

**Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique**
Université Mohamed Boudiaf - M'sila



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme
de master**

FILIERE : Hydraulique
Option :Hydraulique Urbaine

THEME

**Impact du changement climatique sur le régime
hydrologique du bassin versant de l'Oued Ksob**

Dirigé par :
M^r BENKADJA Rachid

Présenté par :
M^r BOURAHLA Lahcen

Promotion : 2015/2016

**Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique**
Université Mohamed Boudiaf - M'sila



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme
de master**

FILIERE : Hydraulique
Option :Hydraulique Urbaine

THEME

**Impact du changement climatique sur le régime
hydrologique du bassin versant de l'Oued Ksob**

Dirigé par :
M^r BENKADJA Rachid

Présenté par :
M^r BOURAHLA Lahcen

Promotion : 2015/2016

Remerciement

Je tiens premièrement à remercier Dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste mémoire.

*En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur **D' BENKADJA Rachid** pour ses précieux conseils, sa patience, son aide et ses orientations ficelées tout au long de mon travail.*

Mes remerciements les plus distinguées vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements sont aussi à tous mes ami(e)s et collègues(ayoub , lyamin, salah, imad, boualam, antar, hamza, hicham, rami, abd elrazak, choaib)

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci à tous et à toutes

Dédicace

A la mémoire de mes parents pour eux, je prie Allah le tout puissant de les accueillir dans son vaste paradis.

A ma grande famille frères et sœurs

Ma mère la lumière de mes yeux.

Mon père Mon père Mon père

A tous mes amis

A tous ceux qui me sont cher(e)s

A tous les universitaires

Je dédie ce modeste travail



BOURAHLA LAHCEN

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : Caractéristiques physiques et morphométriques du bassin versant K'sob

I.1. Situation géographique du bassin versant K'sob.....	2
I.2. Caractéristiques physiques du bassin versant K'sob.....	3
I.2.1. Géologie	3
I.2.1.1. Lithologie de bassin versant du K'sob	5
I.2.1.2. Structure tectonique.....	7
I.2.2. Importance de la porosité et ses nuances	8
I.2.3. Pédologie.....	10
I.2.4. Couverture végétale	11
I.2.4.1. Classification de la végétation.....	11
I.2.4.2. Répartition de la couverture végétale du bassin versant du K'sob	12
I.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant K'sob	14
I.3.1. Paramètres géométriques	14
I.3.1.1. Caractéristiques de forme	14
I.3.2. Paramètres de relief	16
I.3.3. Paramètres de réseau hydrographique	23
I.3.3.1. Hiérarchisation du réseau	23
I.3.3.2. Les rapports de confluence et de longueur.....	24
I.3.3.3. Profil longitudinal d'un cours d'eau principale.....	26
I.3.4. Caractéristiques physiographiques.....	27
I.3.4.1. Densité de drainage	27
I.3.4.2. La densité hydrographique	27
I.3.4.3. Le coefficient d'élancement.....	28
I.3.5. Coefficient de torrentialité	28
I.4. Caractéristiques climatiques.....	30
I.4.1. La température.....	30
I.4.2. L'évaporation.....	31
I.4.3. Vitesse du vent.....	31
I.4.4. Données pluviométriques.....	32

CHAPITRE II : Généralités sur l'impact du changement climatique

II.1. Définition	33
II.1.1. Les changements climatiques passés.....	34
II.1.2. Le changement climatique actuel	34
II.2. Les causes du changement climatique	35
II.2.1. Activités naturelles	35
II.2.2. Activités humaines	36
II.3. Effets du changement climatique	37
II.3.1. L'effet de serre.....	37
II.3.1.1. L'effet de serre naturel.....	37
II.3.1.2. L'effet de serre additionnel.....	39
II.4. Les Solutions.....	39
II.5. Les étapes d'une étude d'impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau.....	39
II.6. Impacts du changement climatique sur différents secteurs liés à l'eau	40
II.6.1. Écologie.....	41
II.6.2. Secteur touristique	41
II.6.3. La production d'énergie.....	41
II.6.4. L'agriculture.....	41
II.7. Impact des changements climatiques sur les ressources en eau en Algérie	42
II.7.1. Stratégie d'adaptation.....	44
II.7.1.1. Mesures quantitatives	44
II.7.1.2. Mesures qualitatives	45
II.8. Impact du changement climatique sur le bassin versant du K'sob (région de BBA)	46
II.8.1. Historique de la variabilité et les changements climatiques	46
II.8.2. Désastre de l'impact des risques et vulnérabilités	47

CHAPITRE III : Principe de la modélisation

III.1. Définition de la modélisation	48
III.2. Définition d'un modèle	49
III.3. Classification des modèles.....	49
III.3.1. Les modèles mathématiques.....	49
III.3.1.1. Les modèles empiriques.....	49
III.3.1.2. Les modèles déterministes (mécanistes)	50
III.3.1.3. Les modèles conceptuels.....	50
III.3.1.4. Les modèles statistiques.....	51
III.3.2. Le modèle physique.....	51

III.3.3. Les modèles analogiques	52
III.4. La simulation	55
III.5. Schéma des liens entre les modèles en hydraulique	55
III.6. Conception d'un modèle d'impact du changement climatique sous Vensim®.....	56
III.7. Fiche technique du logiciel de modélisation Vensim: Application Vensim PLE.....	59
III.7.1. Présentation de l'environnement de Vensim®	59
III.7.2. Construire un modèle	59
III.7.2.1. Créer les éléments du modèle	59
III.7.2.2. Paramétrer le modèle.....	60
III.7.3. Lancer le calcul, faire une simulation	61
III.7.4. Arrêter une simulation.....	61

CHAPITRE IV : Application sur Vensim

IV.1. Modèle pluie-débit annuel GR1A	62
IV.2. Application des données sur Vensim.....	66
IV.2.1. Convention d'écriture des noms	66
IV.2.1.1. Variables.....	66
IV.2.1.2. Diagrammes	66
IV.2.2. Construction du diagramme	67
IV.2.3. Saisie des équations.....	68
IV.2.4. Vérification du modèle et des unités (erreurs de syntaxe)	71
IV.2.5. Simulation	72
IV.2.6. Analyse du modèle	72
IV.2.7. Analyse graphique des causes	74
IV.2.8. Comparaison entre le débit observé et le débit simulé	74
IV.2.9. Simulation en utilisant la méthode de Oudin.....	75
IV.2.10. Comparaison entre le débit observé et le débit simulé après l'utilisation de la méthode de Oudin.....	76
IV.2.11. Simulation par Vensim en utilisant l'impact du changement climatique.....	76
Conclusion générale.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Répartition des terrains du bassin du K'sob selon leur degré de perméabilité	9
Tableau I.2. Caractéristiques des matériaux du bassin versant.....	10
Tableau I.3. Degré de perméabilité	10
Tableau I.4. Répartition des types de couverture végétale.....	13
Tableau I.5. Calcul des surfaces partielles et cumulées	17
Tableau I.6. Deuxième classification d'après l'O.R.S.T.O.M.	22
Tableau I.7. Valeurs du rapport de confluence.....	25
Tableau I.8. Valeurs du rapport des longueurs	25
Tableau I.9. Calcul de la densité hydrographique	28
Tableaux I.10. Principales caractéristiques morpho métriques du B.V du K'sob.....	29
Tableau I.11. Caractéristiques de la station de BBA.....	30
Tableau I.12. Répartition mensuelle de la température.....	30
Tableau I.13. Evaporation moyenne mensuelle.....	31
Tableau I.14. Répartition mensuelle de la vitesse du vent.....	31
Tableau I.15. Caractéristiques de la station pluviométrique.....	32
Tableau III.1. L'analogie entre le circuit hydraulique et le circuit électrique.....	51
Tableau III.2. Les relations de base de l'analogie hydraulique-électrique.....	51
Tableau III.3. Les différents éléments du modèle	56

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Localisation et situation du bassin versant du K'sob	2
Figure I.2. Carte géologique du bassin de K'sob(A. Hattab et H. Delaladja ,2007).....	4
Figure I.3. Lithologie du bassin versant de l'Oued K'sob	6
Figure I.4. Stratigraphie du Hodna.....	8
Figure I.5. Couverture végétale dans le bassin versant du K'sob	13
Figure I .6. Rectangle équivalent du bassin versant K'sob.....	16
Figure I.7. La courbe hypsométrique.....	17
Figure I.8. Carte hypsométrique du B.V du K'sob.....	18
Figure I.9. Les pentes dans le bassin de l'oued k'sob(A.Hattab et H.Delaladja 2007)	20
Figure I.10. Carte du Réseau hydrographique du bassin versant de K'sob	24
Figure I.11. Profil longitudinal de cours d'eau.....	26
Figure I.12. Répartition moyenne mensuelle de la température.....	30
Figure I.13. Répartition moyenne mensuelle de la l'évaporation.....	31
Figure I.14. Répartition moyenne mensuelle des vitesses des vents.....	32
Figure II.1. Explication du mécanisme de l'effet de serre	35
Figure II.2. Les étapes d'une étude d'impacts du changement climatique [Fabre, 2010].	37
Figure II.3. Température et précipitations moyennes annuelles à la station BBA de 1901 à 2012.....	43
Figure III.1. L'analogie entre le circuit hydraulique et le circuit électrique.....	51
Figure III.2. Les diverses relations et interactions entre les modèles.....	53
Figure III.3. Exemple de la construction d'un modèle sous Vensim®	55
Figure IV.1. Pluies et Hydrogrammes des chroniques des débits observés et simulés.....	62
Figure IV.2. Les débits simulés par Vensim de 1981 à 2005	69
Figure IV.3. Pluies et Hydrogrammes permet de visualiser les chroniques de débits observés et simulés.....	71
Figure IV.4. Pluies et Hydrogrammes représente de visualiser les chroniques de débits observés et simulés.....	73
Figure IV.5. Pluies et Hydrogrammes représentant les chroniques de débits observés et simulés	74

ملخص

عالجت في هذه الدراسة تأثير تغيير المناخ على النظام الهيدرولوجي لحوض وادي القصب. الهدف هو إجراء محاكاة التدفق السنوي عن طريق نموذج الأمطار والسيول السنوي GR1A وبرنامج Vensim. هذا الأخير أكثر سهولة لإعطاء نتائج مماثلة لتلك التي في GR1A ومحاكاة التدفقات السنوية لا يمكن أن تتم بعد سنتين بغض النظر عن تقدير قيم التبخر بواسطة أسلوب

Oudin أو Turc

RESUME

On a traité dans ce travail l'étude d'impact du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin versant de l'oued Ksob. Le but est d'effectuer une simulation du débit annuel par l'utilisation du modèle pluie-débit annuel GR1A et du logiciel Vensim. Ce dernier, plus facile à modéliser donne des résultats similaires à celui de GR1A et la simulation des débits annuels ne peut se faire au-delà de 2 ans quel que soit la méthode d'estimation de l'ETP par la méthode Turc ou celle d'Oudin.

ABSTRACT

Was processed in this work, the impact study of climate change on the hydrology of the Wadi Ksob watershed. The aim is to perform a simulation of the annual flow using annual rainfall-runoff model GR1A and Vensim software. The latter, easier to model gives similar results that GR1A and simulation of annual flows cannot be done beyond 2 years regardless estimate of the ETP by Turc or Oudin method.

INTRODUCTION GENERALE

On peut construire un modèle permettant la représentation du phénomène physique étudié. On parle ainsi de la modélisation.

Le principe de la modélisation est de remplacer un système complexe en un objet reproduisant les comportements principaux de l'original.

L'observation n'est pas toujours possible ni suffisante pour étudier un phénomène réel.

L'expérimentation sur un modèle du phénomène que l'on veut étudier est alors d'un grand secours pour approfondir l'étude. C'est ce qu'on appelle la simulation.

Dans ce cadre rentre notre étude intitulée << impact d'un changement climatique sur le régime hydrologique du bassin versant de l'oued K'sob >>.

Nous allons en premier lieu donner un aperçu général sur le milieu d'étude, la situation géographique du bassin versant K'sob et leur caractéristiques physiques et morphométriques, suivi des généralités sur l'impact du changement climatique (sur le monde, en Algérie et le bassin versant du K'sob), puis le principe de modélisation et l'application des données par le modèle GR1A et la logiciel Vensim®.

Les données climatiques moyennes annuelle dans la région de BBA nécessaire pour cette étude est la pluie, la température, le débit et l'ETP.

Le but de cette étude est de faire de simulation du débit annuelle en deux modèles:

-Le modèle pluie-débit annuelle GR1A (présentée par Mouelhi 2003) permet de faire des simulations des débits au pas de temps annuel. Les données de pluie et de l'ETP sont utilisées comme entrées du modèle. Le débit est utilisé pour le calage des paramètres et l'évaluation des performance. Le graphe des chroniques de débits observés et simulés donnés pour illustrer les résultats du modèle.

-Le modèle Vensim® (Ventana Système 1997) C'est un outil très performant pour décrire des flux entre des variables. Ce logiciel offre la possibilité de décrire, simuler, analyser et optimiser les systèmes dynamiques dans le domaine hydrologique. Il permet de construire un graphique du système étudié.

La simplicité d'utilisation de Vensim® en fait un bon outil pédagogique pour la modélisation en s'affranchissant des langages de programmation habituels.

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

ET MORPHOMETRIQUES DU BASSIN

VERSANT K'SOB

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MORPHOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT K'SOB

I.1. Situation géographique du bassin versant K'sob

Le bassin versant de l'oued K'sob est situé dans le grand bassin du Hodna au Nord de l'Algérie (Figure I.1). Il est limité au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans ; au Sud et au Sud-ouest par les monts du Hodna et à l'Est par les hautes plaines de Sétif. Il se situe aussi entre les méridiens de longitudes 5°6' et 4°34' Est et les parallèles de latitude 35°33' et 36°18' Nord.

Il s'étend sur la totalité de la wilaya de Bordj Bou Arreridj dont son exutoire est à la limite Nord de la wilaya de M'sila.

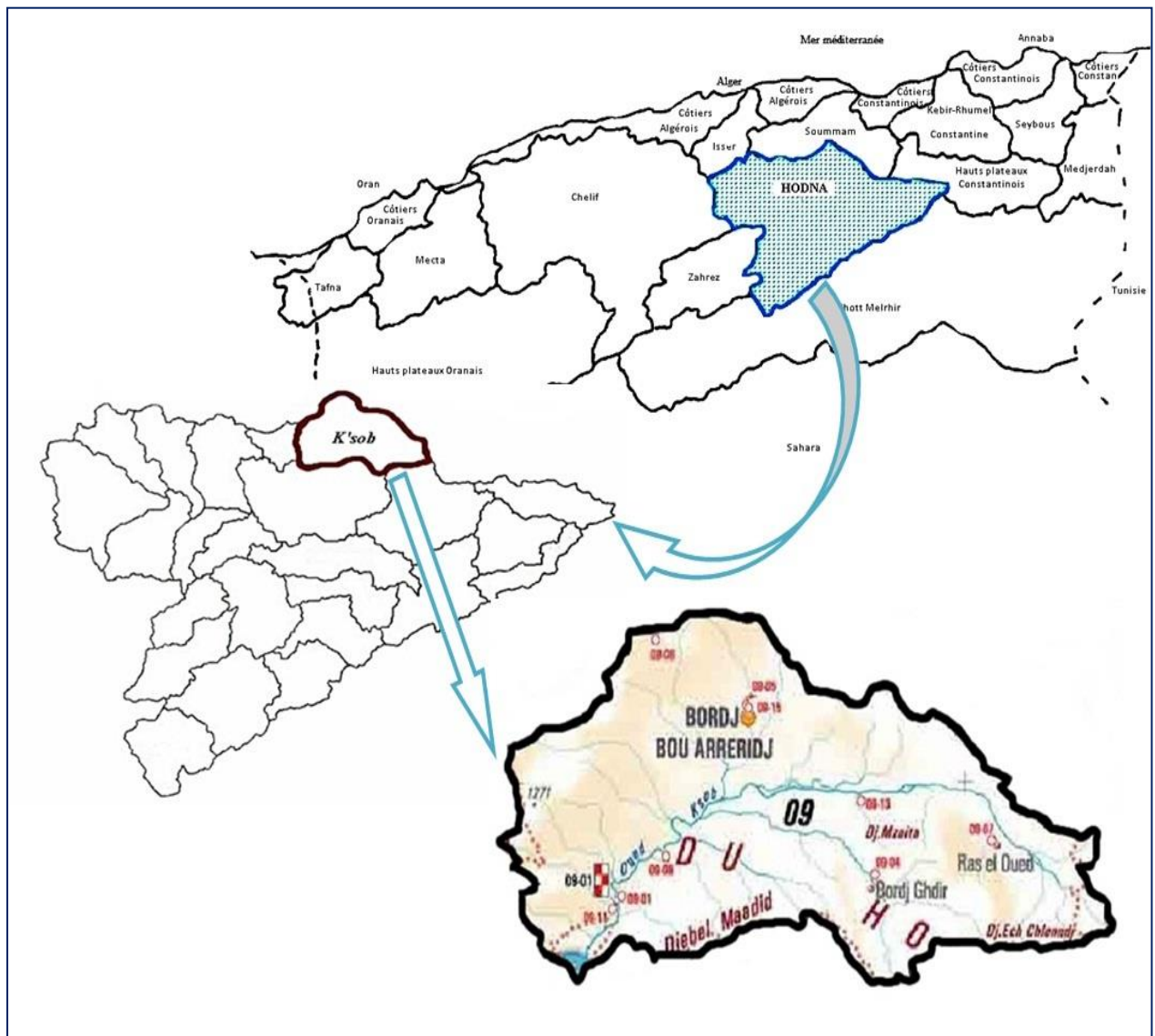


Figure I.1. Localisation et situation du bassin versant du K'sob

I.2. Caractéristiques physiques du bassin versant K'sob

I.2.1. Géologie

La géologie des terrains influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine, mais également sur le ruissellement des surfaces. Dans ce dernier cas, l'étude géologique d'un bassin versant dans le cadre d'un projet hydrologique a surtout pour objet de déterminer la perméabilité des formations lithologiques. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume. Les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie et la structure tectonique.

Généralement, le Djebel Maadid peut être considéré comme un large anticlinal à cœur Aptien et dont les flancs sont formés par des enchainements de plus en plus récentes du Crétacé moyen et supérieur. Une sédimentation recouvre tous les étages du crétacé représentés au Maadid est continue ; la première discordance apparaît après le Sénonien dont les couches terminales ont été érodées par un Éocène transgressif La formation de poudingues dès Lutétien précède l'émersion généralisée du massif du Maadid ou le nummulitique supérieur est entièrement continental. La mer ne reviendra qu'au Burdigalien, qui est transgressif et légèrement discordant sur les terrains éocènes.

Les auréoles externes du massif se constituent par des couches géologiques proprement dit se superposent du Sud au Nord en de puissantes assises dont les plus anciennes arrivent aux arêtes culminantes.

