plantation arbustive etc...

A l'époque de la colonisation officielle, les grands kaïds de la montagne s'installaient dans la plaine du Haouz. Ces grands kaïds ont établi de grandes propriétés seigneuriales (les azibs). L'action de ces derniers a largement contribué à la mise en valeur du Haouz.

Les seigneurs par autorité ont poussé de grandes masses de mains d'oeuvres a créer ou améliorer le système d'irrigation traditionnel: séguias et khettarats etc...

On peut dire que la mise en valeur du Haouz s'est effectuée jusqu'à l'époque coloniale selon le système "tout ou rien": il en résulte l'existence d'un secteur agricole moderne et d'un autre, traditionnel. Ils sont totalement coupés l'un de l'autre.

II) L'EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE RECENTE

Les statistiques de la population marocaine, en référence au recensement d'août 1982, donnent un taux de croissance démographique moyen national de l'ordre de 2,61%.

Mais cette moyenne pouvant être modulée par certains paramètres tels l'exode rural, on a pris en considération la ville de Marrakech et d'autres petites villes aux alentours, représentées par les chefs lieux de Daïra tels les centres d'Amizmiz, Tahannaout etc...

Les nuances démographiques sont visualisées sur le tableau suivant:

Tableau n°48 L'évolution démographique des principaux centres urbains au sein de la région du Tensift

	Situation 1982	Taux %	Situation 1991	Taux %	Situation 2001
Marrakech	1 266 695	2,61	1 299 756	2,61	13 32 817
Amizmiz	5853	2,71	7446	2,71	9728
Tahannaout	2780	2,61	3506	2,61	4535
Aït Ourir	6 079	3,79	8496	3,79	12325
Toute la région	2 265 519	4,3	3 436 000	4,3	4 606 481

N.B on a gardé le taux de croissance de l'année 1982.

La région du Tensift est une région moyennement peuplée avec 56 habitants/km² (17% de la population sur 14,5% du territoire régional). En 1982 la densité moyenne y a été multipliée par 1,77 contre 1,8 pour l'ensemble du Maroc.

La zone occidentale du bassin-versant du Tensift est faiblement peuplée, tandis que sa zone orientale est fortement occupée. Le Haouz est considéré comme une région urbanisée: son taux d'urbanisation de 53% est supérieur à la moyenne nationale qui est de 42,8%. C'est là en fait où se situe la grande agglomération du Tensift, Marrakech, qui totalise 439728 habitants soit 91% de la population urbaine de la province.

CONCLUSION

La région du Tensift, connaît une croissance démographique et une évolution du mode de vie très importantes, exigeant des besoins accrus, actuels et futurs en eau.

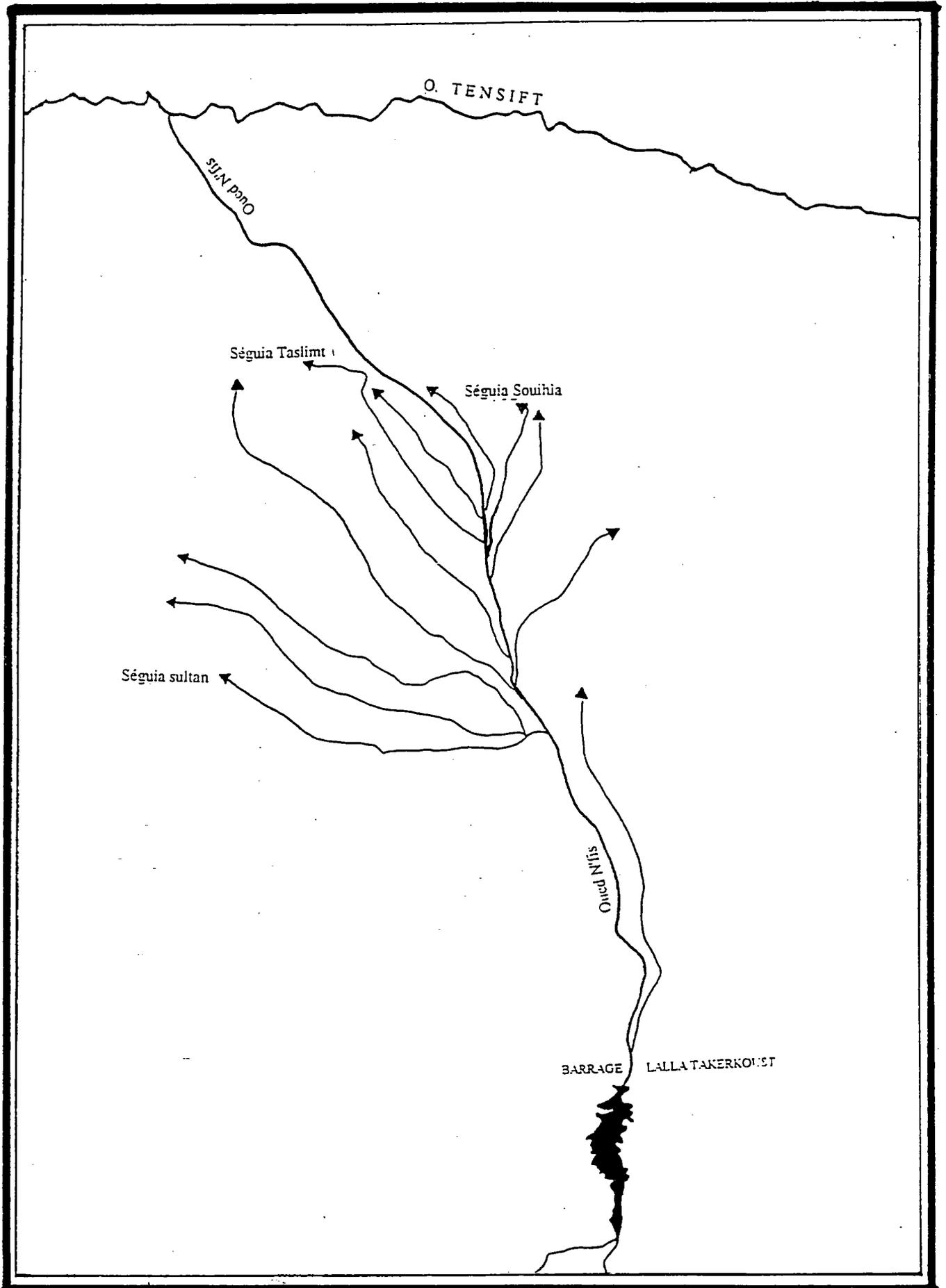
B/ LA MOBILISATION DES EAUX

D) MOBILISATION DES EAUX DANS LE MASSIF DU HAUT-ATLAS

Le massif du Haut-Atlas forme un important château d'eau grâce à son altitude élevée, favorisant des précipitations abondantes. De ce fait les montagnes du Haut-Atlas forment un château d'où s'écoulent 815 millions de m³/an vers la plaine du Haouz au nord, et 345 millions de m³ par an vers le sud.

Cette zone de montagne ne possède pas de réservoirs souterrains importants puisqu'elle est constituée essentiellement par des roches imperméables. Mais les hautes altitudes permettent la constitution de réserves nivales abondantes qui fondent jusqu'au début de l'été; quelques petits réservoirs souterrains locaux ont un énorme intérêt pour la population et les activités agro-pastorales dans la région.

L'alimentation en eau potable des agglomérations rurales du massif ancien du Haut-Atlas se fait par le captage des petites sources, par le puisage (puit de Souk Asni 25l/s et le puit qui alimente la station des sports d'hiver de l'Oukaïmeden) ou par les drains comme le drain de Tahannaout de l'Oued Rheraya.



A part le captage des sources et les creusements des puits pour l'alimentation des villages, douars etc... en eau potable, les aménagements des eaux dans le massif du Haut-Atlas, se basent essentiellement sur les méthodes traditionnelles reposant sur les dérivations des eaux par les barrages en pierres.

La totalité des cultures prend place aux fonds des vallées. Elle se base sur l'irrigation, selon la disponibilité des ressources en eaux des rivières et des sources.

Les cultures a sec se basant en premier lieu sur les céréales ont une réussite irrégulière sous ce climat chaud. Ce qui fait de l'irrigation un facteur primordial des cultures.

L'irrigation dure entre 4 et 5,5 mois en montagne selon l'altitude surtout de mai à octobre. Mais elle débute très tôt sur le piémont en avril, et elle dure pendant l'essentiel de l'année dans la plaine du Haouz. Cette irrigation dans les sous bassins des rivières du versant nord du massif ancien du Haut-Atlas a été estimée à l'amont des stations hydrométriques, contrôlant les oueds comme suit:

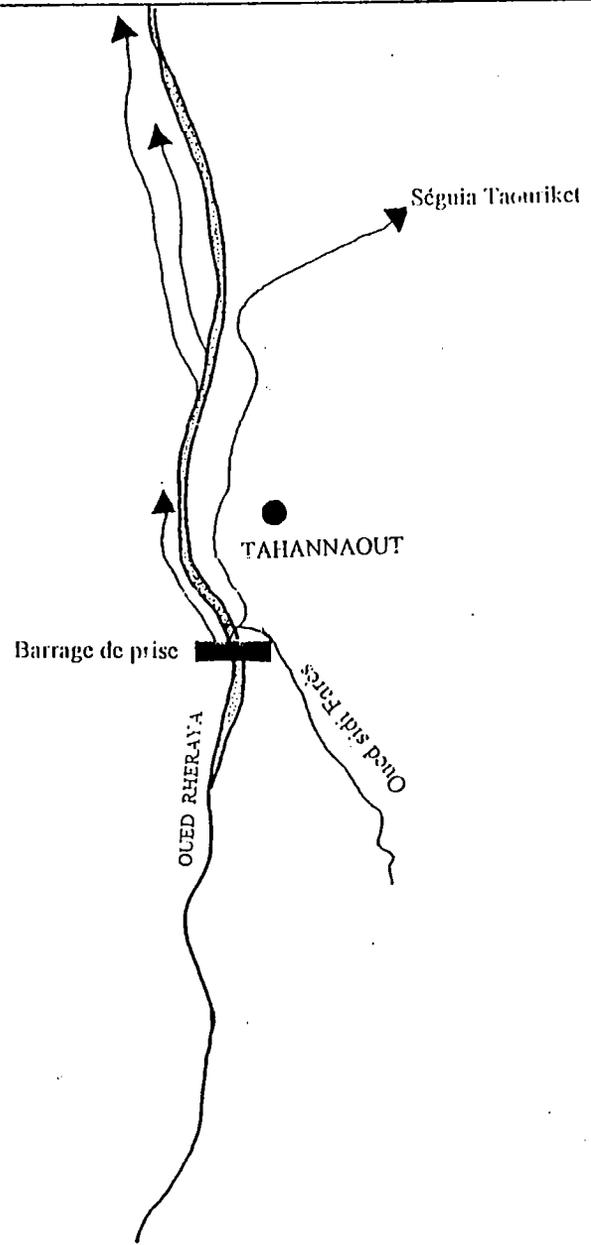
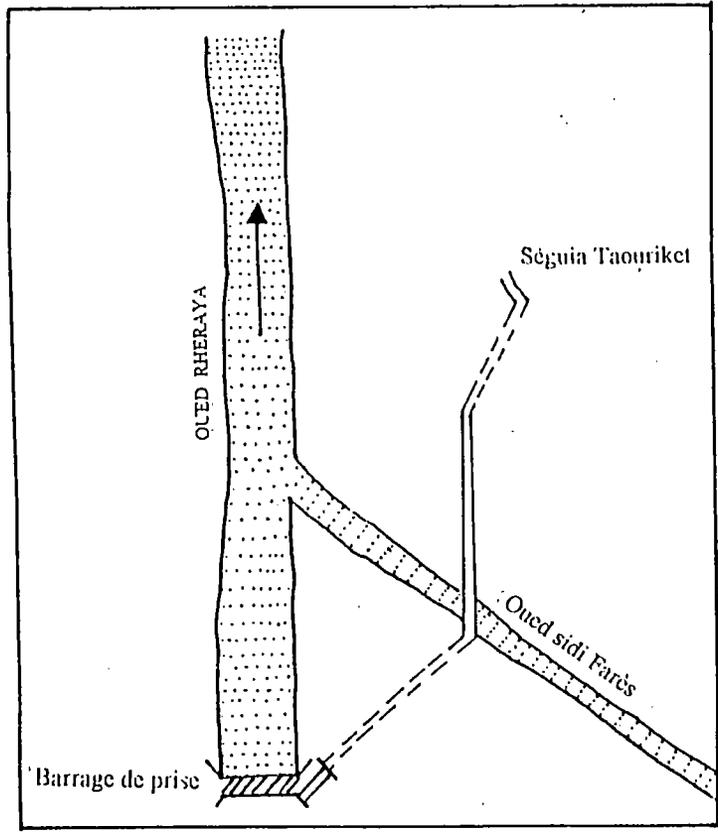
*7700 hectares d'un total de 12000 ha entre l'oued Lakhdar à l'est et oued N'fis à l'ouest sont irriguées par des eaux pérennes d'environ 29 millions de m³ par an.

*2800 ha sont irrigués par des eaux d'hiver seulement, consommant un total de 1,5 million de m³ par an, alors que 1300 ha sont irrigués d'une façon aléatoire par les eaux des crues des oueds.

Les irrigations se réalisent par la dérivation des eaux superficielles, mais certains périmètres utilisent les eaux des sources en parallèle. Les irrigations par les eaux de sources sont plus rares.

Dans le cadre de l'aménagement de la plaine du Haouz de Marrakech et pour éviter les pertes des eaux, nous pouvons dire que tout le bassin du Tensift en sa partie amont ne comprend qu'un seul barrage régulateur actuellement en service, celui de lalla Takerkoust (voir carte n°15) construit de 1919 à 1935 qui a une capacité brute de 50 million de m³.

Il est équipé d'une centrale électrique, et d'un barrage de compensation à l'aval qui joue le rôle de régulateur des débits destinés à l'irrigation des périmètres modernes dans la plaine du Haouz. Le périmètre irrigué comporte plus de 7500 hectares, utilisant un débit régularisé de 40 millions de m³ par an qui, avec une meilleure gestion de l'ouvrage, pourrait être porté à 60 millions de m³ par an.



Il a une capacité de 8 m³/s en amont du point de rencontre avec le canal de rocade qui s'effectue par un puit de chute de 60 m de profondeur et de 19 m³ en aval. Signalons aussi l'implantation d'un siphon à l'aval pour alimenter la rive gauche du N'fis et le bétonnage de quelques Séguias.

S'il l'on prend l'oued Rheraya, nous constatons l'existence d'un barrage de prise (1936) en amont de Tahannaout (Cf carte n°16), qui sert à alimenter les séguias.

Par ailleurs, plusieurs sites pour la construction des barrages ont fait l'objet de travaux sur les affluents atlasiques de l'oued Tensift, tel le site de moulay Brahim sur l'oued Rheraya et le site des gorges du N'fis.

Puisque la plaine du Haouz de Marrakech nécessite un apport plus important d'eau superficielle que la partie montagneuse (en raison de l'existence de conditions naturelles favorables par l'agriculture) nous allons détailler plus particulièrement l'étude des ressources et des besoins en eau dans cette plaine du Haouz

II) MOBILISATION DES EAUX SUPERFICIELLES.DANS LA PLAINE DU HAOUZ

1°) Aménagements traditionnels

Les eaux superficielles sont mobilisées selon un système traditionnel qui est le séguia (canal d'irrigation). Ce mode s'effectue par une simple prise de la rivière alimentant un canal en terre.

Il débouche dans la plaine qu'il irrigue sur des superficies variables. Les prises en eau se situent globalement en amont, au dessus des débouchés des oueds, le réseau des séguias diffuse ensuite dans la plaine du Haouz sous forme d'un vaste éventail situé de part et d'autre de l'oued.

Vers l'aval des séguias principales, l'eau se distribue par les mesrefs (canalisation secondaire), ces dernières d'une longueur et d'une importance très variables selon les superficies commandées, suivent généralement la ligne de la plus grande pente.

Du mesref jusqu'au champs, la distribution des eaux est constituée par un chevelu de micro-canalisation dont le tracé suit toujours le parcellaire.

Mesref = canal conduisant l'eau vers les champs

D'après ce qu'on a vu au préalable, nous pouvons dire que le système traditionnel de la mobilisation des eaux superficielles par les séguias se réalise par un simple captage des eaux sauvages. Ce qui influence les conditions de la mise en valeur actuelle dans toute la région du Haouz.

Le taux des prélèvements des eaux par les séguias, est beaucoup plus élevé pour les oueds du Haouz occidental et central où il doit atteindre 80% à 90%; alors que le taux moyen pour l'ensemble du Haouz est situé autour de 80%. En effet, la partie orientale et méridionale de la région du Tensift sont connues pour l'abondance de l'eau, liée à l'importance des précipitations annuelles.

En ce qui concerne le rendement du réseau des séguias, nous pouvons dire que le rapport entre les volumes prélevés et les volumes délivrés a permis d'établir un taux moyen annuel de perte d'environ 4% au km pour les séguias principales.

Ce qui correspond à une perte cumulée de 25% au bout de 8 km et 50% au bout de 27 km. Compte tenu de la longueur moyenne des séguias du Haouz que l'on peut estimer à 150 km, le rendement des séguias principales serait de l'ordre de 60%.

Les pertes sur le réseau à l'aval des séguias principales sont difficiles à évaluer, mais on peut les estimer à 15% du débit résiduel soit 9% du total, ce qui donne un rendement global moyen du réseau de l'ordre de 50%.

C'est là que se situe la faiblesse de ce système traditionnel, au rendement très faible, comparé à celui d'un réseau moderne étanché qui atteint 80% à 90%.

Le rendement global du système traditionnel obtenu en cumulant les pertes au prélèvement et celles du réseau atteint 50%, alors qu'un système rationnel d'adduction et de distribution pourrait en délivrer 80% à 90%, soit un gain de 40% à 50%. Ceci traduit l'insuffisance du système traditionnel de mobilisation des eaux superficielles.

2°) Les aménagements modernes

En plus du barrage de lalla Takerkoust sur l'oued N'fis et le barrage de prise sur l'oued Rheraya, il faut mentionner sur l'oued Ourika (qui prend le nom de R'mat dans la plaine du Haouz), l'ouvrage de prise situé à l'aval, qui alimente la séguia bétonnée de Tassoultante de 20 km de longueur avec un débit de 1200 l/s.

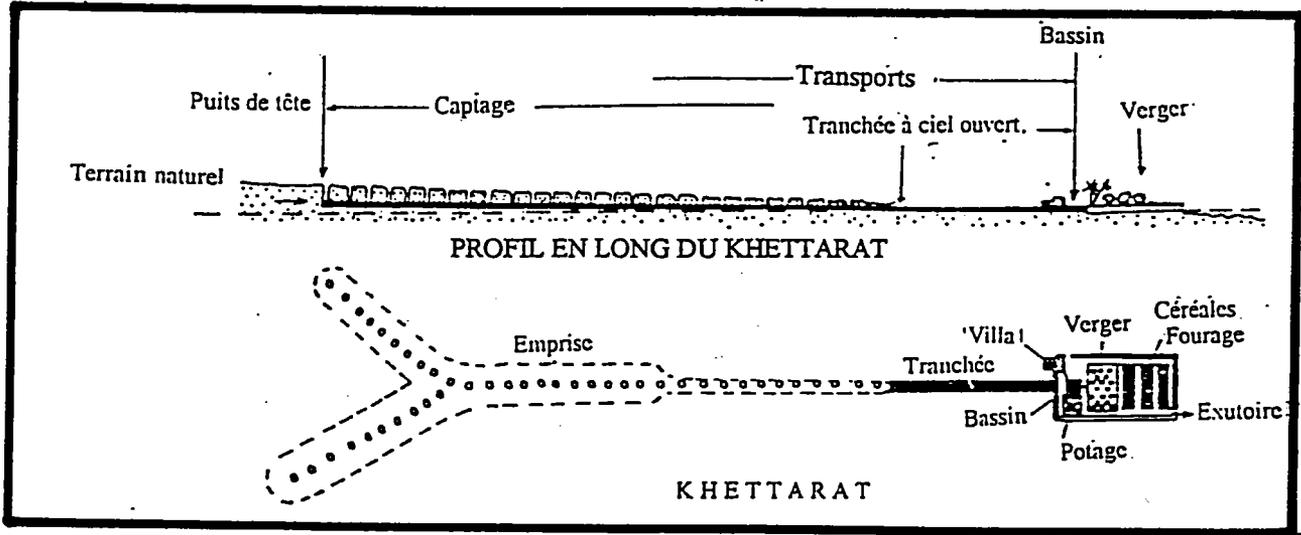
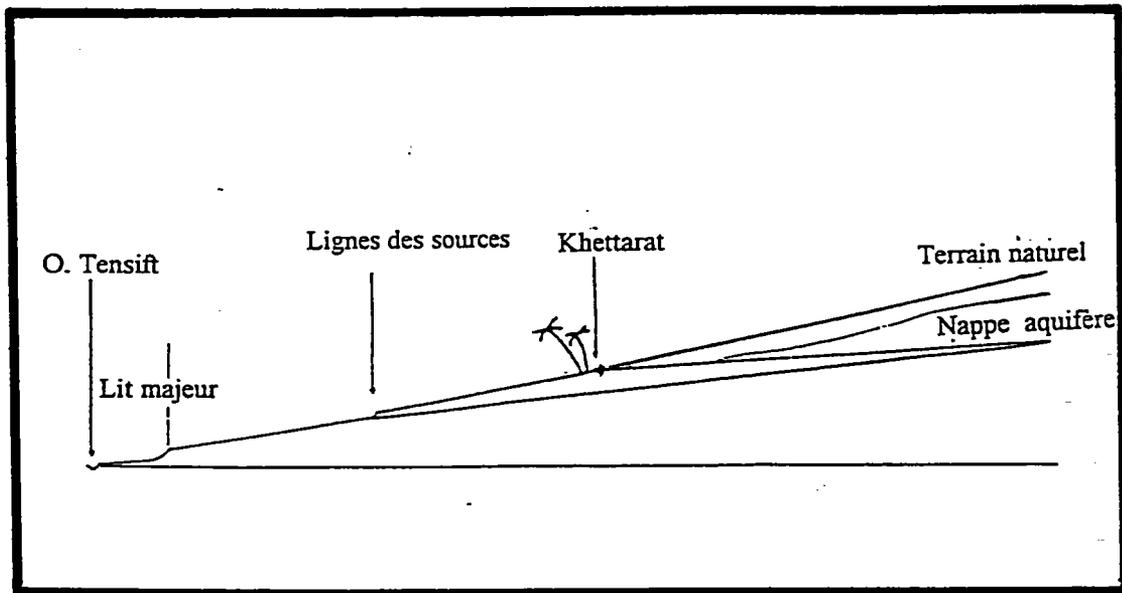


Fig n°37a PRINCIPE DE DRAINAGE D'UNE KHETTARAT



Ajoutons pour les équipements modernes, la réalisation du "canal de Rocade" sur l'oued Lakhdar et Tassaout (affluents de l'oum er-rabiaâ) qui alimente le Haouz central et occidental.

Ce canal est d'une longueur totale de 125,5 km, avec une capacité de 20 m³/s. Un tronçon de 8,5 km se situe en galerie à l'aval du canal pour la prise d'eau sur l'oued Lakhdar.

D'autres équipements existent dans le Haouz, qui souffrent de plusieurs problèmes: tel le canal qui traverse le Haouz central et qui souffre du manque d'entretien en quelques points depuis 1958, notamment au passage du Zat. Il est assez bien conservé dans l'ensemble.

A vrai dire, la région du Tensift souffre d'un mauvais équipement eu égard à sa superficie.

III) MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES

1°) Le système traditionnel

a) Les puits

Les puisages sont surtout abondants dans la zone où la profondeur de la nappe ne dépasse pas 8 à 10 m, et rarement 15 m. Leur nombre n'est pas connu, mais il doit y avoir plus de 2000 puits dans la plaine du Haouz, avec une capacité inférieure à 200 m³ par jour au total.

La micro-exploitation des eaux par les puisages traditionnels ne cesse d'évoluer surtout dans la partie est du bassin, en particulier dans le bassin du Zat. Mais malgré tout, ce système a des possibilités limitées d'ordre technique (3 à 8 m³/heure en moyenne). Les intéressés cherchent à équiper ces puits par des motos-pompes. Mais le problème d'entretien mène ces projets à un échec économique.

b) Les Khettarats

Ce sont des galeries captantes qui drainent les eaux de la nappe phréatique vers la surface du sol. Elles forment de véritables sources artificielles. Elles constituent en gros des "puits horizontaux" qui ont de l'amont à l'aval une trajectoire captante, car se situant dans l'épaisseur de la nappe (Cf Fig n°37 et 37a). Lorsque la galerie dépasse 3 à 4 m de profondeur, une canalisation à ciel ouvert lui fait suite.

La partie en galerie est munie de puits verticaux (régulièrement espacés d'une centaine de mètres) rejoignant la surface.

Ce mode d'exploitation de la nappe plus ancien (XI^e siècle) est développé en particulier dans le secteur de l'Ourika-Rheraya notamment à l'est et au sud-est de Marrakech, ainsi que sur le cône de l'Ourika. On en compte environ 650 totalisant 700 km de galeries souterraines. Mais il s'agit d'un système en décadence.

L'évolution du débit moyen annuel des khettarats varie entre 3,6 et 6,1 m³/s (en moyenne) et le prélèvement total moyen annuel est estimé à 80 millions de m³ dont 9 pour la ville de Marrakech soit les 2/3 des prélèvements effectués sur la nappe du Haouz occidental et central.

Les Khettarats provoquent une sorte d'hémorragie constante pour les nappes, amenant par là un gaspillage d'eau, car elles fournissent leur débit maximum en période humide lorsque les besoins sont les moins importants: durant la période hivernale l'eau est abondante, les terres sont saturées donc les besoins en eau sont absents, ce qui laisse perdre les eaux des Khettarats sans les exploiter. Ceci est vrai surtout pour les khettarats d'amont, mais moins pour celles d'aval.

Par ailleurs, signalons aussi que le débit pérenne des sources et des résurgences, n'irrigue que étroites bandes de terres sur les rives des oueds.

2°) Les systèmes modernes

a) Le pompage

Cette sorte d'utilisation d'eau se situe en grande majorité à l'ouest de Marrakech sur la partie avale de la rive droite de l'oued N'fis. Cette zone souffre d'une exploitation intense de la nappe souterraine: la profondeur des puits a atteint plus de 30 m. Ce qui a conduit par la suite à équiper ces puits de moto-pompes à moteur diesel ou électrique, débitant aux alentours de 20 à 100 l/s.

Cet équipement s'est développé essentiellement dans les secteurs de la colonisation privée et sur les terres récupérées par l'état ou par les particuliers. Il est rare dans le secteur public.

Les débits prélevés par les pompages sur la nappe du Haouz occidental et central peuvent être estimés à 40 millions de m³/an, dont les 4/5 au moins s'effectuent par le système de pompage moderne.

b) Les khettarats modernes et les drains

Ces projets sont réalisés par les pouvoirs publics afin de subvenir aux besoins en eau dans les lotissements remontant à la période coloniale et dans ceux de la ville de Marrakech. Ils ressemblent aux khettarats traditionnels sauf qu'ils sont "en dur" et nécessitent un simple entretien.

La longueur des khettarats bétonnés dans le Haouz occidental et central avec les canalisations qui les suivent, est de 50 km dont plus de 40 sont situées dans le secteur de Rheraya-Ourika.

La mobilisation des eaux dans le bassin-versant du Tensift notamment dans la plaine du Haouz est résumée dans le tableau suivant:

Tableau n°49 Tableau récapitulatif des prélèvements essentiels d'eau dans le bassin du Tensift

Système traditionnel		Système moderne	
Méthode utilisée	Prélèvements	Méthode utilisée	Prélèvements
Puits	200 m ³ /jour	Pompage	109 589 m ³ /jour
Khettarats traditionnelles	de 311 040 à 527 040 m ³ /jour	Khettarats modernes	21 600 m ³ /jour

CONCLUSION

Au vu de ce qui a été préalablement avancé, les différentes réalisations d'un projet d'aménagement dans un bassin comme celui du Tensift, induisent des contraintes envers les potentialités existantes.

*L'élimination des eaux excédentaires en cas de pluies intensives détermine souvent les crues. Ces dernières nécessitent des ouvrages pour diminuer les dégâts dans les terres agricoles. (construction des petits barrages régulateurs de l'écoulement des oueds).

*L'absence d'un programme d'aménagement hydraulique bien rigoureux, fait que toutes les opérations de transfert des ressources en eau, sont effectuées intensivement par les différents vecteurs surtout pendant la période de juin à octobre.

*A l'échelle d'un bassin type comme celui du Tensift, à fortes variabilités climatiques et manques d'eau aigus, s'imposent des interventions spécifiques d'aménagement pour une maîtrise rigoureuse de tout le bassin; une véritable planification de l'eau serait nécessaire.

A vrai-dire, malgré les efforts d'aménagement et de maîtrise de l'eau dans le bassin, nous pouvons dire qu'ils sont toujours insuffisants, pour un bassin tel que le Tensift.

C/ BESOINS ET RESSOURCES EN EAU

I) LES BESOINS

Les besoins en eau des différents secteurs d'utilisation ne cessent d'évoluer. Ce poste représente les quantités nécessaires à utiliser pour subvenir aux besoins quotidiens des divers usages: domestiques, industriels et agricoles.

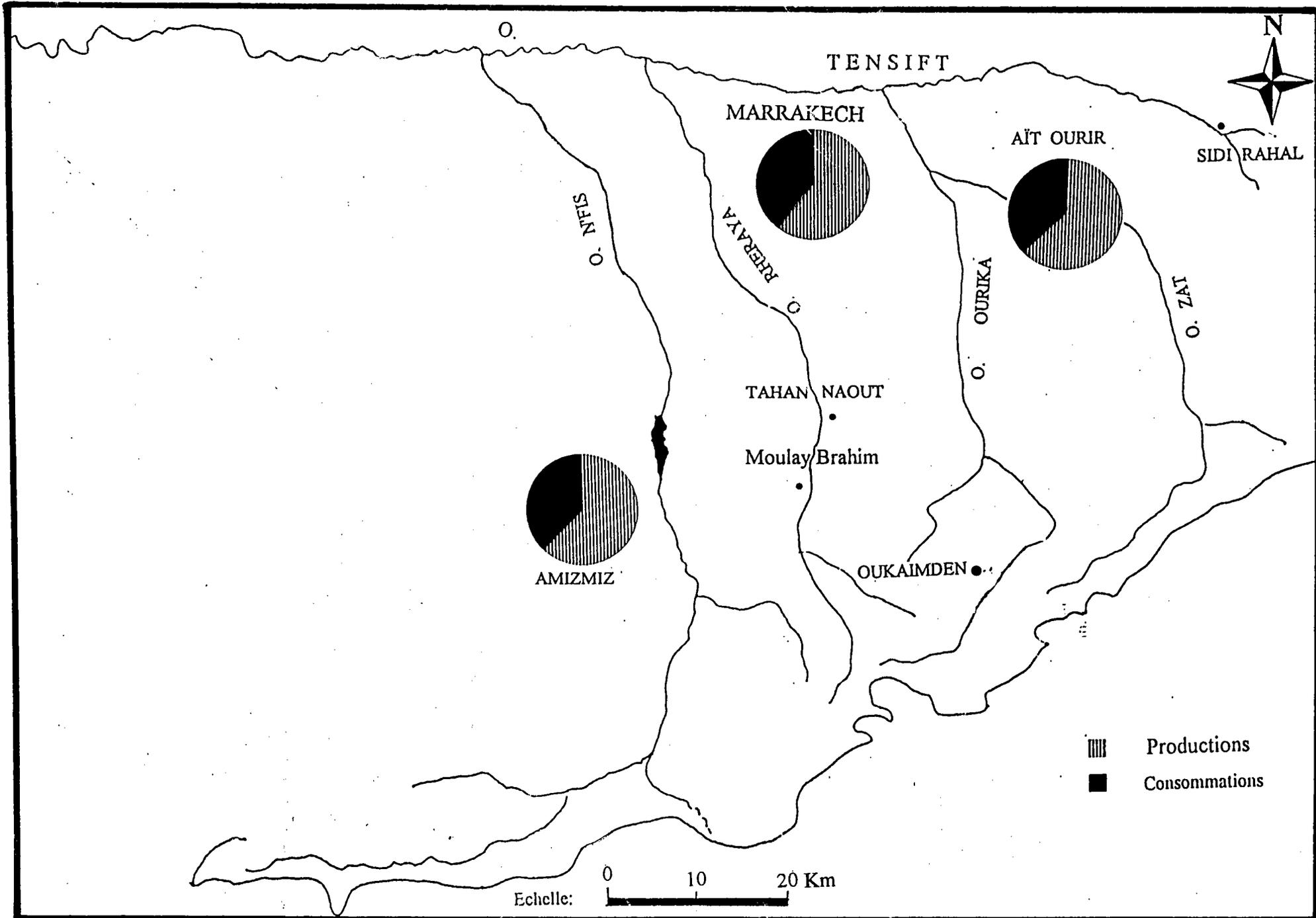
Ceci concerne les besoins en eau et non la consommation nette, traduisant la quantité d'eau soustraite provisoirement au cycle de l'eau. Les besoins se résument donc à la différence entre le volume prélevé et le volume restitué aux cours d'eau ou aux nappes souterraines.

Pour avoir une estimation des volumes d'eau nécessaires à la population, on s'est basé sur des paramètres socio-économiques tels le taux de croissance démographique (surtout urbain) et l'évolution du niveau de vie de la population. De plus on a pris en considération le domaine industriel: son évolution technologique joue sur la production.

Dans un troisième stade, on a traité le domaine agricole, (irrigation) dépendant de la situation climatique surtout au niveau des précipitations, et le déficit d'apport d'eau naturel par rapport aux besoins physiologiques des plantes.

1°) Les besoins domestiques

D'après l'étude démographique, nous voyons que la ville de Marrakech et les autres centres qui l'entourent connaissent une démographie importante et un taux d'urbanisation en évolution continue, traduisant par la suite un changement du mode de vie (le modernisme s'introduit dans les campagnes).



Ces deux paramètres, en plus de l'évolution des campagnes (modernisation de l'agriculture et du mode de vie), nous expliquent que la consommation d'eau potable évolue continuellement dans la région. Ces eaux sont soumises à des consommations diverses.

En plus du distributeur collectif, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech (R.A.D.E.E.MA), on peut dire qu'il existe des utilisateurs qui assurent en fait leurs propres prélèvements en eau (puits, sources etc...).

L'importance des besoins en eau dans le bassin-versant du Tensift apparaît clairement sur le tableau ci-après, présentant les volumes produits en eau et la quantité consommée dans certains centres urbains (Cf tableau n°50)

Tableau n°50 Les ressources et besoins annuels en eau

Centres urbains	Productions (m3)	Consommations (m3)	Cons.moy/hbt
Marrakech	46 942 000	30 568 389	69,5 m3/hbt
Amizmiz	372 869	220 651	2,14/ m3/hbt
Aït Ourir	371 046	2 187 236	18,4 / m3/hbt

Source: O.N.E.P, R.A.D.E.E.MA et R.A.D.E.E.S (1991)

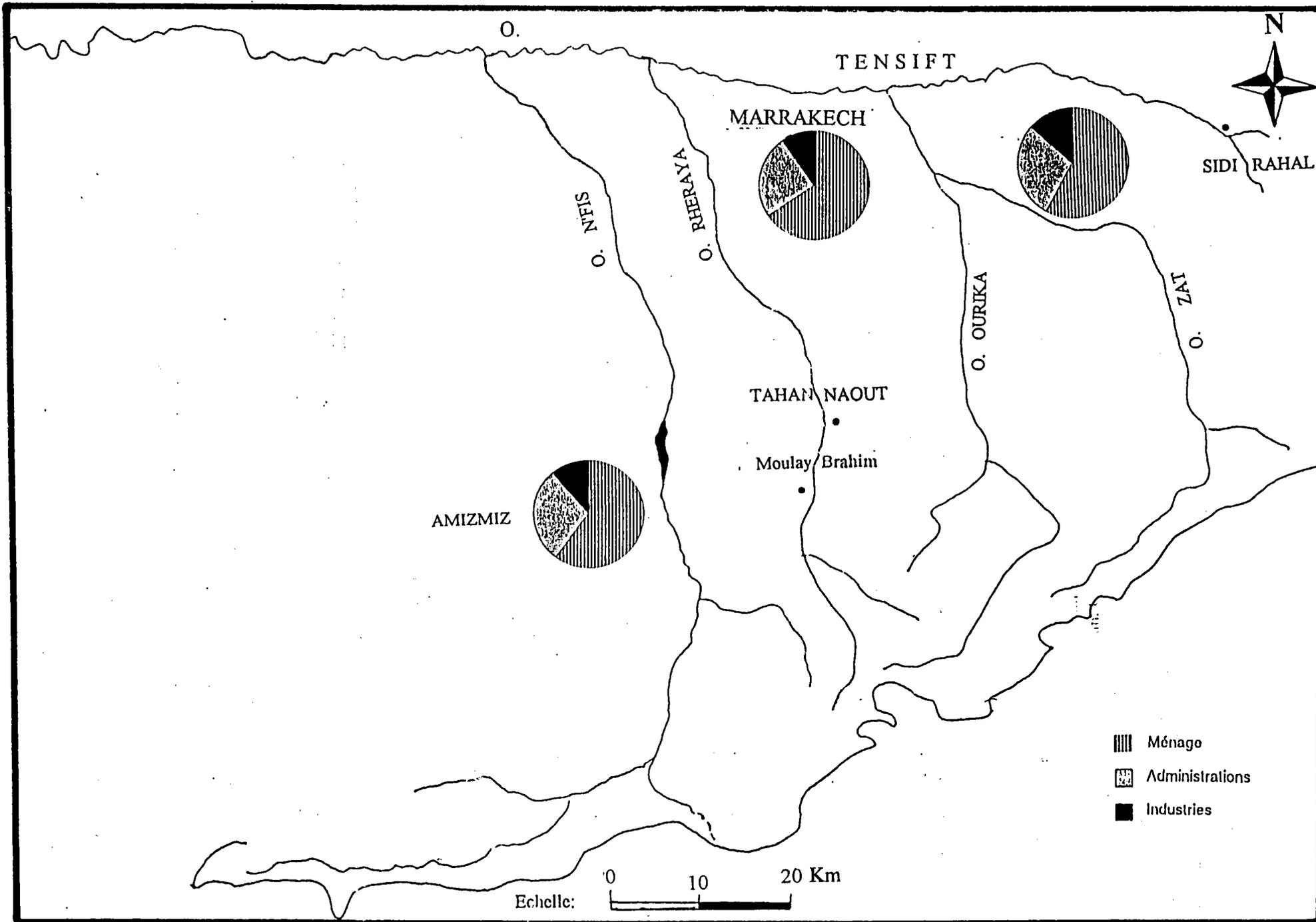
*Il s'agit des centres alimentés directement par l'O.N.E.P.

Les besoins en eau de 1991 sont de 44 776 059 m3 pour une population totale du bassin (y compris la province de Safi et El Kalaâ des Sraghna) de 22 65 519 habitants soit 54 l/j/habitant.

La ville de Marrakech qui compte 439 728 habitants représente à elle seule plus de 68% du volume total des besoins indiqués plus haut (Cf carte n°17). Pour les communes ce sont les besoins des agglomérations de chefs-lieux qui prédominent souvent: Amizmiz consomme 220 651 m3/s.

D'après ce qu'on a vu au préalable, on peut dire que les besoins en eau potable connaissent une évolution géométrique en fonction de l'accroissement démographique.

Suite à cet accroissement, les besoins en eau n'ont pas cessé d'augmenter jusqu'à ce qu'ils atteignent 30 568 389 m3 en 1991, pour la ville de Marrakech.



Autrement dit les besoins prévus pour l'année 1991 seront doublés en l'an 2001: ceci est lié au niveau de vie et au taux de croissance ainsi qu'au développement de certains secteurs (industries surtout alimentaires; tourisme etc...).

L'importance de la part réservée aux usages domestiques et publics est représentée dans le tableau suivant:

Tableau n°51 Les consommations domestiques et administratives en eau
(en m³)

Municipalités et c.u	Domestique	%	Administration	%	Conso.Totale
Wilaya de Marrakech	20 799 324	55,7	7 855 919	24,8	31 658 654
Ville de Marrakech	20 057 080	65,6	7 618 719	24,9	30 568 389
Centre d'Ait Ourir	132 323	60,5	63 269	28,9	218 726
Centre d'Amizmiz	129 450	58,7	61 834	28	220 651

Source: O.N.E.P, R.A.D.E.E.MA et R.A.D.E.E.S (1991)

D'après le tableau précédent nous pouvons conclure que les besoins domestiques de la ville de Marrakech représentent 65,6% des besoins globaux pour l'année 1991, alors que les consommations administratives ne dépassent pas 25%.

Généralement, partout dans les villes et centres urbains au sein du bassin-versant du Tensift, les besoins domestiques et administratifs sont les plus importants (Cf carte n°18).

Bref, nous concluons que les besoins domestiques dominent les autres types de consommations.

2°) Les besoins industriels

Les besoins en eau industriels, sont liés aux fonctions de refroidissement des machines et à la production des produits industriels surtout alimentaires. Ils sont variables selon l'importance et le type de production: des produits alimentaires (confiseries; boissons...) et les matériaux de construction.

L'évolution des besoins en eau industriels dans le bassin est tirée des études et les enquêtes faites par l'O.N.E.P. et la R.A.D.E.E.MA. Les chiffres de consommation sont visualisés dans le tableau suivant:

Tableau n°52 L'évolution des besoins industriels

Municipalités et Centres urbains	Consom.totales	Consommation des entreprises	%
*W. Marrakech	31 658 654	3 003 411	9,5
*V. Marrakech	30 568 389	2 892 590	9,5
C.Aït Ourir	218 726	23 134	10,6
C.Amizmiz	220 651	29 367	13,3

Source: O.N.E.P, R.A.D.E.E.MA et R.A.D.E.E.S.(1991)

NB: V= Ville et W= Wilaya

D'après le tableau précédent, nous constatons qu'en comparaison avec les autres types de consommations (domestiques et publics) les besoins industriels sont moins importants. Ils ne dépassent pas 9,5% de la consommation totale à Marrakech, 10% à Aït Ourir et 13,3% à Amizmiz. Donc, ils sont en général faibles, puisque dans tout le bassin les industries sont légères, reposant en principe sur la production alimentaire et les matériaux de construction.

Une grande partie des volumes d'eau est réservée pour la ville de Marrakech. Au deuxième rang vient se placer le centre d'Amizmiz et au troisième le centre d'Aït Ourir.

Mais en général, les besoins en eau industriels restent moins importants en comparaison avec les autres sortes de consommation.

3°) Les besoins agricoles

Comme partout dans tout le Maroc, la priorité de l'eau est accordée en premier à l'usage domestique et secondairement à l'usage industriel. Tandis que l'agriculture prend la troisième place.

L'irrigation, généralement, se fait directement depuis les sources ou les cours d'eau ou par pompage des eaux des nappes souterraines. La région du Haouz en général et Marrakech en particulier, situées au sud marocain, connaissent des conditions climatiques caractérisées par une aridité relativement importante. Ce qui se traduit par une insuffisance d'eau notamment en période estivale, et nécessite le recours à l'irrigation qui occupe une place importante parmi les autres usages.

Globalement l'irrigation se fait directement des sources ou des cours d'eau par les séguias (canal d'irrigation) ou par les pompages de la nappe. Mais la détermination des besoins en eau dépend des demandes qui sont liées à l'importance du déficit hydrique, lui même

fonction des conditions climatiques et de l'état des réserves en eau du sol.

Mais en milieu rural, les réseaux de distribution collectifs ne peuvent jamais être contrôlés en raison de la nature technique des différents systèmes d'alimentation (Khettarats, séguias etc...): on contrôle les débits d'une station de pompage, mais pas ceux d'une galerie drainante et du système de séguias qui la prolonge.

La connaissance des superficies actuellement irriguées dans le bassin selon le ministère de l'agriculture et l'office régional de la mise en valeur du Haouz de Marrakech (O.R.M.V.H.M) serait en quelques sorte incorrecte, en raison du caractère souvent aléatoire de l'irrigation, qui se fait fréquemment directement des cours d'eau et des sources, puits, ou de la nappe, par des canaux d'irrigation (séguias et khettarats etc...).

Dans le bassin-versant du Tensift y compris la zone orientale (oued Tassaout), les secteurs irrigués les plus importants couvrent une superficie de 200 000 ha sur un total de 1 015 300 ha, soit 20% de la superficie, comme présenté dans le tableau ci après:

Tableau n°53 Les zones irriguées dans le bassin du Tensift (en ha)

Bassins hydrauliques	Zones des séguias			Zones eaux souterraines	Total
	sous zone séguias seules	Sous zone mixte	Total	Eaux purement souterraines	
Haouz occidental (N'fis)	48,5 ha	22,3 ha	70,8 ha	16,5 ha	87,3 ha
Haouz central Rheraya-Ourika	30,5 ha	32 ha	62,5 ha	20 ha	82,5 ha
Zat	17 ha	0,3 ha	20 ha	10,6 ha	30,6 ha
Total	96 ha	57,3 ha	153,3 ha	47,1 ha	200,4 ha

Source: Service hydraulique et O.R.M.V.H.M

N.B: Zone mixte= zone sous séguias et eaux souterraines

Cette zone représente donc 57% de la superficie agricole brute irriguée dans le grand bassin du Haouz y compris la partie orientale (350 000 ha). Ces terres ont des besoins en eau, qui sont variables en fonction de l'irrégularité du climat; cependant des transferts peuvent se faire d'une région à l'autre.

Les besoins en eau de ces zones d'irrigation sont considérés importants. Leur évaluation se fait comme suit (tableau n°54):

Tableau n°54 L'utilisation d'eau dans le Haouz (en million de m³)

Bassins hydrauliques	Oueds	Apport moy. ann.disponible	Prélévs moy. ann.des séguias	Coeff. d'utilisation
Haouz occidental	N'Fis	160	100	62,5%
Haouz central	Rheraya	58	48	82,75%
Rheraya-Ourika	Ourika	180	142	78,9%
Zat	Zat	150	107	71,3%
Total	/	548	397	72,4%

Source: service hydraulique et O.R.M.V.H.M

D'après ce tableau, nous pouvons dire que l'irrigation nécessite de grandes quantités d'eau: les besoins s'élèvent à plus de 397 millions de m³/an soit 72% des apports moyens annuels (apport des cours d'eau et de la nappe).

Ces prélèvements pour l'irrigation dans le milieu rural sont soumis à une loi de rationnement (répartition de temps d'irrigation par les eaux entre individus, *Douars et tribus etc...).

En conclusion, vu la situation de la région en milieu semi-aride, et d'après ce qu'on a vu au préalable, nous pouvons faire les remarques suivantes:

*L'approvisionnement en eau potable présente actuellement un problème important sur le plan quantitatif et il sera accru du fait de la croissance démographique et urbaine qui ne cessent d'évoluer.

*En ce qui concerne l'industrie, les besoins en eau sont limités par rapport aux autres usages.

*Douars: regroupement d'habitation à la campagne

II) LE BILAN DE L'EAU DANS LE HAOUZ

Les besoins en eau étant déterminés, il reste maintenant à préciser si les ressources mobilisées arrivent à couvrir les besoins actuels et si les disponibilités potentielles en eau dans la région du Tensift "Haouz" sont suffisantes en valeurs moyennes pour répondre à l'accroissement de la demande sectorielle en eau. C'est dans cette optique que nous allons établir le bilan ressources-besoins en eau.

La consommation de l'eau est difficile à chiffrer avec rigueur, vu le manque de relevés réguliers et fiables sur les volumes d'eau prélevés et distribués, que se soit en milieu urbain ou rural. L'établissement d'un bilan ressources-besoins précis se heurte à la diversité des modes de prélèvement et de distribution de l'eau.

L'importance des besoins en eau dans la région du Tensift apparaît clairement sur le tableau ci-après, présentant les volumes produits en eau et la quantité consommée dans certains centres urbains

Tableau n°55 Production et consommation en eau dans quelques centres urbains dans le bassin du Tensift

Centres urbains	Production	Consommation	Taux de satisfaction
Marrakech	46 942 000	30 568 389	65%
Amizmiz	372 869	220 651	59%
Aït Ourir	371 046	218 726	59%

Source: O.N.E.P, R.A.D.E.E.MA et R.A.D.E.E.S. (1991)

Les besoins en eau de l'année 1991 sont de 44 776 059 m³ pour une population totale du bassin (y compris la province de Safi et El Kalâa des Sraghna) de 2 265 519 habitants soit 54 l/j/habitant.

La ville de Marrakech qui compte 439 728 habitants a elle seule représente plus de 68% du volume total des besoins indiqués plus haut (Cf carte n°17); pour les communes ce sont les besoins des agglomérations des chefs-lieux qui prédominent souvent: Amizmiz consomme par exemple 220 651 m³.

Le déficit d'alimentation est de 35% à Marrakech et 41% à Amizmiz et Aït Ourir. Ce déficit d'alimentation en eau touche la quasi totalité des agglomérations situées dans tout le bassin du Tensift, où les conditions hydroclimatiques sont relativement défavorables, alors que la population "urbaine" et les industries y sont plus représentées qu'ailleurs.

Par ailleurs, en période estivale et au cours des années sèches les services responsables de la distribution d'eau (O.N.E.P et R.A.D.E.E.MA) sont obligés de suivre une politique de rationnement quotidien.

Les ressources en eau utilisées dans le bassin du Tensift sont en quasi-totalité d'origine souterraine. Mais quelle que soit l'origine des ressources, elles restent faibles devant les besoins, qui ne cessent de croître, donc, une exploitation et une utilisation rationnelles de l'eau s'imposent sur le plan quantitatif et qualitatif.

CONCLUSION

Généralement, ces besoins sont variables selon les saisons. En effet, pendant la saison hivernale les besoins sont minimes par rapport aux eaux abondantes, alors qu'en période estivale les besoins sont immenses et sont aggravés par le manque de précipitations.

chapitre second

PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

A travers cette étude, on a cerné les problèmes hydrologiques dans le bassin-versant du Tensift. Ce dernier nécessite l'établissement d'aménagements.

A/ PROPOSITIONS POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES CARACTERISTIQUES HYDROCLIMATIQUES DU HAOUZ ET DU VERSANT SEPTENTRIONAL DU HAUT-ATLAS

I) EQUIPEMENTS PLUVIO-THERMIQUES

Le sous équipement en postes météorologiques est aggravé par une forte disparité géographique du réseau: la partie sud du bassin, la plus montagneuse et la plus arrosée, est paradoxalement la plus dépourvue en postes pluviométriques. Donc, la bonne gestion des ressources en eau, impose le développement du réseau météorologique. En effet, il serait nécessaire d'installer de nouveaux postes de mesures pluviométriques et thermométriques dans tout le bassin-versant du Tensift, notamment dans le massif montagneux du Haut-Atlas, afin de combler les lacunes du réseau et mieux connaître l'influence des facteurs orographiques et mieux établir la part de ces apports pluviométriques dans le bilan des oueds.

De même il est indispensable d'implanter les postes de mesure de la neige.

II) EQUIPEMENT HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Pour une bonne gestion hydrologique, il est indispensable d'implanter de nouvelles stations hydrométriques au sein de chaque bassin-versant à travers le parcours des oueds de l'amont vers l'aval: afin d'en connaître le comportement hydrologique dans les différentes parties des bassins.

La perte d'eau provoque un énorme besoin dans la région du Tensift "Haouz" donc, il serait nécessaire de construire des barrages réservoirs afin de stocker les eaux superficielles, qui se perdent continuellement dans la mer (par le grand collecteur qu'est l'oued Tensift entre Safi et Essaouira).

Ces projets faciliteraient le transfert des eaux aux zones souffrant du manque d'eau: ainsi ils permettraient d'irriguer de nombreux hectares de terres. A ce moment là il serait nécessaire de développer l'agriculture intensive. Mais ces barrages induisent plusieurs problèmes tels que la salinité des terres irriguées. En plus, la construction de ces barrages-réservoir nécessite une maintien continu

d'un débit suffisant et stable dans les lits naturels des oueds, afin d'éviter l'altération du régime des nappes alluviales et éviter en même temps la concentration des éléments polluants.

Ces barrages ont pour but de régulariser les régimes des oueds et d'affaiblir les dégats des crues. Mais la durée d'utilisation vis-à-vis du financement, se heurte souvent au problème d'envasement, qui la réduit. Donc, avant tout projet de ce genre, il serait nécessaire d'établir au préalable une étude et un traitement technique et biologique des bassins fluviaux.

Ces projets de barrages sont réalisables, mais à long terme et demandent la mise en oeuvre de moyens importants et multiples; donc il est primordial de commencer ces travaux dans les bassins prioritaires (nécessitant d'urgence ces aménagements).

En plus les barrages, pourraient être complétés par des retenues collinaires, maîtrisables à l'échelle des petits bassins et d'une commune. Ces retenues peuvent apporter un appoint pour l'irrigation en été par leurs réserves d'eau accumulées en période pluvieuse. Le soutien des niveaux d'eau dans l'oued Tensift et les bassins atlasiques doit être assuré par un système de vidange contrôlé en période sèche.

Par ailleurs, il serait indispensable de construire des réservoirs pour retenir les eaux des orages, surtout en été. Ce projet permettrait de faciliter l'irrigation par les réserves des eaux accumulées.

Les ressources en eau souterraine doivent être gérées avec prudence en raison de leurs caractéristiques (propreté et qualité physico-chimique en général meilleures).

La qualité des eaux superficielles doit être maintenue par la lutte contre la pollution due aux rejets des déchets urbains et industriels; en plus il faut diminuer les pollutions des engrais chimiques et des pesticides utilisés en agriculture, qui favorisent la pollution des nappes phréatiques et des oueds.

CONCLUSION

La diversité des milieux géographiques du bassin nécessite la réalisation d'aménagements météorologiques et hydrologiques, pour mieux connaître leurs potentialités et leurs contraintes. C'est seulement ainsi qu'on pourra bien gérer les ressources en eau.

B/ PROPOSITIONS POUR LUTTER CONTRE L'EROSION ET LES CRUES

I) LE REBOISEMENT

Pour une maîtrise solide du milieu physique, il faut reboiser la région du Tensift (terres nues) par des espèces adaptées à la semi aridité. Ceci mène à une atténuation du ruissellement torrentiel et favorise par la suite un maintien des sols, et évite le phénomène d'érosion qui a pour conséquence une dégradation du milieu naturel des bassins. Ce qui impose une collaboration entre les services forestiers et les services techniques de construction des barrages.

II) LA STABILISATION DES BERGES

En plus de l'installation des retenues collinaires, la protection des terres contre les crues, nécessite un grand effort pour la stabilisation des berges des oueds. Ce qui favoriserait une diminution de la charge solide transportée par les oueds et permettrait d'éviter le problème d'envasement à l'amont des barrages.

CONCLUSION

Ces propositions forment une nécessité pour lutter contre la dégradation des sols (érosion...).

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

Dans cette troisième partie, les deux chapitres abordés ont deux objectifs à la fois distincts et complémentaires des problèmes d'utilisation et des besoins en eau et l'aménagement des ressources hydrauliques:

-Un objectif quantitatif global qui a permis de cerner l'importance de la consommation et des besoins en eau dans le bassin du Tensift en général. Ainsi on a établi le bilan ressources besoins sur le plan sectoriel et temporel.

- Un objectif pour montrer la spécificité des problèmes de l'eau selon les espaces géographiques et la nécessité des aménagements hydrauliques adaptés.

Cette démarche nous a mené à dégager quelques éléments d'aménagement global, visant à valoriser au maximum le potentiel "eau": transferts hydrauliques dans le cadre d'une complémentarité régionale de l'eau.

CONCLUSION GENERALE

Les oueds atlasiques, affluents du Tensift, se caractérisent par un substratum varié: leur amont s'inscrit dans des granites et des basaltes primaires alors que leurs parties médiane et avale se posent sur des schistes, grés, argiles, calcaires, marnes, calcaires marneux et conglomérats.

L'étude climatique de la région du Tensift, était relativement délicate, du fait du manque de stations dans la partie amont (massif du Haut-Atlas) et du fait de la faiblesse des postes climatologiques et de leur mauvaise répartition dans l'espace.

Le climat du bassin est de type méditerranéen à tendance subaride, avec une nuance de continentalité qui se caractérise par une forte amplitude moyenne de températures (37°C) avec 4,1°C en janvier 1984 et 41,1°C en juillet, et un renforcement des précipitations de l'ouest à l'est et du nord au sud.

L'effet orographique est bien présent dans la partie amont (massif axial du Haut-Atlas) où les précipitation sont abondantes, elles seraient de plus de 2000 mm.

La variabilité interannuelle des pluies est importante, elle se caractérise par une succession de séquences sèches et de séquences humides.

Pour le bilan hydrique nous constatons que le déficit d'écoulement varie entre les bassins-versants:

*au N'Fis pour une pluie de 369 mm à la station de Imin el hamam, la demande hydrique est d'environ 568 mm.

*Au Rheraya la demande hydrique est de 647 mm pour une pluie annuelle de 450 mm à la station de Tahannaout.

*Pour le bassin-versant de l'Ourika nous constatons une demande hydrique de 797 mm qui correspond à une pluie de 464 mm à la station de Dar kaïd el Ouriki.

Le bassin-versant du Zat présente une demande hydrique de 658 mm pour une pluie de 565 mm.

Ceci nous montre que les demandes hydriques sont élevées dans tous les bassins et dépassent l'ETP de THORNTHWAITE.

Pour l'hydrologie, on a étudié le régime hydrologique à l'échelle annuelle et à l'échelle mensuelle dans tous les bassins versants atlasiques (période 1969/70-1985/86). La différence est très nette entre tous les bassins.

La variabilité des écoulements annuels répond à celle de la pluviométrie.

Les débits extrêmes, ont été traités statistiquement (débits fréquents des crues et des étiages). Quelques épisodes de crues et d'étiages ont également été étudiés.

En dernière partie, nous avons traité du bilan des ressources et besoins en eau, de la mise en valeur dans la région du Tensift et de problèmes rencontrés pour la réalisation de certains projets d'aménagement. Enfin, certains aménagements ont été proposés.

TABLE DES MATIERES

	Page
DEDICACE	1
REMERCIEMENTS	2
INTRODUCTION	4

Première partie

<u>LES GRANDS MILIEUX DU BASSIN-VERSANT ET L'ORGANISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'OUED TENSIFT</u>	
Introduction	9
<u>A/ LES MONTAGNES DU HAUT-ATLAS OCCIDENTAL ET CENTRAL</u>	9
I) RELIEF ET STRUCTURE	9
1°) La haute montagne	11
2°) La moyenne montagne	11
II) CLIMAT ET COUVERT VEGETAL	12
III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	12
<u>B/ LA ZONE OCCIDENTALE DES COLLINES ET PLATEAUX</u>	13
I) RELIEF ET STRUCTURE	13
II) CLIMAT ET COUVERT VEGETAL	13
III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	14
<u>C/ LA PLAINE DU HAOUZ</u>	14
I) RELIEF ET STRUCTURE	14
II) CLIMAT ET COUVERT VGETAL	15
III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	15

D/ <u>LES DJEBILETTES</u>	16
I) RELIEF ET STRUCTURE	16
II) CLIMAT ET COUVERT VEGETAL	16
III) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	17
CONCLUSION	17

Deuxième partie

LES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES ATLASIQUES DE L'OUED TENSIFT

INTRODUCTION	19
--------------	----

CHAPITRE I: LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU RESEAU ATLASIQUE DE L'OUED TENSIFT

A/ <u>LES PAYSAGES</u>	21
I) LE RELIEF	21
II) LA STRUCTURE	22
1°) Le substratum	25
a) géologie	25
b) perméabilité	29
2°) La tectonique	33
a) La tectonique hercynienne	33
b) La tectonique atlasique	33
III) LE COUVERT VEGETAL	34
1°) Les types de couverts végétaux	34
2°) La répartition du couvert végétal et son influence sur les écoulements	39
a) Etagement	40
b) Discontinuité	41
IV) ORGANISATION ET CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES BASSINS-VERSANTS ATLASIQUES	44
1°) Superficie et forme	44
a) La superficie	44
b) Indices de relief et de forme	46
-altitudes	46

-pentes et relief	48
-forme des bassins	49
2°) Le réseau hydrographique	52
a) Présentation	52
b) Hierarchisation et densité de drainage	57
- hierarchisation	57
- densité de drainage	63
c) Profil en long	65
CONCLUSION	70
<u>B/ LES FACTEURS CLIMATIQUES ET LEUR VARIABILITE</u>	71
I) LES PRECIPITATION DANS LES BASSINS ATLASIQUES	77
1°) Critique et homogénéisation des données pluviométriques	77
a) Le réseau pluviométrique et le choix de la période d'étude	77
b) Critique des données pluviométriques	79
c) Homogénéisation des données et comblement des lacunes	80
- méthode du double cumul	81
- méthode du simple cumul	82
- comblement des lacunes	84
CONCLUSION	87
2°) Les précipitations annuelles et leur irrégularité spatiale et temporelle	87
a) La variabilité annuelle	87
b) Etude fréquentielle des précipitations annuelles	89
c) Les nuances pluviométriques spatiales	92
CONCLUSION	94
3°) La variabilité des précipitations mensuelles et leur régime saisonnier	94
a) Les précipitations mensuelles	94
b) Les régimes pluviométriques saisonniers	96
4°) Estimation des apports pluviométriques dans les bassins atlasiques	98
a) La méthode de Thiessen	98
b) La méthode des isohyettes	98
c) La méthode du gradient pluviométrique	101

II) LES FACTEURS THERMIQUES ET LEUR POIDS DANS LE BILAN HYDRIQUE	104
1°) Le régime thermique	104
a) Le réseau de mesure et son aspect	104
b) Le régime saisonnier	106
2°) L'évapotranspiration	107
3°) Bilans hydriques des bassins-versants atlasiques de l'oued Tensift	109
CONCLUSION	113
<u>CHAPITRE II: L'HYDROLOGIE DES BASSINS-VERSANTS ATLASIQUES DE L'OUED TENSIFT</u>	
Introduction	115
<u>A/ LES DONNEES HYDROMETRIQUES</u>	117
I) LES STATIONS ET SERIES HUDROMETRIQUES DISPONIBLES	117
II) CRITIQUE ET HOMOGEESISATION DES DEBITS	119
1°) Critiques des données hydrométriques	119
2°) Homogénéisation des données hydrométriques	120
a) Méthode des doubles cumuls	120
b) Méthode du simple cumul	122
3°) Le choix de l'année hydrologique	123
CONCLUSION	125
<u>B/ LA VARIATION TEMPORELLE ET SPATIALE DES ECOULEMENTS</u>	125
I) LES MODULES ANNUELS	125
1°) Les modules annuels et leur variabilité spatiale	125
2°) La variabilité interannuel des modules	129
3°) Etude fréquentielle des modules annuels	134
II) LES REGIMES HYDROLOGIQUES	141
1°) La variabilité des débits mensuels	141
2°) Les régimes saisonniers et leur variabilité spatiale	145
a) Le coefficient de variation	151
-Les bassins orientaux	152

-Les bassins occidentaux	152
c) Les débits spécifiques	153
III) LES PHASES HYDROLOGIQUES EXTREMES	155
1°) Les crues	155
a) Formation et évolution des crues	156
b) analyse de la crue d'avril 1974	157
c) Les puissance des crues et leur durée de récurrence	160
-Coefficient de puissance	160
-Rapport entre débit de pointe et débit moyen journalier	164
-Fréquence de retour des crues annuelles	165
2°) Les étiages	170
a) Genèse et variabilité spatiale des étiages	171
b) Sévérité et récurrence des étiages	175
- Indice de sévérité	177
- Les débits fréquentiels des étiages	179
CONCLUSION	182
<u>C/ BILANS HYDROLOGIQUES DES BASSINS-VERSANTS ATLASIQUES</u>	
<u>DE L'OUED TENSIFT</u>	183
I) BILANS ANNUELS	184
II) BILANS SAISONNIERS	185
III) LES DISPONIBILITE EN EAU	188
1°) Eaux de surface	188
2°) Eaux souterraines	188
CONCLUSION	189
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	190

Troisième partie

ELEMENTS POUR L'AMENAGEMENT DU HAOUZ

INTRODUCTION	193
<u>CHAPITRE I: LES PROBLEMES DE L'EAU DANS LA MISE EN VALEUR DU HAOUZ</u>	
Introduction	194

<u>A/ LA MISE EN VALEUR DANS LE BASSIN DU TENSIFT</u>	194
I) HISTORIQUE	194
II) L'EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE	195
CONCLUSION	196
<u>B/ LA MOBILISATION DES EAUX</u>	196
I) MOBILISATION DES EAUX DANS LE MASSIF DU HAUT-ATLAS	
II) MOBILISATION DES EAUX SUPERFICIELLES DANS LA PLAINE DU HAOUZ	200
1°) Aménagements traditionnels	200
2°) Aménagements modernes	201
II) MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES	203
1°) Les systèmes traditionnels	203
a) Les puits	203
b) Les khettarats	203
2°) Les systèmes modernes	204
a) Le pompage	204
b) Les khettarats modernes et drains	205
CONCLUSION	205
<u>C/ BESOINS ET RESSOURCES EN EAUX</u>	206
I) LES BESOINS	206
1°) Les besoins domestiques	206
2°) Les besoins industriels	210
3°) Les besoins agricoles	211
II) LE BILAN DE L'EAU DANS LE HAOUZ	214
CONCLUSION	215
CHAPITRE II: PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT	
<u>A/ PROPOSITION POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES CARACTERISTIQUES HYDROCLIMATIQUES DU HAOUZ ET DU VERSANT SEPTENTRIONAL DU HAUT-ATLAS</u>	
I) EQUIPEMENT PLUVIO-THERMIQUE	217
II) EQUIPEMENT HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	217

CONCLUSION	218
<u>B/ PROPOSITIONS POUR LUTTER CONTRE L'EROSION ET LES CRUES</u>	219
I) LE REBOISEMENT	219
II) LA STABILISATION DES BERGES	219
CONCLUSION	219
CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	220
CONCLUSION GENERALE	221

LISTE DES TABLEAUX

Page		
Tableau n°1	Echelle litho-stratigraphique	24
Tableau n°2	La perméabilité	29
Tableau n°3	Les types principaux de végétations	36
Tableau n°4	L'importance du massif forestier	38
Tableau n°5	Les indices de relief	46
Tableau n°6	Les altitudes des bassins-versant atlasiques	46
Tableau n°7	Les indices de pentes	48
Tableau n°8	L'indice d'Horton	51
Tableau n°9	Les indices du rectangle équivalent	51
Tableau n°10	Tableau de quelques sous bassins-versants au nord du massif forestier	53
Tableau n°11	Les longueurs des oueds	55
Tableau n°12	La classification de SCHUMM	57
Tableau n°13	Tableau de la densité de drainage	63
Tableau n°14	La situation altitudinale des stations météorologiques	83
Tableau n°15	Les séquences humides et sèches (pluies)	84
Tableau n°16	Les coefficients de corrélations des stations pluviométriques	86
Tableau n°17	Les pluies annuelles à Marrakech-aéro	87
Tableau n°18	Les pluies classées et leur fréquences à Marrakech-aéro	91
Tableau n°19	Les pluies annuelles fréquentielles	92
Tableau n°20	Les pluies mensuelles moyennes à Marrakech-aéro	94
Tableau n°21	Le gradient pluviométrique	103
Tableau n°22	Les températures mensuelles moyennes à Marrakech-aéro et Zaouia lalla Takerkoust	106
Tableau n°23	Le bilan hydrique au bassin du N'fis	111

Tableau n°23a	Le bilan hydrique au bassin du Rheraya	111
Tableau n°23b	Le bilan hydrique au bassin de l'Ourika	111
Tableau n°23c	Le bilan hydrique au bassin du Zat	111
Tableau n°24	Les stations hydrométriques	119
Tableau n°25	Les coefficients de corrélation pour les stations (Aghbalou et Tahannaout)	120
Tableau n°26	La variabilité des débits annuels moyens	124
Tableau n°27	Les prélèvements moyens annuels des Séguias	127
Tableau n°28	Les débits annuels moyens	128
Tableau n°29	Les coefficients de variation des débits moyens annuels	130
Tableau n°30	Les modules des débits et des pluies annuels à Tahannaout	132
Tableau n°31	Les distributions statistiques des débits annuels	135
Tableau n°32	Les distributions statistiques	137
Tableau n°33	Les débits annuels fréquentiels	139
Tableau n°34	Les débits mensuels moyens des bassins atlasiques	143
Tableau n°35	Les coefficients mensuels des débits	147
Tableau n°36	Les coefficients de variations des bassins atlasiques	151
Tableau n°37	Les débits spécifiques	154
Tableau n°38	La variabilité des débits instantanés maximaux dans les bassins atlasiques	161
Tableau n°39	Les débits journaliers instantanés maximaux	163
Tableau n°40	Les débits de crues fréquentielles	168
Tableau n°41	La variabilité de débits minimaux moyen annuels	173
Tableau n°42	Les indices de sévérité d'étiage	176
Tableau n°43	Les débits fréquentiels d'étiage	181
Tableau n°44	Le coefficient d'écoulement	184
Tableau n°45	Le bilan hydrologique annuel	184
Tableau n°46	Les bilans hydrologiques saisonniers	185
Tableau n°47	Les apports en eau à la station d'Abadla	187

Tableau n°48	L'évolution démographique des principaux centres urbains au sein de la région du Tensift	195
Tableau n°49	Tableau récapitulatif des prélèvements essentiels dans le bassin du Tensift	205
Tableau n°50	Les ressources et les besoins en eau	208
Tableau n°51	Les consommations domestiques et administratifs en eau	210
Tableau n°52	L'évolution des besoins en eau industriels	211
Tableau n°53	Les zones irriguées dans le bassin du Tensift	212
Tableau n°54	L'utilisation d'eau dans le Haouz	213
Tableau n° 55	Production et consommation en eau dans quelques centres urbains dans le bassin du Tensift	214

LISTE DES FIGURES

FIGURE n°	Page
1. Coupe géologique	27
2. Coupe géologique	27
3. Pourcentage des surfaces forestières par sous bassin	37
4. Courbe hypsométrique du bassin du N'fis	47
5. Courbe hypsométrique du bassin du Rheraya	47
6. Courbe hypsométrique du bassin de l'Ourika	47
7. Courbe hypsométrique du bassin du Zat	47
8 et 8a. Nombre des ordres des oueds N'fis et Rheraya	58
8b et 8c. Nombre des ordres des oueds Ourika et Zat	59
8d et 8e. Longueur des oueds N'fis et Rheraya	60
8f et 8g. Longueur des oueds ourika et Zat	61
9. Profil en long du N'fis	66
10. Profil en long du Rheraya	66
11. Profil en long de l'Ourika	68
12. Profil en long du Zat	68
13. Courbe Ombrothermique à la station de Marrakech-aéro	74
13a. Courbe Ombrothermique à la station de Marrakech-aéro et Zaouia lalla Takerkoust	74
14. Tableau sunoptique des déries d'observation pluviométriques	76
15. Pluies annuelles à Marrakech-aéro 1957-1986	88
16. Pluies annuelles fréquentielles à Marrakech-aéro (1967/68/1985/86)	90
17. Pluies mensuelles à Marrakech-aéro (1968-1986)	95
18. Pluies mensuelles à Marrakech-aéro 1982/83	97
19. Méthode du gradient pluviométrique dans la région du Tensift	102