Ces assises, coupés de vive force par la vallée de l'Oued K'sob, donnent une succession de seuils rocheux, séparant des terrains plus tendres, argiles ou marnes.

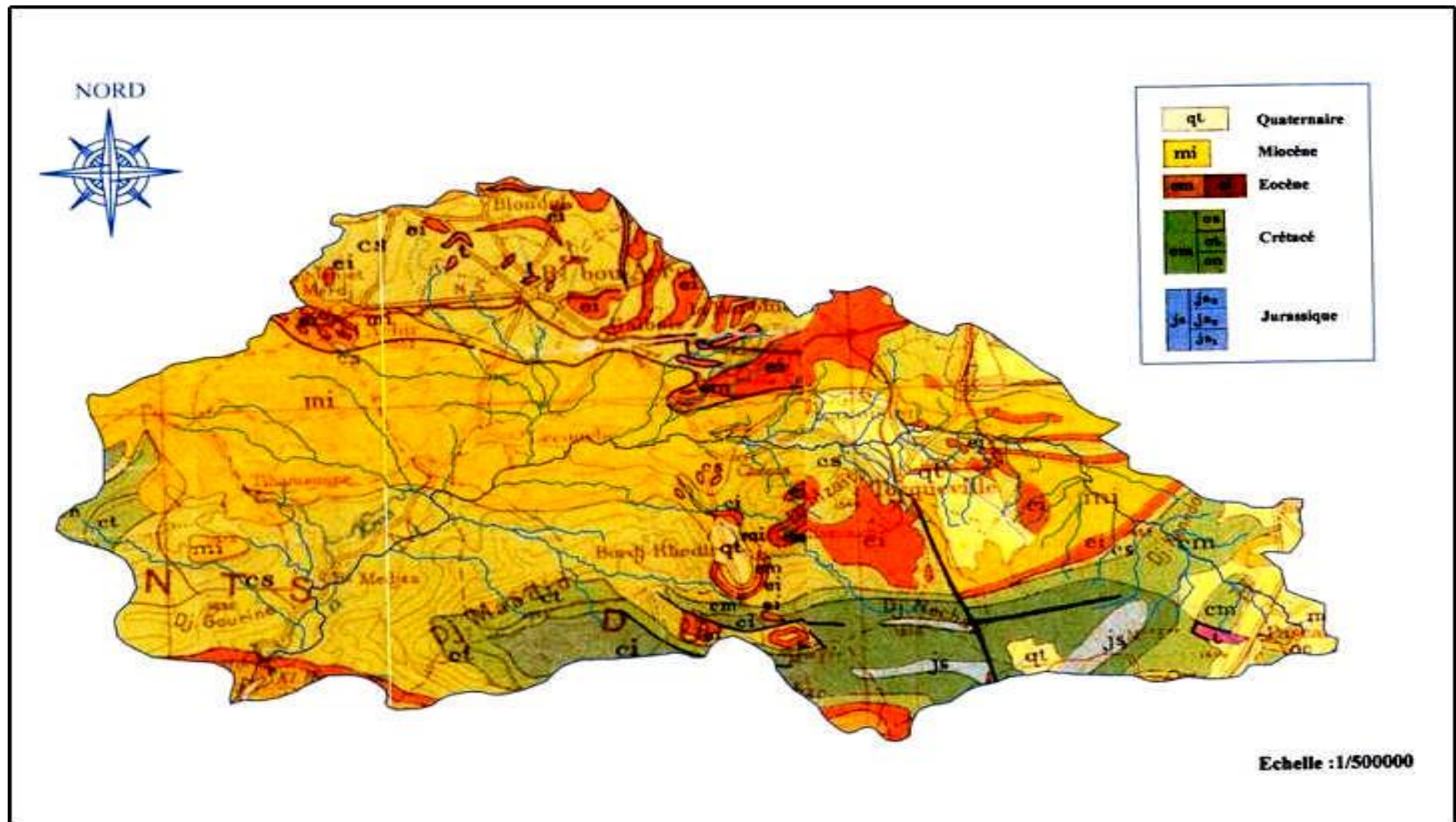


Figure I.2. Carte géologique du bassin de K'sob(A. Hattab et H. Delaladja ,2007)

I.2.1.1. Lithologie de bassin versant du K'sob

La lithologie d'un bassin versant joue un rôle important dans le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide.

Le bassin versant du K'sob et ses affluents, comprend la grande dépression de la Medjana au Nord de Bordj Bou Arreridj et la bordure Nord du massif du Maâdid (cuvettes de Bordj Ghdir et de Ras El Oued). Sa lithologie est constituée des formations suivantes :

A- Quaternaire (qt) : il est représenté, en général, par des alluvions plus anciennes, dans les bassins de Ras El Oued et de Bordj Ghdir couronnant des éminences tabulaires.

B- Miocène inférieur (mi) : il occupe une grande surface dans le bassin versant du K'sob ; de larges bandes dans le Nord et quelques points isolés, près du Gourine. Dans le Nord. Cet étage est nettement transgressif sur le crétacé (du Mæstrichtien au Cénomanién).

La base du miocène (Burdigalien) est représentée sur la majorité du bassin versant par des microbrèches et des conglomérats calcaires. Son épaisseur est de 200 m environ et il occupe le Nord des dépressions de M'Krazen.

C- Eocène moyen et inférieur (Em, Ei) : dans la région de Ras El Oued se trouve une série puissante d'environ 200 m composée de calcaire gris dolomitique et dolomies ; des organogènes et des marnes grises, verdâtres ou brunâtres, parfois légèrement gypsifères.

D- Crétacé supérieur, moyen et inférieur (Cs, Cm, Ci) : formant plusieurs escarpements sur le bassin versant et le flanc occidental de Maadid, ils affleurent en quelques points isolés dans le centre (gorge du K'sob) et le Nord-Ouest (Kef El Assal, BirMizane). Ils sont représentés par des calcaire gris, sublithographiques ou un peu spathiques et des dolomies cristallines, claires, en bancs bien réglés (épaisseur de 50 cm jusqu'à 2 m).

- **La partie supérieure** présente en grande partie le même faciès que la partie inférieure, vers le sommet, on rencontre fréquemment des calcaires ocreux ou faunes à niveau glauconieux Pétris de fragments d'huitres.
- **La partie moyenne** est particulièrement marneuse avec intercalations de calcaires- grès compacts.
- **La partie inférieure** est constituée en une série de calcaire et de grès.

Ces terrains occupent approximativement 25% du bassin versant toujours au Sud du bassin du Bassin et particulièrement dans les monts du Hodna, on rencontre des calcaires durs de l'Albien Contenant une riche faune à ammonites ; ainsi que des marnes du campanien grisâtes ou blanchâtres avec de nombreuses intercalations de marne-calcaire et de calcaires marneux.

E- Jurassiques supérieurs (Js) : Puissante série homogène d'épaisseur totale : 400 à 500 m comprenant des calcaires compacts, à grains très fins, en bancs peu épais, bien stratifiés, de couleur beige ou gris clair à gris foncé et de minces intercalations marneuses.

F- Alluvions du Quaternaire : On rencontre ce type de terrains dans la dépression de Medjana, dans les cuvettes de Ras-El-Oued et Bordj Ghdir. Ces terrains sont constitués de cailloutis, de sables calcaires et parfois de vases sur les bords des Oueds et particulièrement sur l'Oued K'sob et l'Oued El-Amri. Les derniers dépôts se composent de graviers et de sables à éléments locaux. Ces terrains s'étendent sur de grandes surfaces et occupent ainsi 35% du bassin versant.

On doit noter que toute la partie sud du bassin de K'sob (50 % de la superficie) est affectée par la fracturation ou Karstification. La partie nord du bassin est constituée principalement de roches calcaires, de grès et d'alluvions du quaternaire (Labrit, 1986).

Les formations lithologiques (Figure I.3), sont aussi très variées mais avec une prédominance des formations calcaires. Les séries exclusivement calcaires de l'Aptien inférieur constituent un ensemble homogène qui s'étend au Sud sur les monts du Hodna et le Djebel Mzaita ; on note cependant quelques affleurements au Nord et au Nord-est.

Les formations à alternance de calcaires et de marnes apparaissent en plusieurs unités de taille variable. Cependant, elles trouvent leur plus grande extension au Nord, sur le plateau de Mzaita et les monts de Maadid. Le calcaire marneux affleure largement au Sud du bassin notamment sur le Djebel Maadid, sur le plateau de Lestah à l'Ouest et Mzaita à l'Est.

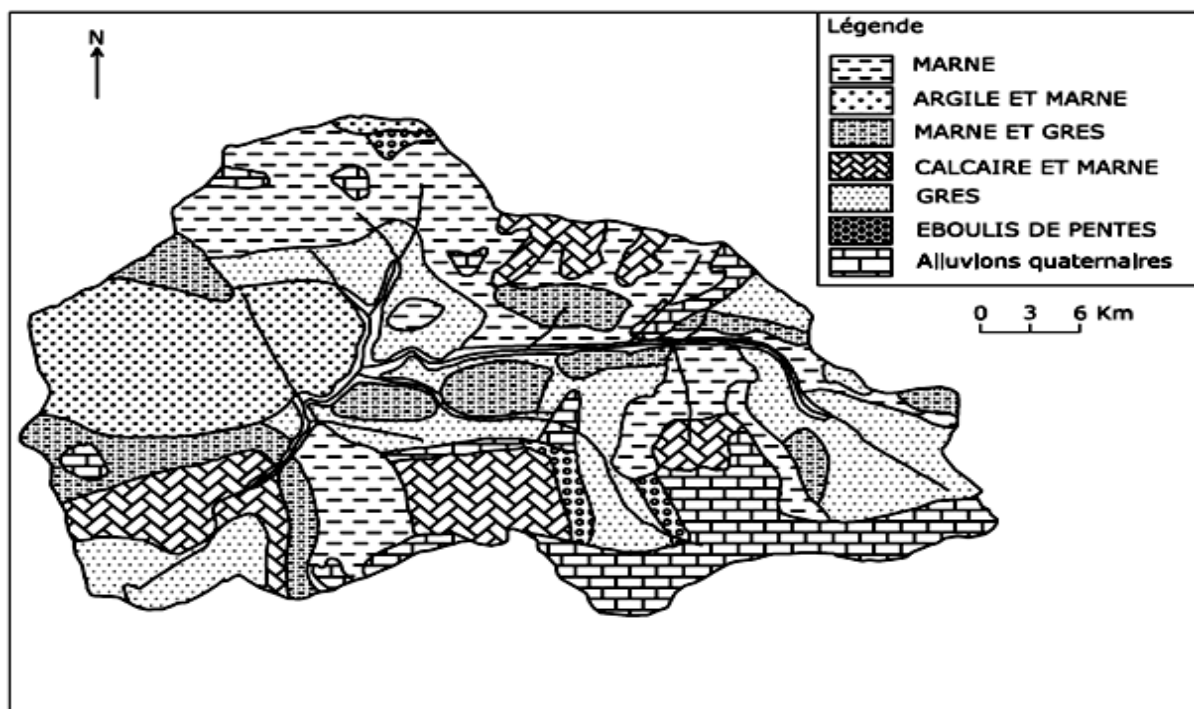


Figure I.3. Lithologie du bassin versant de l'Oued K'sob

Les formations gréseuses occupent 1/3 du bassin versant, la série exclusivement gréseuse occupe une surface très réduite se limitant à un affleurement au sud du djebel Morissane. Les séries à alternance de grès et d'argile, de grès et de marne s'étendent sur des surfaces relativement importantes, la première occupe le Nord-est du bassin en un ensemble continu ; elle présente à sa base une assise argileuse surmontée de grès grossier alternant avec des argiles noires. La seconde affleure en plusieurs endroits discontinus notamment au Sud-ouest.

I.2.1.2. Structure tectonique

a. Les failles

En Particulière, les failles sont orientées en Nord-Ouest et Sud-est et les grands accidents Tectoniques sont orientées Est-Ouest.

Les terrains créacés surtout sont découpés par de nombreuses failles ayant toutes le caractère de faille normale, ces failles peuvent être formées en deux phases consécutives :

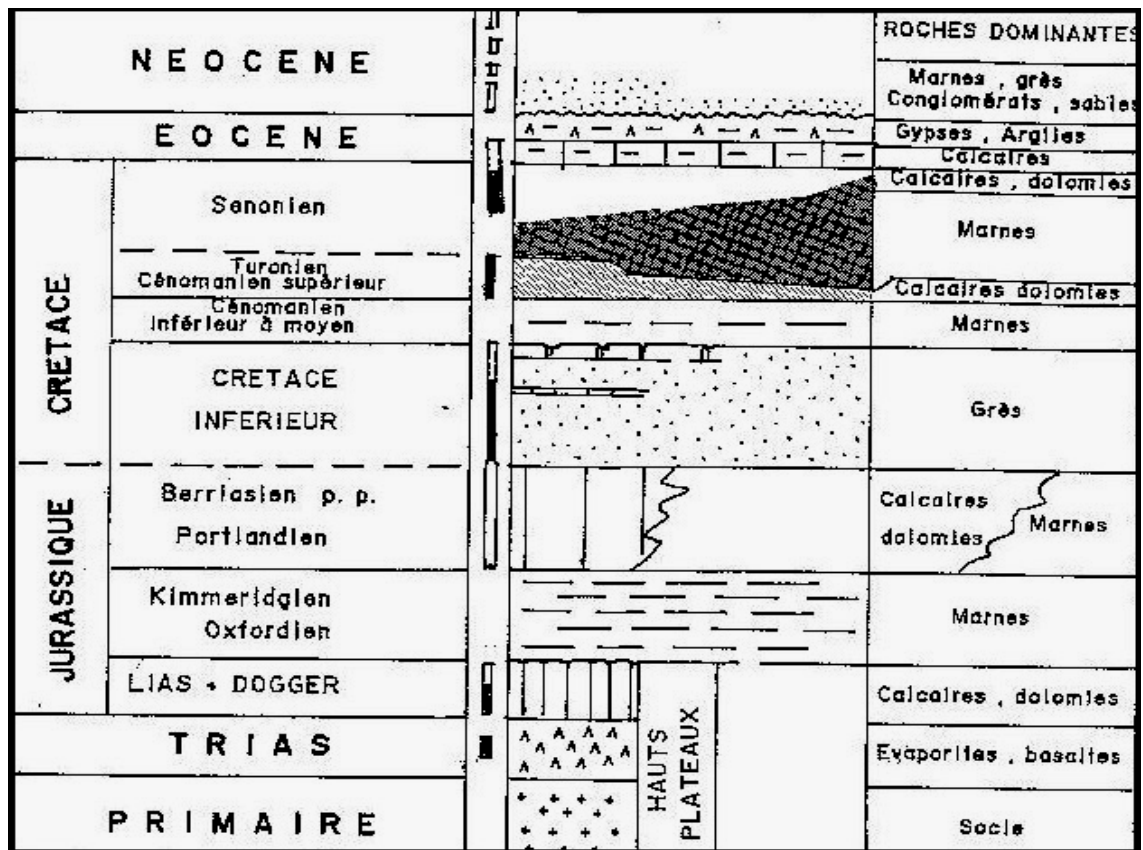
- ❖ La première qui est pré Miocène, appartiennent les failles Ouest-Est observées dans les monts De Maadid. Les nombreuses failles de direction Nord-Ouest, Sud-est, datent d'un stade antérieur.
- ❖ A un certain point (environ de Medjez), ces dernières failles, curieusement très rapprochées, sont accompagnées par d'autres de direction plutôt Est-Ouest.

b. Les plis

Généralement, il existe deux types des unités structurales importants :

- ❖ La première comprend les anticlinaux du Maadid et de Medjez-Dréât. Elle fait partie de la rangée d'anticlinaux du Nord du Chott El Honda.
- ❖ La deuxième est formée dans le Nord, principalement le Nord-Ouest, des plateaux Miocènes, qui forment une faible courbure au-dessus de l'anticlinal de Dréât.

Au Sud du Djebel Maadid, les couches créacées et paléogènes se montrent dans un vaste anticlinal dissymétrique. Les pendages sur le flanc Sud varient de la verticalité au léger déversement tandis qu'ils sont plus faibles sur le revers Nord. Cet anticlinal se termine à l'Est de l'Oued K'sob. Vers l'Ouest il est relayé par l'anticlinal de Dréât, plus faiblement bombé, commençant dans les environs de Medjez. Les couches les plus inférieures appartiennent au Cénomaniens, visible sous le Kef el Assel, dans le Nord-Ouest. A l'Ouest de Medjez seul le flanc Sud de cet anticlinal se montre au-dessous du Burdigalien transgressif.



Source : R. Guiraud, (1973)

Figure I.4. Stratigraphie du Hodna

I.2.2. Importance de la porosité et ses nuances

Selon (la figure I.4) relative à la stratigraphie du Hodna, on distingue :

a- Les terrains à forte capacité aquifère

Ils regroupent d'une part, les roches meubles à perméabilité : sable, gravier, limon, alluvions diverses etc., où l'eau se trouve incluse dans la masse des roches en occupant tous les vides interstitiels. La différence qui existe entre toutes ces roches ne peut qu'être dans le volume du vide ou la porosité. Et d'autre part, les roches compactes à perméabilité importante qui sont tous les terrains rocheux fissurés tels que les calcaires, les grès, les quartzites, les conglomérats, etc. Ces fissurations peuvent être larges ou étroites, plus ou moins nombreuses suivant le type de matériaux, l'essentiel est que l'eau peut circuler à l'intérieur de ces matériaux.

b- Les terrains à faible capacité aquifère

Ce sont toutes les roches meubles ou compactes qui représentent une faible porosité et que l'eau ne traverse que difficilement. Les terrains constitués de marnes, d'argile ou de série à dominance argileuse, marneuse et schisteuse, etc., sont les terrains concernés car ils ne peuvent servir de réservoir aquifère.

La classification des formations lithologiques et le planimétrage de leurs surfaces (tableau I.1) nous permet d'évaluer la proportion et l'importance des deux classes dans le bassin versant du K'sob. Cependant, certaines réserves doivent être émises quant à la limite entre les deux classes qui est subjective, et quant aux caractéristiques aquifères des séries alternées, qui dépendent beaucoup plus des conditions locales de ces formations locales de ces formations (extension, puissance, pendage, etc.).

Tableau I.1. Répartition des terrains du bassin du K'sob selon leur degré de perméabilité

Classement	Terrains à forte capacité Aquifère	Terrains à faible capacité Aquifère
Surfaces(Km ²)	873.60	582,40
%	60	40

(Source F.A.O,1971)

À l'échelle globale, on relève la prédominance de terrains à forte capacité aquifère, constitués essentiellement de formations alluvionnaires qui déterminent la présence de nappes phréatiques plus ou moins importantes, et des séries calcaires et gréseuses déterminant des aquifères importants.

Dans le bassin de l'Oued K'sob, la proportion des terrains à forte capacité aquifère est relativement importante ; il s'agit aussi bien des terrains alluvionnaires, que des grès et des formations calcaires. Ceci implique la présence de plusieurs nappes superficielles à extension et de profondeur faible ne convenant d'ailleurs qu'à la petite hydraulique. Les nappes profondes sont liées aux grands complexes calcaires dont la structure est encore mal connue.

Il est probable que les nappes phréatiques qui existent dans le bassin versant du K'sob alimentent l'écoulement des thalwegs principaux qui sont permanents tout au long de l'année hydrologique. Il s'agit par exemple de certaines sources karstiques au pied de la chaîne calcaire de Maadid (sources de Rabta, Medjez, Ghafsitane etc...).

Caractéristiques des matériaux du bassin versant du K'sob (tableau I.2)**Tableau I.2. Caractéristiques des matériaux du bassin versant**

Formations	Résistance des matériaux	Perméabilité
Marne	Non résistant	Perméabilité faible
Calcaire et marne	Résistant	Semi-perméable
Grès	Très résistant	Semi-perméable
Argile et grès	Très résistant	Imperméable
Marne et grès	Résistant	Perméable
Eboulis et pentes	Résistance moyenne	Perméable
Alluvions quaternaires	Résistance moyenne	Perméable

On peut considérer le bassin de l'Oued K'sob comme un bassin à perméabilité moyenne et on choisit le paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin K égale à 75 (tableau I.3).

Tableau I.3. Degré de perméabilité

<i>K</i>	<i>Degré de perméabilité</i>
8.5	Élevée
75	Moyenne
350	Moyenne faible
1400	Faible
3200	Imperméabilité

I.2.3. Pédologie

Dans ce travail l'étude des caractéristiques des soles ou l'étude pédologique de la zone d'étude est très importante.

Les différentes classes des sols Suivant la texture, la morphologie, le mode d'évolution pédogénétique et le niveau de la salinisation la classification distinguent principaux types de sol :

- ❖ Sols peu évolués
- ❖ Vertisols
- ❖ Sols calcimagnésiques
- ❖ Sols halomorphes

I.2.4. Couverture végétale

La couverture végétale d'un bassin versant est un facteur important de l'écoulement et de l'érosion hydrique ; son action complexe et contradictoire s'exerce aussi bien sur les paramètres climatiques notamment l'évaporation, que sur les bilans hydriques des sols.

En effet, par les organes aériens, la végétation intercepte une partie des précipitations qui est évaporée au niveau du feuillage avant de parvenir au sol. Les végétaux jouent un rôle mécanique très important dans les zones de forte activité en freinant le ruissellement lors des averses, ce qui diminue la vitesse de concentration des eaux dans les oueds et par conséquent, ils atténuent la violence des crues et leur agressivité sur le sol. Mais l'efficacité de ces impacts de la couverture végétale dépend du type de végétation, et plus particulièrement de sa densité et de son degré de recouvrement du sol. Or, si la répartition spatiale de cette couverture végétale est plus ou moins aisée à délimiter, l'aspect quantitatif est encore insuffisant. Et l'importance de ses effets hydrologiques n'a pas réellement été appréciée car aucune mesure ni étude, n'a été menée dans ce sens dans la région.

I.2.4.1. Classification de la végétation

L'approche hydrologique de la végétation est différente de l'approche botanique qui étudie les caractéristiques propres de chaque espèce végétale et des associations végétales. Nous prendrons en considération dans cette étude, l'unité d'étude hydrologique qui est le bassin versant et sa localisation géographique. L'approche dans ce cas ne peut être que macroscopique en rapport avec des surfaces étendues sur lesquelles pousse un grand nombre de variétés.

Plusieurs classifications plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture végétale par ordre de densité est plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement à notre contexte. Nous reprendrons les grandes catégories de type de couverture végétale distinguées :

a- Les surfaces bien protégées

Ce sont les surfaces qui bénéficient d'une couverture végétale plus ou moins dense et permanente et plus spécialement les forêts. Ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.

b- Les surfaces incomplètement protégées

Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence, et les surfaces saisonnièrement protégées. Il s'agit généralement des terres de culture destinées soit à la céréaliculture qui

protège le sol une période seulement de l'année, soit à l'arboriculture qui recouvre mal le sol du fait de l'espacement des arbres. La pratique de la jachère nue qui est malheureusement encore courante est très dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection. Ces surfaces ont un rôle hydrologique important et différencié selon le type de spéculation, selon le stade végétatif, selon l'état du sol au moment des pluies et selon les pratiques culturales. Sur les parties nues du bassin versant, notamment en saison de préparation du sol, les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondations.

c- Les surfaces mal protégées ou nues

Elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours, arbustes, taillis et broussailles à faible densité de recouvrement. Sur les terrains dénudés, la circulation de l'eau dépend directement du caractère des formations lithologiques : infiltration dans le cas des formations perméables, et ruissellement dans le cas formations imperméables. Cette phase est très courte puisque les processus s'estompent dès la fin de l'averse et le terrain retrouve son état initial.

d- Les terrains de parcours bien traités

Sur les terrains de parcours bien traités, l'humus et la végétation protègent la surface du sol contre l'énergie des gouttes de pluie et facilitent l'infiltration. Mais si la steppe est fortement pâturée (surcharge pastorale) il en résulte une dégradation de la couverture herbacée, un tassement du sol, un faible taux d'infiltration et un accroissement du ruissellement superficiel qui engendrent par conséquent une érosion hydrique intense et un régime d'écoulement très irrégulier.

I.2.4.2. Répartition de la couverture végétale du bassin versant du K'sob

La répartition du couvert végétal et la part de chaque type de couvert dans le bassin versant dépend des caractéristiques physico-géologiques et des caractéristiques climatiques qui en découlent.

Le bassin versant d'oued K'sob (Figure I.5), présente une couverture végétale forestière (pins d'Alep) plus importante : 25% de la surface totale de bassin. Cette prédominance s'explique par la présence de reliefs montagneux importants (Djebel Maadid), qui s'accaparent une proportion importante de la surface de bassin versant, et par la réalisation de plusieurs programmes de reboisement sur ces reliefs qui entrent dans le cadre, soit de la défense et de la restauration des sols, soit de la protection du périmètre du barrage du K'sob.

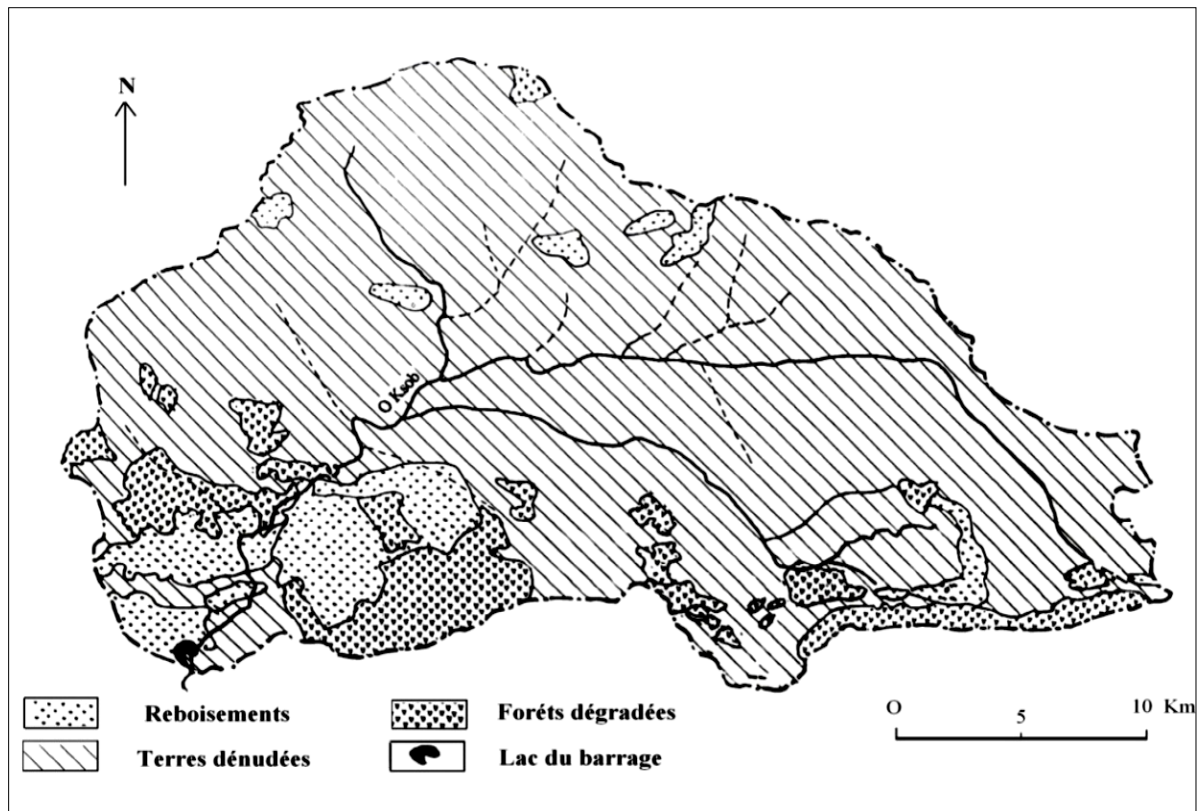


Figure I.5. Couverture végétale dans le bassin versant du K'sob

Les terres de culture représentent 55%, et s'étendent essentiellement sur les plaines de Ras el Oued, Bordj Ghdir, Bordj Bou Arreridj, s'adonnant à la céréaliculture avec jachère. Les surfaces mal protégées ou nues ne représentent que 20%, car les terrains de parcours sont très limités et les conditions pédoclimatiques (pente et épaisseur des sols, précipitations et températures) sont encore favorables aux pratiques de la céréaliculture traditionnelle (tableau I.4).

Tableau I.4. Répartition des types de couverture végétale

	I	II	III
Oued K'sob	Forets maquis	arbc, Alfa, céréaliculture	arbc, Alfa céréaliculture
Surfaces (Km ²)	333	732,6	266,4
%	25	55	20

Arbc : arboriculture ; I : surfaces bien protégées ; II : Surfaces incomplètement protégées ; III : Surfaces mal protégées ou nues.

I.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant K'sob

I.3.1. Paramètres géométriques

I.3.1.1. Caractéristiques de forme

a. Superficie du bassin versant

C'est le paramètre le plus important du bassin parce qu'il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques tels que le débit, le volume des précipitations ou d'infiltration. La surface (S) exprimée en km^2 , peut être déterminée par planimétrie sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques ou par les techniques de digitalisation (les logiciels : MapInfo – Surfer – Mapscan – Covadis).

-la surface du bassin versant du K'sob, est : **$A=1456\text{km}^2$**

b. Périmètre du bassin versant

Il correspond à la longueur de la limite extérieure du bassin, il peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou par digitalisation en utilisant des logiciels cités précédemment. L'intérêt essentiel du périmètre est de pouvoir calculer l'indice de compacité et la longueur du rectangle équivalent.

-Le périmètre du B.V du K'sob est : **$P=202\text{Km}$**

c. Longueur du thalweg principal

C'est la longueur du plus long thalweg. On admet qu'il faut poursuivre le thalweg indiqué sur les cartes topographiques, vers l'amont jusqu'à la limite du bassin. De même, si le cours aval présente des méandres, on curvimètre en général tous les méandres.

La longueur du thalweg principal du bassin versant K'sob est : **$L_p = 89.7\text{Km}$**

d. Indice de compacité de Gravelius (K_G)

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et surtout l'allure de l'hydrogramme d'une pluie donnée. Un bassin allongé ne réagit pas si les conditions sont égales, comme un bassin de forme ramassée. Ces caractéristiques sont exprimées par l'indice de compacité de Gravelius. Celui-ci est égal au rapport du périmètre du bassin versant stylisé à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

$$K_G = P / P_a$$

Mais, $P_a = 2 \pi R$, $A = \pi R^2$, $R = \sqrt{A/\pi}$ et $P_a = 2\sqrt{A \cdot \pi}$

Donc:
$$K_G = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant(km) .

A : aire du bassin versant(km²).

K_G : Indice de compacité de Gravelius

K_G =1 ⇒ le bassin versant est circulaire.

K_G =1,12 ⇒ le bassin versant est carré.

K_G > 1,12 ⇒ le bassin versant est rectangle.

K_G S'éloigne de 1 ⇒ le bassin versant est allongé.

Le coefficient de Gravelius du B.V K'sob est de : **K_G = 1.49**

Le bassin versant du K'sob est alors de forme allongée.

e. Rectangle équivalent

Il est défini comme le rectangle de longueur "L" et largeur "l" qui a la même superficie, le même périmètre, le même temps de concentration et même hypsométrie que le bassin étudié dont les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petits côtés et l'exutoire du bassin étant assimilé à l'un de ces petits cotés où la climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. Ce modèle est mis au point par "M. Roche" pour faciliter la comparaison des bassins versant du point de vue de leurs influences sur l'écoulement.

Les dimensions "L" et "l" du rectangle équivalent sont déterminés en faisant :

$$\begin{cases} L = K_G \cdot \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \\ l = K_G \cdot \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \text{ où } l = \frac{P}{2} - L \end{cases}$$

Tel que:

L: longueur du rectangle équivalent(km).

l : Largeur du rectangle équivalent(km).

A : surface du bassin versant(km²).

K_G : indice de compacité.

La longueur du rectangle équivalent du B.V K'sob est de : **$L=84,25\text{km}$**

La Largeur du rectangle équivalent du B.V K'sob est de : **$l=17,28 \text{ km}$**

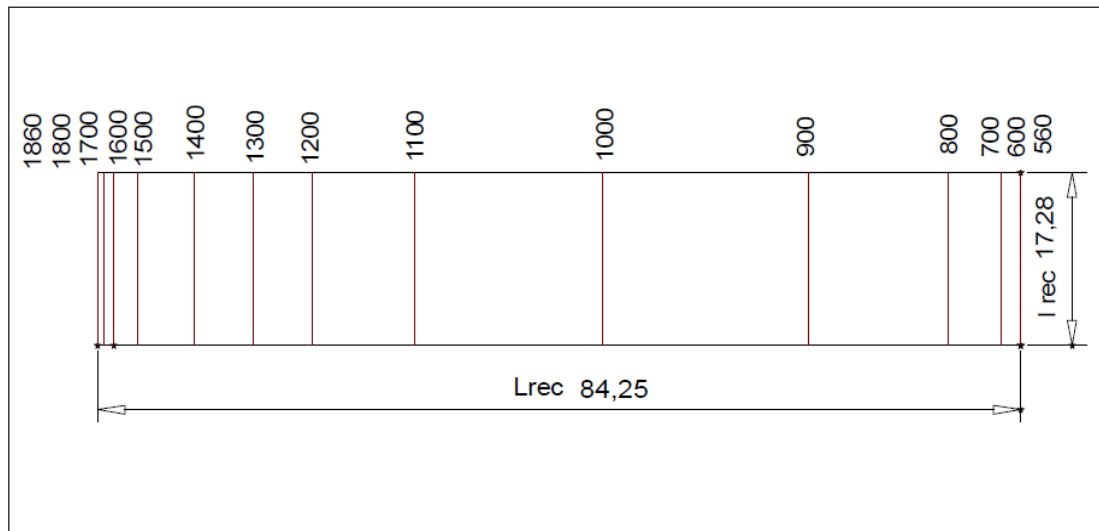


Figure I .6. Rectangle équivalent du bassin versant K'sob

I.3.2. Paramètres de relief

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief est un facteur essentiel, il est caractérisé par :

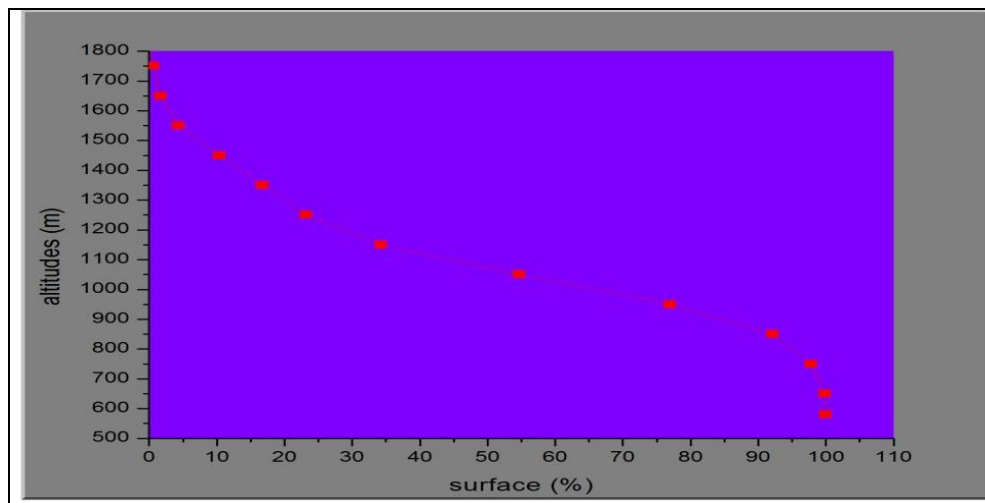
- ✚ La courbe hypsométrique.
- ✚ L'altitude moyenne
- ✚ L'indice de pente globale I_g .
- ✚ L'indice de pente roche I_p
- ✚ L'indice de pente moyenne du bassin versant I_m
- ✚ Densité de drainage D_d .

a. La courbe hypsométrique

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes. (Le tableau I.5) nous donne la répartition des surfaces en fonction des côtes.

Tableau I.5. Calcul des surfaces partielles et cumulées

Altitudes (m)	H _{moy} (m)	Si (Km ²)	∑Si (km ²) cumul	% des surfaces cumulées(Si %)	Si .Hi(Km ² .Km)
560-600	580	1.61	1.61	0.11	933,8
600-700	650	7.75	9.36	0.64	6084
700-800	750	16.47	25.83	1.77	19372,5
800-900	850	37.18	63.02	4.33	53567
900-1000	950	88.47	151.48	10.40	143906
1000-1100	1050	93.42	244.90	16.82	257145
1100-1200	1150	93.72	338.62	23.25	389413
1200-1300	1250	161.08	499.70	34.31	624625
1300-1400	1350	297.18	796.88	54.72	1075788
1400-1500	1450	324.68	1121.56	77.02	1626262
1500-1600	1550	219.62	1341.18	92.10	2078829
1600-1700	1650	83.55	1424.73	97.84	2350804,5
1700-1800	1750	29.50	1454.23	99.86	2544902,5
1800-1860	1830	2.00	1456	100.00	2693600

**Figure I.7. La courbe hypsométrique**

La courbe hypsométrique et représentées en (Figure I.7) montre que 66.60 % de la surface totale du B.V est comprise entre les altitudes 900 et 1500 m, ce qui explique que le bassin versant du K'sob est situé sur la zone des Hauts Plateaux. Au-dessous de 900 m, le pourcentage des surfaces du B.V est très faible. Il est de l'ordre de 10.4 % Les altitudes au-dessus de 1500 m occupent une surface de l'ordre de 23%. D'après la courbe hypsométrique, on peut déduire que la pente est relativement forte, par conséquent, une partie des écoulement sauront tendance à s'effectuer avec une vitesse importante résultant une érosion pouvant être très accentuée dans cette partie de la surface du Bassin versant.