20.	La variabilité des températures moyennes mensuelles à Marrakech-aéro (1967/68-1985/86)	105
20a.	La variabilité des températures moyennes mensuelles à Zaouia lalla Takerkoust (1967/68-1985/86)	105
21.	ETP annuelle de THORNTHWAITE dans le bassin-versant du Tensift (1967/68-1985/86)	108
22 à 22c.	ETR (Turc et Coutagne) dans les bassins atlasiques (1967/68-1985/86)	110
23.	Tableau synoptique de la série hydrométrique des affluents atlasiques	118
24 à 24e.	Débits moyens annuels dans les bassins atlasiques	126
25.	Rapport entre pluies et débits annuels à Tahannaout (1969/70-85/86)	131
26 à 26e.	Distribution statistiques des débits annuels	133
27.	Débits annuels fréquentsiels à Tahannaout	138
28 à 28e.	Débits moyens mensuels aux bassins-versants atlasiques (1969/70-1985/86)	140
29 à 29e.	Variations des coefficients mensuels des débits au aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)	146
30 à 30e.	Coefficient de variation des débits des bassins-versants atlasiques (1969/70-1985/86)	150
31 à 31d.	Débits des crues aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)	158
32 à 32e.	Distribution statistiques des débits de crues aux bassins-versants atlasiques (1969/70-1985/86)	165
33.	Débits instantanés maximaux annuels fréquentsiels à la station d'Aghbalou (1969/70-1985/86)	167
34 à 34e.	Débits d'étiage aux bassins atlasiques (1969/70-1985/86)	174
35 à 35e.	Distributions statistiques des débits d'étiages	178
36.	Débits fréquentsiels des étiages à la station d'Aghbalou (1969/70-1985/86)	180
37.	Schema du système du Khettarat	202
37a.	Principe de Drainage d'un Khettarat	202

LISTE DES CARTES

	Page	
Carte n°1	Carte de situation du bassin-versant de l'oued Tensift	8
Carte n°2	Carte de relief	10
Carte n°3	Carte géologique du bassin-versant du Tensift	23
Carte n°4	Carte de perméabilité	30
Carte n°5	Carte de tectonique	32
Carte n°6	Carte du massif forestier	35
Carte n°7	Carte des bassins atlasiques	43
Carte n°8	Carte hypsométrique	45
Carte n°9	Carte des dimensions d'Horton	50
Carte n°10	Carte du réseau hydrographique	54
Carte n°11	Carte de la hiérarchisation du réseau hydrographique	56
Carte n°12	Carte des stations climatiques	78
Carte n°13	Carte des isohyettes	100
Carte n°14	Carte des stations hydrométriques	116
Carte n°15	Carte du barrage de Lella Takerkoust	197
Carte n°16	Carte de la répartition des débits des Séguias à partir du barrage de prise de Tahannaout	199
Carte n°17	Carte des proportions des productions et des consommations en eau dans le Haouz	207
Carte n°18	Carte des proportions de consommations en eau différents secteurs	209

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUDET. G, JEANNETE. A MAZEAS J.P (1964)
Les dépôts du bas Tensift (Maroc occidental)
Etude géomorphologique. R.G.M n° 5
- BELLAOUI.A (1985)
Les pays de l'Adrar n-dern
Etude géographique du Haut-Atlas de Marrakech
Thèse de 3ème cycle
Tours
- BIROT.P (1964)
La méditerranée et le moyen orient
Presse universitaire de France
Paris
- CASTANY.G (1967)
Introduction à l'étude des courbes de tarissement.
Chronique d'hydrologie, n°10 BRGM P.23-30
- CASTANY.G (1967)
Traité pratique des eaux souterraines.
Dunod, deuxième édition
- CASTANY.G (1982)
Principes et méthodes de l'hydrogéologie.
Dunod Université
- CENTRE INTERUNIVERSITAIRE D'ETUDE MEDITERRANEENNES (1980)
Etudes méditerranéennes, fascicule 2
Etude de géographie physique
Poitiers

CHAHBOUN .A (1988)

Les formations sableuses fluviales littorales et éoliennes au
embouchures des oueds tensift, Ksob et Sous. Atlas Atlantique (Maroc).
Thèse de 3ème cycle

CHAUMONT.M (1968)

Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne et en
Afrique du nord et leur conséquences hydrologiques.
Blida

DELANNOY.H (1971)

Revue de géographie du Maroc n° 20
Rabat

DE OLIVERIA I.B. et PEREIRA L.S (1982)

Recherche et expérimentation sur les besoins en eau des cultures.
In homme, terre et eaux R.M des sciences agri.et vétérinaires n°47

DESPOIS.J & RAYNAL.R (1967)

Géographie de l'Afrique du nord-ouest
Paris

DESPOIS.J (1964)

L'Afrique blanche. I l'Afrique du nord
Paris

DEZERT.B et FRECAUT.R (1978)

L'économie des eaux continentales: aménagement et environnement
C.D.U.S.E.D.E.S
Paris

DRESCH.J (1941)

Recherches sur l'évolution du relief dans le massif central du
Grand-Atlas. Le Haouz et le Sous
Arrault et Cie maître imprimeur
Tours

DUBREUIL.P (1974)

Initiation à l'analyse hydrologique
Masson-ORSTOM
Paris

DURAND-DASTES F. (1977)

Système d'utilisations de l'eau dans le monde

EUVERTE G. (1959)

Les climats et l'agriculture

FRECAUT.R (1964a)

Eléments d'hydrologie continentale (C.D.U)
(cours de l'Université de Nancy)
Paris

FRECAUT.R (1971)

La Moselle et son bassin. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique
fluviale en milieu tempéré océanique
Thèse doct.état
Univ. Lille III

GIGOUT M. (1951)

"Le quaternaire marin" extrait des études géologiques sur la meseta
marocaine occidentale. (arrière pays de casablanca, mazagan et Safi)
publié par la soc.des Sc.nat du Maroc
Rabat

HEUSCH.B (1970)

L'érosion du Rif.une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans
les collinesmarneuses du pré-Rifoccidental. Extrait du rapport (1970)
Tome 12 de la station de recherches forestières de Rabat

INSTITUT SCI.CHERIFIEN <<SERVICE GEOLOGIQUE GEOG.PHYS.>> (1960)

L'Oum er-rebia.contribution à l'étude hydrologique d'un fleuve
marocain.
Rabat

KARST M. 1956

Alimentation en eau de Safi, notes préliminaires à l'étude des formations plio-quadernaires de la région: cap Cantin Oualidia, C.E.H.

KIM S. C.(1991)

Etude hydrologique de la mortagne (Lorraine)
Thèse de l'Univ.de Metz.

LABORDE.J.P (1979)

Eléments d'hydrologie de surface
Cours E.N.S.G.A.P.N. Institut national polytechnique Lorraine
Nancy

LOUP.J (1974)

Les eaux terrestres. Hydrologie continentale, collection initiation aux études de géographie. Masson
Paris

MARION.M (DECEMBRE,1973)

Les crues exceptionnelles de l'oued Tensift et de ses affluents.
Compte-rendu d'enquêtes.Ministère des travaux publics et des communications, direction de l'Hydraulique, division des ressources en eau.

MEBARKI.A (1982)

Les bassins du Kebir-rhumel (est algerien), hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau
Thèse de 3ème cycle
Nancy

MICHEL.C (1978)

Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux

METEOROLOGIE NATIONALE MAROCAINE (CASABLANCA)

Données pluviométriques (1967/68-1985/86)

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA REFORME AGRAIRE (1954)

Cartes topographiques au 1/500 000 ème (feuilles de Marrakech et de Ouarzazate)

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA REFORME AGRAIRE (1954)

Cartes topographiques au 1/100 000 ème, feuilles de Marrakech-ouest, Marrakech-est, Demnat, Amizmiz, Oukaïmden-Toubkal, Telouet, Tizi n'Test, taliouine et Tazenakht.

Dressées en collaboration par le service géologique du Maroc et l'annexe de l'institut géographique national à Rabat.

Publié par l'institut géographique national en 1954

MINISTERE DE L'ENERGIE

Service géologique du Maroc (1959)

Cartes géologiques au 1/500 000 ème (feuilles de Marrakech et de Ouarzazate; notes et mémoires n°70 (réimpression 1978)

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS

Hydrologie marocaine (période 1951-1955)

Publié par la circonscription de l'hydraulique et de l'électricité Rabat

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES COMMUNICATIONS (Mars 1976)

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE, DIVISION DES RESSOURCES EN EAU

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Hydrologie du bassin du Tensift

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS. CIRCONSCRIPTION DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'ELECTRICITE

Annuaire hydrologique du Maroc (période 1955-1959)

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS (RABAT; MAROC)

SERVICE DE L'HYDRAULIQUE

Données hydrométriques (1967/68-1985/86)

MOREAU.R (1982)

Etude des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift
au nord du Haouz de Marrakech différenciation géomorphologique,
lithologique, pédologique et paléogénèse (ORSTOM)

OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS (MAROC)

Annuaire hydraulique du Maroc (1959-1960)

OFFICE DE MISE EN VALEUR AGRICOLE (MAROC)

Annuaire hydrologique du Maroc (1961-1962)

OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS (DECEMBRE 1961)

Les hommes, la terre et l'eau

Bulletin de liaison et d'information de l'Office National des
Irrigations n°1

OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS (mai 1963)

Les hommes, la terre et l'eau

Bulletin de liaison et d'information de l'Office National des
Irrigations n°5

OFFICE DU HAOUZ (1968)

Les potentialités naturelles et la mise en valeur actuelle de la plaine
du Haouz

PARDE.M (1933)

Fleuves et rivières

Armand culin, collection U2, 5ème édition

Paris

PASCON.P (1977)

Le Haouz de Marrakech (2 tomes)

Pub. C.N.R.S / C.U.R.S I.A.V.H

Rabat

PASCON P. (1981)

Conseils pratiques pour la préparation des mémoires et des thèses
à l'usage des étudiants.

PASCON.P (1963)

Aménagement régional du Haouz
Rabat

PASCON.P (1962)

Les systèmes d'exploitation du sol dans le Haouz de Marrakech
R.G.M. n°1-2

REMENIERAS.G (1976)

L'hydrologie de l'ingénieur.
Editions Eyrolles
Paris

REVUE MAROCAINE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VETERINAIRES
(JUIN 1983)

Hommes, terres et eaux
13 ème année, volume 13, n°51

REVUE MAROCAINE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VETERINAIRES
(DECEMBRE, 1985)

Hommes, terres et eaux
volume 15 n°61

ROCHE.M (1963)

HYDROLOGIE DE SURFACE
Editions Gauthier-Villars
Paris

SCHOELLER.H (1962)

Les eaux souterraines.
Masson et Cie
Paris

SERVICE GEOLOGIQUE DU MAROC (1975)

Ressources en eau du Maroc, plaines et bassins du Maroc
Atlantique(TOME 2)
Rabat

SIRTOU M. (1989)

Etude hydro-climatologique du bassin-versant de la Vezouze.
Memoire complémentaire de D.E.A
Metz

TARIK F.(1987)

Contribution à l'estimation de l'aridité dans le Haouz de Marrakech.
Thèse de 3ème cycle
Paris IV

UNIVERSITE DE NANCY II (1982)

Eléments d'hydrologie et de dynamique fluviales.
Tome I hydrologie et dynamique fluviales des régions chaudes et
humides des basses altitudes

WEISROCK A. (1980)

Géomorphologie et paléoenvironnement de l'Atlas Atlantique (Maroc)
Thèse doct.d'état
Paris

WEISROCK A. (1981)

Variations du niveau de l'Océan et morphologie littorale du Haut-Atlas
depuis cent mille ans. Océans, volume 7. Fasc. 4.

ANNEXES

Annexe N° I Tableau du massif forestier du versant nord du Haut-Atlas

Massif forestier	Superficie (ha)	%	Rang
Goundafa nord	36273	12.21	4
Touggana	3420	1.15	11
Mesfioua (Zat)	45780	15.41	2
Ourika	38235	12.87	3
Rheraya	26898	9.05	5
Goundafa (N'fis)	85904	28.92	1
Guedmioua	21617	7.27	6
Seksaoua	12260	4.12	7
Douirane	9470	3.18	8
Mzouda	7750	2.6	10
Aït mhand ou Moussa	9415	3.16	9
Total	297022	100	

Source: Eaux et forêts, circonscription de Marrakech

Annexe N° II La longueur moyenne des oueds Atlasiques

BASSIN DE N'FIS

ORDRE	Nombre X	Long. X	Long.moy. X
1	465	1089	2.4
2	86	297.7	3.5
3	18	156.2	8.7
4	2	28	14
5	1	48	48

BASSIN DE RHERAYA

ORDRE	Nombre X	Long. X	Long.moy. X
1	93	188	2.02
2	14	53.6	3.8
3	2	32	16
4	1	17	17

BASSIN DE L'OURIKA

ORDRE	Nombre X	Long. X	Long.moy. X
1	198	353.8	1.9
2	45	112.7	2.5
3	7	74	10.6
4	1	22	22

BASSIN DU ZAT

ORDRE	Nombre X	Long. X	Long.moy. X
1	144	301	2.1
2	26	94.2	3.6
3	4	43.8	10.95
4	1	26.4	26.4

Annexe N° IIa Nombre des ordres des oueds Atlasiques

BASSIN DE N'FIS

ORDRE	Réseau total	Réseau pérenne	Réseau intermittent
1	465	8	448
2	86	14	72
3	18	10	8
4	2	2	néant
5	1	1	néant

BASSIN DE RHERAYA

ORDRE	Réseau total	Réseau pérenne	Réseau intermittent
1	93	néant	93
2	14	4	10
3	2	2	néant
4	1	1	néant

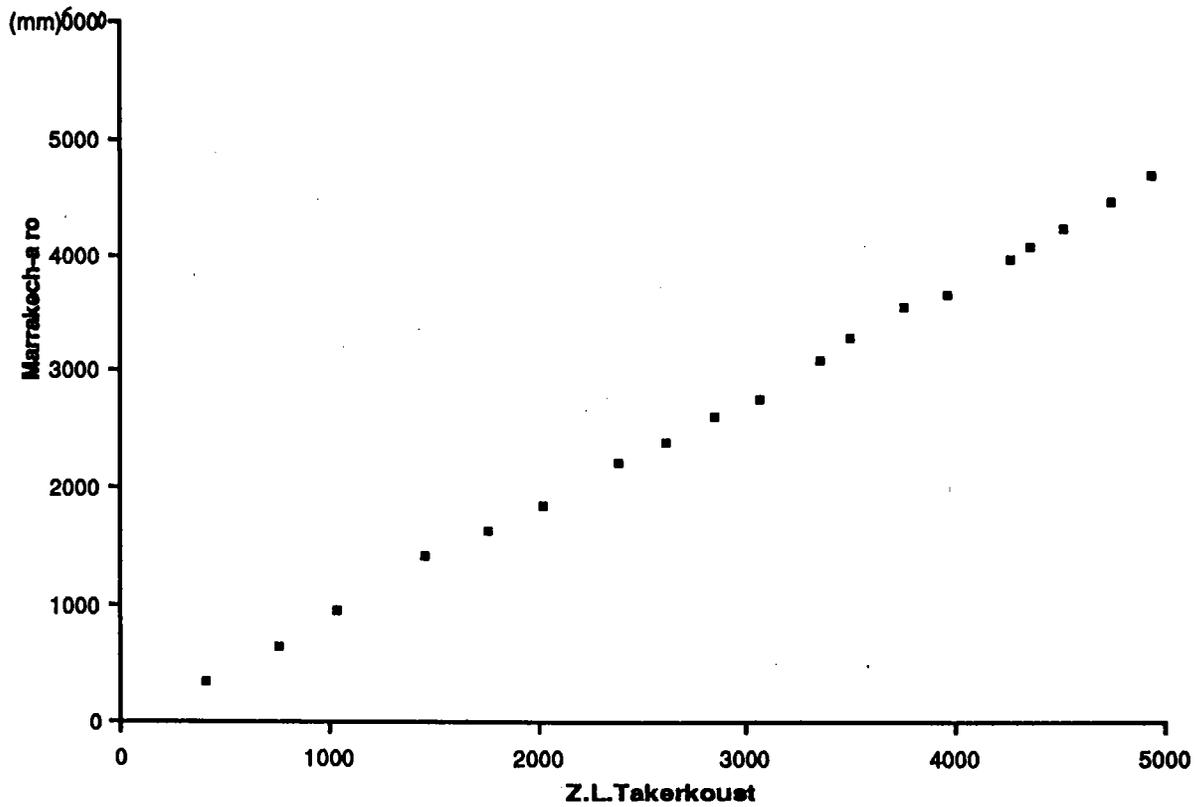
BASSIN DE L'OURIKA

ORDRE	Réseau total	Réseau pérenne	Réseau intermittent
1	186	2	184
2	45	4	41
3	7	3	4
4	1	1	néant

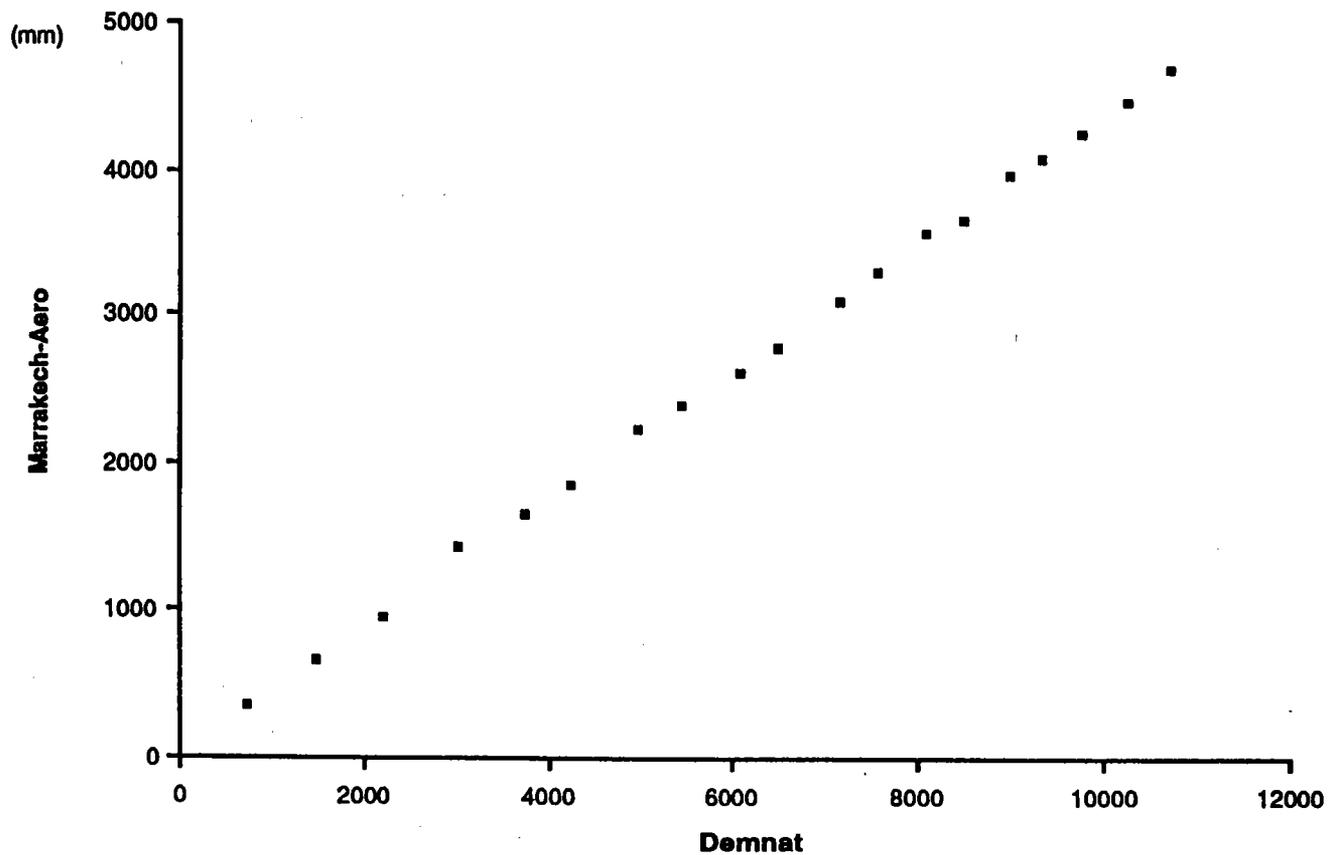
BASSIN DU ZAT

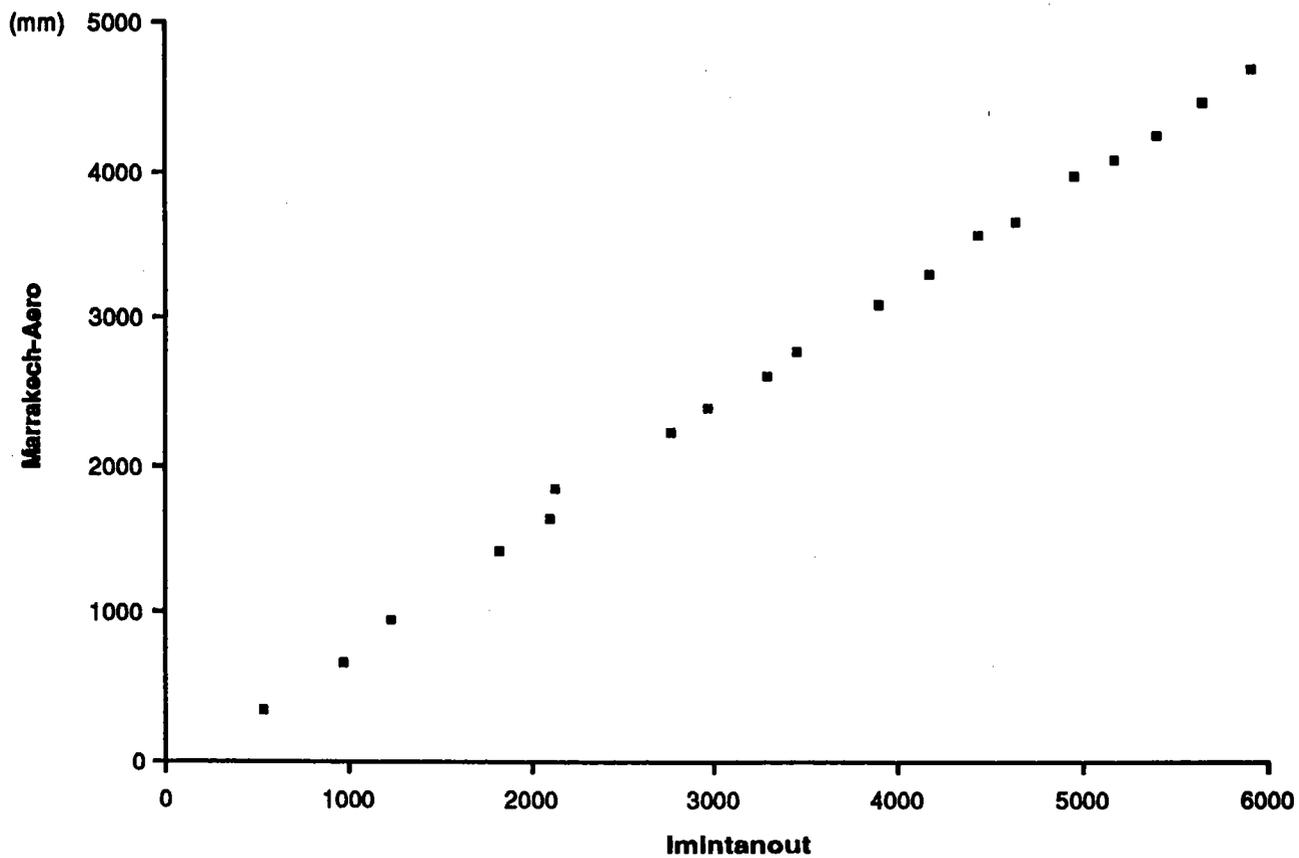
ORDRE	Réseau total	Réseau pérenne	Réseau intermittent
1	144	1	143
2	26	4	22
3	4	2	2
4	1	1	néant

Annexe n°III Méthode du double cumul à la Station de Marrakech-aéro et Zaouia lalla Takerkoust (1967/68-1985/86)

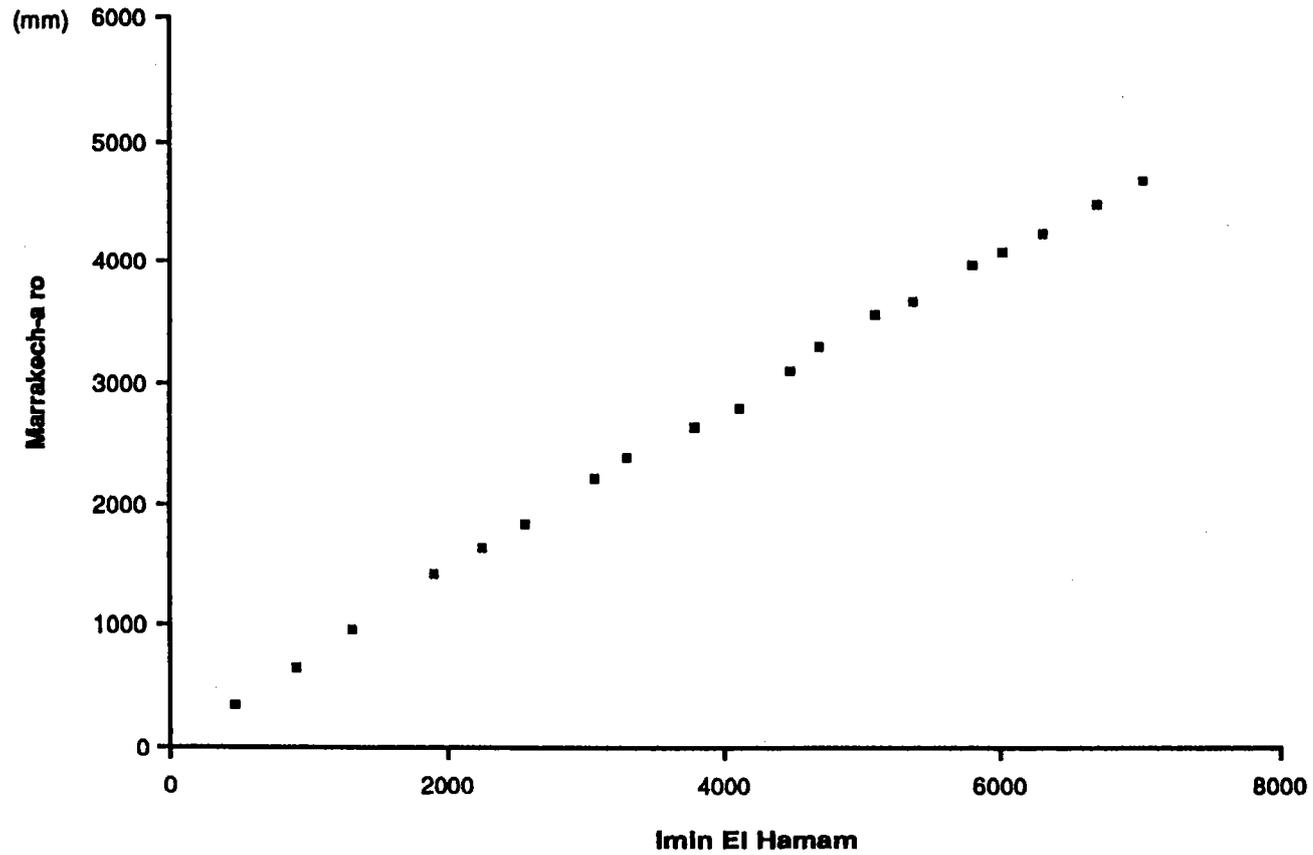


Annexe n°III · Méthode du double cumul à la Station de Marrakech-aéro et Demnat (1967/68-1985/86)

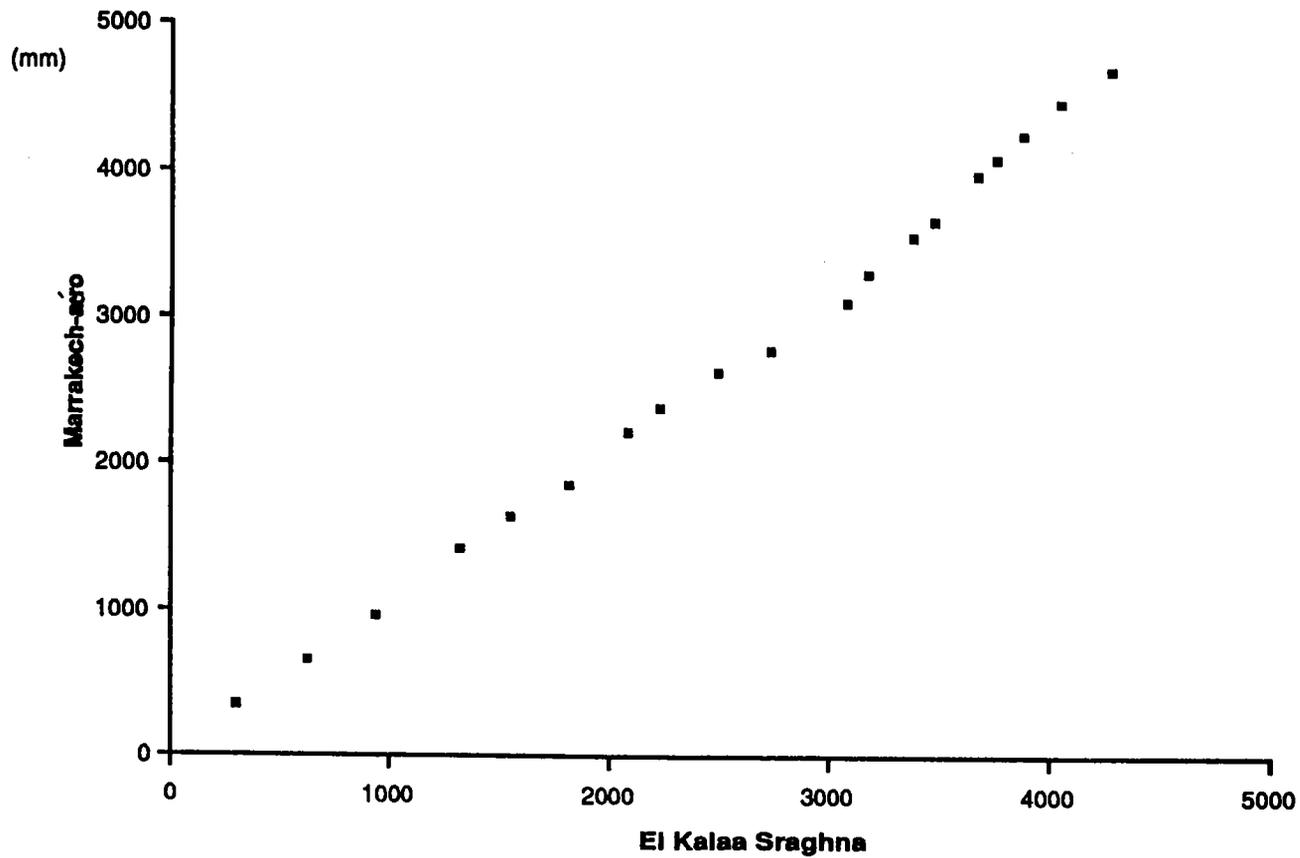




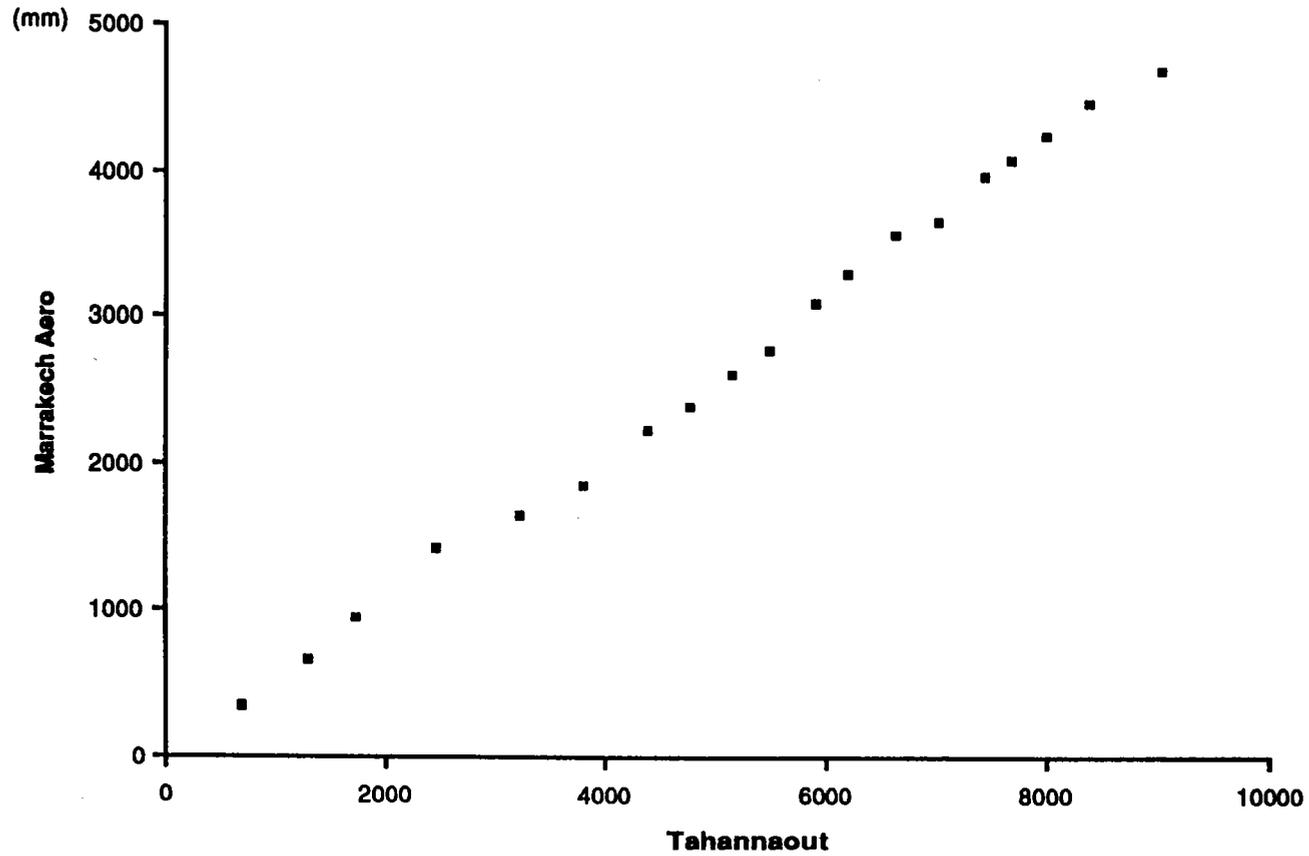
Annexe n°III₃ Méthode du double cumul à la Station de Marrakech-aéro et Imin el Hamam (1967/68-1985/86)

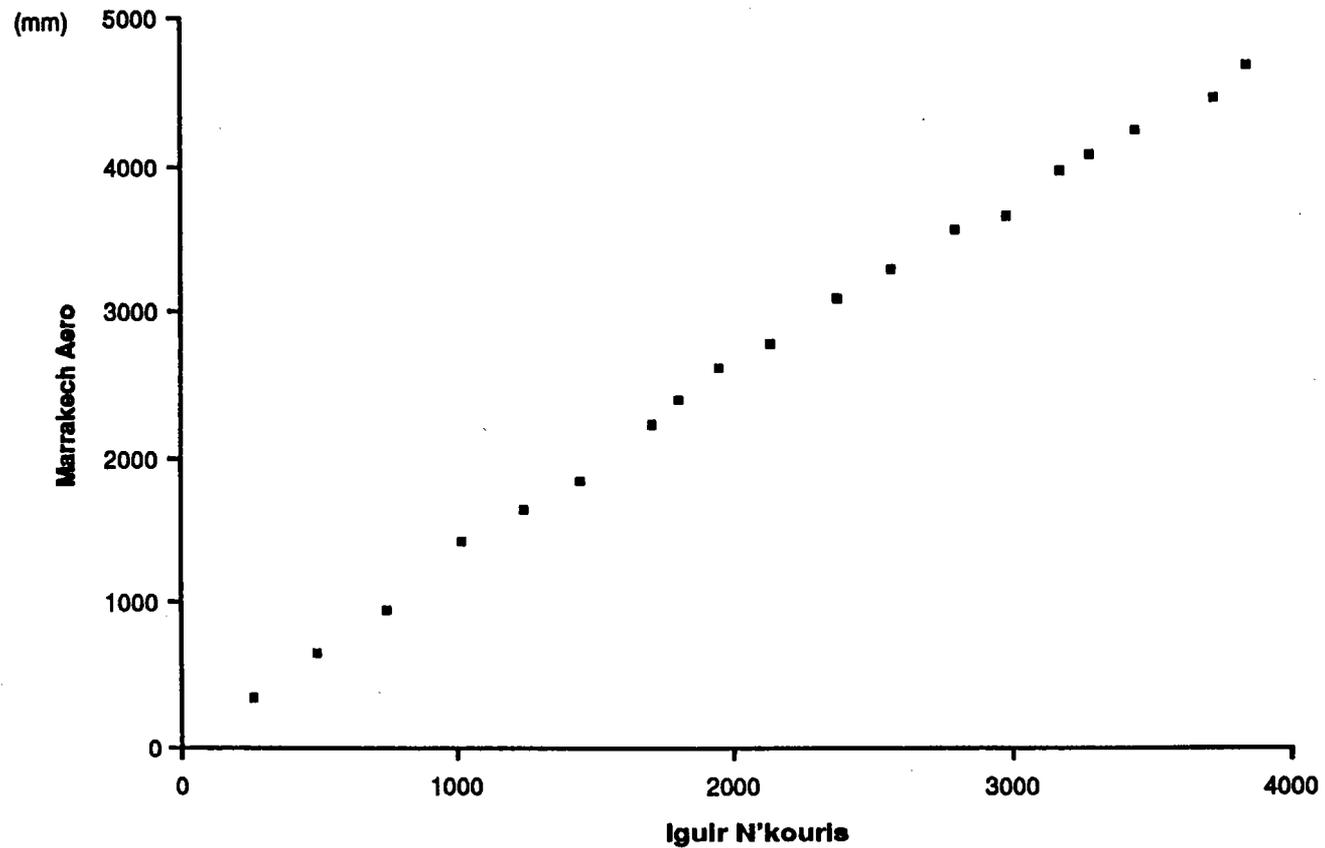


Annexe n°III₄ Méthode du double cumul à la Station de Marrakech-aéro et El Kalaâ des Sraghna (1967/68-1985/86)

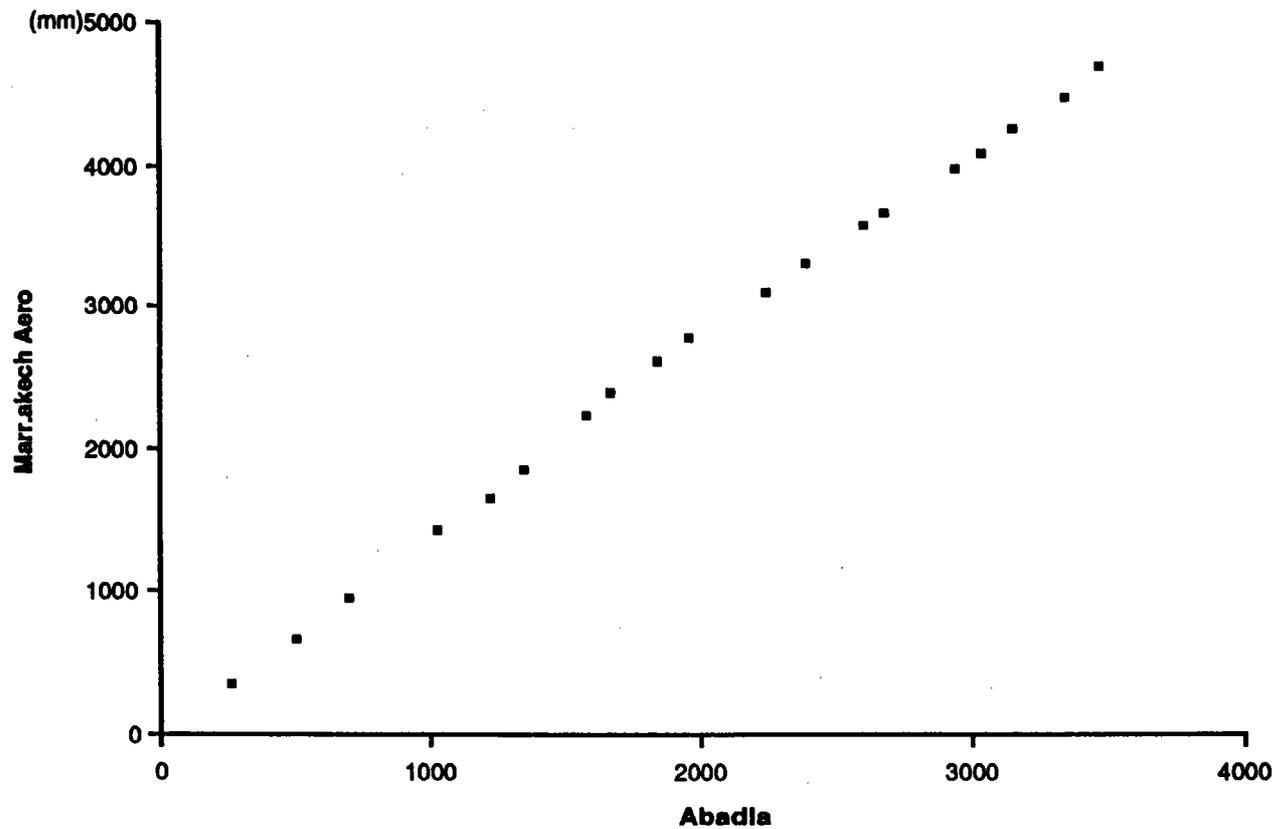


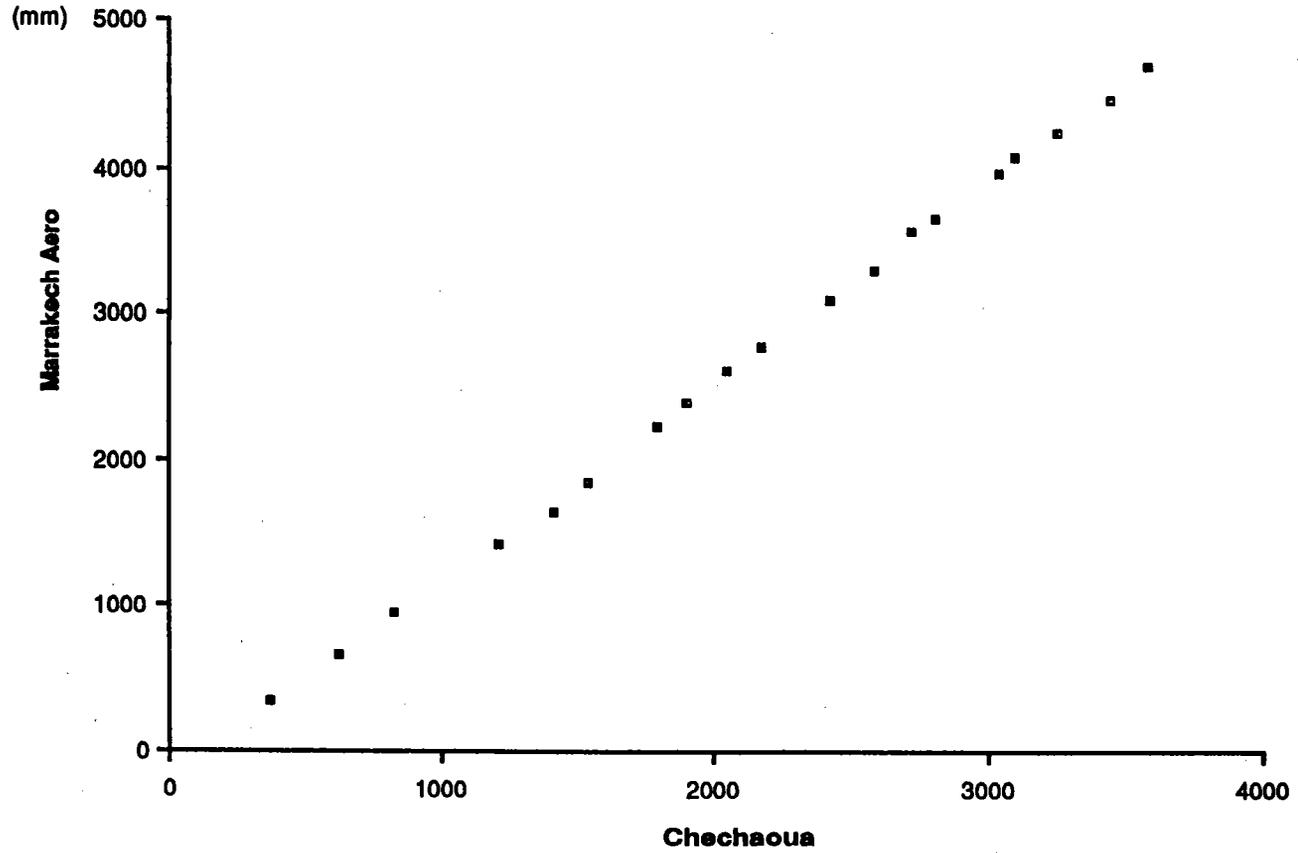
Annexe n°III Méthode du double cumul à la Station de Marrakech-aéro et Tahannaout (1967/68-1985/86)

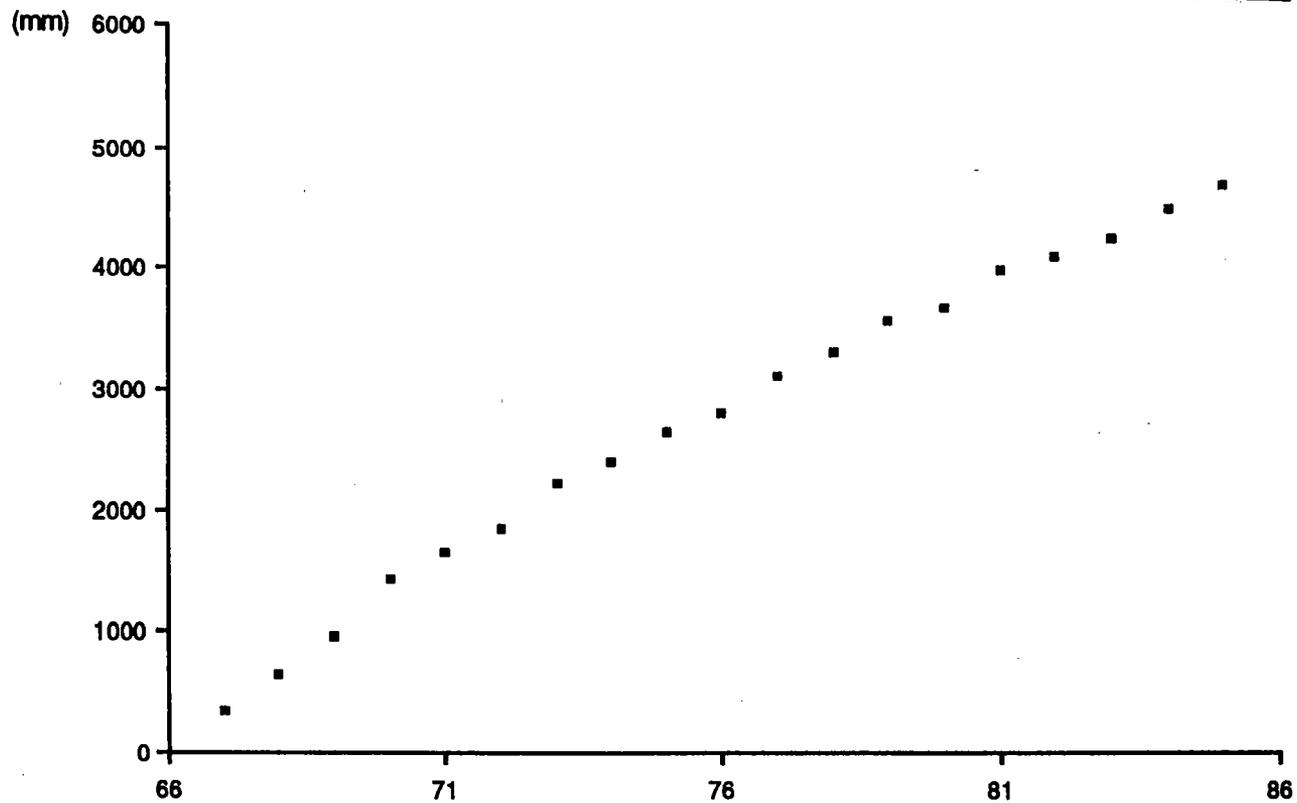




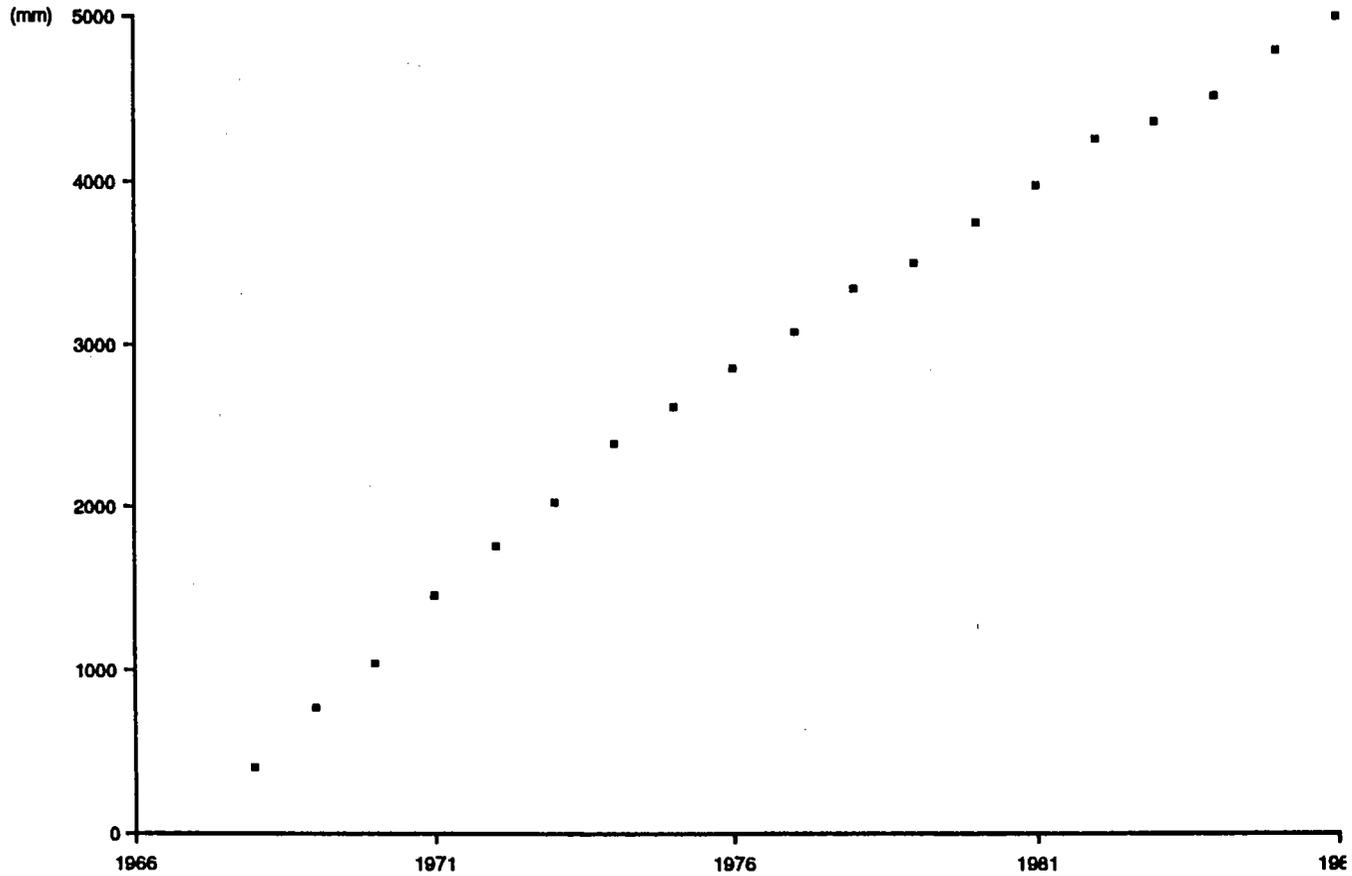
Annexe n°III7 Méthode du double cumul à la Station de Marrakech-aéro et Abadla : (1967/68-1985/86)



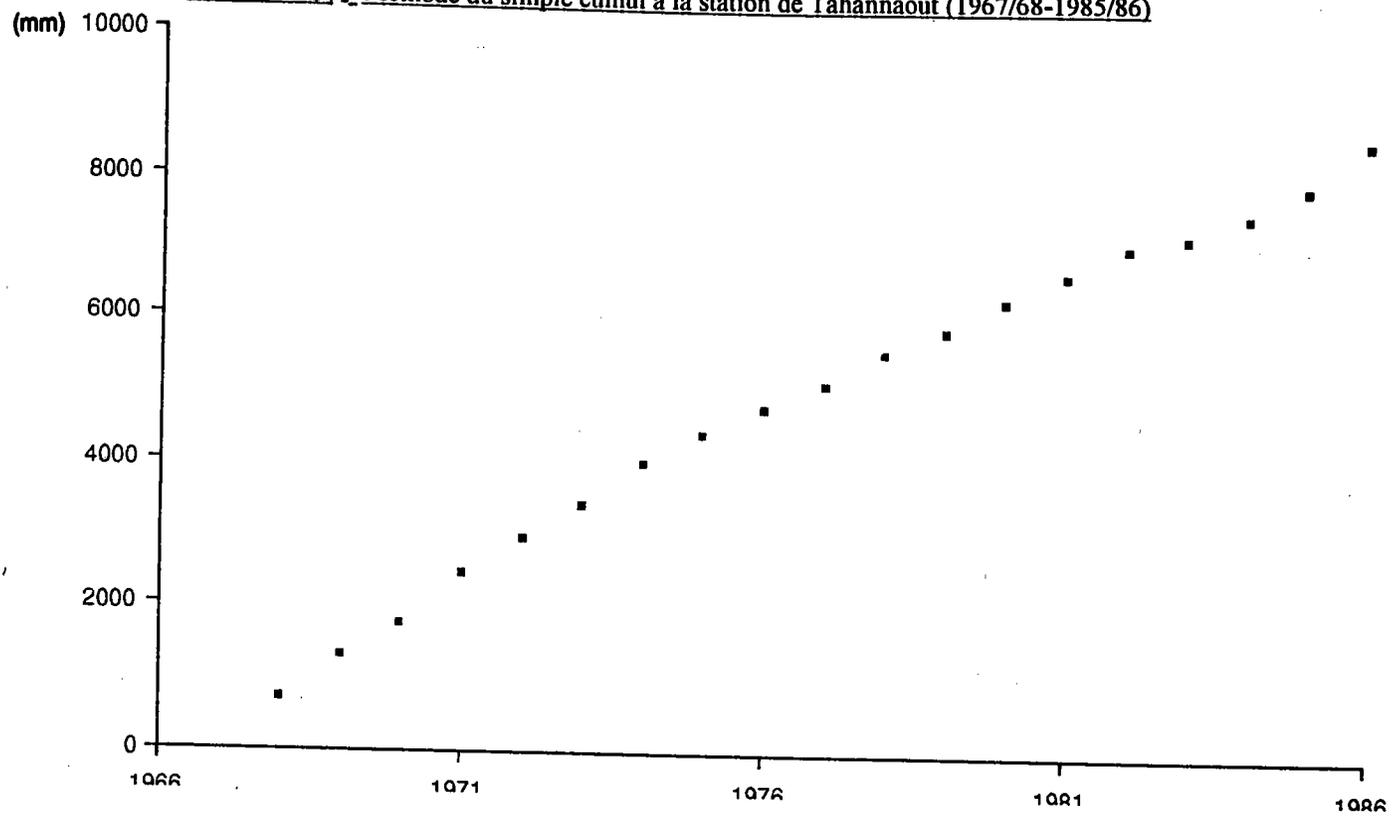




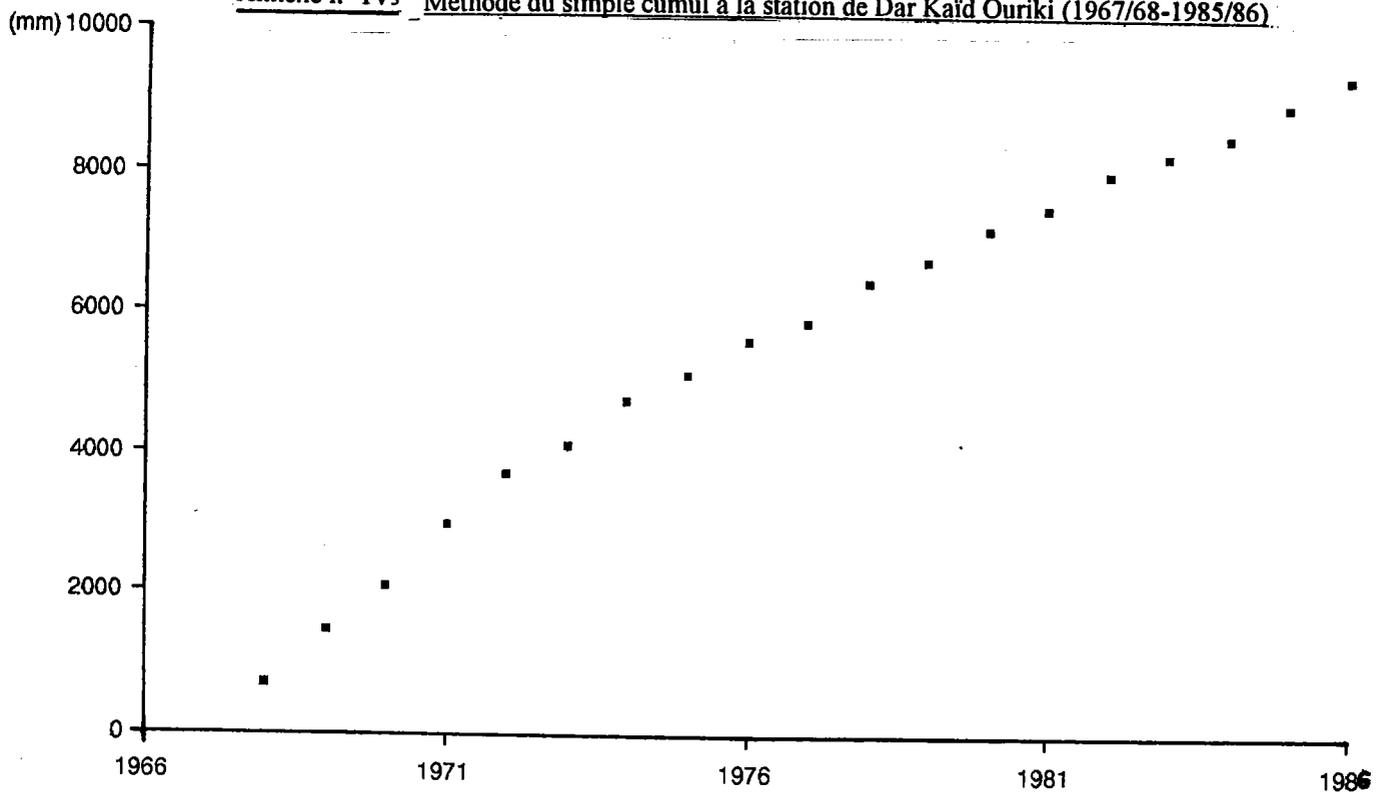
Annexe n° IV₁ Méthode du simple cumulé à la station de Zaouia lalla Takerkoust (1967/68-1985/86)



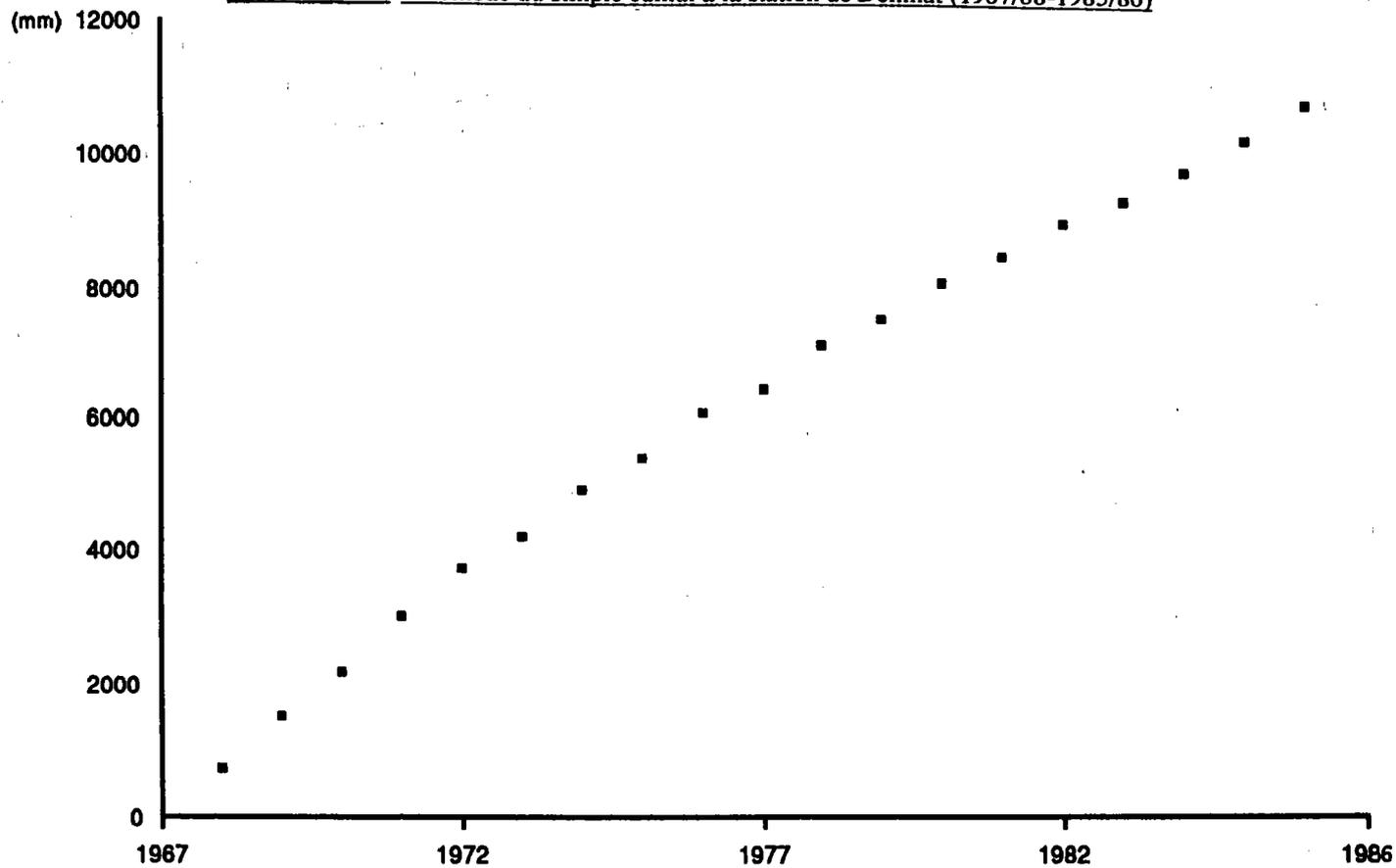
Annexe n° IV₂. Méthode du simple cumul à la station de Tahannaout (1967/68-1985/86)



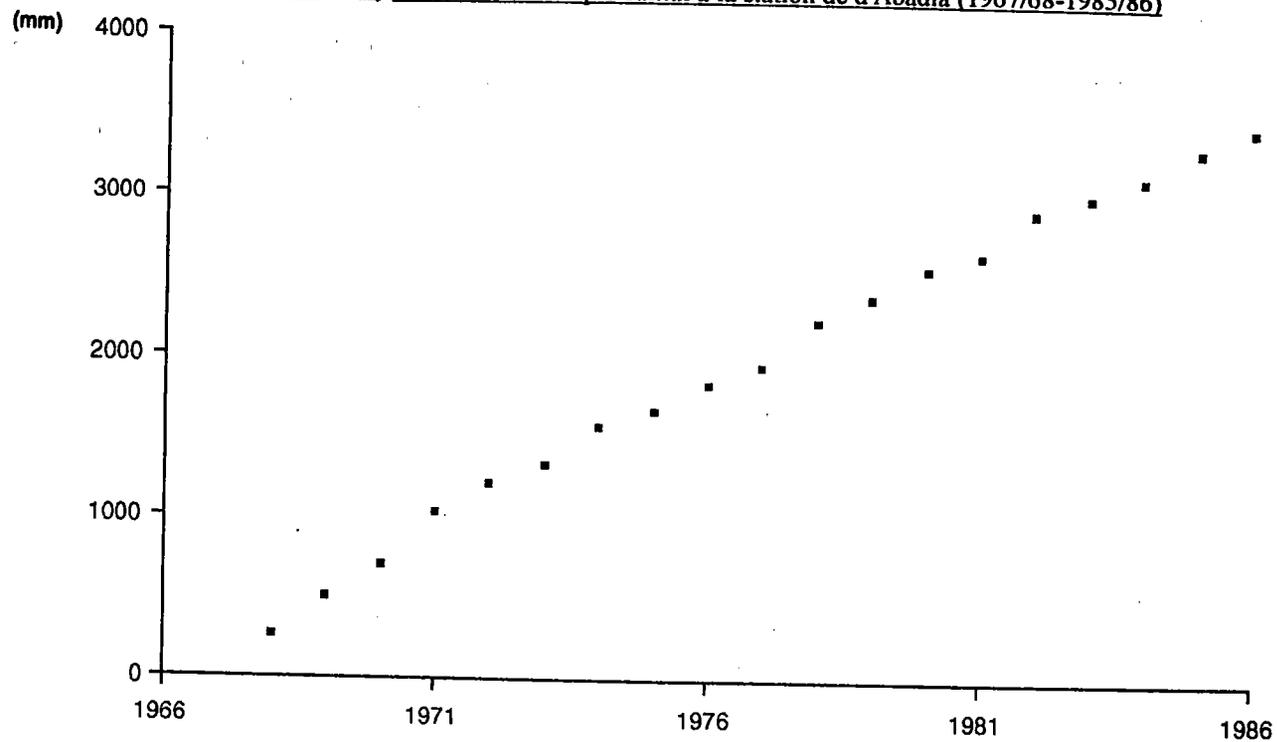
Annexe n° IV₃ : Méthode du simple cumul à la station de Dar Kaïd Ouriki (1967/68-1985/86)



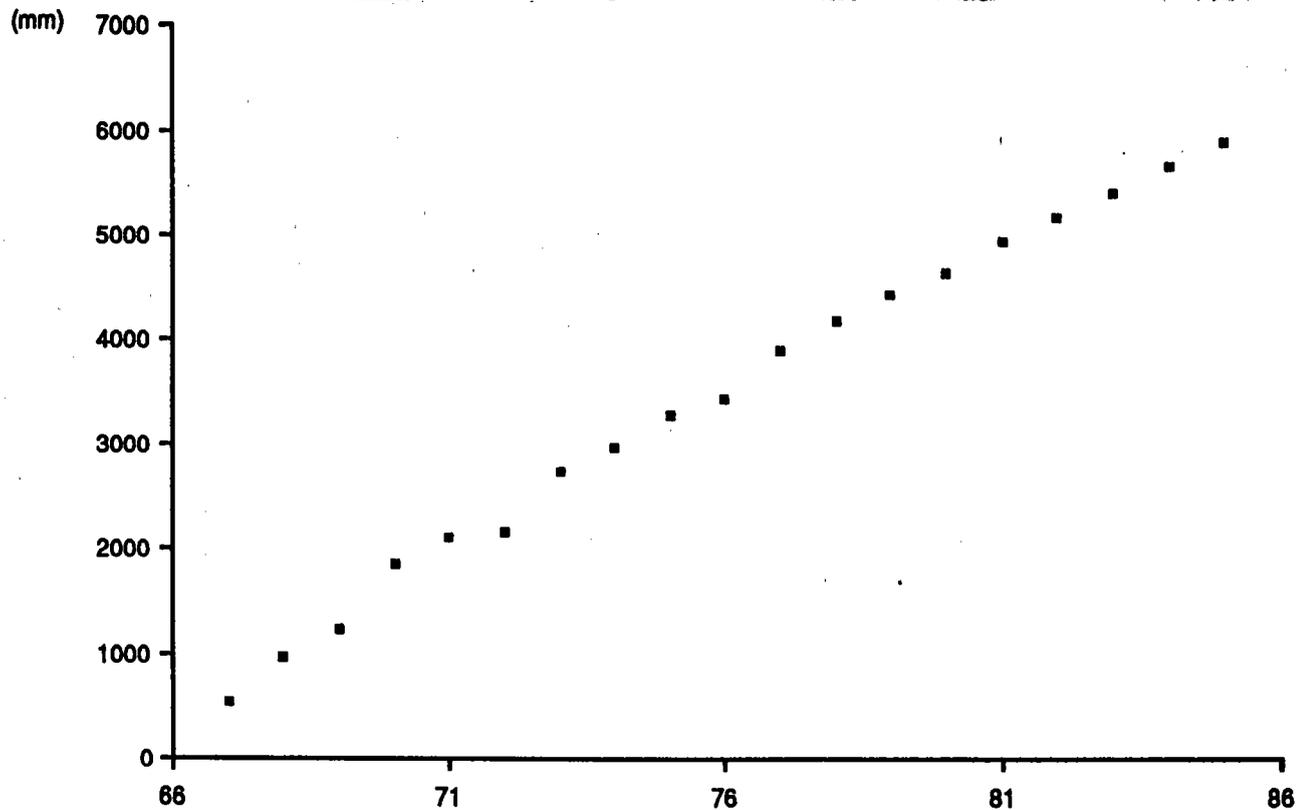
Annexe n° IV4 Méthode du simple cumul à la station de Demnat (1967/68-1985/86)