Les courbes de niveau de toute la surface du bassin K'sob sont représentées sur (la figure I.8).

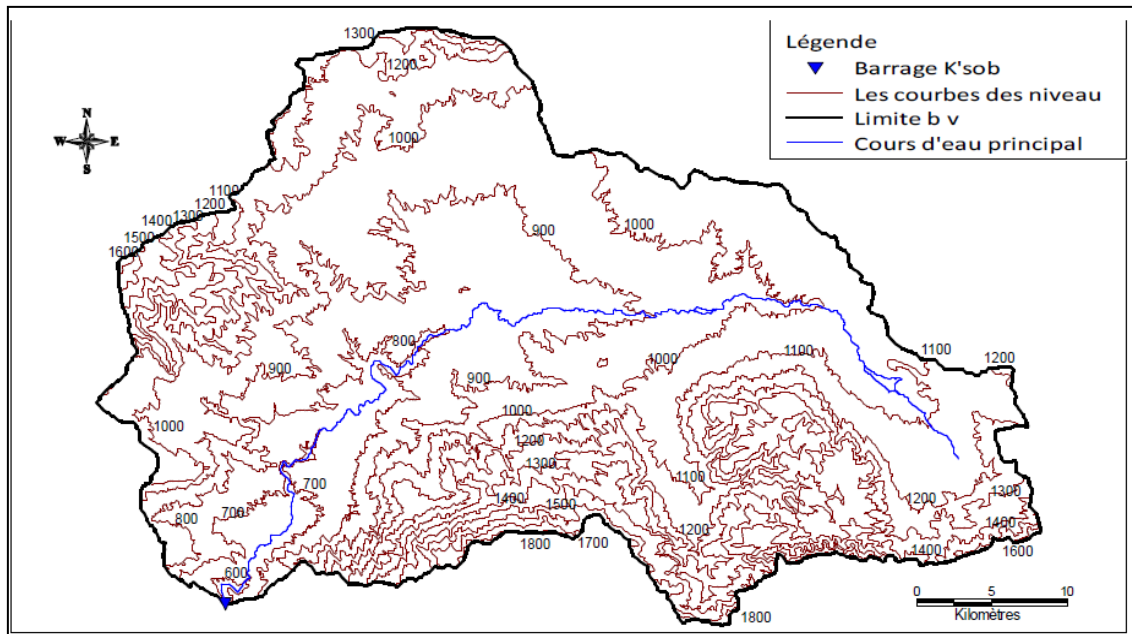


Figure I.8. Carte hypsométrique du B.V du K'sob

b. Les altitudes caractéristiques

b.1. Les altitudes : maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente, donc d'après la carte topographique on a : $H_{\max} = 1860\text{m}$

$$H_{\min} = 560\text{m}$$

b.2. Altitude moyenne du bassin versant

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i \cdot A_i}{A}$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m]

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2]

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau successives [m]

A : superficie totale du bassin versant [km^2]

AN : $H_{moy}=1063m$

b. 3. L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière, d'après la courbe hypsométrique (Figure I.8) on a :

- ✓ L'altitude à 95% de la surface : $H_{95\%} = 865 m$
- ✓ L'altitude à 5% de la surface : $H_{5\%} = 1585 m$
- ✓ L'altitude médiane : $H_{50\%} = 1120 m$

c. Les indices de pentes

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de comparer les bassins versant entre eux. La carte des pentes est l'instrument qui permet de visualiser les nuances topographiques à l'intérieur de l'espace étudié ; elle peut être établie des cartes topographiques d'échelle $> 1/100,000$.

Pour notre bassin la carte topographique d'échelle $> 1/50,000$ ont été utilisées. La classification a été faite à partir de différents calculs effectués sur la carte topographique et grâce à notre enquête sur le terrain.

Dans le bassin du K'sob, on distingue les pentes seuils suivantes

- Plus de 17%: versants érodés, absence de sol.
- 8 - 17% : bas de versant, quelques dépôts, sol mince cultivé.
- Moins 8% : plaines et terrasses alluviales, dépôts alluviaux et colluviaux.

La carte de la pente (Figure I.9) montre une forte proportion de terrains dont la pente 5 - 20%, ce qui témoigne du caractère peu montagneux de ce bassin.

Mr J. Tricart (1962), a divisé l'écoulement suivant la pente en trois catégories :

- ✚ Écoulement faible : pente $<3 \%$
- ✚ Écoulement fort : pente à limite de 10%
- ✚ Écoulement très fort : pente $> 10 \%$.

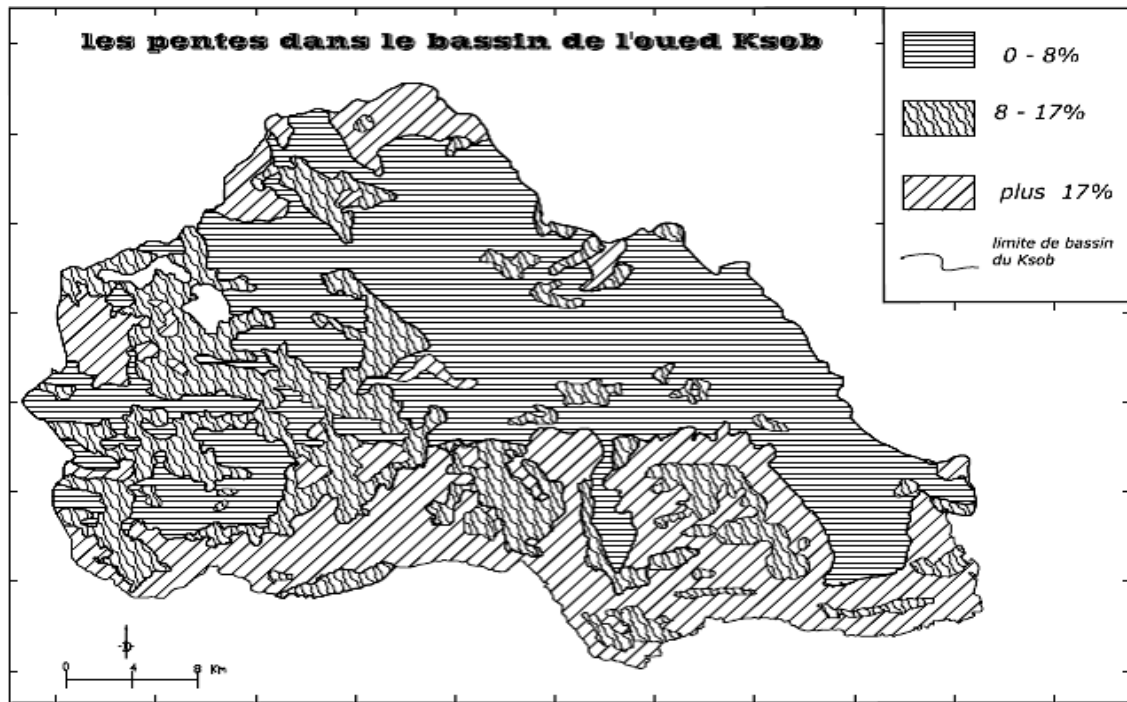


Figure I.9. Les pentes dans le bassin de l'Oued k'sob (A.Hattab et H.Delaladja, 2007)

c.1. Indice de pente globale (Ig)

C'est un indice qui tient compte de la dénivelée (D) et de la longueur du rectangle équivalent (L_{rec}), calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec :

Ig : Indice de pente globale (m/Km)

D : Dénivelée simple (m)

L_{rec} : Longueur de rectangle équivalent (Km)

L'altitude à 95% de la surface, $H_{95\%} = 865m$

L'altitude à 5% de la surface, $H_{5\%} = 1585 m$

Ig = 8.55m/km

c.2. Indice de pente de Roche I_p

C'est un indice qui rend compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin.

Cet indice est calculé à partir des données de la courbe hypsométrique. La formule utilisée est la

$$\text{suivante : } I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{\text{rec}}}} \sum_{i=1}^n \left(X_i \sqrt{\frac{d}{X_i}} \right)$$

I_p : indice de pente (%)

L_{rec} : Longueur de rectangle équivalent (m)

X_i : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle (facteur de pondération), en (m)

d : distance entre deux courbes de niveau successives (peut être variable) en (m)

d/X_i : pente moyenne d'un élément (%)

$$I_p = 31.68 \%$$

c.3. Indice de pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration t et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur

approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante : $I_m = \frac{D.L}{A}$

Avec :

I_m : Pente moyenne du bassin versant en [m /Km]

L : longueur totale des courbes de niveau en [km]

D : équidistance entre deux courbes consécutives en [m]

A : Surface élémentaire en [km²]

La pente moyenne du bassin versant du K'sob est de : $I_m=141.25 \text{ m/Km}$

c. 4. Dénivelée spécifique

Elle permet de déterminer l'état du relief du bassin versant et elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Ds = Ig\sqrt{A} = \frac{D}{L}\sqrt{L \cdot I} = D\sqrt{\frac{I}{L}}$$

Avec :

Ds : Dénivelée spécifique (m)

D : Dénivelée simple (m)

A : Superficie du bassin versant (km²)

Ig : Indice de pente globale (m/km²)

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M, indépendante des surfaces des bassins, La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins.

Tableau I.6. Deuxième classification d'après l'O.R.S.T.O.M.

Ds < 10 m	Relief très faible
10 m < Ds < 25 m	Relief faible
25 m < Ds < 50 m	Relief assez faible
50 m < Ds < 100 m	Relief modéré
100 m < Ds < 250 m	Relief assez fort
250 m < Ds < 500 m	Relief fort
Ds > 500 m	Relief très fort

Pour le B.V de K'sob on trouve : **Ds = 326,17 m**

D'après la classification de l'O.R.S.T.M, notre bassin versant présente un relief fort, car :

250 m < DS < 500 m.

I.3.3. Paramètres de réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

Le réseau du bassin de K'sob est formé de deux affluents qui prennent leur source sur le versant nord des monts du Hodna :

- ✚ Oued Bieta dont les sources se situent entre 1200m et 1400m sur le flanc septentrional de l'anticlinal des oueds Tebben.
- ✚ Oued El Amriqui se forme à l'altitude de 1700m sur le versant nord du Djebel Sidi Sahab.

Ces deux affluents collectent toutes les eaux qui ruissellent sur la partie orientale du bassin. Après la confluence, L'oued K'sob coule dans la direction sud-ouest et contourne le djebel Maadid. Il reçoit plusieurs affluents dont oued Lechbour, issu des monts de Medjana, et oued Ziatine qui descend des contreforts du djebel Mansourah au sud-ouest du bassin.

Le réseau hydrographique est caractérisé par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

I.3.3.1. Hiérarchisation du réseau

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance, Cette numérotation appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler :

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n+1$,
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par: $n + n = n + 1$ et $n + m = \max (n.m)$.

Le bassin versant du K'sob est d'ordre **7**.

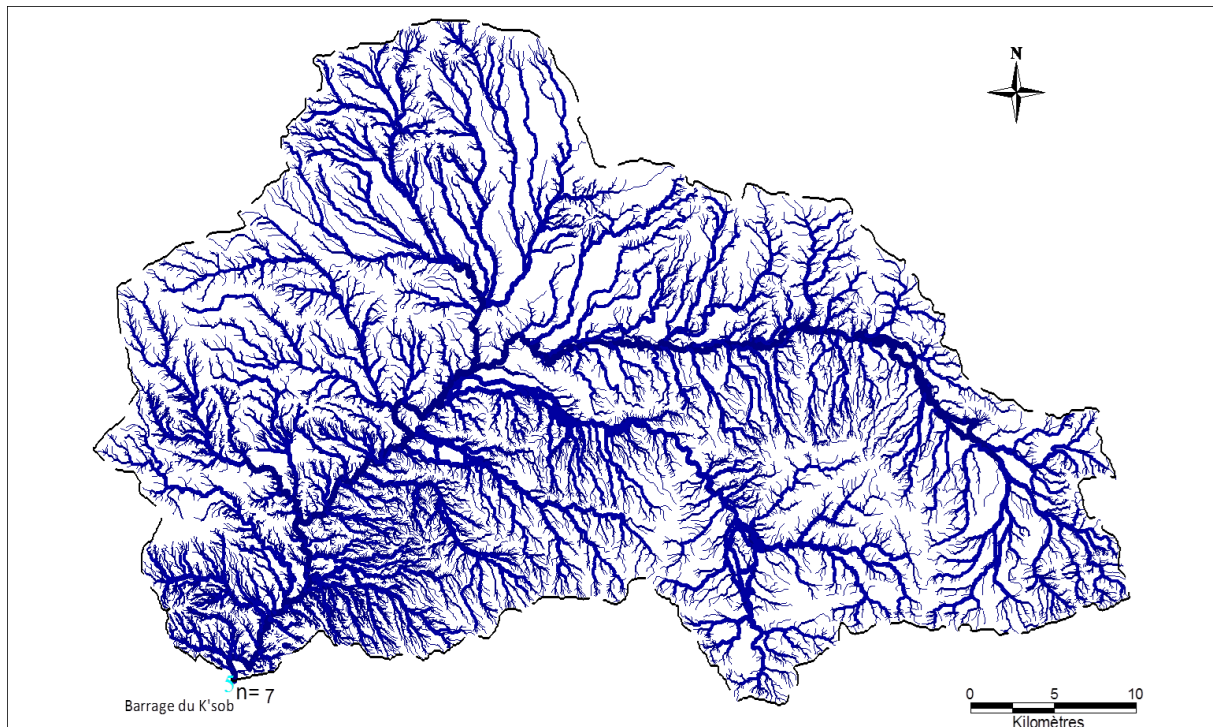


Figure I.10. Carte du Réseau hydrographique du bassin versant de K'sob

I.3.3.2. Les rapports de confluence et de longueur

Sur la base de la classification des cours d'eau, Horton(1932) et Schumm (1956) ont établi différentes lois. Ces lois empiriques relient le nombre, la longueur, la moyenne et l'ordre des cours d'eau :

$$\text{Loi des nombres : } \mathbf{R_c} = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

$$\text{Loi des longueurs : } \mathbf{R_L} = \frac{L_i}{L_{i+1}}$$

R_c : rapport de confluence des cours d'eau

R_L : rapport des longueurs des cours d'eau

i : ordre d'un cours d'eau « i » varie entre 1 et n ; (n est l'ordre du cours d'eau principal, classification selon Strahler)

N_i : nombre du cours d'eau d'ordre i

N_{i+1} : nombre du cours d'eau suivant

L_i : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre i

Le rapport de confluence est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il varie suivant l'ordre considéré, c'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre.

Selon Strahler (1964), le R_C varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence. Pour un bassin homogène, R_C et R_L sont sensiblement constants (J.P. Laborde 2000).

Tableau I.7. Valeurs du rapport de confluence

Ordre	Nombre N_i	Rapport de confluence	
		R_{ci}	R_C
1	9061	4.12	4,80
2	2200	4.40	
3	500	4.35	
4	115	4.60	
5	25	8.33	
6	3	3.00	
7	1		

Tableau I.8. Valeurs du rapport des longueurs

Ordre	Longueur L_i en (Km)	Rapport des longueurs	
		R_{Li}	R_L
1	2541.54	2.16	2,09
2	1177.85	1.63	
3	722.36	1.85	
4	390.48	1.75	
5	223.61	2.93	
6	76.26	2.24	
7	34.07		

I.3.3.3. Profil longitudinal d'un cours d'eau principale

On a l'habitude de représenter graphiquement la variation altimétrique du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'émissaire. Cette représentation devient intéressante lorsque l'on reporte les cours d'eau secondaires d'un bassin versant qu'il est alors facile de comparer entre eux et au cours d'eau principal. Notons qu'il est d'usage d'utiliser un graphisme différent lorsque les affluents sont en rive gauche ou droite de la rivière dont ils sont tributaires. Le profil en long d'un cours d'eau permet de définir sa pente moyenne.

On calcul généralement la pente moyenne I d'un cours d'eau par la formule suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = \frac{1}{L_{cp}} \sum_{j=1}^n \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}$$

- I : pente moyenne du cours d'eau principal ;
- L_{cp} : longueur totale du cours d'eau principal ;
- L_j : longueur d'un tronçon j du cours d'eau principal ;
- I_j : différence d'altitude du tronçon j ;

Pour notre cas, en mesuré longueur totale et les tronçons par des techniques. Donc la pente moyenne du cours d'eau principal du B.V de Ksob est égale à **0.093‰**

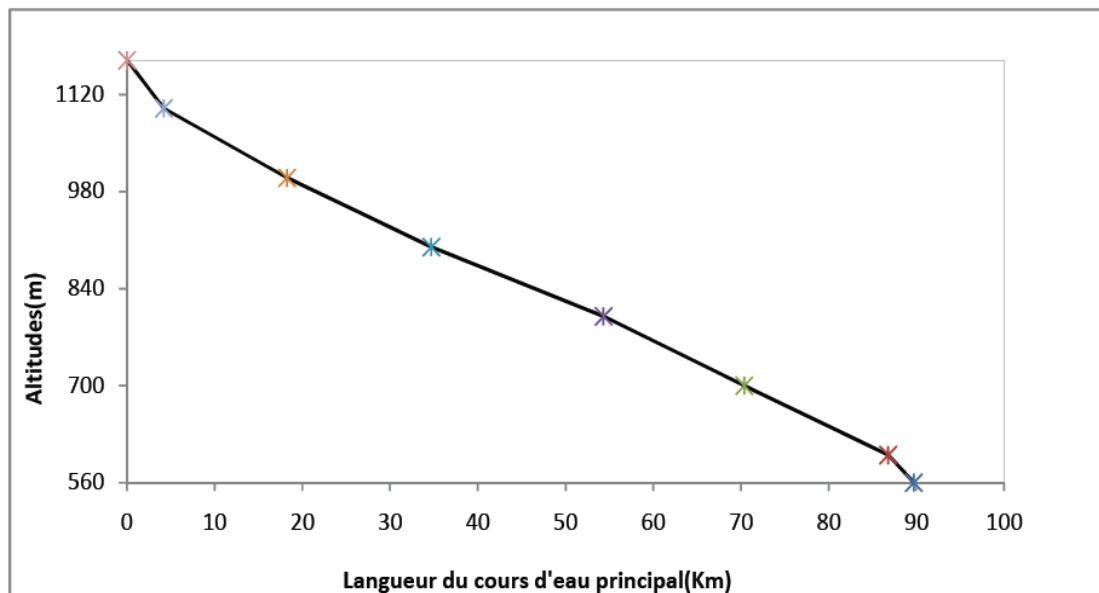


Figure I.11. Profil longitudinal de cours d'eau

I.3.4. Caractéristiques physiographiques

I.3.4.1. Densité de drainage

C'est la somme de la longueur de tous les thalwegs rapportés à la surface du bassin versant. Elle s'exprime en km/km².

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

Li: Longueur totale des cours d'eau en km.

A: Superficie du bassin versant en km².

La longueur totale des cours d'eau du B.V du Ksob est de : $\sum Li = 5165,76 \text{ km}$

Et leur surface $A = 1456 \text{ km}^2$

Donc : **$D_d = 3.55 \text{ km}^{-1}$**

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant dans une certaine mesure et des conditions climatiques et atmosphériques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs de roches imperméables ont des densités plus élevées.

Selon Schumm, la valeur inverse de la densité de drainage, $C=1/D_d$ s'appelle « constante de stabilité du cours d'eau ». Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans une vecteur hydrographique unitaire section du réseau).

Ce paramètre reflète la dynamique du B V, la stabilité du réseau hydrographique et le type de ruissellement de surface. Pour notre cas est : **$C = 0.28 \text{ km}$**

I.3.4.2. La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de thalwegs d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum Ni}{A}$$

Où :

F : densité hydrographique [km^{-2}]

Ni : nombre de cours d'eau

A : superficie du bassin [Km²]

La fréquence des thalwegs d'ordre 1 : F₁, est le rapport du nombre total de thalwegs d'ordre 1 à

la Surface du bassin versant $F_1 = \frac{N_1}{A}$

Tableau I.9. Calcul de la densité hydrographique

Ordre	Nombre d'ordre N _i	Surface du B V (km ²)	Densité hydrographique F en (Km ⁻²)
1	9061	1456	6.223
2	2200		1.511
3	500		0.343
4	115		0.079
5	25		0.017
6	3		0.002
7	1		0.0007
Total	11905		8.176

La densité hydrographique est de : **F= 8.18 Km⁻²**

I.3.4.3. Le coefficient d'élanement

$$C_E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L_{\max}}$$

Où :

L_{max} : longueur maximale du bassin versant. Elle s'obtient en prolongeant le cours d'eau principal au point le plus éloigné possible du bassin versant et on mesure la longueur de l'exutoire jusqu'à ce point, **L_{max} = 98,06 Km.**

A : surface du bassin versant ;

Le coefficient varie de 1 pour un bassin versant plat à 0.6 pour un bassin versant à relief accentué.

Pour le bassin versant du K'sob : **C_E=0.44** ⇒ **B V à relief accentué**

I.3.5. Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité « **C_t** » est calculé à l'aide de l'équation : **C_t = F_i * D_d**

$$C_t = 29.04 \text{ Km}^{-1}$$

Pour notre bassin, **C_t = 8.18 x 3.55**

Ce qui explique un écoulement moyen par apport à la surface du bassin.

Tableau I.10. Principales caractéristiques morphométriques du B.V du K'sob

Caractéristiques morphométriques et hydrographiques		Résultats	Unité	Observation
Surface		1456	Km ²	-----
Périmètre		202	Km	-----
Longueur du talweg principal : " L _{CP}		89.7	Km	-----
Longueur maximale L _{max}		98.06	Km	-----
Indice de compacité de Gravelius		1.49	m	forme allongée
L'altitude	L'altitude maximale	1860	m	-----
	L'altitude minimale	560	m	-----
	l'altitude à 95%	865	m	-----
	l'altitude à 50%	1120	m	-----
	l'altitude à 5%	1585	m	-----
	L'altitude moyenne	1063	Km	-----
La dénivelée simple D		72	Km	-----
Longueur du rectangle équivalent		84.25	Km	-----
Largeur du rectangle équivalent		17.28	Km	-----
Pente moyenne		141.25	m/Km	-----
Indice de pente de Roche		31.68	%	-----
Dénivelée spécifique D _s		326.17	-----	Relief fort
Pente moyenne d'un cours d'eau principal		0.093	‰	-----
Densité de drainage D _d		3.55	Km ⁻¹	Moins dense
La densité hydrographique : F		8.18	Km ⁻²	-----
Rapport de confluence des cours d'eau		4.8	-----	-----
Rapport des longueurs des cours d'eau		2.09	-----	-----
Le coefficient d'élanement : CE		0.44	-----	Relief accentuée
Coefficient de torrentialité : Ct		29.04	Km ⁻¹	-----

I.4. Caractéristiques climatiques

I.4.1. La température

D'une manière générale, le climat de la région est de type semi-aride caractérisé par un été sec et chaud et un hiver froid.

Les températures de la région sont traitées à partir de la station climatologique de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) à savoir la station de bordj Bou Arreridj pour une période d'observation allant de 1982 à 1992. Les caractéristiques de cette station figurent dans le tableau (I.11).

Tableau I.11. Caractéristiques de la station de BBA

Station	Latitude	longitude	Altitude (m)	Période
Bordj Bou Arreridj	36° 04' N	04° 40' E	928	1982-1992

Tableau I.12. Répartition mensuelle de la température

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juill	aout
T°C	20.87	15.79	10.04	6.7	5.66	6.93	9.81	12.46	20.87	23.3	26.2	26.2

La température moyenne annuelle est égale à 15.16 °C. Les mois les plus chauds sont les mois d'été, soit juin ; juillet ; août et septembre durant lesquelles les températures moyennes dépassent les 20°C. La saison froide pendant laquelle les températures sont inférieures à 10°C se prolonge de décembre à février

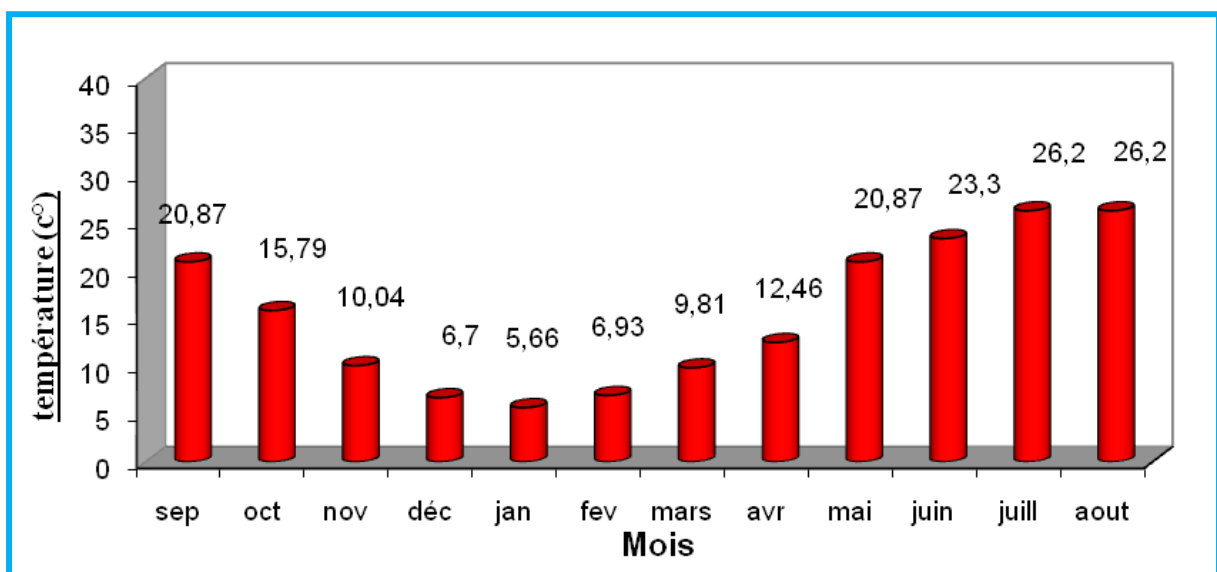


Figure I.12. Répartition moyenne mensuelle de la température

I.4.2. L'évaporation

D'après les données de la station climatique de l'Office Nationale de Météorologie à Bordj Bou Arreridj, l'évaporation totale mesurée au niveau de la région peut atteindre 2548 mm/an.

La répartition mensuelle de l'évaporation est donnée dans le tableau suivant :

Tableau I.13. Evaporation moyenne mensuelle

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juill	aout	evp Ann
E (mm)	262	178,6	100,9	73,2	78,1	97,1	143,3	173,4	244,5	338,5	446,2	412,2	2548
E (%)	10,60	3,52	3,32	2,17	2,28	3,31	5,8	8,81	12,45	15,3	17	15,7	100

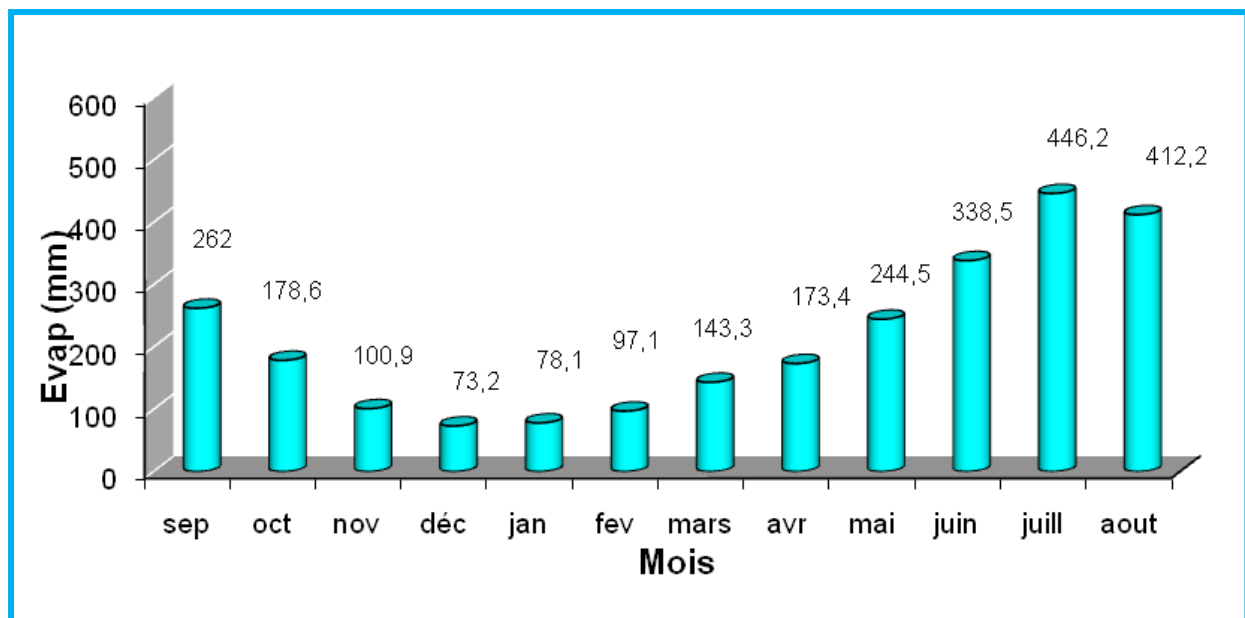


Figure I.13. Répartition moyenne mensuelle de la l'évaporation

I.4.3. Vitesse du vent

La répartition mensuelle de la vitesse du vent est donnée dans le tableau suivant.

Tableau I.14. Répartition mensuelle de la vitesse du vent

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juill	aout
Vitesse de vent (m/s)	2.8	2.6	2.7	2.7	2.7	2.9	3	3.3	3.2	3.3	3.2	3

La vitesse moyenne annuelle du vent est de 2.95m/s, elle n'est pas trop variable pendant l'année, elle est de 3.3 m/s au maximum et de 2.6 m/s au minimum. Les vents dans la région se caractérisent par une direction prédominante le Nord-Ouest.

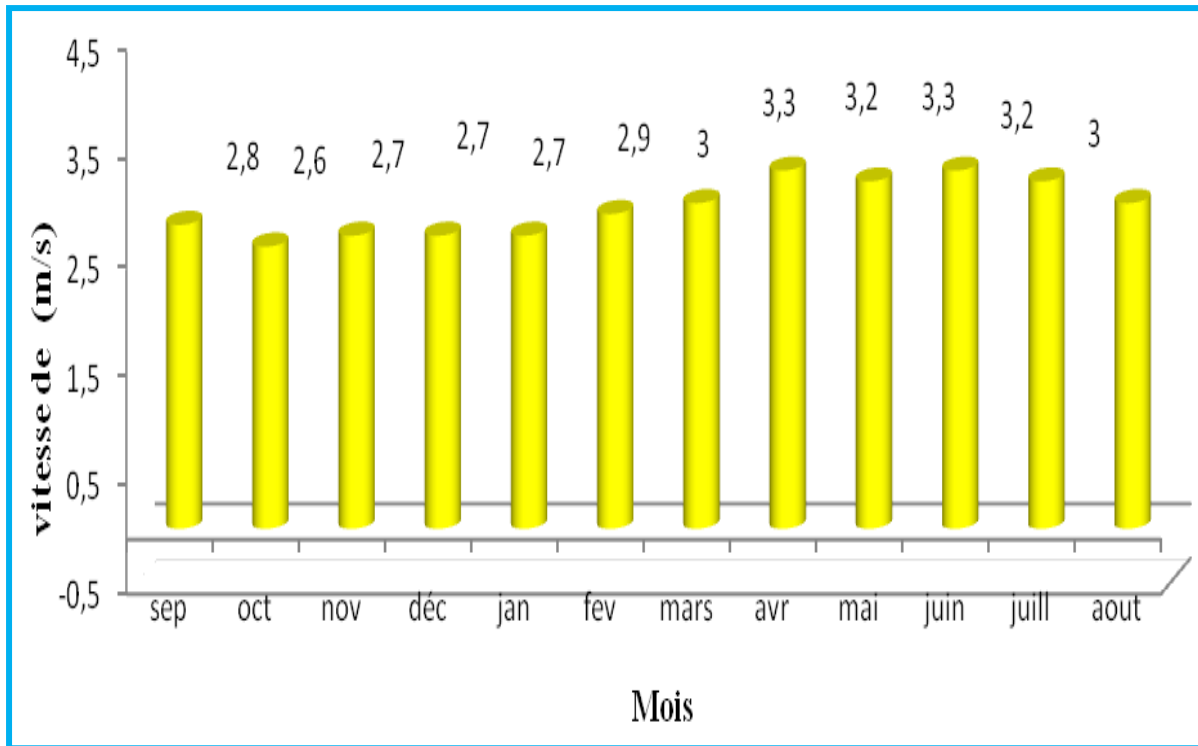


Figure I.14. Répartition moyenne mensuelle des vitesses des vents

I.4.4. Données pluviométriques

Les données pluviométriques de base sont obtenues de l'Office Nationale de Météorologie (ONM) de Bordj Bou Arreridj. Les fichiers de ces données donnent les valeurs mesurées des pluies moyennes journalières de la station pluviométrique située au centre du bassin versant du K'sob.

Les caractéristiques principales de la station pluviométrique étudiée sont représentées au tableau I.15.

Tableau I.15. Caractéristiques de la station pluviométrique

Code	Station	Les coordonnées		Altitude (m)	Nbre d'années	Pluie moyenne (mm)
		X (m)	Y (m)			
050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	685.8	309.95	928	11	362

CHAPITRE II

GENERALITES SUR L'IMPACT DU

CHANGEMENT CLIMATIQUE

CHAPITRE II

GENERALITES SUR L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

II.1. Définition

Les conditions atmosphériques changent en permanence. La science qui étudie ces modifications à court terme (quelques jours) est la météorologie. Elle étudie les variations des phénomènes atmosphériques (nuages, dépressions, précipitations, etc.) en utilisant des données de terrain précises, comme la température, l'humidité, etc. La climatologie, elle, étudie la succession de ces conditions météorologiques sur le long terme, grâce à des statistiques basées sur au moins 30 ans de mesures. Cela permet de définir le climat d'une région (p.ex. aride, semi-aride, continental, tropical humide, etc.).

Le climat global de la terre et les climats régionaux sont déterminés par le "système climatique". Ce dernier est une machine extrêmement complexe, à l'échelle de la planète, constituée de toute une série d'interactions entre différents éléments:

- l'atmosphère (interactions entre les vents, la composition de l'atmosphère, etc.)
- la lithosphère (position des continents, albédo, etc.)
- l'hydrosphère (courants océaniques, températures et composition des océans, mers et lacs, etc.)
- la cryosphère (création de courants océaniques froids profonds, albédo, etc.)
- la biosphère qui influence sur la composition de l'atmosphère et des océans.

On considère souvent, à tort, que l'atmosphère est le compartiment prédominant en ce qui concerne les phénomènes climatiques. Pourtant les autres compartiments jouent un rôle tout aussi important dans la constitution et la régulation du climat de la planète.

On parle de changement climatique lorsque le climat global de la terre ou l'ensemble des climats régionaux subissent une modification durable.

Un climat étant défini par de nombreuses variables, un changement climatique ne peut pas être réduit a priori à un simple changement de la température moyenne. Il comprendra très probablement aussi une modification de la valeur moyenne ou de la variabilité des précipitations, des vents, de l'humidité du sol, etc...

II.1.1. Les changements climatiques passés

L'histoire de la terre est une succession de changements climatiques. En effet, le climat varie en général peu dans une région donnée sur 100 ans, mais il peut varier considérablement à une échelle de temps géologique (centaines de milliers ou millions d'années). La paléoclimatologie est la science qui reconstitue le climat des époques passées, grâce à des indices trouvés dans des sédiments ou dans les glaces. On sait aujourd'hui que les températures moyennes sur terre ont déjà été beaucoup plus froides ou beaucoup plus chaudes qu'aujourd'hui. Grâce à ces études, les scientifiques ont pu déterminer les facteurs principaux qui influencent le climat de la terre à l'échelle des temps géologiques :

- **Le mouvement de la terre par rapport au soleil** (cycles de Milankovitch). Ce mouvement varie très lentement sur des centaines de milliers d'années et influence la quantité d'énergie que la terre reçoit du soleil. Par exemple, le parcours effectué par la terre autour du soleil peut former une ellipse plus ou moins allongée.
- **La composition de l'atmosphère.** Certains composants de l'atmosphère, appelés "gaz à effet de serre" ont une influence directe sur le climat de la terre, car ils influencent la quantité d'énergie solaire piégée par l'atmosphère. La composition de l'atmosphère varie en fonction de nombreux paramètres (p. ex : émissions de gaz par des éruptions volcaniques, captures ou émissions de gaz par les plantes ou les océans, etc.).
- **L'intensité de l'activité solaire.** Lors de périodes de forte intensité, la terre reçoit plus d'énergie, ce qui influence les températures sur terre.
- **La position des continents.** Les continents se déplacent lentement (mouvement des plaques tectoniques). Suivant leur position sur le globe, ils vont modifier les grands courants océaniques et influencer les courants atmosphériques, altérant ainsi le climat global de la terre.