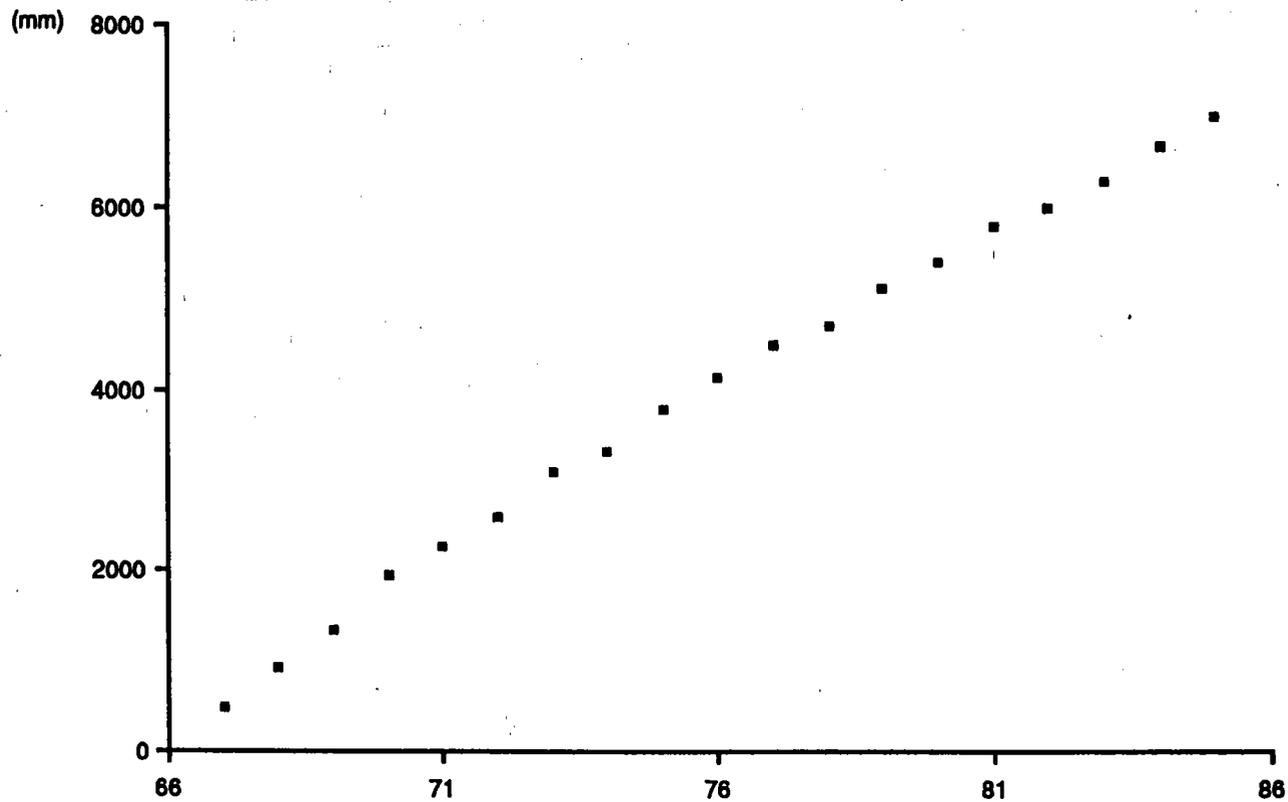
Annexe n° IV₅ Méthode du simple cumul à la station de d'Abadla (1967/68-1985/86)



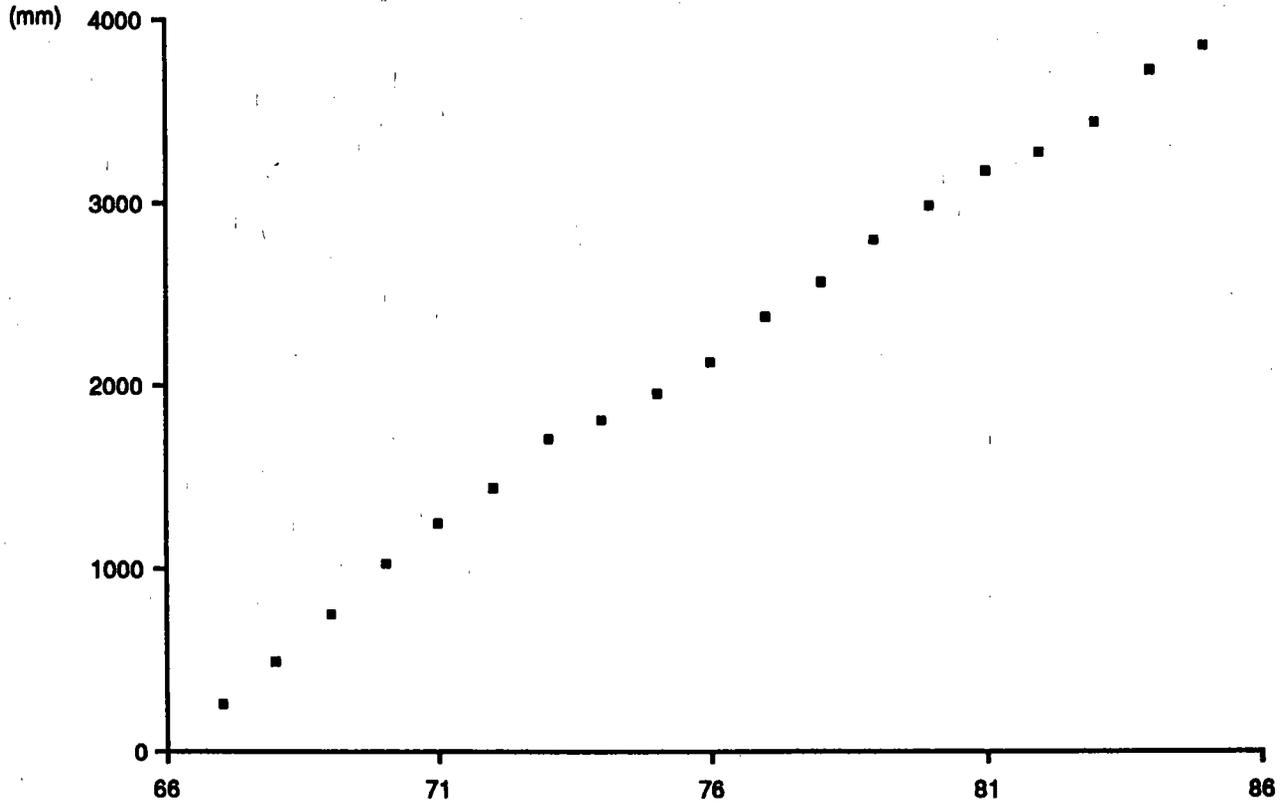
Annexe n° IV₆ Méthode du simple cumul à la station de d'Imintanout (1967/68-1985/86)



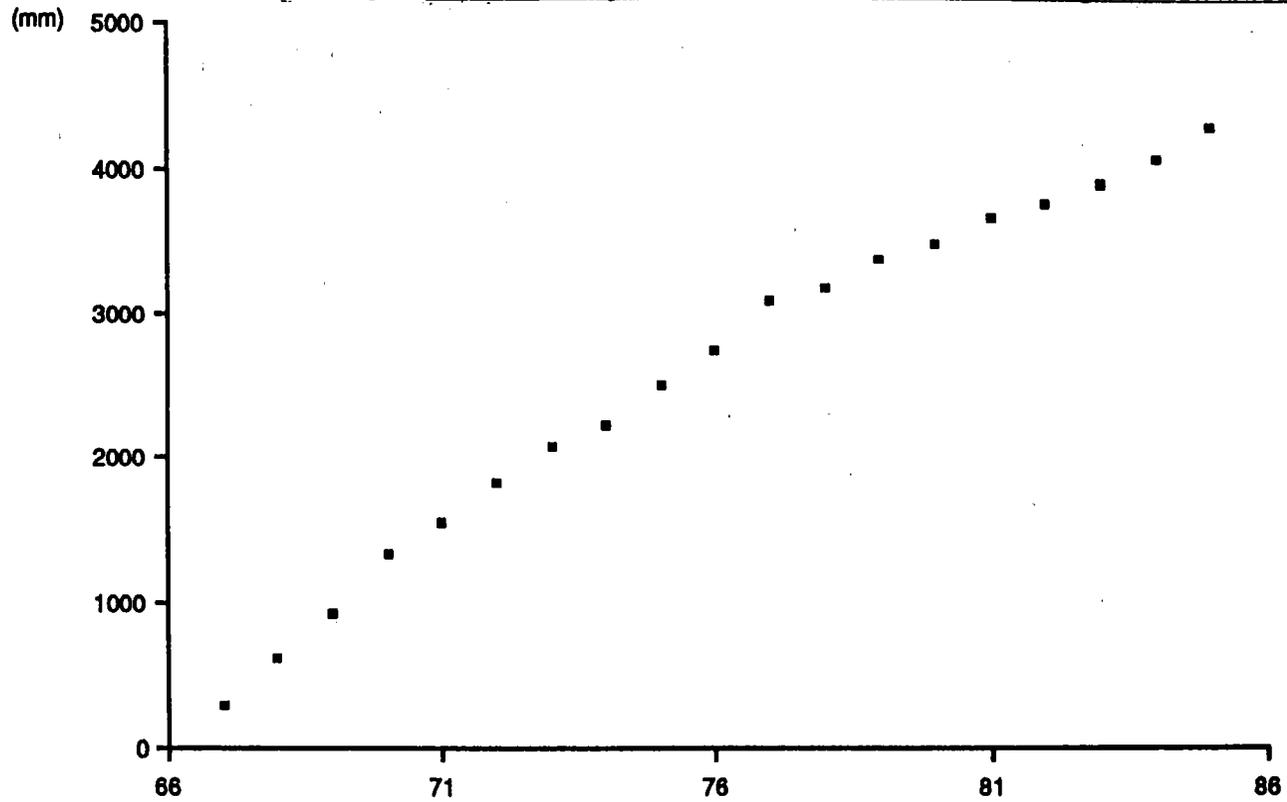
Annexe n° IV7 Méthode du simple cumul à la station de d'Imin el Hamam (1967/68-1985/86)



Annexe n° IV: Méthode du simple cumul à la station de d'Iguir n'Kouris (1967/68-1985/86)

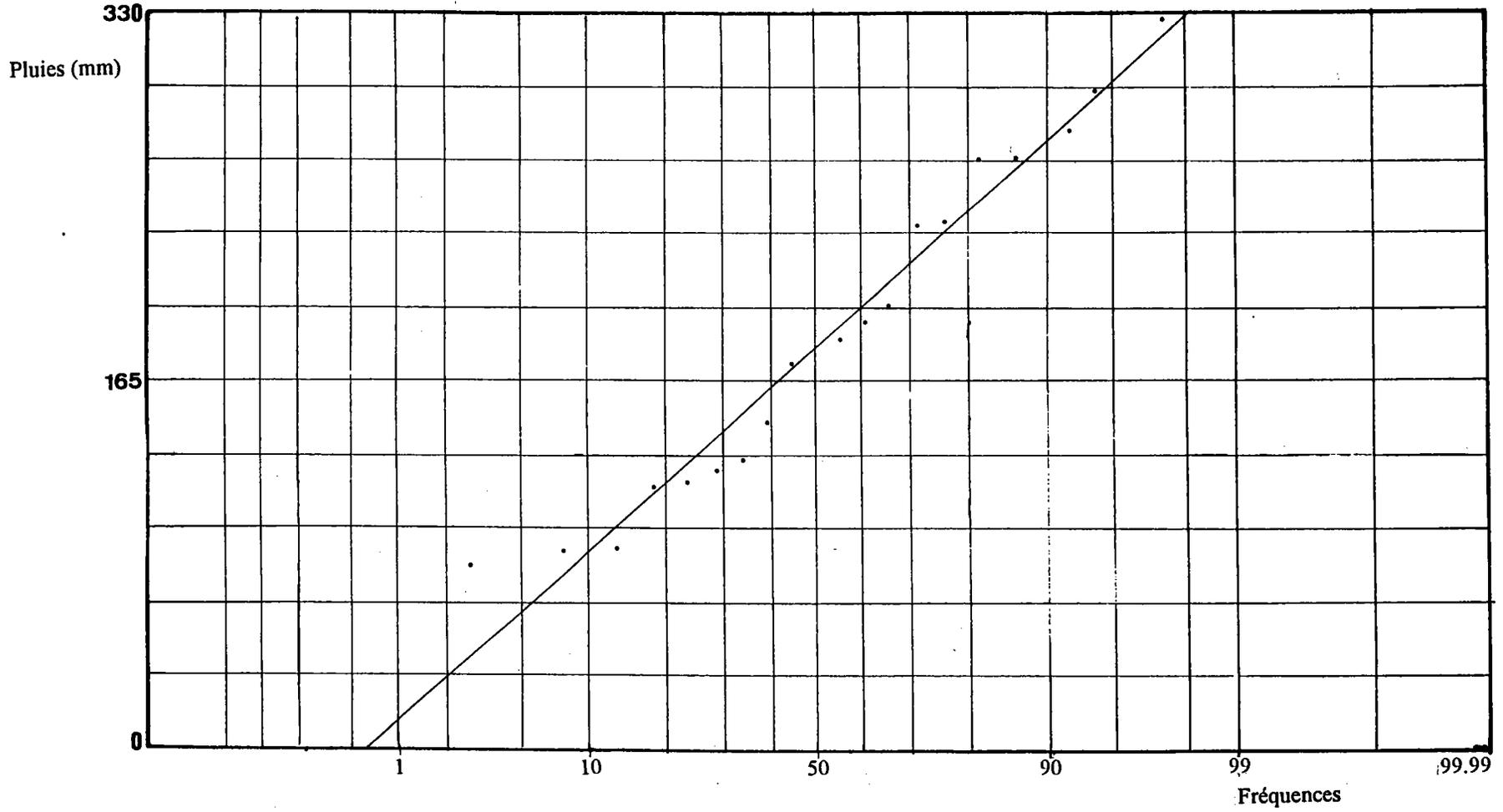


Annexe n° IV, Méthode du simple cumul à la station de d'El Kalaâ des Sraghna (1967/68-1985/86)



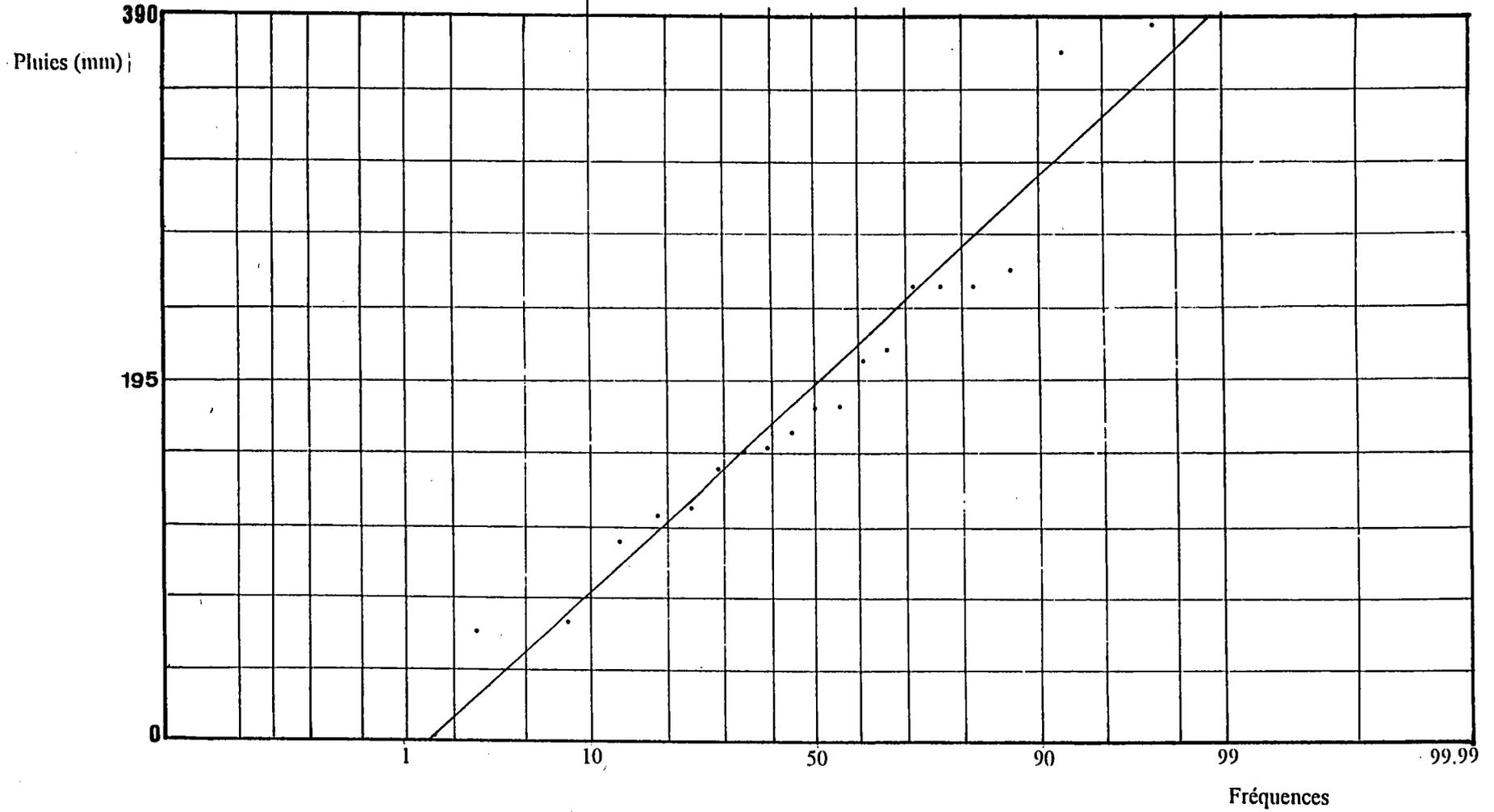
Annexe n° V

Pluies annuelles à la station d'Abadla 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale



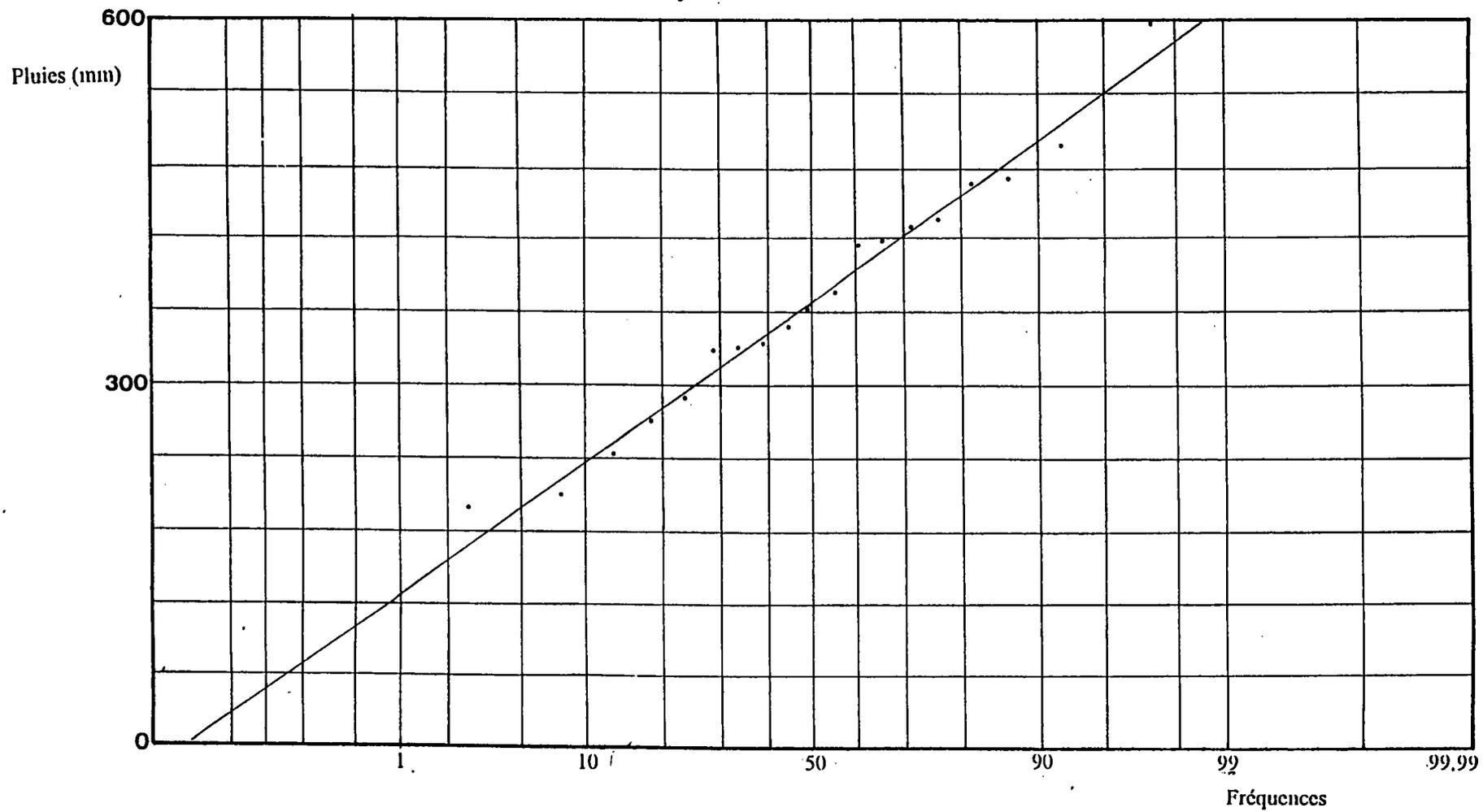
Annexe n° V1

Pluies annuelles à la station de Chechaoua 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale

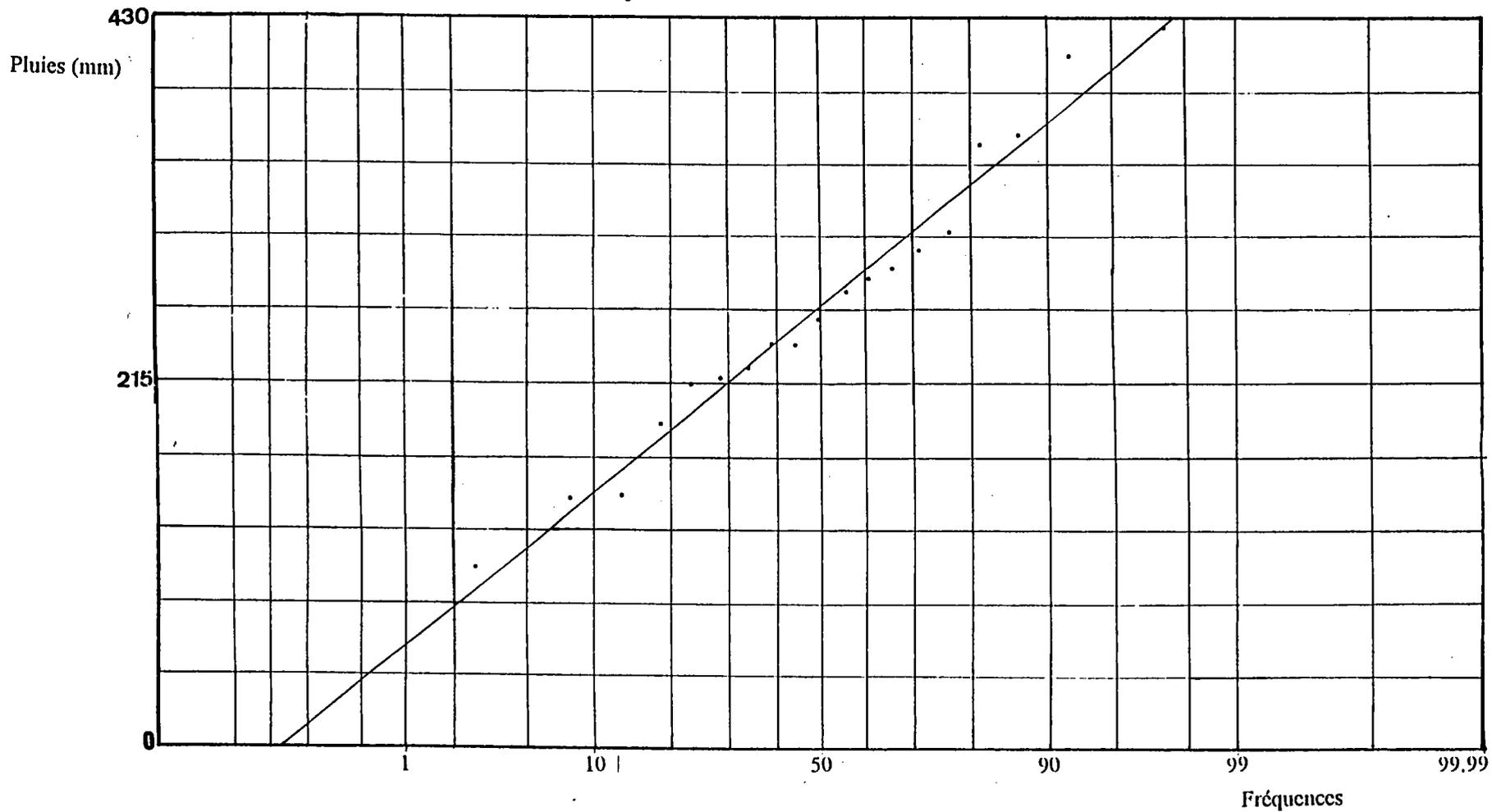


Annexe n° V2

Pluies annuelles à la station d'Imin el hamam 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale



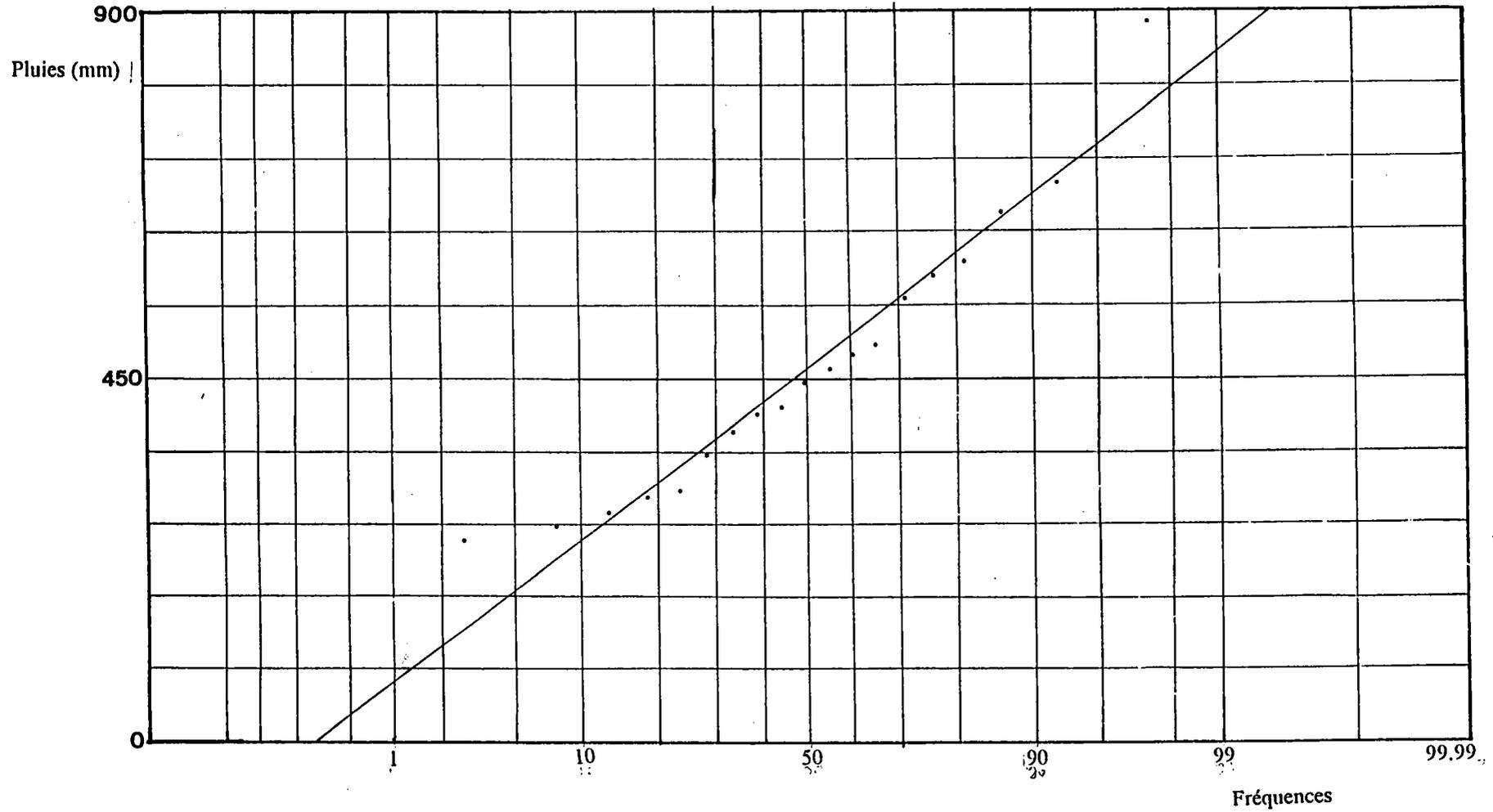
Annexe n° V3 Pluies annuelles à la station de Zaouia lalla Takerkoust 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale



Annexe n° V4

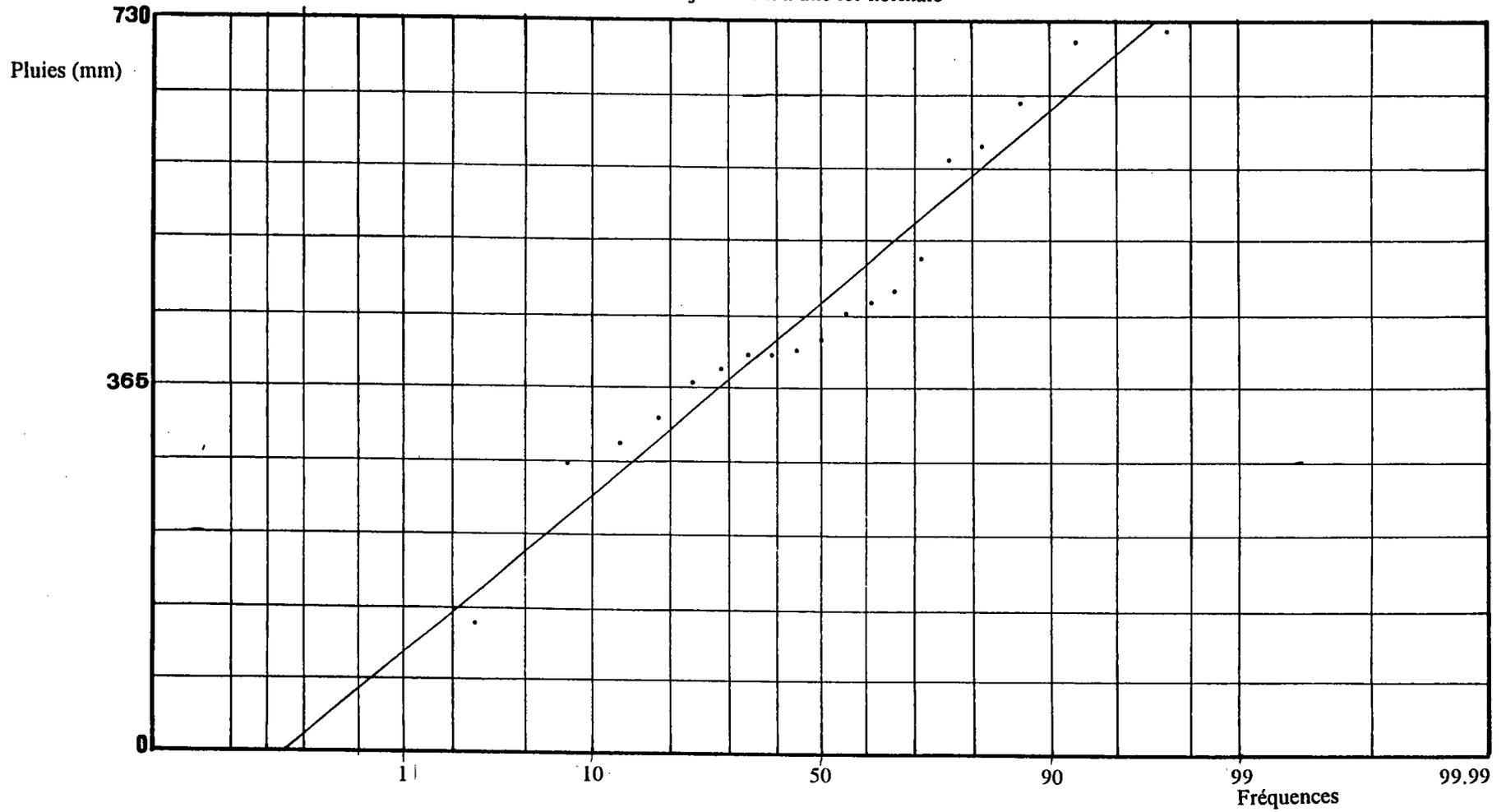
Pluies annuelles à la station de Dar kaïd Ouriki 1967/68-1985/86

Ajustement à une loi-normale

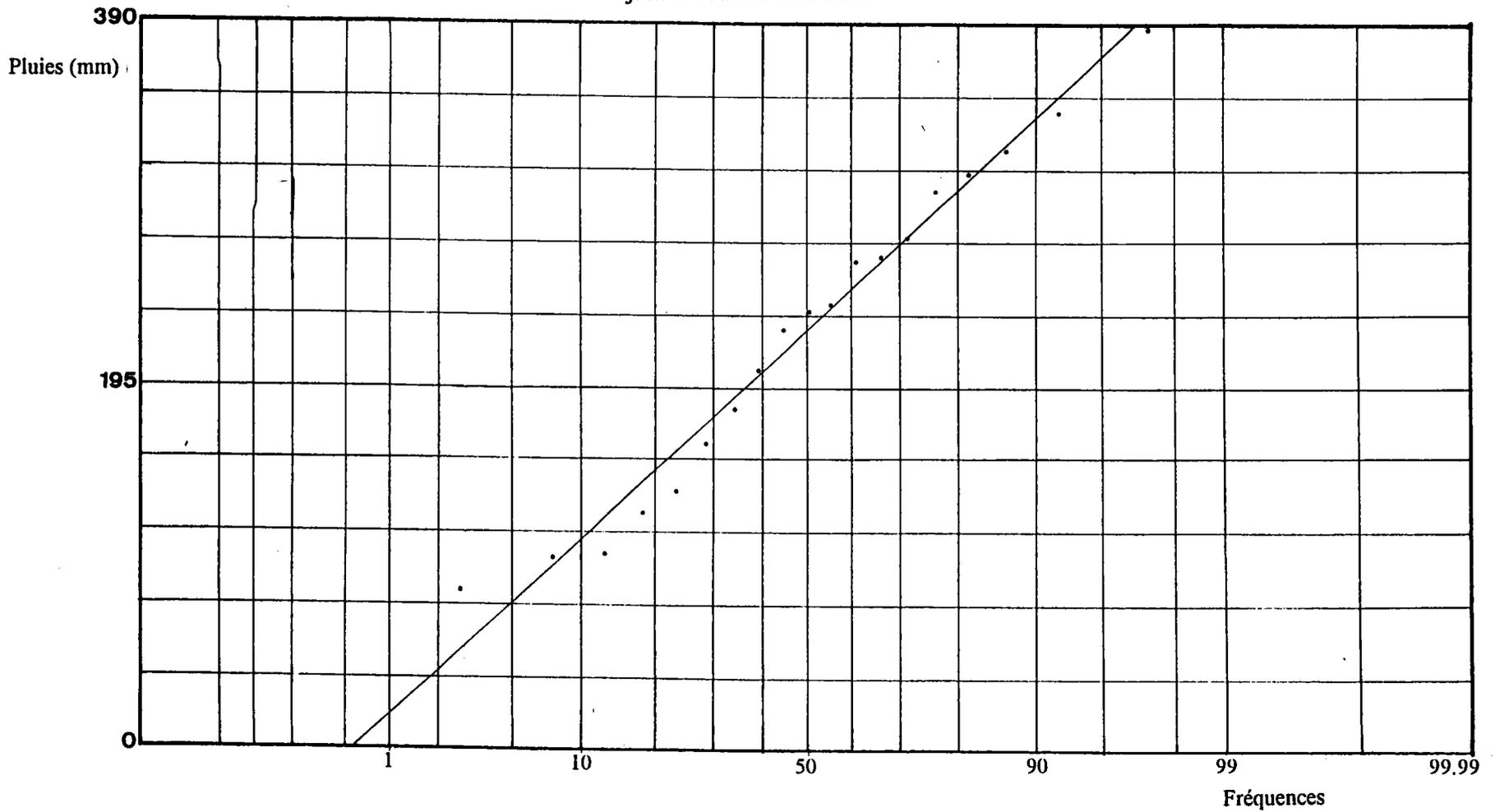


Annexe n° V₅

Pluies annuelles à la station de Tahannaout 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale

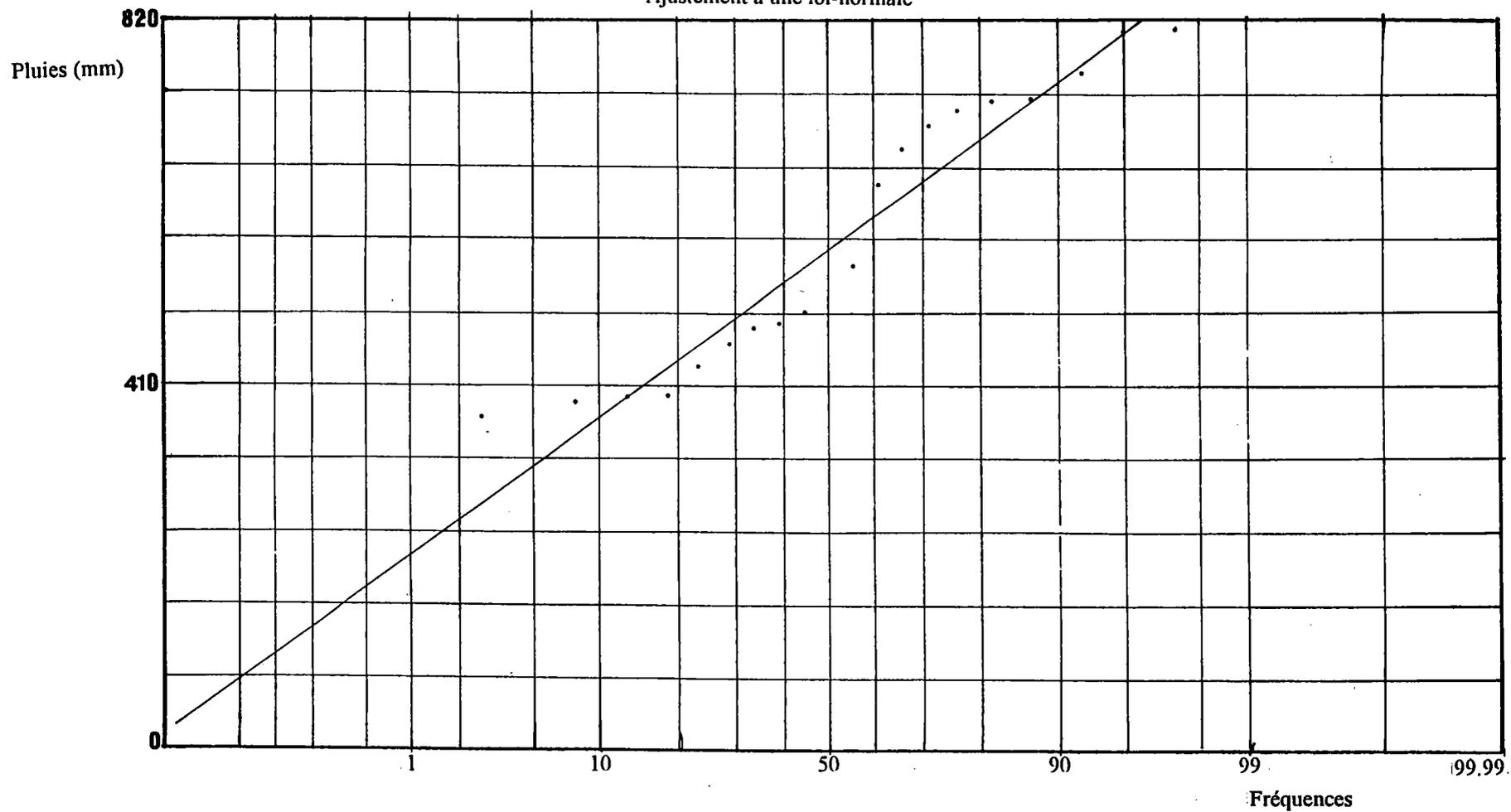


Annexe n° V6 Pluies annuelles à la station d'El kalâa des Sraghna 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale



Annexe n° V7

Pluies annuelles à la station Demnat 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi-normale



Annexe n°1 Tableau du nombre de jours de pluies dans la station de Marrakech-aéro (1967-1986)

Années	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total annuel
1967	2	11	3	10	3	0	1	1	4	7	13	7	62
1968	1	9	12	7	2	1	2	4	1	2	8	9	58
1969	6	12	6	14	4	2	1	0	2	3	14	5	69
1970	14	2	7	2	2	3	0	0	0	6	3	12	51
1971	7	5	15	14	9	0	0	0	1	5	11	7	74
1972	6	10	12	5	3	0	0	0	3	7	5	6	57
1973	6	6	6	5	4	1	3	4	0	4	8	9	56
1974	1	6	13	11	1	1	0	0	2	2	2	1	40
1975	3	2	3	10	5	1	0	1	2	1	3	6	37
1976	5	6	9	12	9	2	0	1	3	7	0	10	64
1977	15	5	3	1	1	2	0	0	5	8	4	7	51
1978	10	5	0	8	7	1	0	1	1	4	1	6	44
1979	10	5	6	3	0	0	0	0	4	11	0	2	41
1980	6	5	12	3	4	1	0	1	7	3	9	0	51
1981	3	6	4	5	3	0	0	0	1	4	0	3	29
1982	7	4	7	11	7	1	1	1	1	2	3	4	49
1983	1	8	3	2	3	0	0	1	2	2	6	2	30
1984	3	0	5	6	10	0	4	1	1	1	10	0	41
1985	13	4	1	9	7	0	0	1	0	3	10	6	54
TOTAL	119	111	127	138	84	16	12	17	40	82	110	102	958
Moyenne	6.26	5.84	6.68	7.26	4.42	0.84	0.63	0.89	2.11	4.32	5.79	5.37	50.42

Annexe n° VII ETP annuelle (Thornthwaite) dans le bassin-versant du Tensift (1967/68-1985/86)

Années	ETP Ann.
1968	970
1969	943
1970	938
1971	970
1972	899.5
1973	880
1974	954
1975	943
1976	950
1977	912
1978	908
1979	949
1980	929
1981	989
1982	959
1983	928
1984	954
1985	971
1986	972

Annexe n°VIIa ETR dans le bassin-versant du N'fis (1967/68-1985/86)

Années	ETR (Turc)	ETR (Coutagne)
67/68	455	203
68/69	426	186
69/70	408	178
70/71	558	265
71/72	335	134
72/73	324	128
73/74	476	214
74/75	245	100
75/76	452	200
76/77	345	141.5
77/78	365	156.5
78/79	206	87
79/80	413	181
80/81	278	122
81/82	421	191
82/83	213	87
83/84	294	130
84/85	378	166
85/86	334	147

Annexe n°VIIb ETR dans le bassin-versant du Rheraya (1967/68-1985/86)

Années	ETR (Turc)	ETR (Coutagne)
67/68	627	306
68/69	547	253
69/70	436	192
70/71	641	319
71/72	462	195
72/73	422	173
73/74	558	261
74/75	383	163
75/76	370	159
76/77	336.5	138
77/78	444	196
78/79	299.5	128
79/80	397	173
80/81	394	177
81/82	408	184
82/83	138	56
83/84	318	141
84/85	391	172
85/86	593	288

Annexe n°VIIC ETR dans le bassin-versant de l'Ourika (1967/68-1985/86)

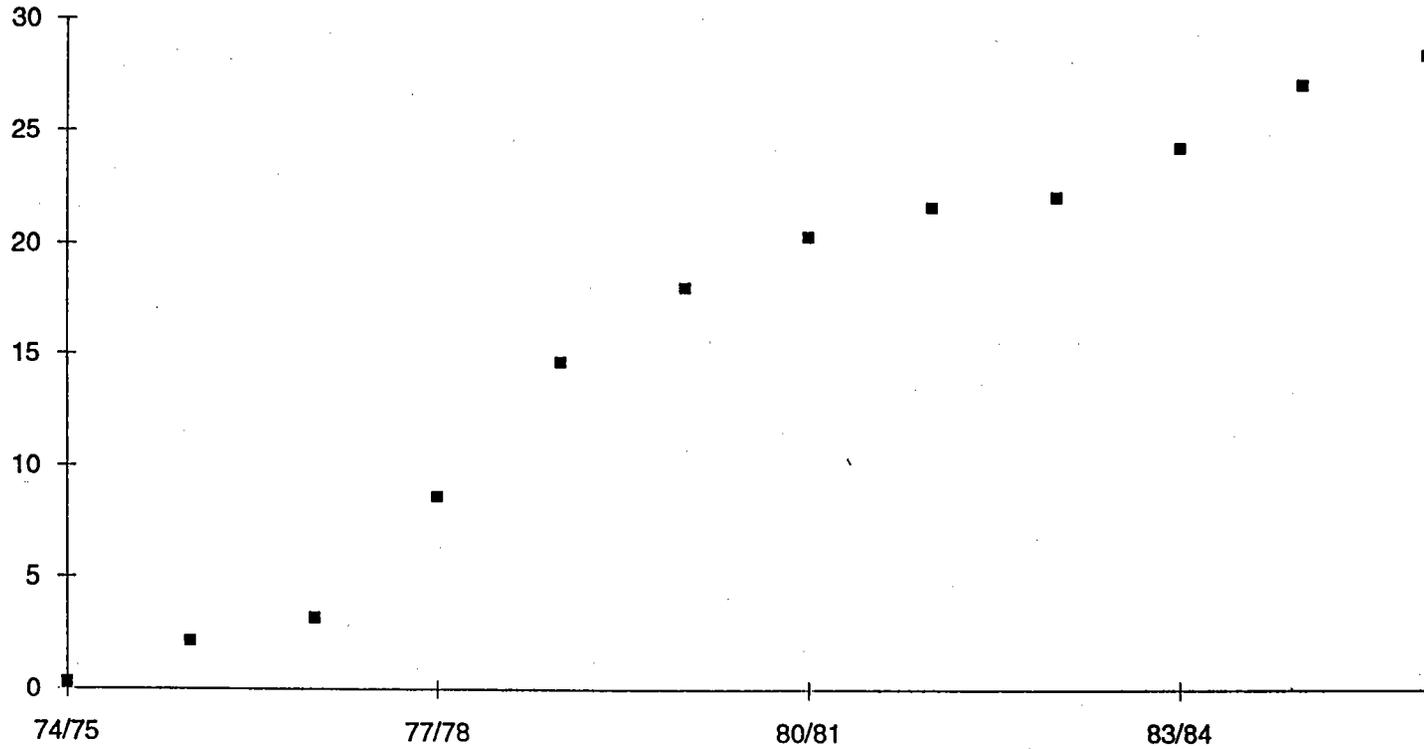
Années	ETR (Turc)	ETR (Coutagne)
67/68	589	280
68/69	546	252
69/70	518	237
70/71	738	394.5
71/72	400	164
72/73	392	159
73/74	618.5	300
74/75	314	131
75/76	445.5	197
76/77	287	116
77/78	536	247
78/79	383	167.5
79/80	467	209
80/81	306	135
81/82	464	214
82/83	259.5	107
83/84	274	121
84/85	436	195
85/86	361	160

Annexe n°VII ETR dans le bassin-versant du Zat 1967/68-1985/86)

Années	ETR (Turc)	ETR (Coutagne)
67/68	641	316
68/69	656	325.5
69/70	620	300
70/71	698	361
71/72	621	292.5
72/73	465	195
73/74	633	310
74/75	457	200
75/76	581	274.5
76/77	388	161.5
77/78	605	290
78/79	393	172.5
79/80	514	235
80/81	398	179.5
81/82	467	215
82/83	373	159
83/84	428	196
84/85	472	215
85/86	449	204

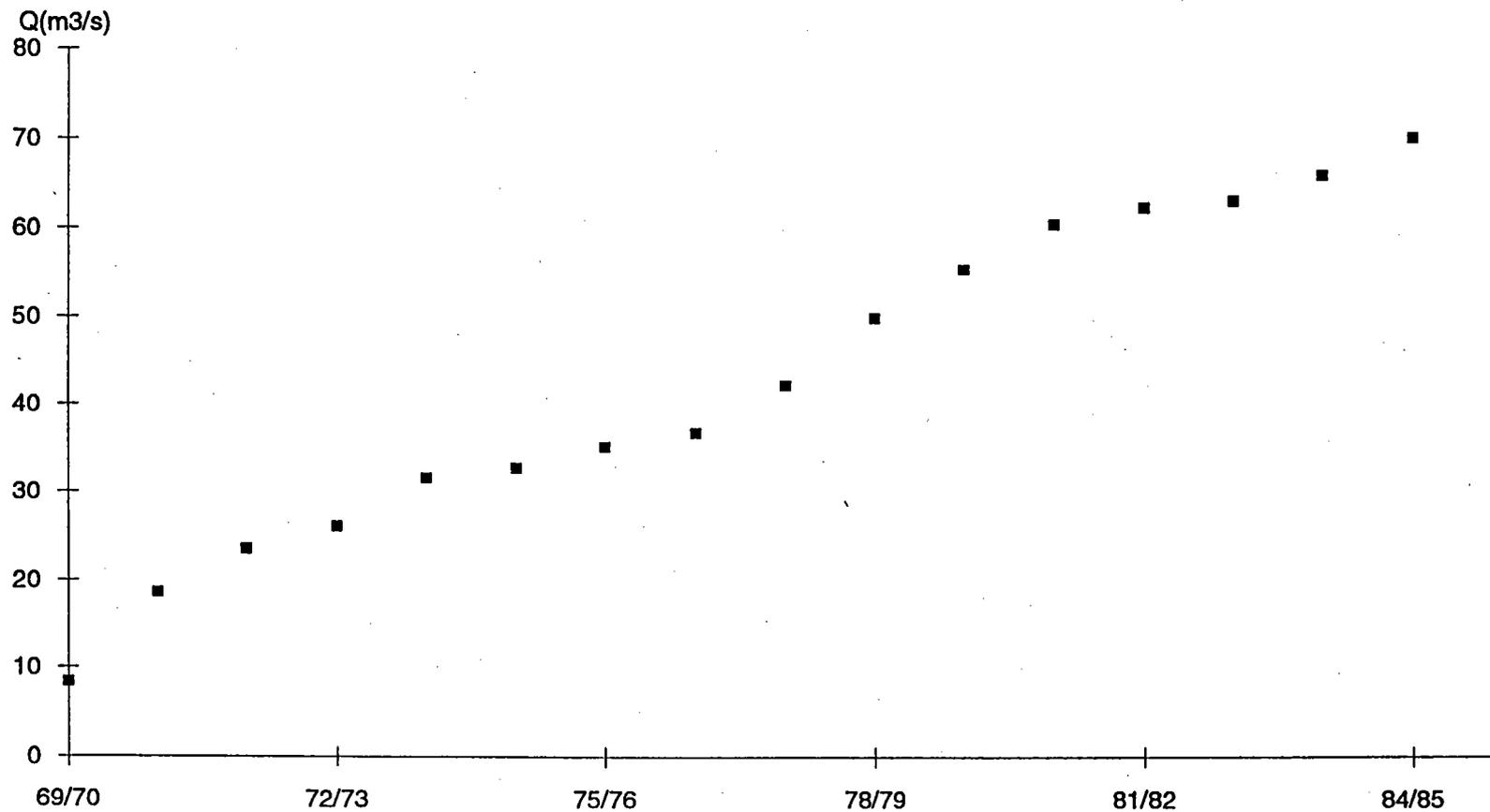
Annexe n°VIII Méthode du simple cumul à la station d'Iguir N'kouris (1969/70-1985/86)

Q (m³/s)



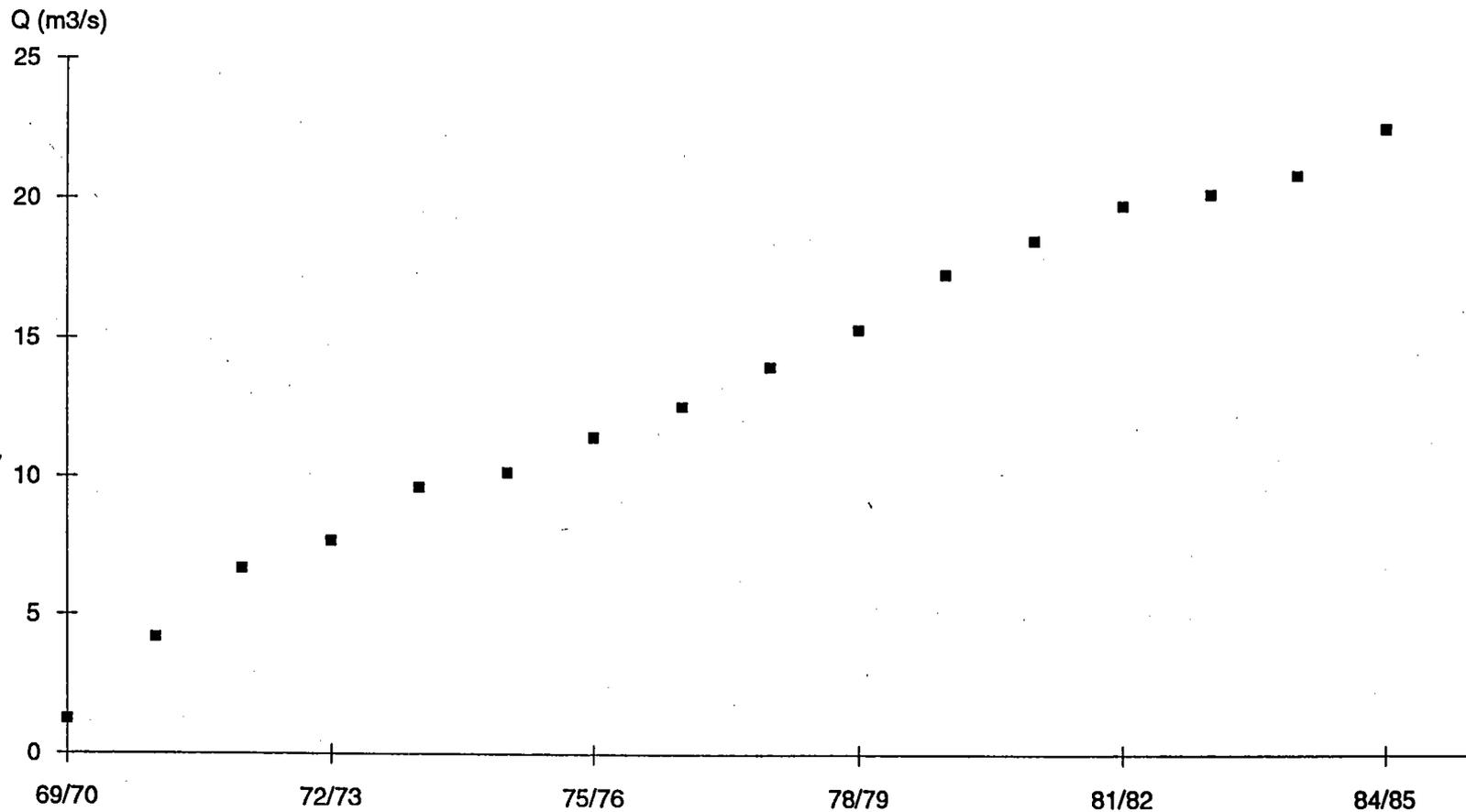
Annexe n°VIIIa

Méthode du simple cumul à la station de Jmim el hamam (1969/70-1985/86)



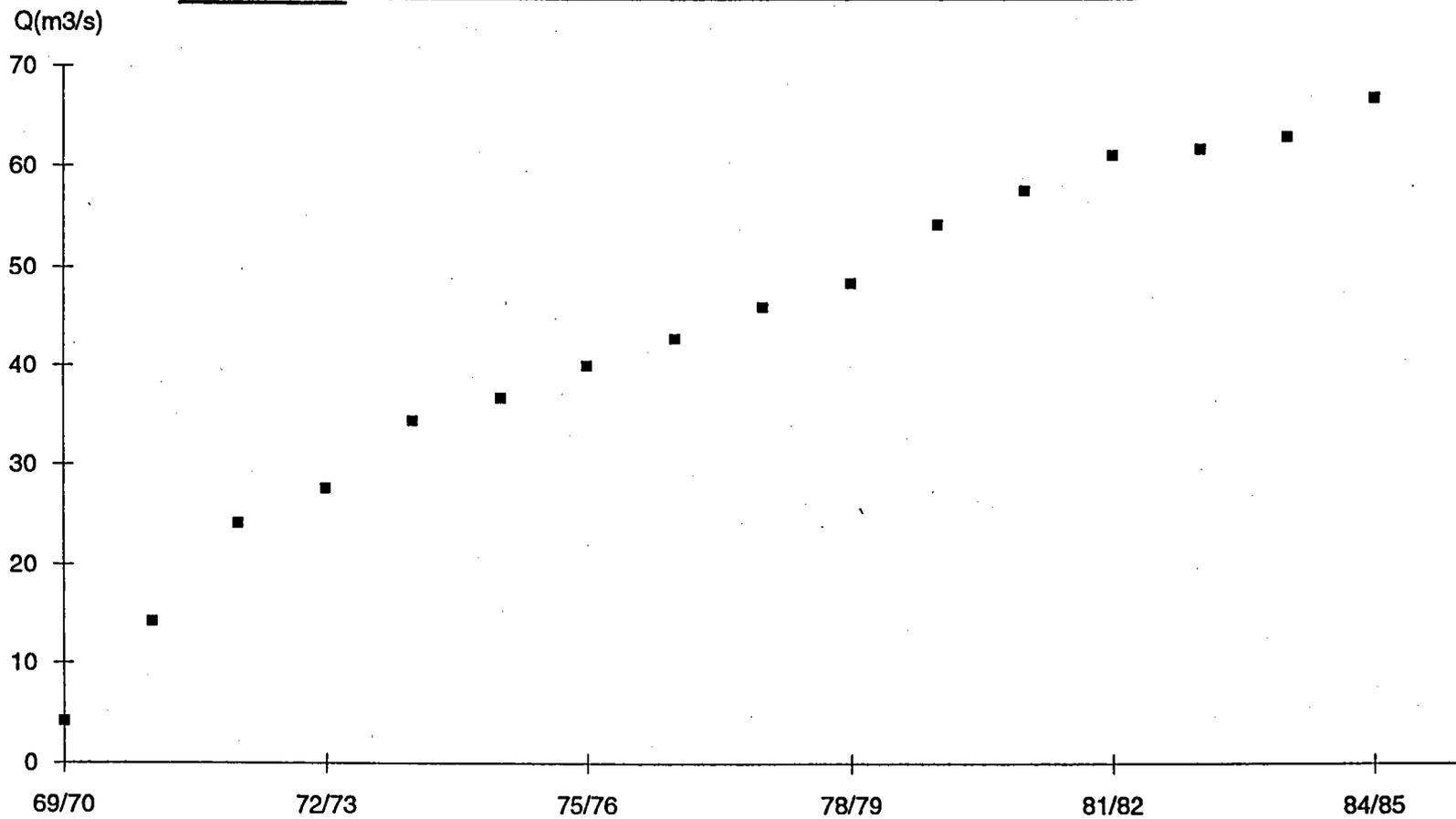
Annexe n°VIIIb

Méthode du simple cumul à la station de Tahannaout (1969/70-1985/86)



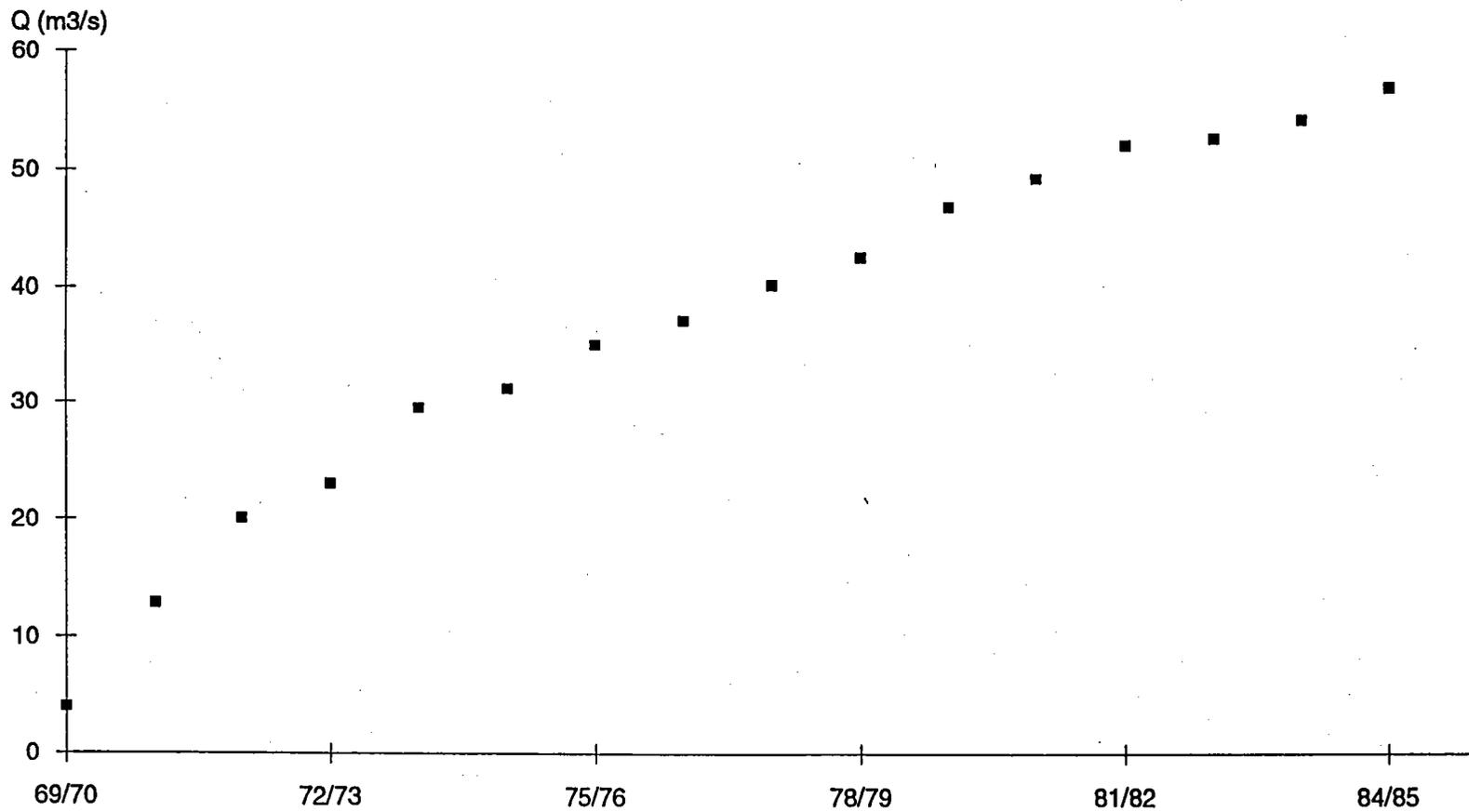
Annexe n°VIIIc

Méthode du simple cumul à la station d'Aghbalou (1969/70-1985/86)

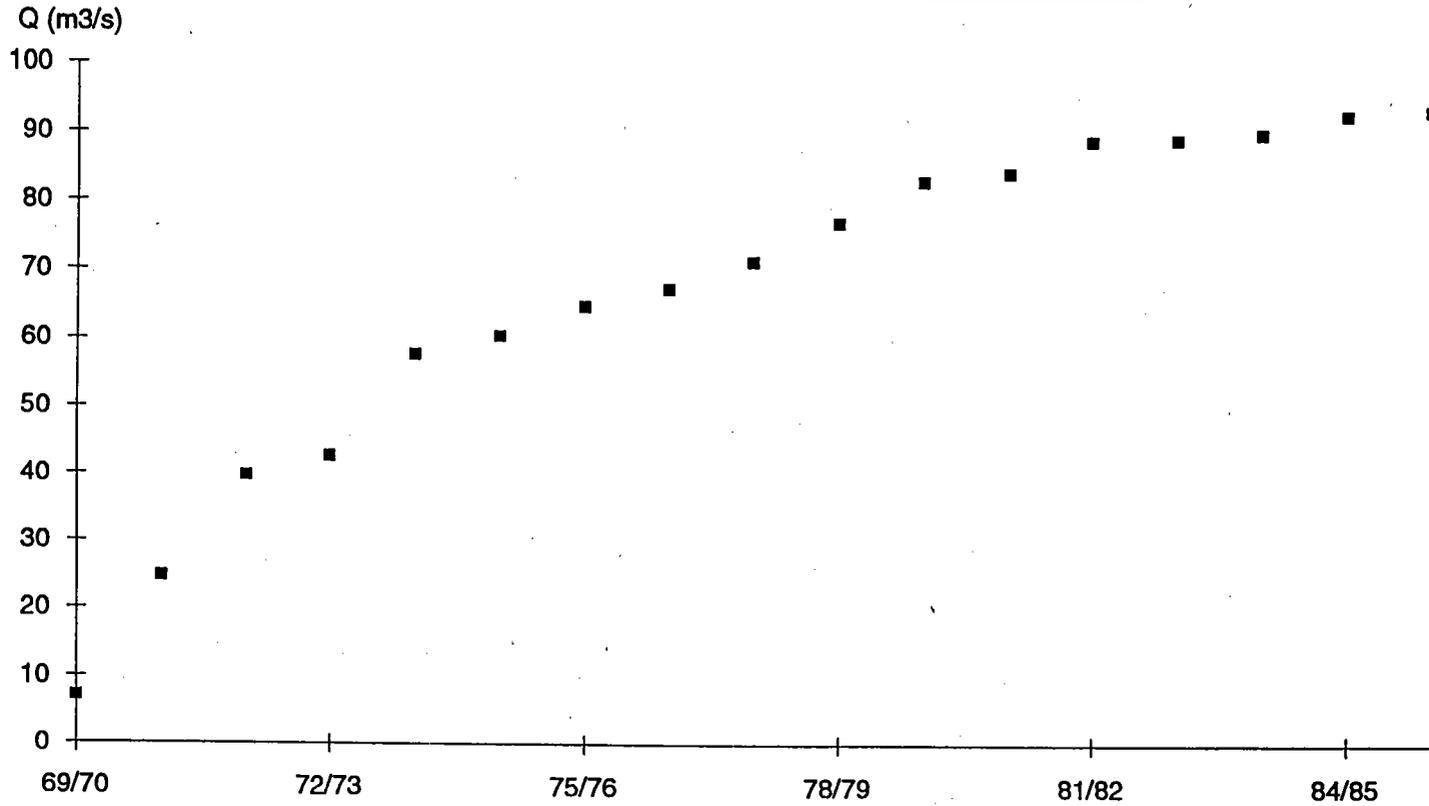


Annexe n°VIII d

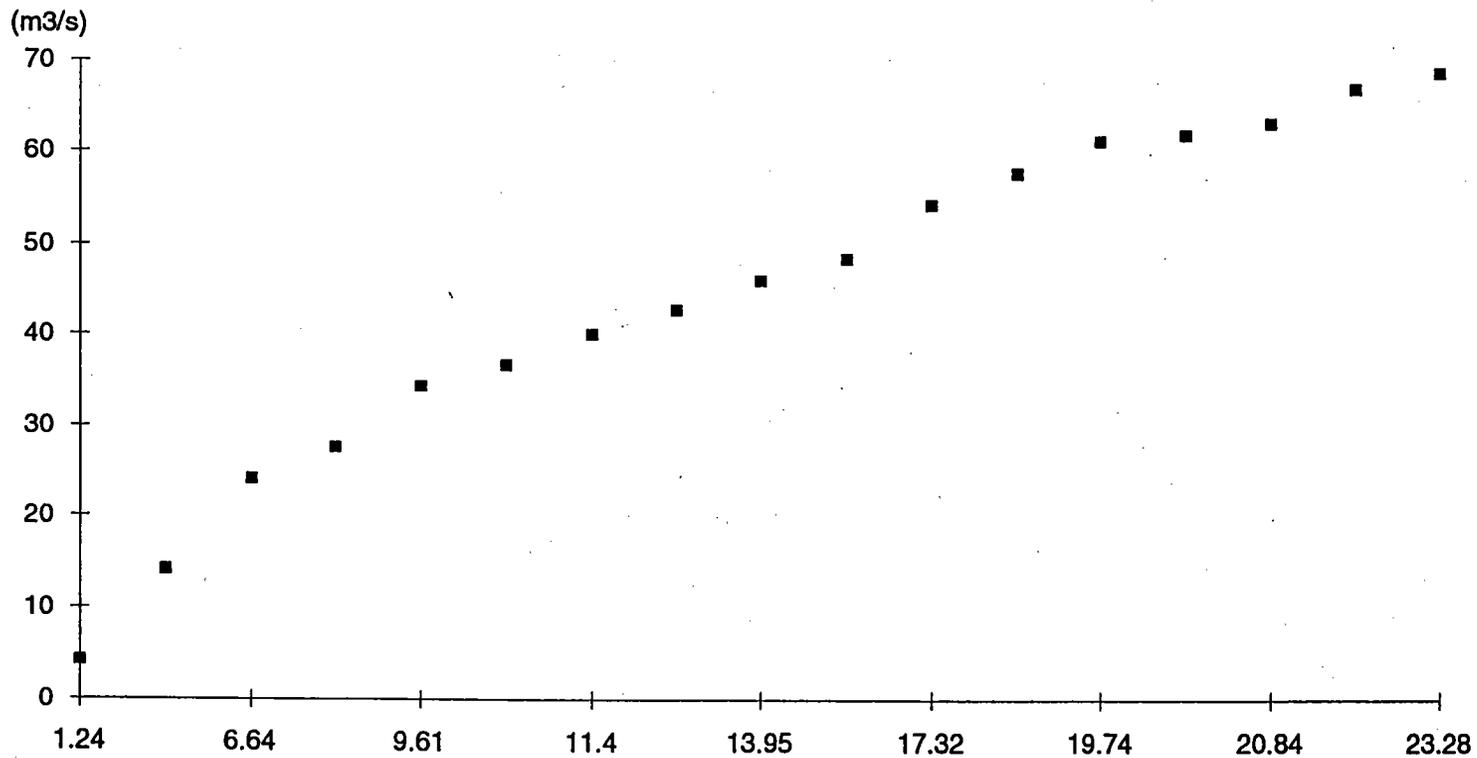
Méthode du simple cumul à la station de Taferiat (1969/70-1985/86)