II.1.2. Le changement climatique actuel

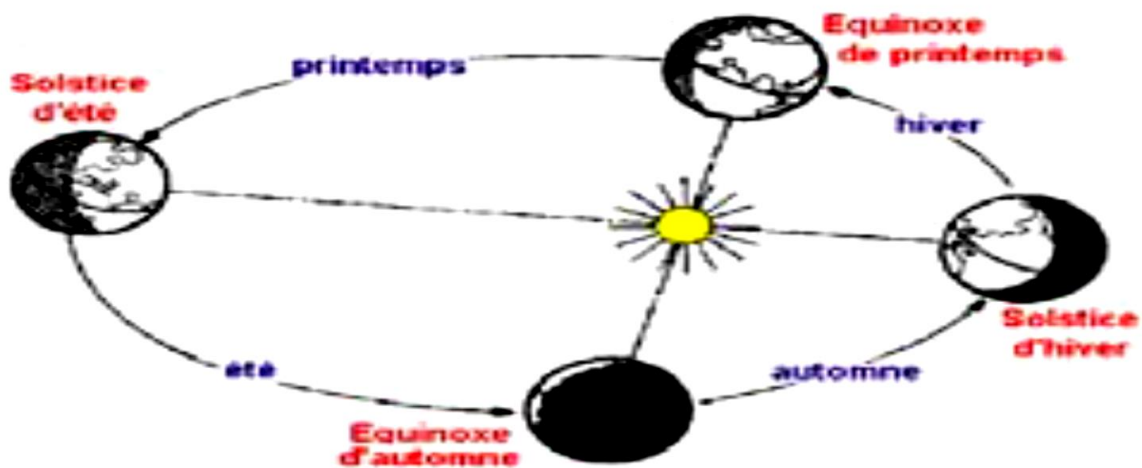
Si la terre subit des changements climatiques depuis la nuit des temps, on peut se demander avec raison pourquoi l'on fait autant de bruit autour du changement climatique actuel, aussi appelé "réchauffement climatique". En réalité, le changement climatique actuel est inquiétant, car il est très rapide, ce qui diminue la possibilité d'adaptation pour de nombreuses espèces animales et végétales qui risquent de disparaître. Mais le changement climatique actuel est surtout unique, car c'est la première fois que l'homme y joue un rôle important [1].

II.2. Les causes du changement climatique

Le climat peut être influencé par des perturbations soit naturelles ou soit dues aux activités humaines.

II.2.1. Activités naturelles

a) Les changements relatifs de la position de la terre et du soleil modifient l'énergie solaire reçue par la terre



b) Les changements de l'activité solaire modifient la puissance du rayonnement émis par le soleil



c) Les poussières volcaniques réfléchissent le rayonnement solaire



II.2.2. Activités humaines

d) La consommation de combustible (pétrole, charbon, gaz...) augmente la concentration des gaz à effet de serre



e) L'émission de très fines particules modifie les échanges par rayonnement, la formation des nuages et de la pluie



f) Certaines productions (mousses, plastiques...) ou installations (climatisations...) émettent des composés chimiques qui augmentent l'effet de serre



g) Les pratiques d'utilisation des sols (agriculture intensive, déforestation...) modifient les échanges d'eau et de chaleur avec la surface, et augmentent la concentration des gaz à effet de serre



II.3. Effets du changement climatique

Les effets du changement climatique sont : le réchauffement climatique, les inondations et sécheresses accrues, les événements météorologiques extrêmes, la montée du niveau de la mer, la disparition de la vie sauvage, la disparition des écosystèmes, les migrations, la prolifération des organismes nuisible, etc...

II.3.1. L'effet de serre

Le facteur prépondérant du changement climatique actuel est la modification de la composition de l'atmosphère. Pour mieux comprendre ce mécanisme, il faut distinguer l'effet de serre "naturel" de l'effet de serre "additionnel".

II.3.1.1. L'effet de serre naturel

L'atmosphère est une fine enveloppe de gaz qui englobe la terre et protège les êtres vivant sur terre. En effet, non seulement elle les protège des chutes de météorites et des excédents de rayons ultraviolets (grâce à la couche d'ozone), mais elle procure également une température moyenne agréable de 15°C à la surface de la planète grâce aux gaz à effet de serre qu'elle contient. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre naturel.

La terre reçoit beaucoup d'énergie du soleil, sous forme de rayonnement (principalement sous forme de lumière). Une partie de cette énergie va être réfléchié directement dans l'espace par l'atmosphère, les nuages ou encore la surface de la terre (voir illustration ci-dessous). Le reste est absorbé momentanément, avant d'être rejeté sous forme de chaleur (rayons infrarouges). C'est là qu'entrent en action les gaz à effet de serre qui bloquent partiellement les rayons infrarouges et les empêchent de s'échapper immédiatement vers l'espace. En retenant ainsi un peu plus

longtemps cette énergie, ils contribuent à augmenter la chaleur moyenne à la surface de la terre. Au final, la Terre renvoie dans l'espace la même quantité d'énergie qu'elle reçoit du soleil, cependant, pas forcément immédiatement. Le mécanisme d'effet de serre naturel est vital : sans lui, la température moyenne sur terre serait similaire à celle de la lune : -18°C .

Les gaz à effet de serre présents naturellement dans l'atmosphère sont principalement :

- la vapeur d'eau (H_2O) qui se forme par évaporation depuis le sol, les plantes, les rivières, les océans, etc.
- le gaz carbonique (CO_2) émis par exemple par la respiration humaine et animale, la décomposition d'un corps mort ou lors d'un incendie de forêt.
- le méthane (CH_4) émis principalement par la décomposition dans les zones humides (marais, forêts tropicales, ...) et la digestion des animaux (en particulier les ruminants et les termites).
- le protoxyde d'azote (N_2O) émis par les océans et les sols.

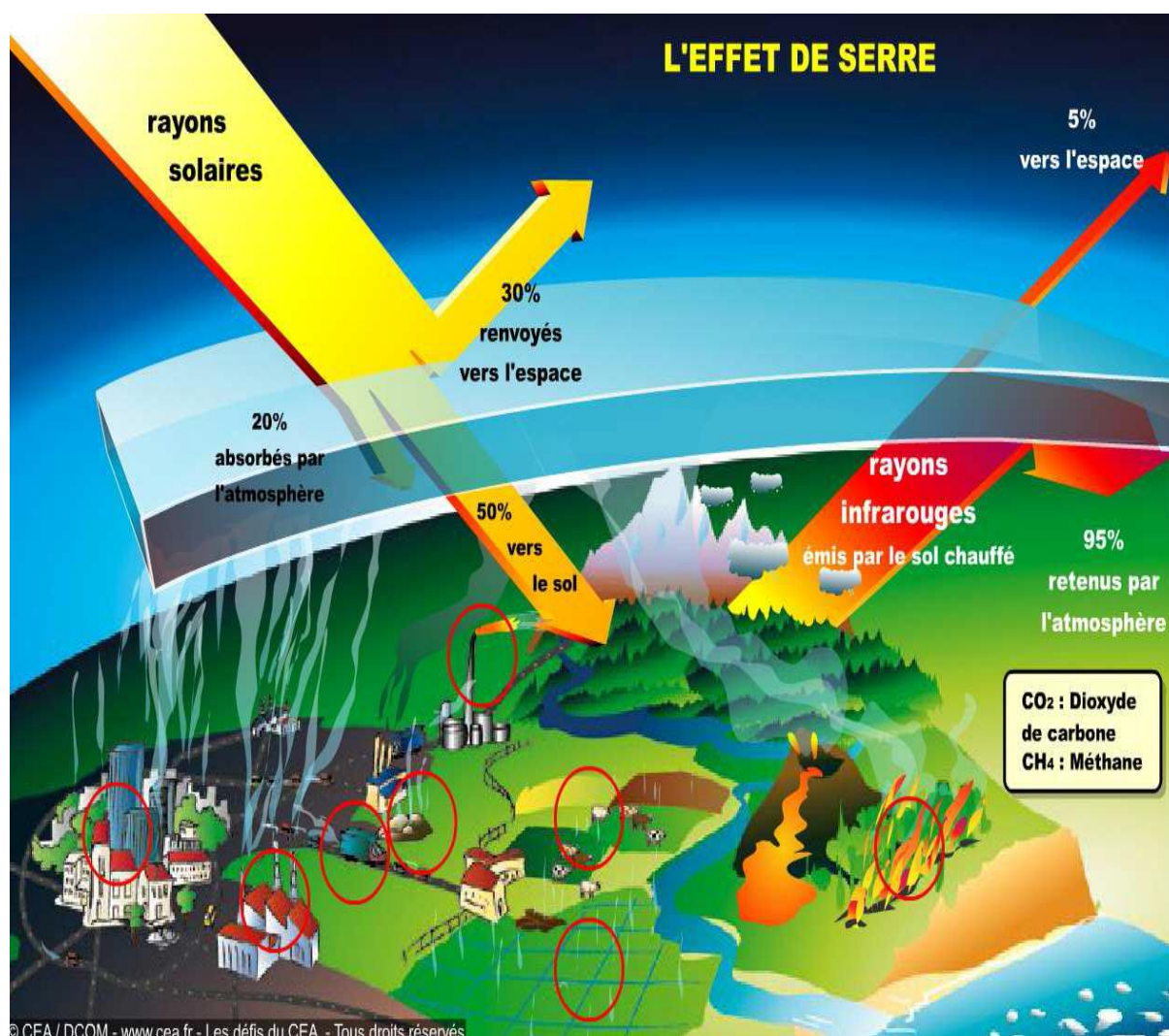


Figure II.1. Explication du mécanisme de l'effet de serre

II.3.1.2. L'effet de serre additionnel

Depuis le début de la révolution industrielle, l'homme a émis une grande quantité de différents gaz dans l'atmosphère, principalement en brûlant du charbon, du gaz et du pétrole. Une partie de ces gaz sont des gaz à effet de serre. Leur accumulation dans l'atmosphère produit un effet de serre "additionnel", entraînant une modification du système climatique et une augmentation de la température moyenne sur Terre.

II.4. Les Solutions

Les solutions préconisées au problème du réchauffement climatique sont :

-Réduction des gaz à effet de serre, -Préservation des écosystèmes, -Connectivité écologique plus grande, -Développement durable, -Contrôle de la pollution, -Coopération internationale.

II.5. Les étapes d'une étude d'impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau

Afin d'anticiper les impacts possibles d'évolutions climatiques sur un territoire, une démarche descendante, dite « top-down », est généralement menée, basée sur une série de modélisations. La Figure 2 résume par exemple les étapes d'une évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau et leurs usages.

Les modèles climatiques intègrent des scénarios d'émission de gaz à effet de serre, définis selon des hypothèses contrastées d'ordre social, économique, technologique et démographique.

Les variables climatiques issues des simulations par les modèles sont utilisées en données d'entrée de modèles qui schématisent le cycle hydrologique et établissent notamment un bilan intégrant les eaux de surface et/ou les eaux souterraines.

Ces résultats peuvent ensuite être comparés à des scénarios d'évolution des demandes en eau, suivant des hypothèses sur les évolutions socioéconomiques, démographiques et climatiques. Ces scénarios peuvent également prendre en compte des stratégies d'adaptation envisagées sur le territoire concerné.

Les événements extrêmes (sécheresses, tempêtes, inondations) peuvent éventuellement être intégrés dans les modélisations et contribuer à définir le risque lié au changement climatique sur un territoire [2].

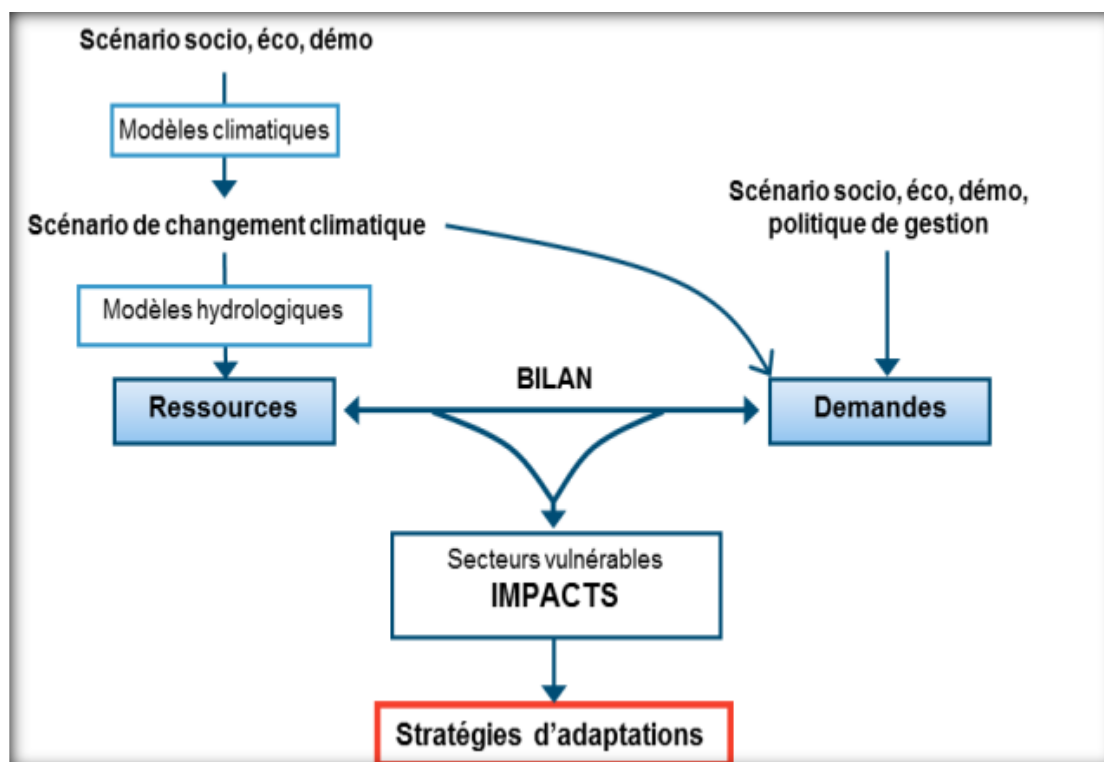


Figure II.2. Les étapes d'une étude d'impacts du changement climatique [Fabre, 2010].

II.6. Impacts du changement climatique sur différents secteurs liés à l'eau

Le changement climatique est un défi important pour les gestionnaires de l'eau, les utilisateurs et les décideurs politiques, dans la mesure où on ne peut plus nier son existence et ses répercussions futures. La gestion de l'eau est à la croisée de nombreux secteurs et bien que les projections climatiques soient entachées d'incertitudes, il convient de tenir compte du changement climatique dès aujourd'hui dans la gestion des ressources en eau, comme le prévoit la Directive Cadre sur l'eau et la priorisation de l'usage de celle-ci en vue d'aboutir à une gestion concertée. En l'absence de projections fiables, il convient donc de préconiser des mesures « sans regrets » (Middelkoop et al., 2001a), comme l'amélioration du rendement hydraulique et de la gestion de la demande en eau (Bates et al., 2008).

La fréquence et l'amplitude des pics de crues pourraient augmenter. Cela conduirait à une diminution du niveau de protection actuel de la population. Les mesures telles que la modification de certains ouvrages (rehaussement de digues), l'amélioration des systèmes d'alertes ou la conscientisation des riverains au risque d'inondations (Middelkoop et al., 2001a). De nombreux secteurs seront affectés de diverses manières.

II.6.1. Écologie

Selon Middelkoop et al. (2001b), plus de zones seront favorables aux biotopes humides. Cependant, l'intrusion d'eau saline dans les habitats côtiers devra être prise en compte. De plus, les sécheresses estivales conduisent à une diminution du niveau d'eau dans les biotopes humides, ce qui change drastiquement les conditions abiotiques de ceux-ci.

II.6.2. Secteur touristique

Certaines activités peuvent voir leur chiffre d'affaire diminuer durant les épisodes de sécheresse suite à des mesures de restrictions prises du fait du manque d'eau. C'est le cas du kayaking, notamment. De plus, la diminution du débit au cours des basses-eaux augmente le risque de concentration en polluants et en pathogènes (Giron et al., 2008).

II.6.3. La production d'énergie

Selon Middelkoop et al. (2001a), la production d'énergie à partir de centrales hydroélectriques pourrait augmenter au cours de l'hiver, suite à l'augmentation des débits hivernaux. Le principal mécanisme à travers lequel le changement climatique peut affecter du débit des rivières, l'évaporation et la sécurité des barrages (Mideksaet al., 2010).

II.6.4. L'agriculture

L'agriculture risque d'être un secteur particulièrement affecté. Il est communément accepté que le réchauffement climatique aura des effets positifs et/ou négatifs, en fonction de la capacité d'adaptation du système agricole, de la culture, de la gamme de changement climatique, etc. En été, le déficit en eau de l'environnement va augmenter suite à l'augmentation de l'évapotranspiration (Middelkoop et al., 2001b). Suite à l'augmentation des températures, le développement des cultures pourrait commencer plus tôt dans la saison et elles auraient besoin d'eau pour leur croissance plus tôt. L'évapotranspiration réelle atteint son niveau maximum plus tôt dans la saison avant de diminuer en été suite aux stress thermiques et hydriques (Bauwens et al., 2011). Alors que le maïs est négativement affecté par le changement climatique, le blé et l'orge sont favorisés sur le bassin de la Vesdre (Bauwens et al., 2012). [3]

II.7. Impact des changements climatiques sur les ressources en eau en Algérie

Le Changement climatique, un facteur aggravant

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20^{ème} siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les trente dernières années. Les modèles de circulation générale, convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° à 4° durant le 21^{ème} siècle. Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord. Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts significatifs, liés entre autres à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes. D'autres impacts sont étudiés : la perte de biodiversité et la dégradation d'écosystèmes, la hausse du risque de famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé, (Bolin, 1980).

Les impacts sur les écoulements de surface

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année 2001- 2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays.

Les changements affectant les eaux de barrages

Les changements affectant la retenue des eaux de surface sont dus à l'envasement et à la diminution du ruissellement, (Kadi, 1997).

L'envasement : La nature et la morphologie des terrains en pente, la fragilité du couvert végétal, le manque de boisement et l'urbanisation en amont des barrages engendrent une forte érosion qui réduit la capacité de stockage des barrages de 2 à 3% chaque année, à cause de l'envasement dû au transport et au dépôt de sédiments par les eaux de pluie. Actuellement, 14 barrages sur la soixantaine existante sont envasés.

La diminution du ruissellement : La contribution du ruissellement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants.

Les changements affectant les nappes phréatiques

La diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m.).

L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales.

Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones. Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba.

Incidence du changement climatique sur l'irrigation

Les récentes fluctuations climatiques et les sécheresses, plus fréquentes au cours des trois dernières décennies, ont accentué le phénomène de dégradation des sols, engendrant ainsi la désertification des zones vulnérables comme les steppes et les hautes plaines. La tendance actuelle à des inondations plus intenses pourrait entraîner une érosion et une dégradation des sols plus importantes. Ces terres constituent de véritables potentiels agricoles et doivent assurer la sécurité alimentaire du pays ainsi que la protection de la frange côtière, (Arrus, 2006). Les ressources en eau sont capitales pour la production alimentaire. Sur les 150 000 ha irrigables, 43 000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations notamment à l'ouest du pays.