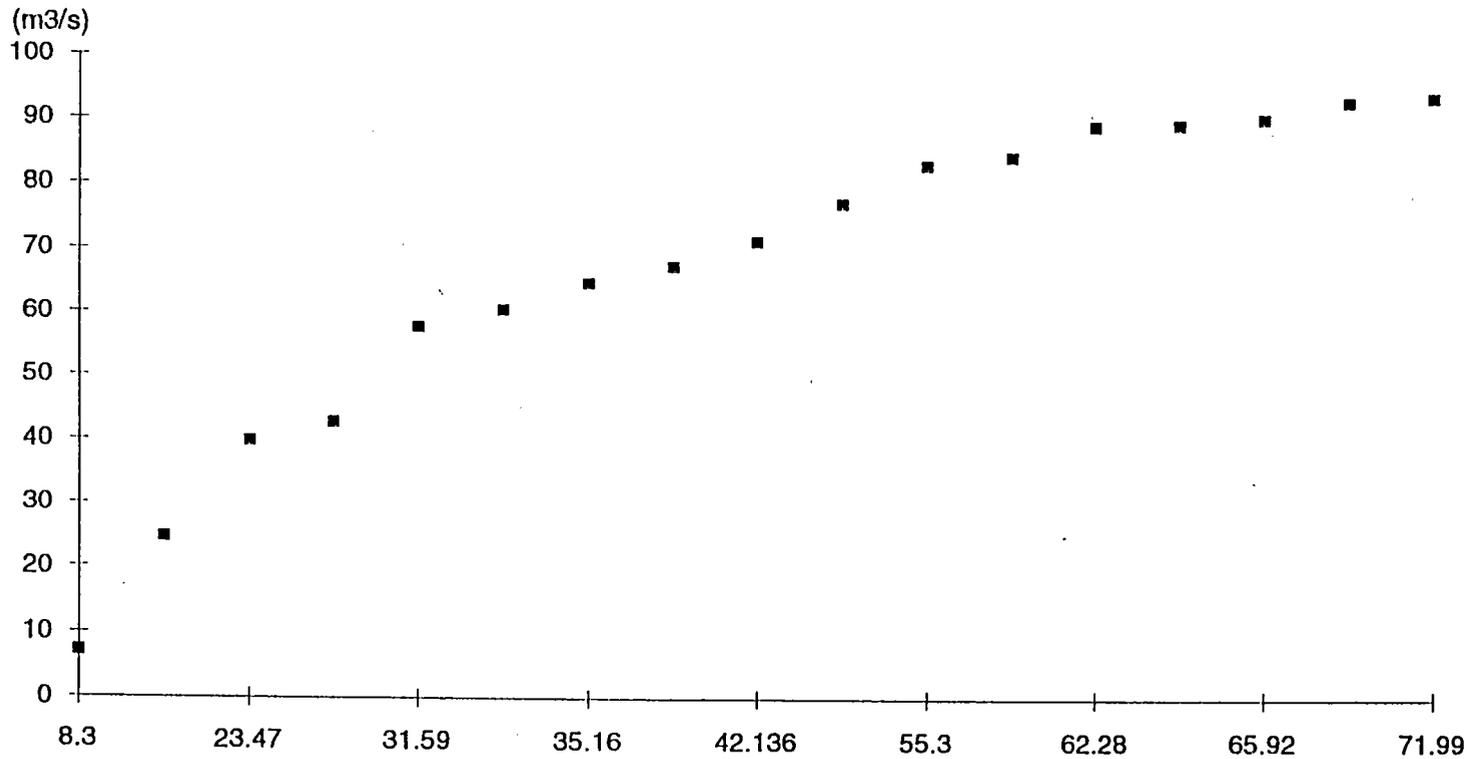
Annexe n°VIII Méthode du simple cumul à la station d'Abadla (1969/70-1985/86)



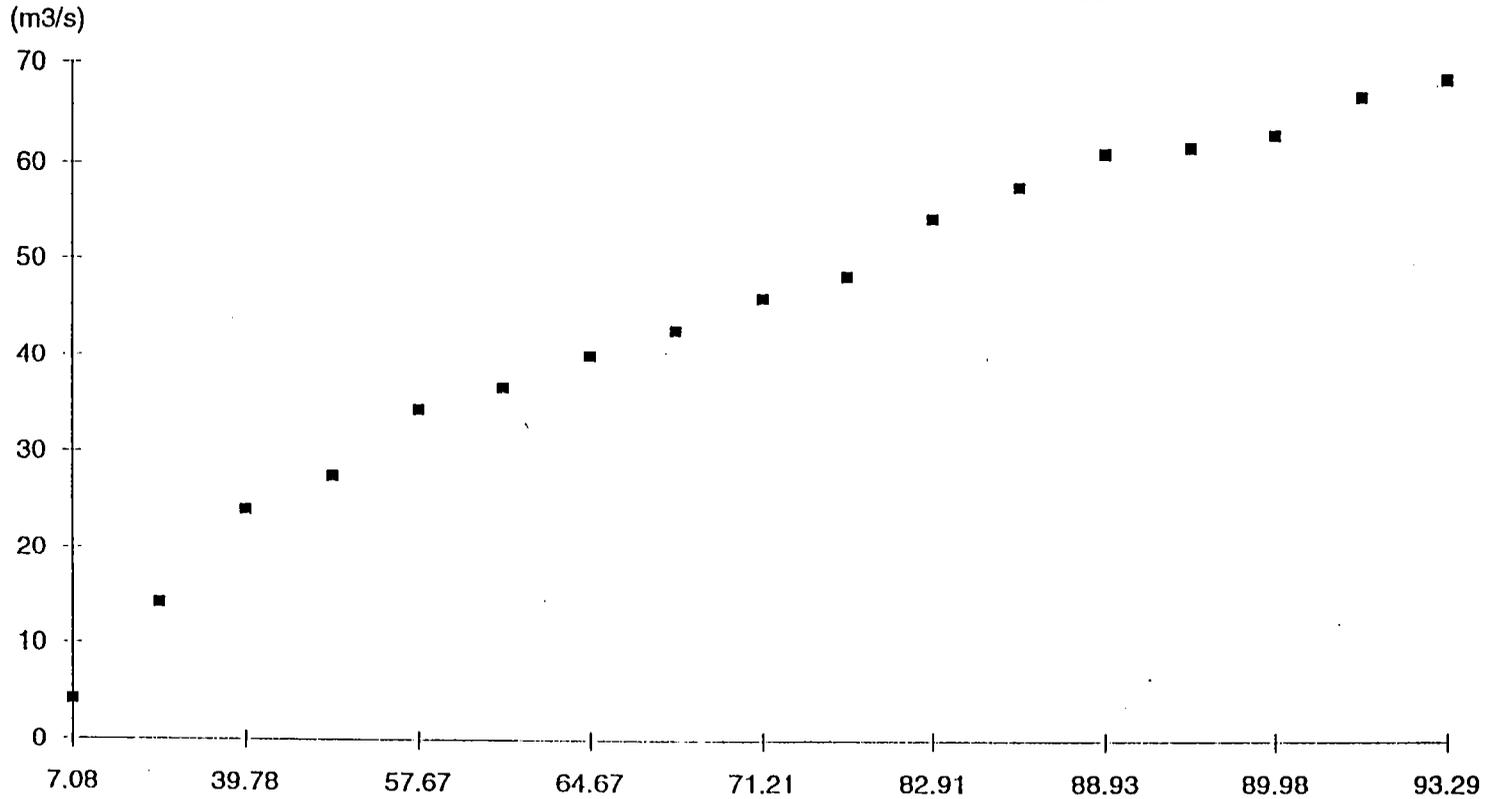
Annexe n° IX Méthode du double cumul aux stations de Tahannaout et Aghbalou (1969/70-1985/86)



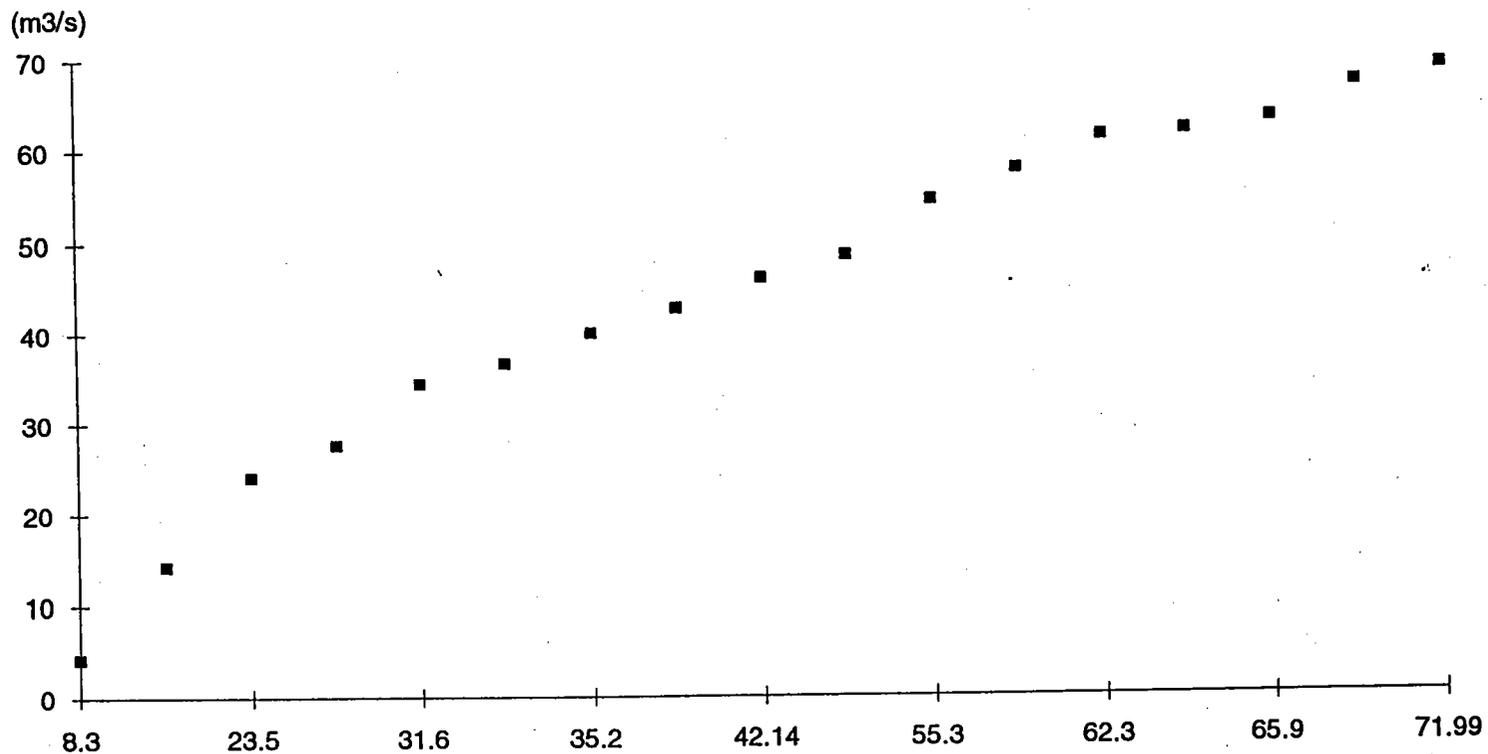
Annexe n° IXa Méthode du double cumul aux stations de Jmim el Hamam et Abadla (1969/70-
1985/86)



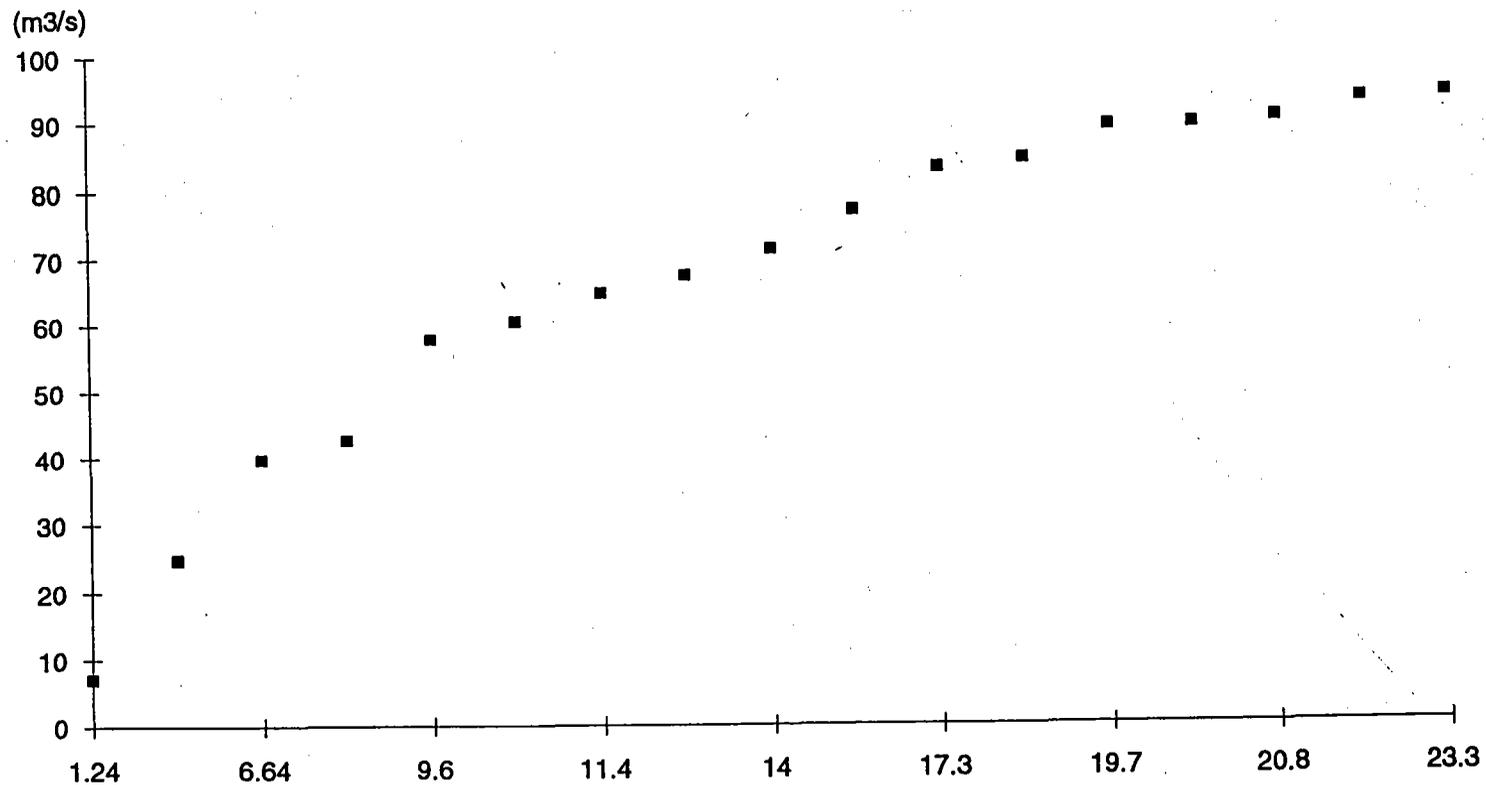
Annexe n° IXb Méthode du double cumul aux stations d'Aghbalou et Abadla (1969/70-1985/86)



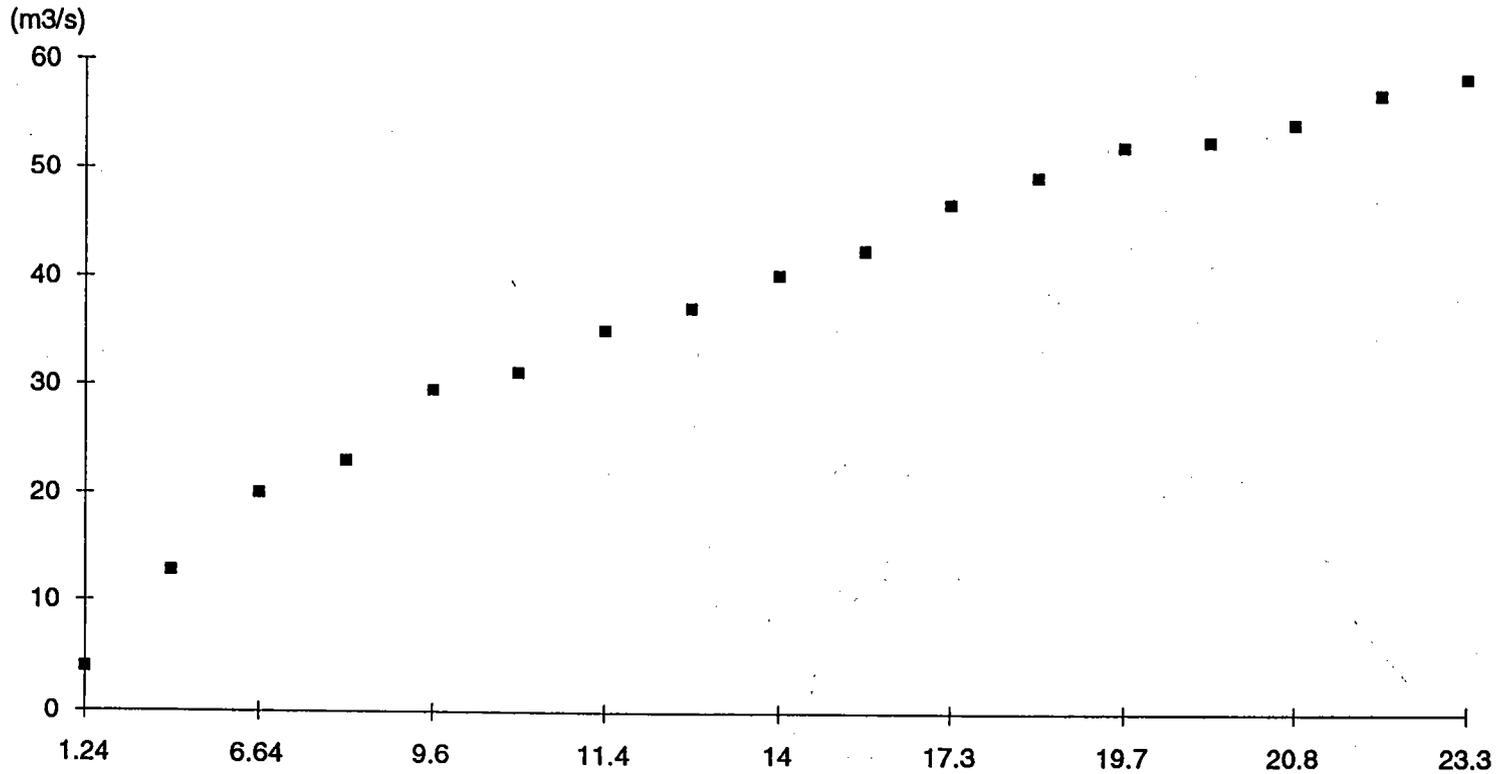
Annexe n° IXc Méthode du double cumul aux stations d'Aghbalou et Jmim el Hamam (1969/70-1985/86)



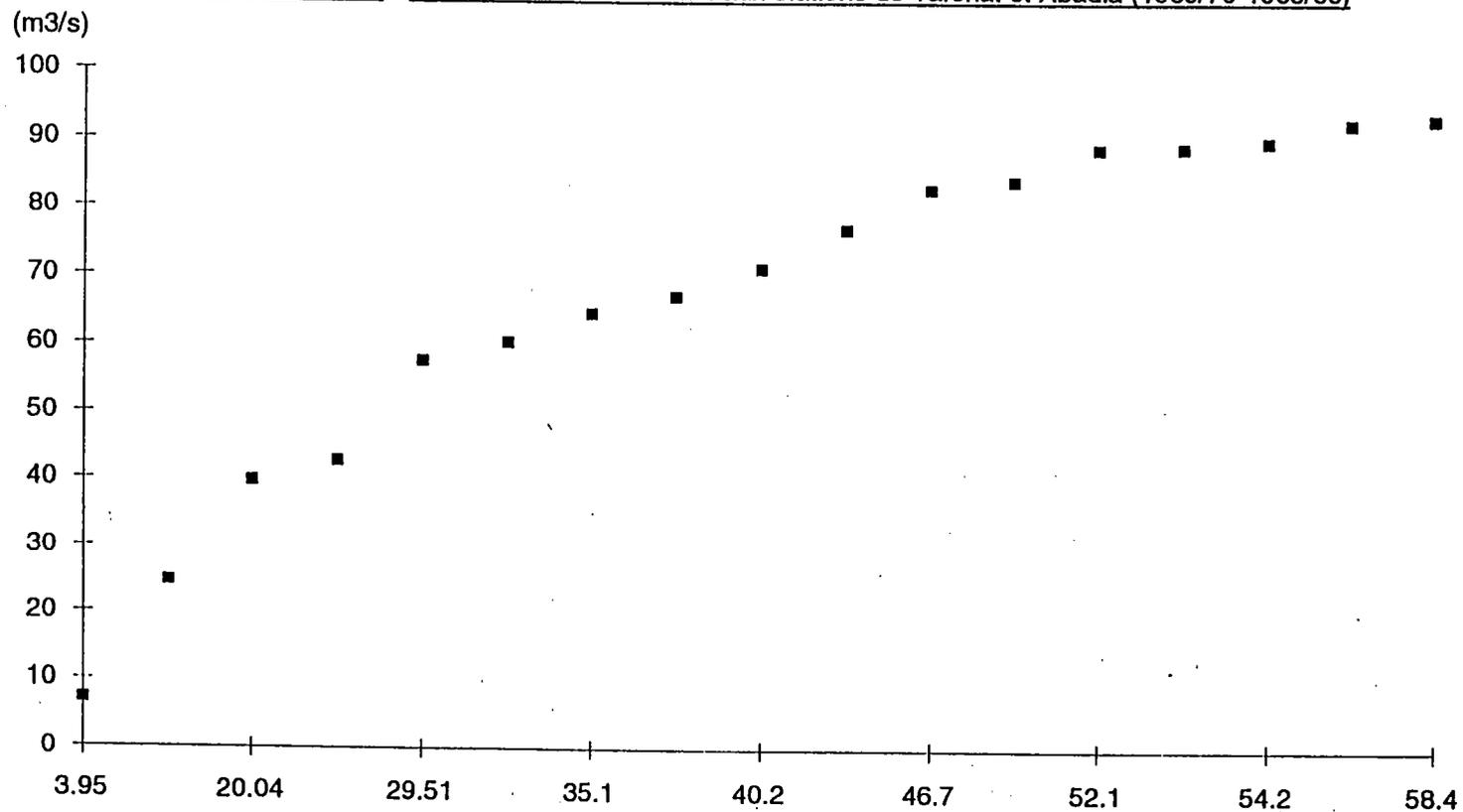
Annexe n° IXd Méthode du double cumul aux stations d'Abadla et Tahannaout (1969/70-1985/86)



Annexe n° IXe Méthode du double cumul aux stations de Taferiat et Tahannaout (1969/70-1985/86)

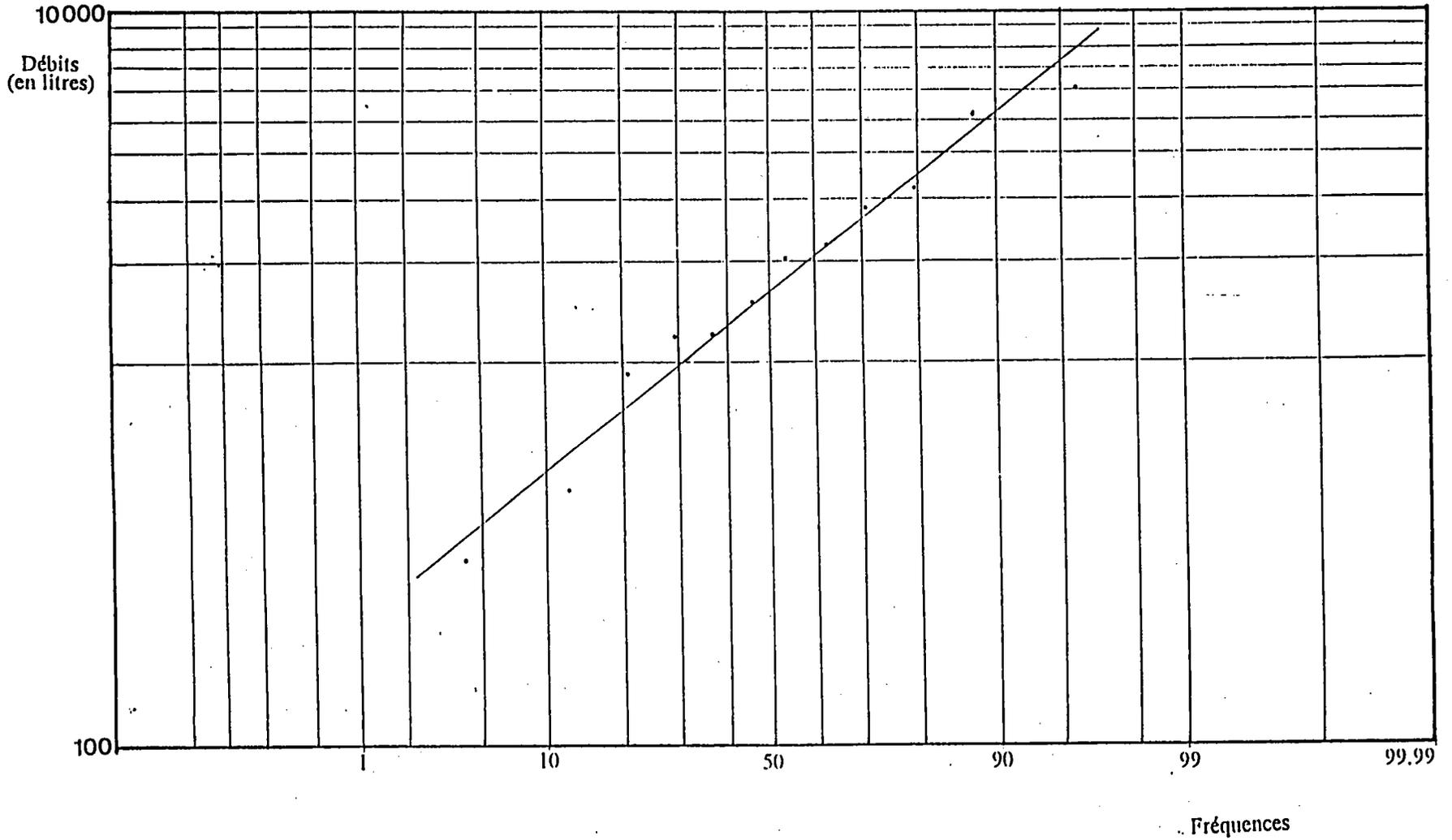


Annexe n° IXf Méthode du double cumul aux stations de Taferiat et Abadla (1969/70-1985/86)



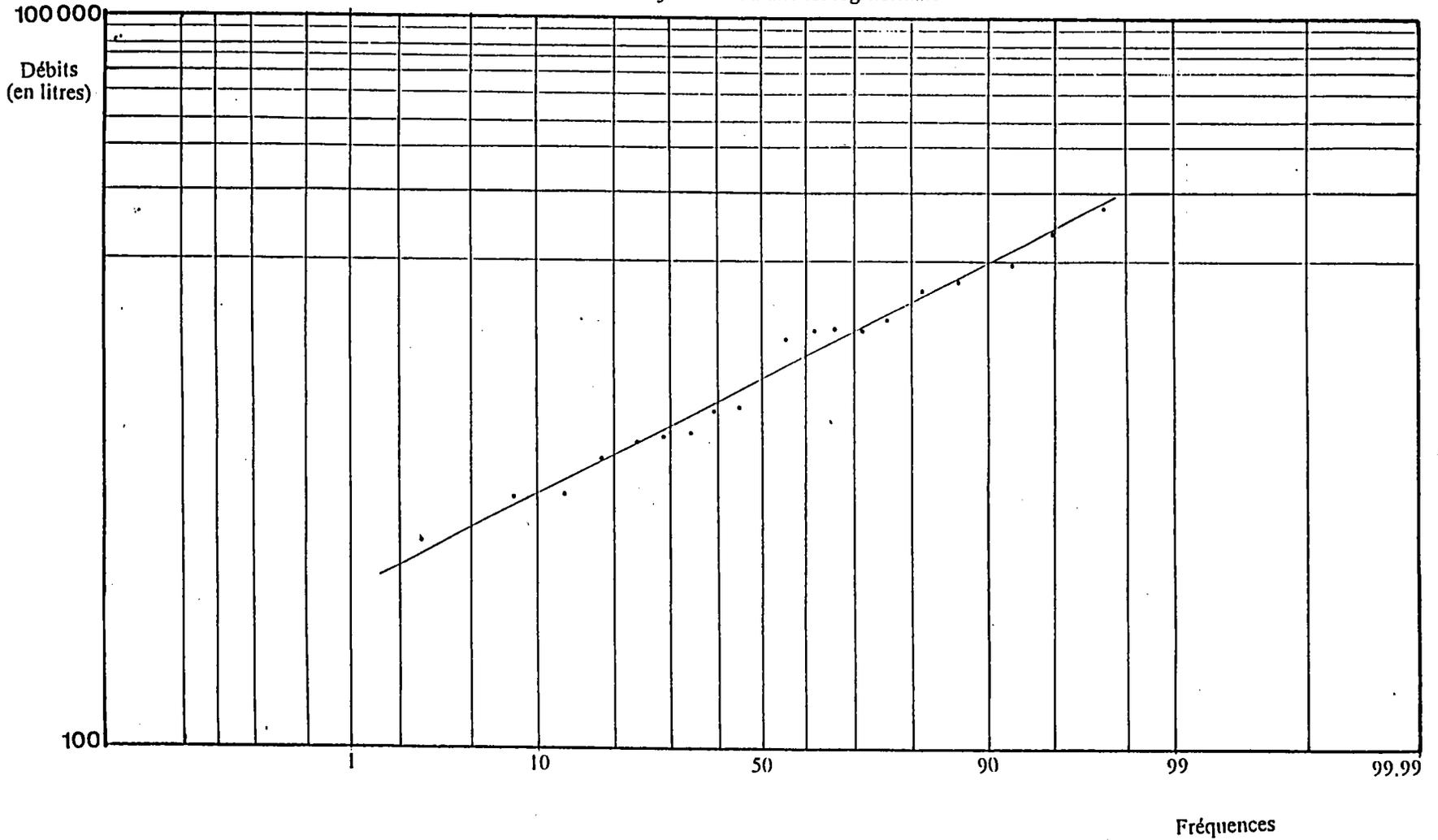
Annexe n°X

Débits annuels à la station d'Iguir N'kouris (O. N'fis) 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi log-normale



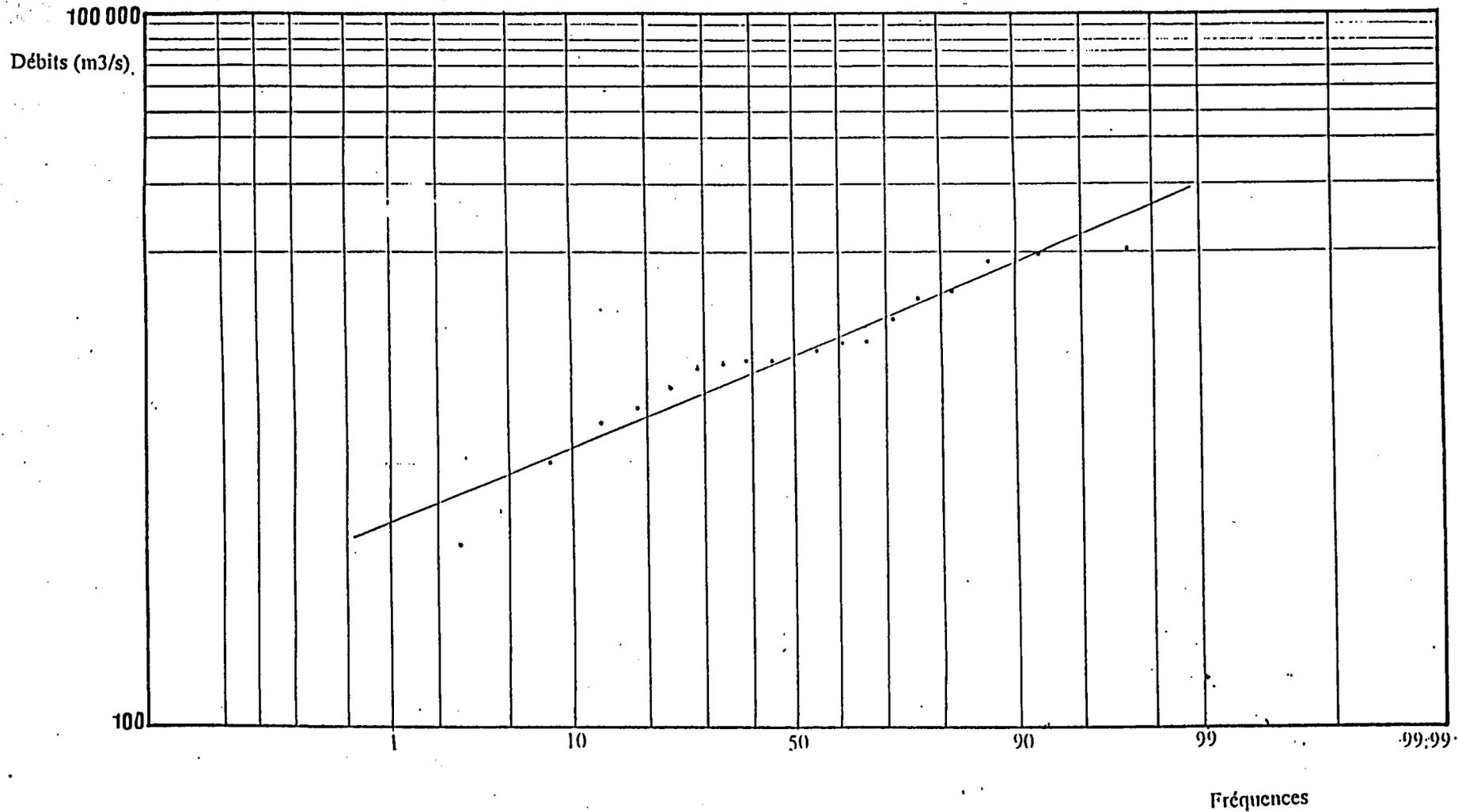
Annexe n°Xa

Débits annuels à la station de Jmim el hamam (O. N°fis) 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi log-normale



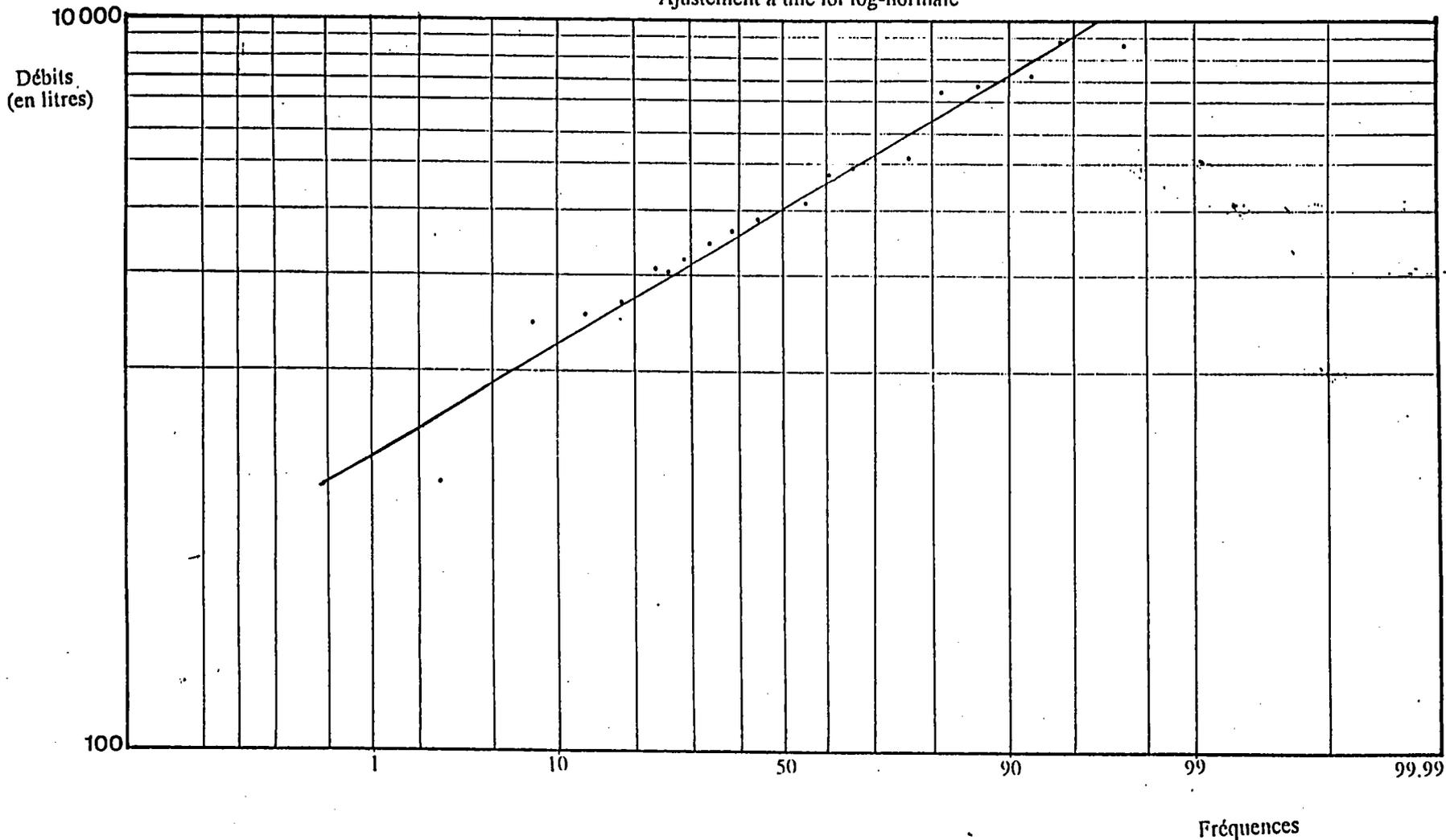
Annexe n°Xb

Débits annuels à la station d'Aghbalou (O. Ourika) 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi log-normale



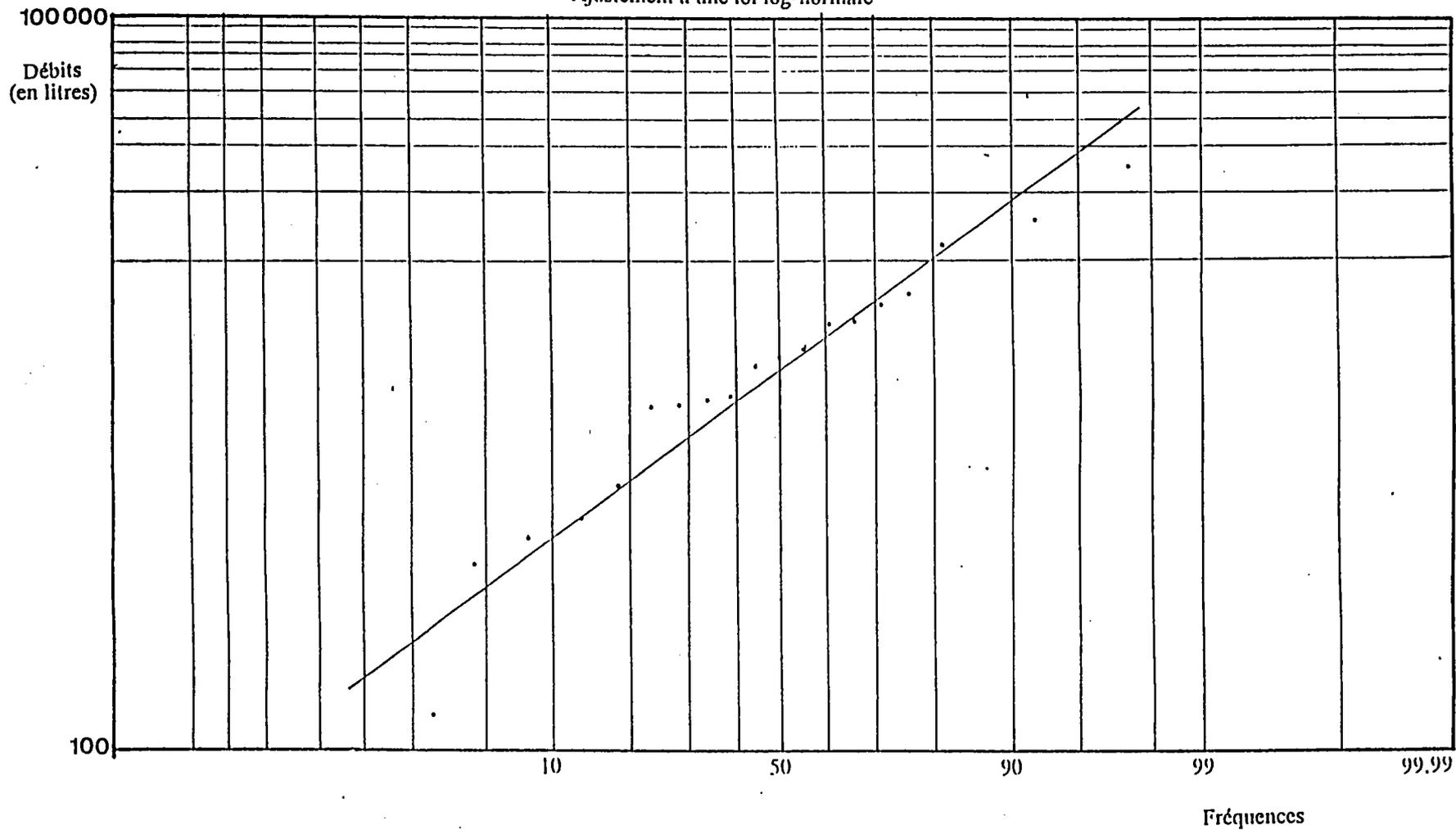
Annexe n° Xc

Débits annuels à la station de Tafcriat (O. Zat) 1967/68-1985/86
Ajustement à une loi log-normale



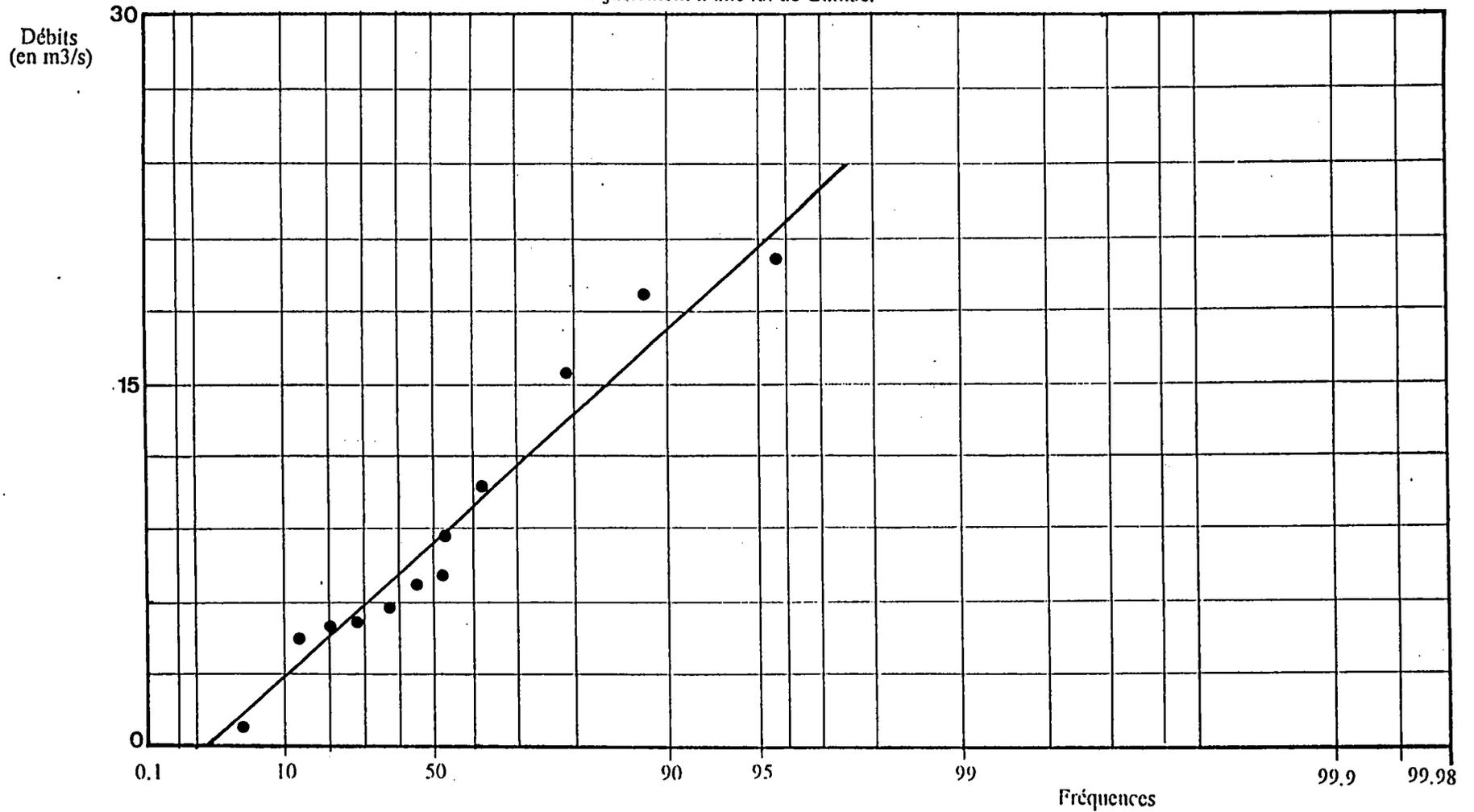
Annexe n°X_d

Débits annuels à la station d'Abadla (O. Tensif) 1967/68-1985/86.
Ajustement à une loi log-normale



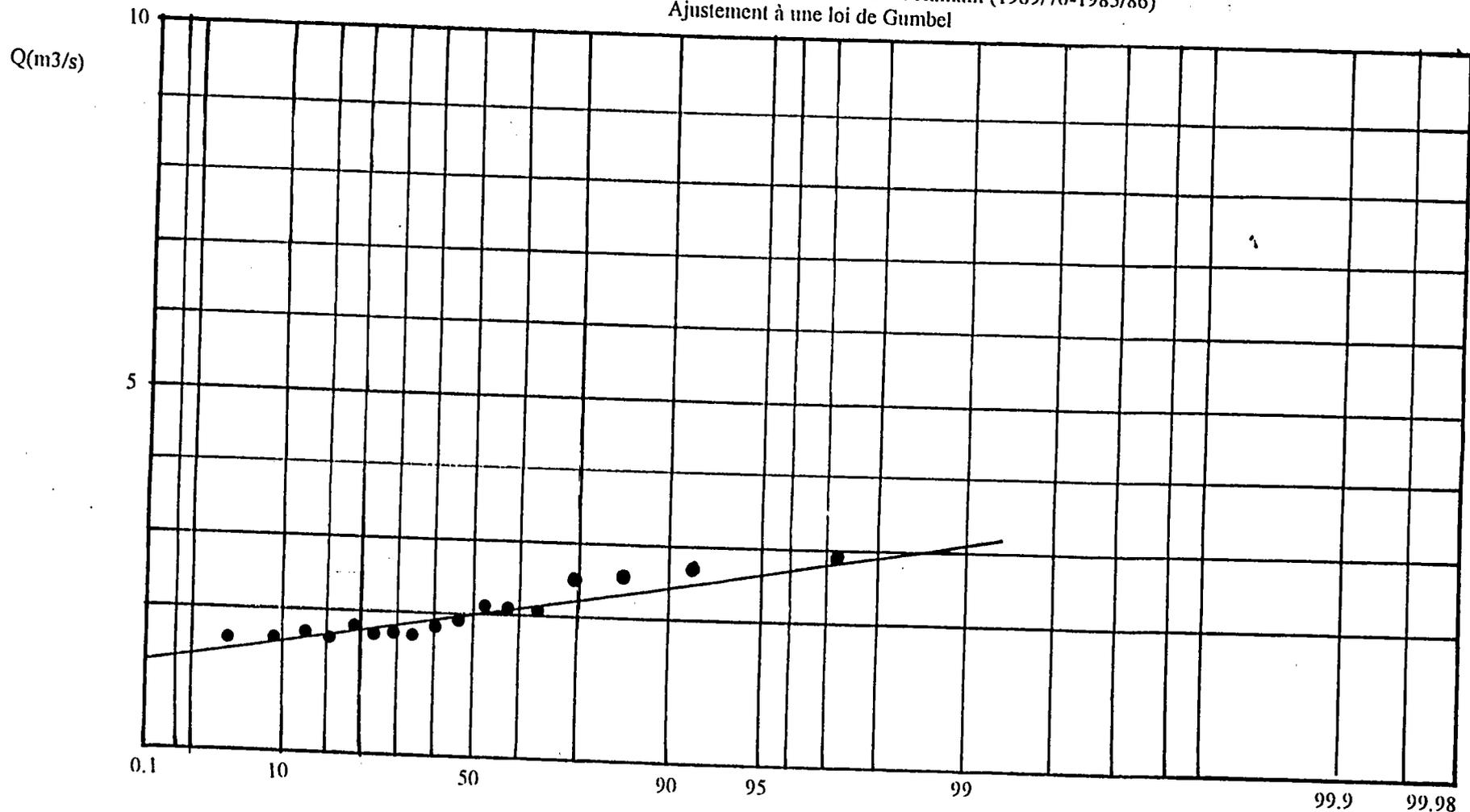
Annexe n° XI

Débits instantanés maximaux annuels à la station d'Iguir N'kouris (O. N'fis) 1970-1986
Ajustement à une loi de Gumbel



Annexe n°XIa

Débits instantanés maximaux à la station de Jmim el Hamam (1969/70-1985/86)
Ajustement à une loi de Gumbel

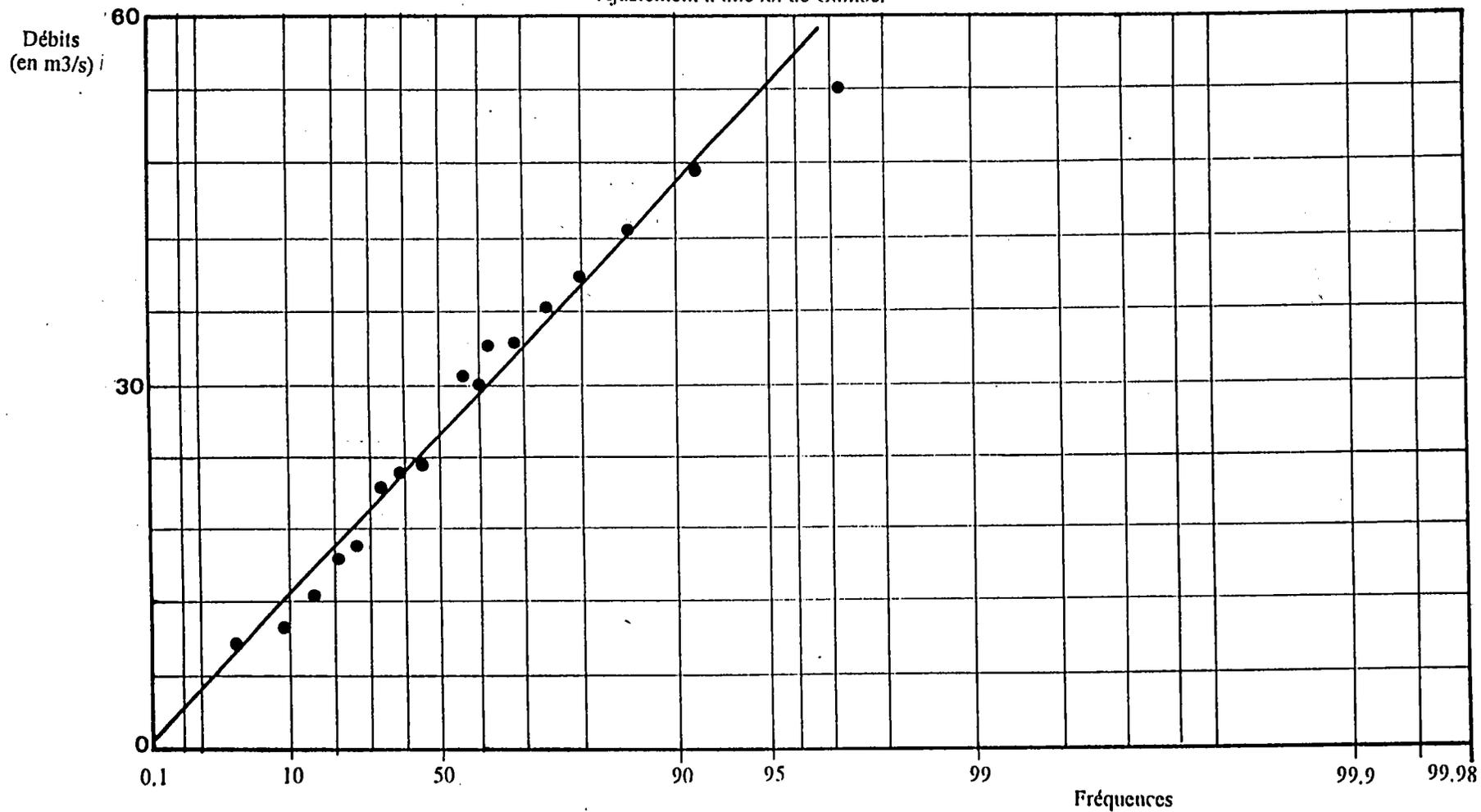


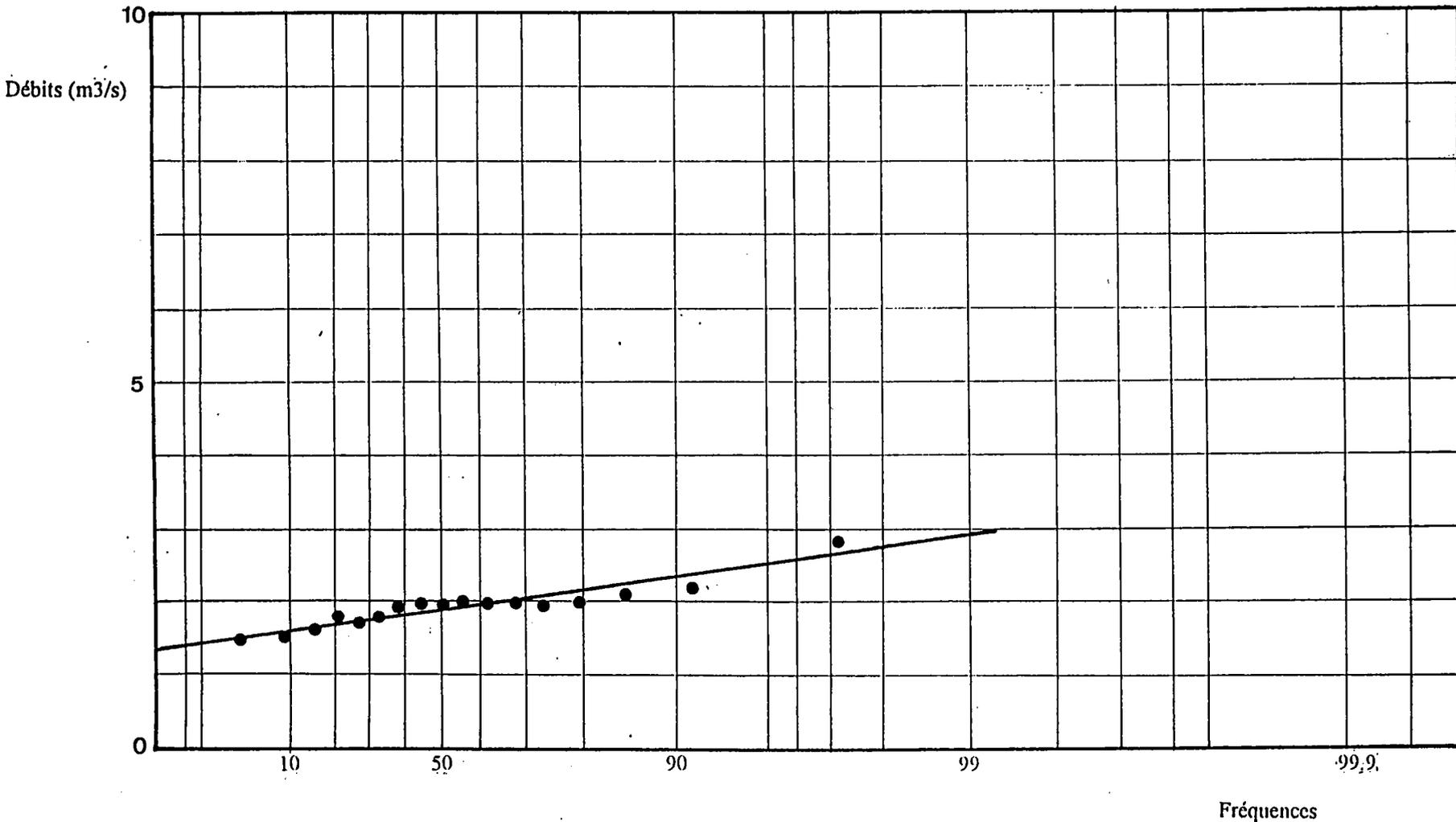
Fréquences

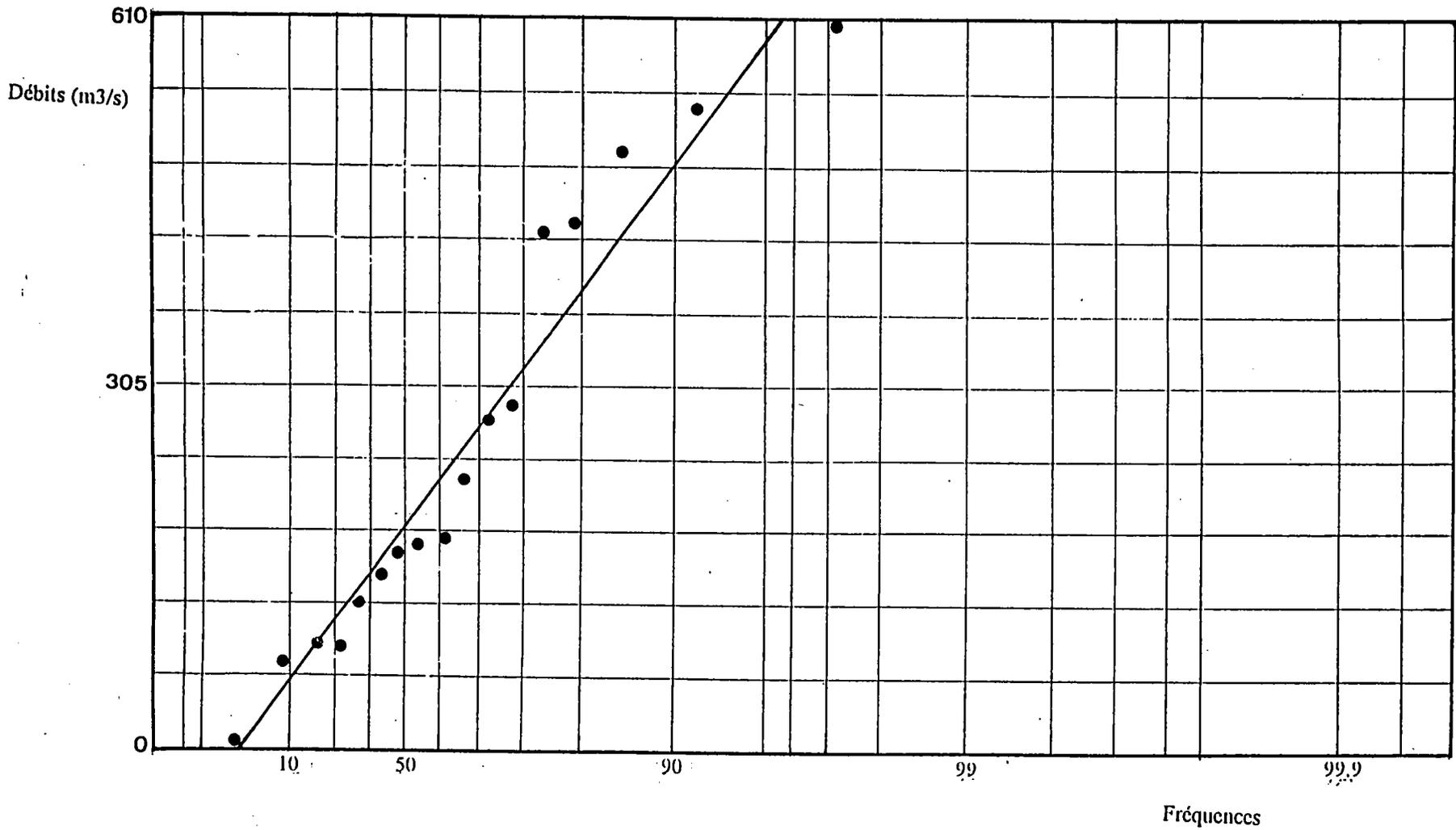
Annexe n° XIb

Débits instantanés maximaux annuels à la station de Tahannaout (O. Rheraya) 1970-1986

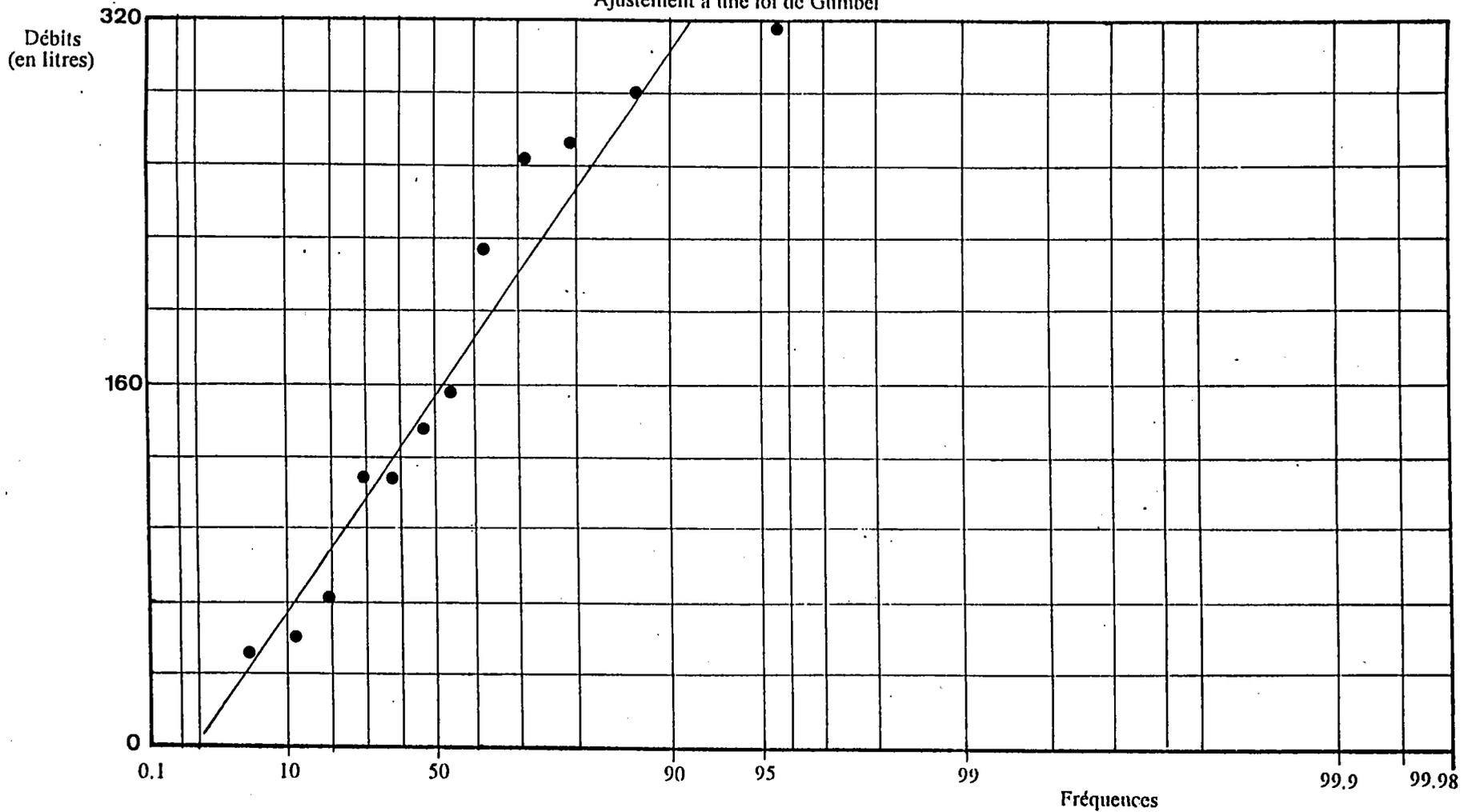
Ajustement à une loi de Gumbel

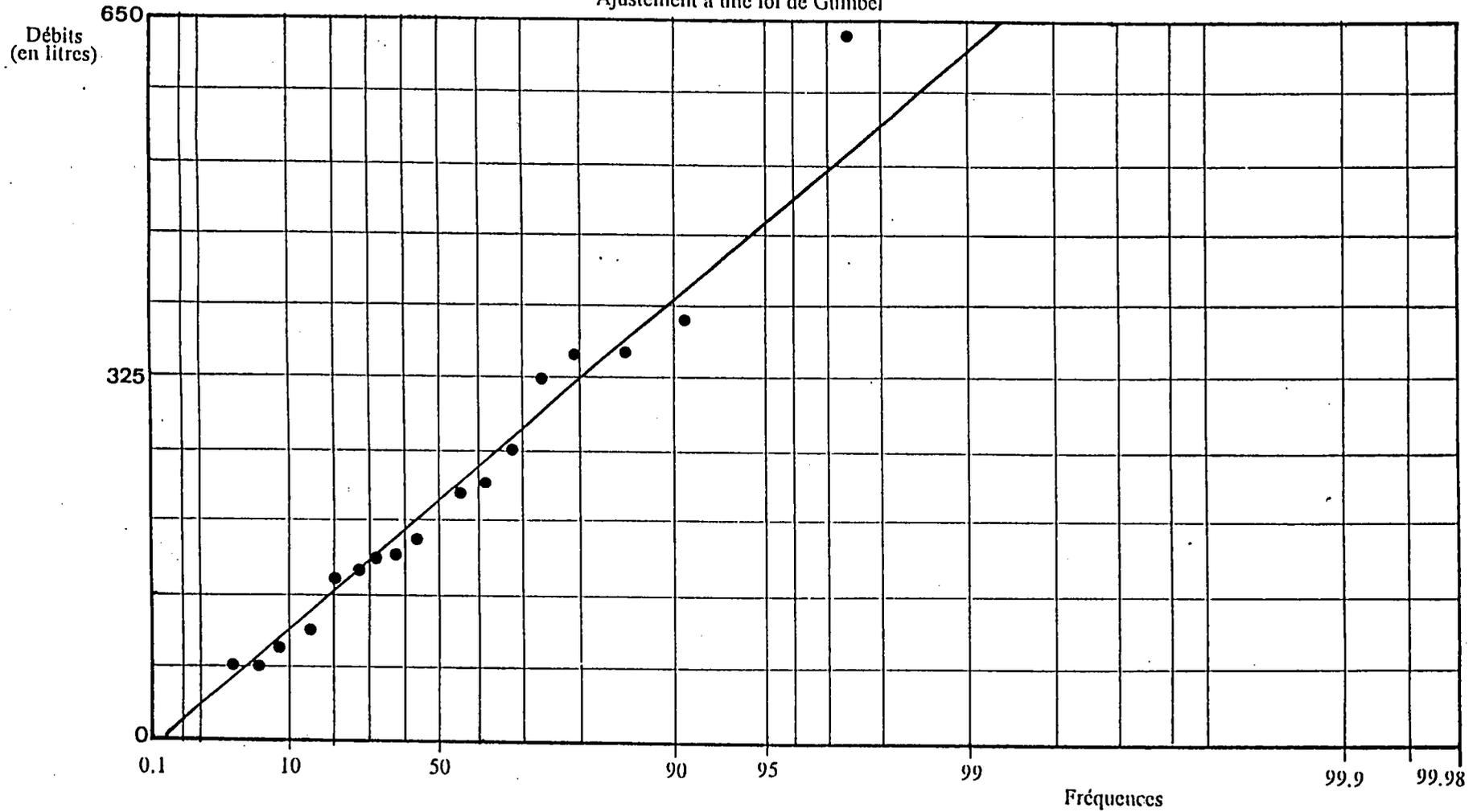






Débits des étiages à la station d'Iguir N'kouris (oued N'fis) 1970-1986
Ajustement à une loi de Gumbel

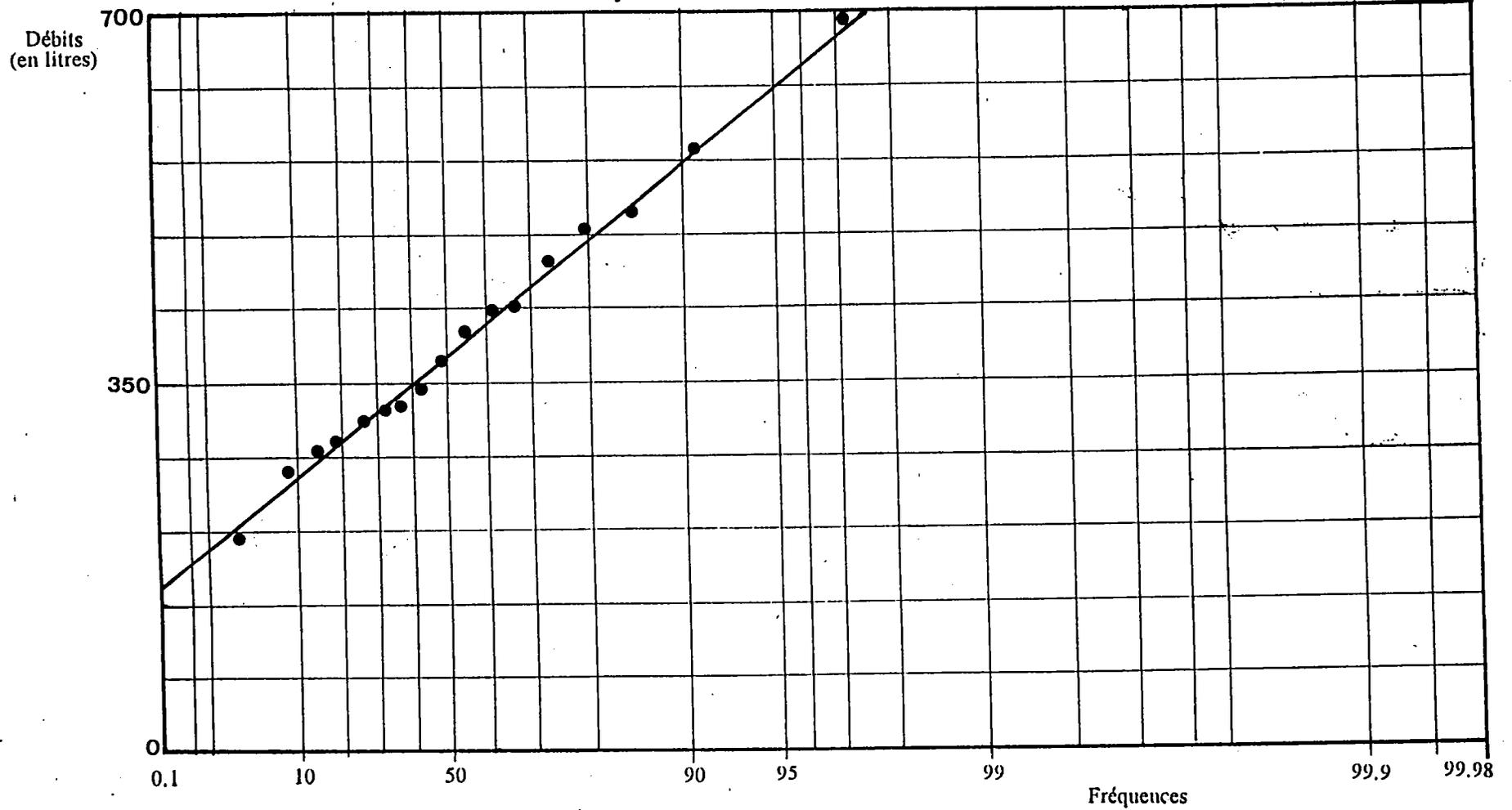




Annexe n° XIIb

Débits des étiages à la station de Tahannaout (oued Rheraya) 1970-1986

Ajustement à une loi de Gumbel



Annexe n° XIIc

Débits des étiages à la station de Taferiat (O. Zat) 1970-1986

Ajustement à une loi de Gumbel