Incidence du changement climatique sur l'assainissement

Le changement climatique a des répercussions sur la santé publique, qui est la raison d'être des efforts réalisés en matière d'assainissement. La facture des épidémies de MTH (maladie à transmission hydrique) est lourde pour l'Etat algérien. Le coût de ces épidémies a été évalué à l'équivalent du budget de construction de plus d'une dizaine de stations de traitement des eaux. Le principal facteur de ces maladies réside dans l'insuffisance des ressources hydriques conjuguée à l'absence de traitement de certains points d'eau. Les spécialistes en matière d'assainissement essaient de mieux comprendre les liens s'entre changement climatique et assainissement, incluant les questions de santé et d'hygiène.

Les risques d'inondations

S'appuyant sur des études scientifiques, les experts dans le domaine estiment que des pluies torrentielles et des orages comme ceux qui ont ravagé les régions de Bab El Oued, Ghardaïa ou Béchar seront de plus en plus fréquents. Il faut s'attendre à l'accentuation de ces phénomènes météorologiques, qui seront de plus en plus violents et dangereux.

II.7.1. Stratégie d'adaptation

En Algérie, des pratiques d'adaptation sont déjà utilisées, car les épisodes de sécheresse, d'inondation, d'augmentation anormale de température de l'air se manifestent continuellement. Ces actions doivent être intégrées dans une politique globale d'adaptation du pays, du fait que les initiatives d'adaptation qui seront prises dans ce secteur auront des conséquences importantes dans plusieurs autres, (Agoumi, 2003).

Les principales mesures quantitatives, qualitatives et de gestion prises par l'Algérie et celles en cours de développement peuvent être décrites comme suit :

II.7.1.1. Mesures quantitatives

- Recours aux techniques d'économie d'eau en particulier en agriculture tel que l'irrigation du goutte à goutte et de l'aspiration contrôlée ainsi le choix de cultures moins consommatrices d'eau.
- Mobilisation des eaux conventionnelles non mobilisées à ce jour.
- Valorisation des eaux usées traitées à travers leur utilisation maîtrisée pour l'arrosage de certaines cultures et le développement des activités industrielles.
- L'accélération de construction de barrages.
- Lancement de programmes de forage supplémentaires et réhabilitation de certains forages abandonnés.
- Réglementation du prélèvement d'eau au niveau des nappes souterraines.
- Réhabilitation des réseaux de distribution d'eau.
- Amélioration de modes de gestion d'eau industrielle (Recyclage, réutilisation).
- Construction d'usines de désalinisation et de traitement des eaux usées.
- Diminution de l'évaporation sur les lacs des barrages- réservoirs ou sur les lacs collinaires (plusieurs expériences ont été menées mais n'ont pas eu un grand succès).

- Reprise de la technique de « la pluie provoquée » fin d'accroître le rendement en eau précipitée à partir des nuages.
- Application des techniques de recharge artificielle des nappes aquifères dans les régions du Sud. Ces techniques, appliquées en Hollande, en Californie et en Floride, et qui nécessitent un transfert de technologies en Algérie, consistent à stocker, en hiver, dans les nappes phréatiques, l'eau des rivières pour les utilisées en été, par pompage, pour l'irrigation ou la consommation urbaine.

II.7.1.2. Mesures qualitatives

- Dépollution des systèmes hydriques et épuration des eaux usées avant rejet.
- Protection des eaux contre la pollution (agricole, industrielle et humaine).
- Renforcement des systèmes de surveillance des ressources en eau.
- Amélioration de la qualité des eaux de consommation humaine par déminéralisation et par élimination des risques de contamination au niveau des transports, du stockage et de distribution.
- Protection des zones humides en tant que lieu d'habitat des espèces faunistiques locales et migrantes. En Algérie, des mesures préventives, pour lutter contre les effets néfastes des phénomènes extrêmes, sont aussi au centre des préoccupations de l'état depuis l'adoption de la loi relative aux risques naturels et technologiques majeurs (loi04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable), (Meddi, 2002). [4]

II.8. Impact du changement climatique sur le bassin versant du K'sob (région de BBA)

II.8.1. Historique de la variabilité et les changements climatiques

a) Historique des tendances climatiques

D'après les études réalisées sur la région de BBA, la température moyenne annuelle évolue de 2,7 °C par siècle depuis 1900 et la précipitation moyenne saisonnière diminue de 12,4 mm par mois par siècle depuis 1960.

b) Historique des données climatiques

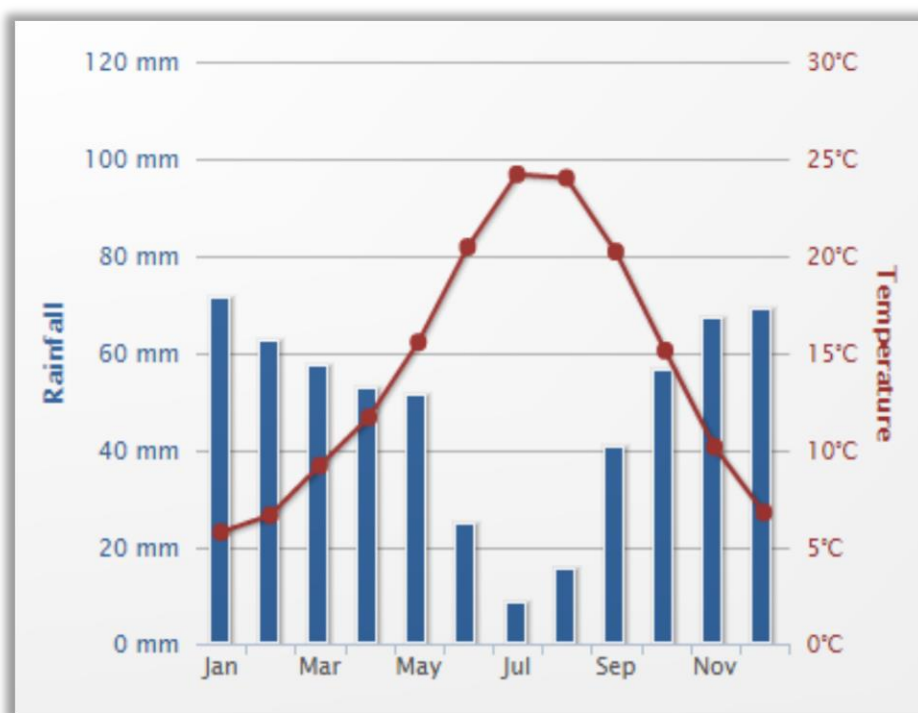


Figure II.3. Température et précipitations moyennes mensuelles à la station BBA de 1901 à 2012

c) Les principales tendances des précipitations

La variabilité des précipitations est élevée ; Toutefois, la pluie moyenne saisonnière, la variabilité décennale et la tendance linéaire indiquent une réduction de 12,4 mm / mois par siècle depuis 1960.

d) Les principales tendances des températures

Les températures moyennes annuelles ont augmenté dans toute l'Algérie depuis les années 1960 ; la variabilité interannuelle et décennale à la station de BBA montre un réchauffement d'environ 2,7 °C par siècle depuis les années 1900.

II.8.2. Désastre de l'impact des risques et vulnérabilités

En Algérie, les risques liés au climat comprennent des températures extrêmes, des inondations, des glissements de terrain, l'élévation du niveau de la mer, les feux de forêt et les sécheresses.

Inondations

➔ Le 10 Novembre 2001, les inondations d'une ampleur sans précédent ont frappé Bab El Oued à Alger. Les précipitations enregistrées étaient de 290 mm en moins de 17 heures. L'estimation des dommages inclus 921 morts, affectant plus de 45423 personnes, et plus de 300.000 \$ en coûts économiques. Les changements prévus dans la variabilité et de l'intensité des précipitations durant les événements extrêmes peuvent augmenter la fréquence et l'intensité de ces événements.

➔ L'oued de Bordj Bou-Arréridj a, en effet, frappé, dans la nuit du 23 au 24 septembre 1994, entre 17h et 3h du matin. Les eaux avaient inondé plusieurs habitations. A cette date, de triste mémoire, ces inondations se sont soldées par un bilan de 17 morts et 1 000 sinistrés, dont 370 commerçants ruinés. Les pertes ont été évaluées à 25 milliards de centimes. Mais les dommages subis par la ville ne devaient rien à l'oued Bordj Bou-Arréridj et étaient dus essentiellement aux fortes précipitations et à l'insuffisance du réseau d'assainissement et d'évacuation.

Sécheresse

➔ Le nord de l'Algérie est très sensible aux variations et aux phénomènes extrêmes. Même si les épisodes de sécheresse sont moins fréquents que les inondations, ils ont généralement de vastes répercussions spatiales et temporelles sur la population.

➔ L'augmentation prolongée des températures avec une diminution des précipitations pourrait conduire à des sécheresses plus sévères.

➔ Les plus fréquentes vagues de chaleur ont des effets plus importants sur la santé.

➔ Les tempêtes extrêmes devraient augmenter de 41% en 2050 et peuvent conduire à des dégâts importants lors des inondations.

CHAPITRE III

PRINCIPE DE LA MODELISATION

CHAPITRE III

PRINCIPE DE LA MODELISATION

III.1. Définition de la modélisation

Dans la nature, les systèmes et phénomènes physiques les plus intéressants sont aussi les plus complexes à étudier. Ils sont souvent régis par un grand nombre de paramètres non-linéaires interagissant entre eux (la météorologie, la turbulence des fluides...).

L'une des solutions est de recourir à une série d'expériences pour analyser les paramètres et grandeurs du système. Mais les essais peuvent s'avérer très coûteux (essais en vol, essais avec matériaux rares, instrumentations très chères...) et ils peuvent être très dangereux (essais nucléaires, environnement spatial...). Enfin il peut être difficile de mesurer tous les paramètres : échelles du problème trop petites (chimie du vivant, couche limite en fluide...) ou trop grandes (astrophysique, météorologie, géophysique...).

On peut aussi construire un modèle permettant la représentation du phénomène physique étudié. On parle ainsi de la modélisation.

Le principe de la modélisation est de remplacer un système complexe en un objet ou opérateur simple reproduisant les aspects ou comportements principaux de l'original (ex : modèle réduit, maquette, modèle mathématique ou numérique, modèle de pensée ou raisonnement).

Il existe dans la littérature plusieurs définitions du modèle, on peut citer quelques-unes :

Grand Larousse : Venant du latin « *modulus* », le mot modèle est défini par comme « ce qui vous est donné pour servir de référence ». Cependant, tout au long de l'histoire, ce mot recouvre des notions suivant son domaine d'application et les convictions philosophiques des utilisateurs.

Encyclopédie Universalise : l'origine du mot est technologique. Le modèle est d'abord une maquette qui représente d'une façon simplifiée, miniaturisée les propriétés d'un objet. C'est ce qu'on appelle aujourd'hui un modèle réduit. À l'opposé, selon la conception platonicienne, le modèle est considéré comme une forme idéale sur laquelle les existences sont réglées. Il est donc pris comme un support conceptuel, un guide de pensées. [5]

III.2. Définition d'un modèle

Un modèle est une représentation d'un objet ou d'un phénomène dans un cadre idéalisé par les hypothèses et les règles qui ont servi à sa construction. Il simplifie la réalité et ne garde que les caractéristiques essentielles par rapport aux objectifs aux quels il cherche à répondre. [6]

Un modèle peut permettre de distinguer le particulier du général et d'établir éventuellement des lois générales quant au système que l'on modélise. Un modèle est donc une simplification de la réalité.

Le modèle est une représentation schématique d'un objet ou d'un processus qui permette substituer un système plus simple au système naturel. [7]

III.3. Classification des modèles

III.3.1. Les modèles mathématiques

Les modèles mathématiques sont basés sur une formulation mathématique du problème à l'aide des lois de la physique et d'hypothèses complémentaires. Les résultats sont donnés par des solutions analytiques ou plus fréquemment par des calculs numériques sur ordinateur.

En général, on distingue quatre grands types de modèles :

III.3.1.1. Les modèles empiriques

Ils sont représentés par des formules et équation simples et empiriques. Par exemple, la formule rationnelle qui permet de déterminer le débit de pointe en fonction d'information minimale du bassin versant, à savoir le coefficient de ruissellement.

Les inconvénients de ces modèles sont divers :

- Parfois, les coefficients locaux interviennent et ne sont pas transposables directement.
- Il n'y a pas de moyens de contrôle de l'ordre de grandeur.
- Il n'est pas possible de rattacher d'autres processus (par exemple un bilan du transport solide aux crues calculées).

III.3.1.2. Les modèles déterministes (mécanistes)

Ces modèles considèrent que les paramètres et les variables d'entrée et de sortie décrivant un système ou son fonctionnement sont liés par des équations bien déterminées, la modélisation des écoulements est réalisée en employant et en résolvant mathématiquement les équations générales de l'hydrodynamique.

A titre d'exemple, l'équation de Barré St-Venant pour les écoulements en surface libre ou de Darcy-Richards pour les écoulements souterrains.

De tels modèles nécessitent une description détaillée du bassin versant, des schémas numériques robustes et la détermination de paramètres physiques (paramètre de friction, conductivité hydraulique etc.), ces derniers pouvant être mesurés in situ.

Ces modèles fournissent de bons résultats cependant ils exigent une grande quantité de données de bases dont l'approximation inévitable peut paraître incohérente avec la précision des résolutions des équations.

III.3.1.3. Les modèles conceptuels

Ces modèles cherchent à établir des relations simplifiées entre les entrées et sorties d'un système sans décrire la réalité physique ils remplacent la loi physique par une fonction de transfert permettant de déduire d'un ensemble de données les résultats correspondant.

En hydrologie, ce type de modèle repose sur l'analogie remarquée entre le fonctionnement d'un bassin et un ensemble de réservoirs interconnectés.

Ces modèles donnent aussi de bons résultats ; toutefois ils nécessitent du calage sur chaque site étudié.

Les deux concepts de modélisation principalement utilisés en hydrologie, sont :

- la représentation de la géométrie des surfaces d'écoulement par des plans rectangulaires de pentes constantes.
- la représentation de l'écoulement par des réservoirs fictifs.

III.3.1.4. Les modèles statistiques

Ces modèles cherchent à lier les différentes variables ou grandeurs d'un système à une partie de séries de données expérimentales en utilisant des techniques statistiques.

Ces modèles ne fournissent pas toujours des résultats satisfaisants vu que les ajustements sont dépendants de la fiabilité des mesures.

Ils utilisent des fonctions de distribution (loi Normale, de Gumbel) afin d'évaluer ou de prédire un comportement observé. En hydrologie, la variable la plus utilisée est le débit à l'exutoire d'un bassin versant, et notamment le débit maximum et minimum journalier, mensuel ou annuel.

L'expérience indique que les valeurs moyennes d'un comportement sont représentées correctement par la loi Normale, et que les valeurs maximums et minimums sont mieux approchées par une loi de type « extrême » telle que la loi de Gumbel.

Les principales faiblesses de ces modèles sont :

- Impossibilité de rattacher d'autres processus.
- Résultats dépendent des données.
- Difficulté de calculer les erreurs de simulation.

Remarque

Les modèles mathématiques seront transitoires ou permanents selon que l'on prendra ou non en compte une variation des variables modélisées au cours du temps.

III.3.2. Le modèle physique

C'est une représentation à l'échelle réduite d'un ouvrage - et de son site - dont on veut étudier la forme ou qu'on veut modifier avant son implantation. [5]

Ce modèle permet de simuler les conditions physiques (température, onde, vitesse, etc.) en jeu et de prédire les contraintes particulières de la situation. Il est ainsi possible d'intégrer ces contraintes et de tester les solutions mises en œuvre avant de réaliser les étapes finales d'un projet.

Ces modèles physiques sont très utilisés dans les domaines où la géométrie, la thermodynamique et la mécanique des fluides entrent en jeu : l'urbanisme, la construction navale, l'aéronautique...[8]

-Prototype : modèle en vraie grandeur. C'est le corps physique que le modèle réduit représente à une plus petite échelle. Plus généralement, on entendra le mot prototype comme corps physique à modéliser numériquement ou analogiquement.

-Maquette : modèle en réduction (modèle réduit). La maquette, beaucoup moins coûteuse que le prototype, se prête à une étude plus facile, à des modifications moins onéreuses.

La justification du modèle repose en définitive sur le fait que les mêmes équations régissent les phénomènes en vraie grandeur et en modèle réduit.

Les essais sur maquette permettent :

-de vérifier les calculs.

-de trouver des solutions que les théories actuelles sont incapables de fournir.

Les résultats des mesures expérimentales et les conclusions établies sur ces maquettes ne sont transportables au prototype que si certaines conditions sont satisfaites : conditions de similitude mécanique (géométrique, cinématique, dynamique).

III.3.3. Les modèles analogiques

Les modèles analogiques sont des mécanismes physiques, présentant des analogies avec le phénomène décrit par la théorie. Ils sont utilisés lorsque les modèles numériques n'existent pas, ne sont pas assez performants ou ne sont pas utilisables par manque de calculateurs assez puissants. [5]

Les modèles analogiques reproduisent les caractéristiques majeures des phénomènes naturels, mais à un niveau détaillé. Les mécanismes peuvent ne pas être identiques.

Cependant avec un choix judicieux des matériaux, des vitesses de contrainte, etc., les mêmes systèmes peuvent s'approcher des modèles à l'échelle. [9]

La modélisation analogique consiste à construire un système physique qui reproduit plus ou moins un phénomène que l'on souhaite étudier. L'observation du comportement du modèle permet de tirer des enseignements sur le phénomène d'intérêt. [10]

A- Analogie circuit électrique – écoulement des eaux souterraines

La modélisation de l'écoulement des eaux souterraines par des réseaux électriques est un exemple de résolution analogique d'équations différentielles. Où résistance, capacité et potentiel électrique simulaient transmissivité, emmagasinement et charge hydraulique.

B- Analogie écoulement des eaux souterraines– Diffusion température

L'équation de l'écoulement souterrain :

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K}{S} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$$

avec

H : charge hydraulique.

S : coefficient d'emmagasinement.

K : coefficient de perméabilité.

L'équation de la température analogue :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho C} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

λ : conductivité thermique

C : chaleur spécifique

ρ : densité

On peut utiliser par exemple un code de calcul de la diffusion thermique pour simuler écoulement à travers un corps d'un barrage.

C- Analogie circuit électrique – circuit hydraulique

Les principales grandeurs physiques en électricité : la charge, l'intensité du courant électrique, la tension électrique ont leurs grandeurs analogues en hydraulique : il existe une analogie entre le circuit électrique et le circuit hydraulique.

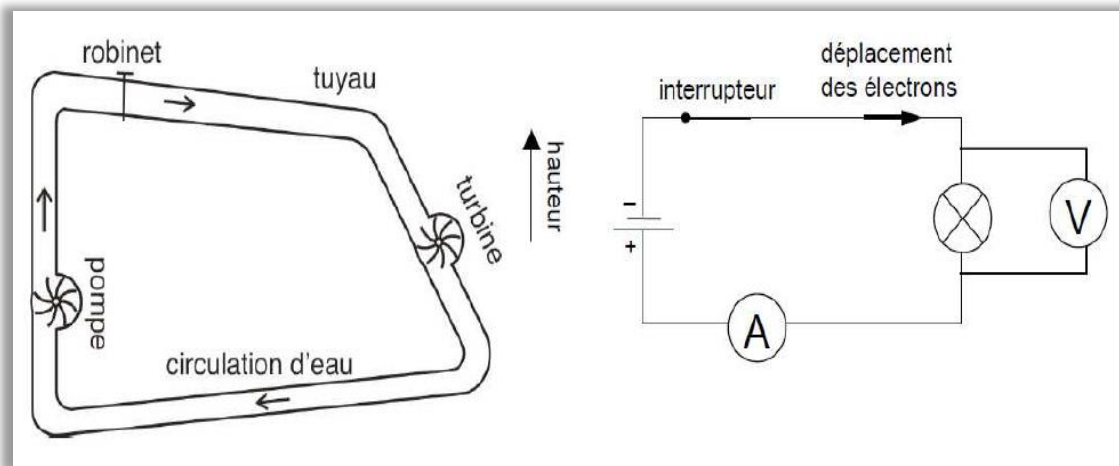


Figure III.1. L'analogie entre le circuit hydraulique et le circuit électrique

Le tableau suivant montre l'analogie entre le circuit hydraulique et le circuit électrique :

Tableau III.1. L'analogie entre le circuit hydraulique et le circuit électrique

Circuit hydraulique	Circuit électrique
les tuyaux	les câbles
les tuyaux sont pleins d'eau	les câbles sont pleins d'électrons
le robinet	l'interrupteur
la pompe	la source de tension (pile, générateur,...)
la pompe met l'eau en mouvement, lorsque le robinet est ouvert	la source de tension met en mouvement les électrons, lorsque l'interrupteur est fermé
la pompe pousse l'eau vers le haut	la source de tension crée un excès d'électrons à la borne négative
la pompe crée une différence de pression	la source de tension crée une tension électrique à ses bornes
l'eau en mouvement fait tourner une turbine	le courant électrique fait briller une ampoule
le débit d'écoulement de l'eau exprimé en litres par seconde	l'intensité du courant électrique exprimé en ampère
la hauteur de chute de l'eau	la tension aux bornes de l'ampoule

Rappel des relations de base de l'analogie hydraulique-électrique :

Tableau III.2. Les relations de base de l'analogie hydraulique-électrique

Champ empirique :			Champ théorique :		
Grandeur	Symbole	Unité	Grandeur	Symbole	Unité
Tension	U	Volt [V]	Pression	P	Pascal [Pa] ou [bar]
Courant	I	Ampère [A]	Débit	Q	[m ³ /s] ou [l/min]
Résistance	R	Ohm [Ω]	Coeff. de résistance	?	[s ² ·N/(m·kg)]

Remarques

Les **modèles réduits** sont encore très utilisés, en particulier en raison de leur capacité à prendre en compte des conditions aux limites complexes mais aussi à cause de leur matérialité qui séduit souvent les maîtres d'ouvrage. Ils permettent de trouver des solutions, d'acquérir des données ou de vérifier des calculs.

Les modèles analogiques ont pratiquement disparu au profit des modèles mathématiques pour des raisons de facilité de mise en œuvre.

Pour un modèle numérique, aussi bien que pour un modèle physique, la forme des équations issues de la théorie, donne avant toute résolution numérique et analogique, des enseignements sur les relations entre les variables du problème. L'étude de ces relations fait l'objet de l'analyse dimensionnelle, qui elle-même est à la base des théories de similitude.

III.4. La simulation

L'observation n'est pas toujours possible ni suffisante pour étudier un phénomène réel. Les causes principales en sont le manque de moyens techniques, financiers ou théoriques. L'expérimentation sur un *modèle* du phénomène que l'on veut étudier est alors d'un grand secours pour approfondir l'étude. C'est ce qu'on appelle la simulation. [5]

III.5. Schéma des liens entre les modèles en hydraulique

Le diagramme de la figure ci-dessous illustre les diverses relations et interactions entre les modèles. Les modèles météorologiques, tout en amont, simulent l'atmosphère et fournissent les paramètres du temps aux modèles hydrologiques, hydrauliques et hydrogéologiques qui gèrent les écoulements de l'eau. Ceux-ci sont d'ailleurs interactifs dans la majorité des situations naturelles. La troisième strate de modèles s'attache à représenter les effets des écoulements sur le milieu fluvial ou maritime ainsi que les problèmes de pollution des eaux.

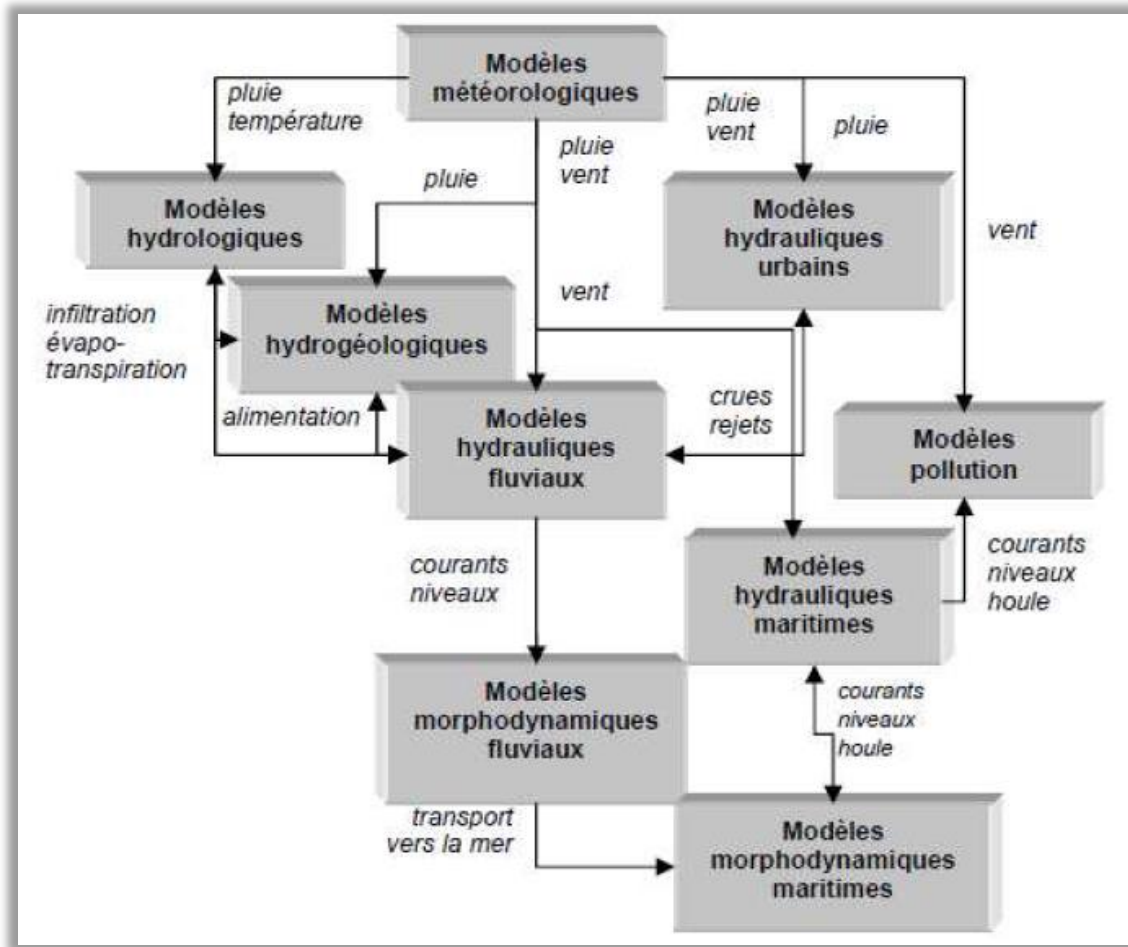


Figure III.2. Les diverses relations et interactions entre les modèles [5]

III.6. Conception d'un modèle d'impact du changement climatique sous Vensim®

L'outil, utilisé ici et permettant cette modélisation, est le logiciel Vensim® 4.0 (Ventana System 1997). Ce logiciel offre la possibilité de décrire, simuler, analyser et optimiser les systèmes dynamiques, pas uniquement dans le domaine hydrologique. C'est un outil très performant pour décrire des flux entre des variables. Il permet de construire un graphique du système étudié complet par l'intermédiaire de flux reliés à des variables d'état dépendantes du temps et/ou influencées par des variables auxiliaires, influence décrite par l'éditeur d'équations (construction d'équations et de fonctions complexes). Il permet aussi de s'affranchir du langage de programmation habituel. Le modèle ainsi bâti présente l'avantage d'une cohérence dans les équations et d'une homogénéité des unités.

Ce logiciel fournit, en outre, une voie simple et flexible dans la mise en œuvre et l'analyse du modèle : construction graphique, modification de la valeur ou de la place d'une variable dans le diagramme, visualisation des résultats à partir d'outils graphiques (tableaux, courbes) ou exportation des données sous forme de fichiers (possibilité de traitement ultérieur). On dispose

également, lors de la construction du modèle, d'un outil de vérification des dimensions des variables qui permet de s'assurer que les équations entrées sont dimensionnellement correctes.

La simplicité d'utilisation de Vensim® en fait un bon outil pédagogique pour la modélisation en s'affranchissant des langages de programmation habituels.

Vensim® utilise une représentation spécifique composée de variables d'état et auxiliaires, de constantes, de données et de flux.

Les variables d'état (Levels) changent de valeur uniquement avec le temps (Time), et les valeurs qu'elles prennent dépendent uniquement de la valeur prise au pas de temps précédent. Ces variables déterminent les comportements dynamiques du système. Ces variables sont idéalement adaptées pour simuler le fonctionnement d'un réservoir, concept largement utilisé dans les modèles conceptuels pluie-débit.

Les variables auxiliaires (Auxiliary) sont le résultat de calculs entre les variables d'état, les constantes, les données ou autres variables auxiliaires. Leurs valeurs, à chaque pas de temps, sont indépendantes de la valeur des mêmes variables au pas de temps précédent. Les constantes (Constant), comme l'indique leur nom, ne changent pas de valeur.

Les données (Data) correspondent aux variables exogènes. Elles sont importées dans Vensim®. Elles changent de valeur à chaque pas de temps mais sont complètement indépendantes de ce qui se passe pour les autres variables.

Les flux (Rates) sont des variables qui influent directement sur les variables d'état. Ce sont sensiblement le même type de variables que les auxiliaires, qui diffèrent seulement par la façon dont elles sont utilisées dans le modèle.

Les flèches sont utilisées pour mettre en relation l'ensemble des variables intervenant dans les calculs nécessaires compte-tenu de l'algorithme décrit. Elles décrivent les relations de cause à effet entre les différents composants du modèle.

Dans l'exemple suivant (figure III.3), la variable réservoir S est de type Level, toutes les autres variables sont de type auxiliaire sauf etp data et pluie data.

Lorsqu'on clique sur la variable réservoir S, on a accès à la définition de l'équation régissant sa variation. Ici, on a réservoir $S = \text{INTEG}(\text{entrée } S - \text{etr } bv)$, où INTEG signifie intégrale. Les flèches reliant entrée S et etr bv à réservoir S viennent symboliser cette relation. Vensim® permet donc de simuler les flux et de construire de manière interactive le modèle de simulation. Il est aussi doté d'une méthode d'optimisation permettant de trouver automatiquement la meilleure valeur de certaines variables en fonction d'une autre. C'est ce que l'on fait

classiquement lorsqu'on réalise le calage d'un modèle pluie-débit. Les variables à déterminer sont les paramètres du modèle et la variable "cible" est la fonction critère. [11]

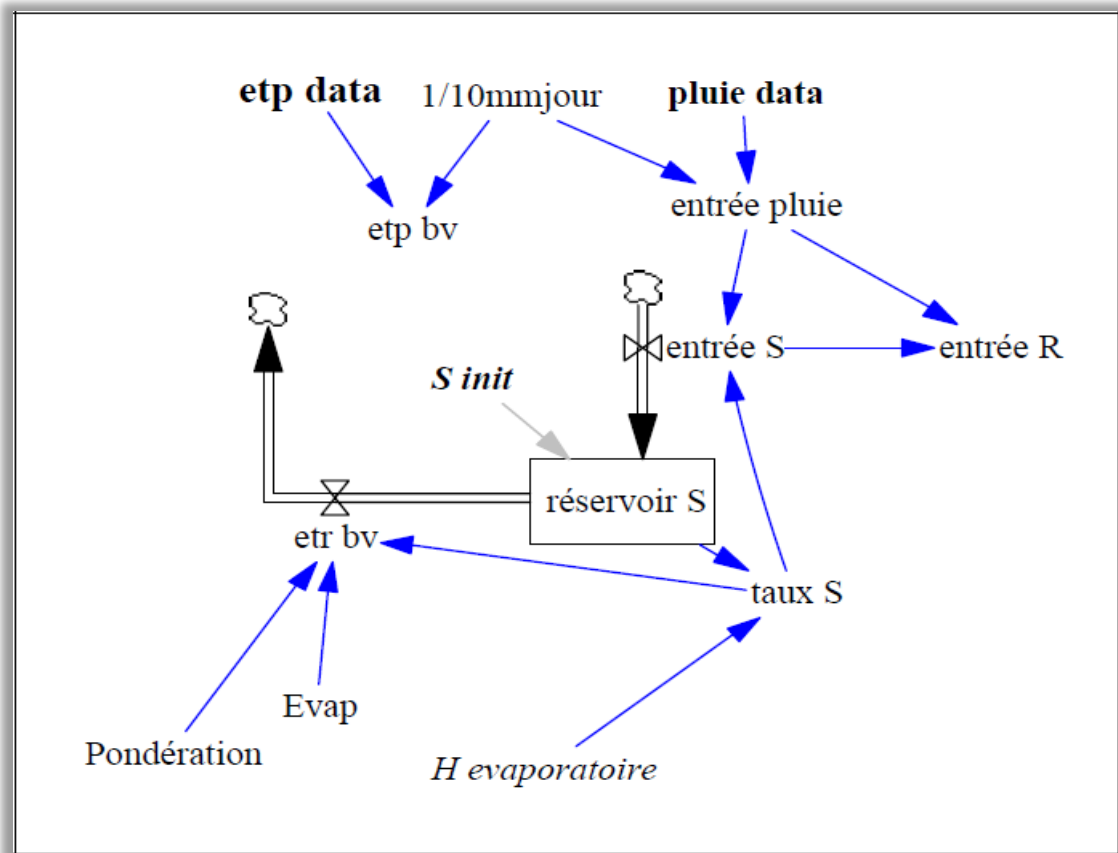


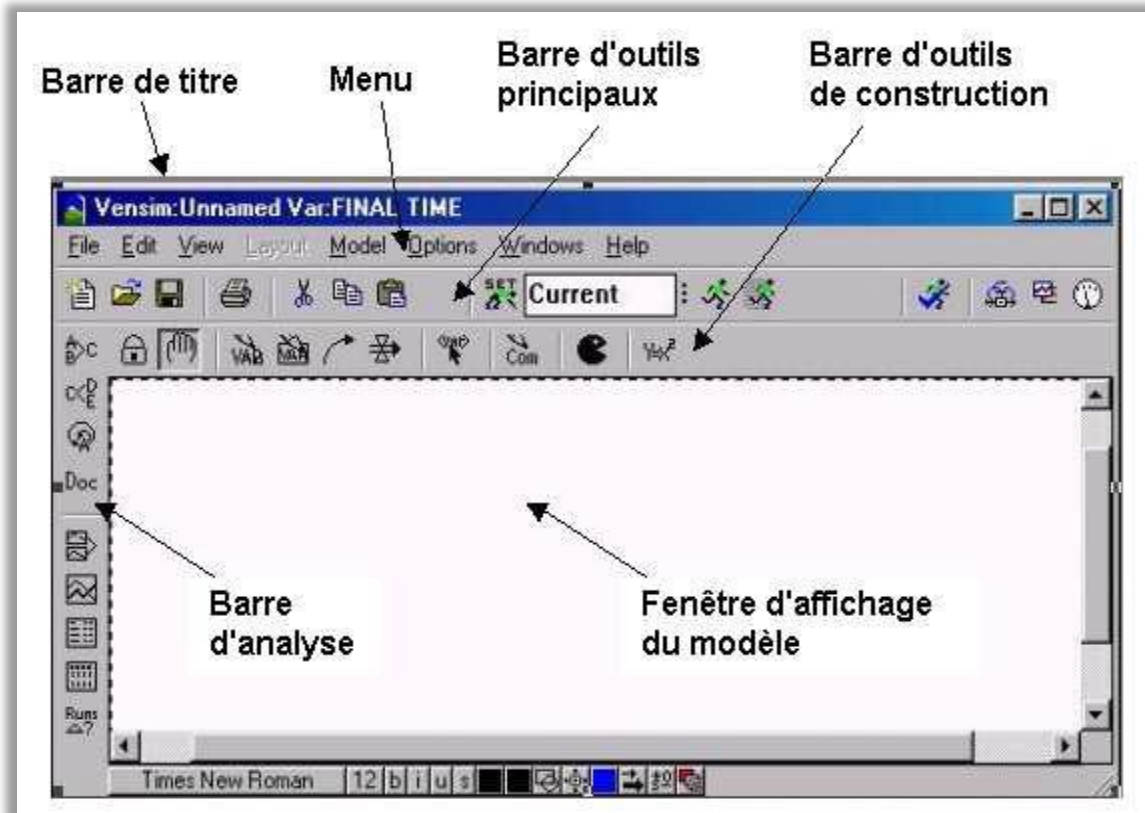
Figure III.3. Exemple de la construction d'un modèle sous Vensim®

Vensim® est un langage de simulation dont l'application dans le domaine de l'eau n'est pas encore très développée. Sa très grande simplicité d'utilisation le dévalorise peut-être aux yeux des utilisateurs. Il existe d'autres outils similaires, tels que Stella® et Powersim®, eux aussi peu utilisés en sciences de l'eau.

Néanmoins, nous pensons que cet outil est performant et que les facilités qu'il fournit en termes de modélisation permettent, non pas d'aborder les problèmes d'une façon simpliste, mais d'avancer plus vite et plus agréablement dans la conceptualisation qu'avec les langages de programmation habituels. [12]

III.7. Fiche technique du logiciel de modélisation Vensim : Application Vensim PLE

III.7.1. Présentation de l'environnement de Vensim®



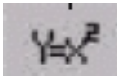
III.7.2. Construire un modèle

III.7.2.1. Créer les éléments du modèle

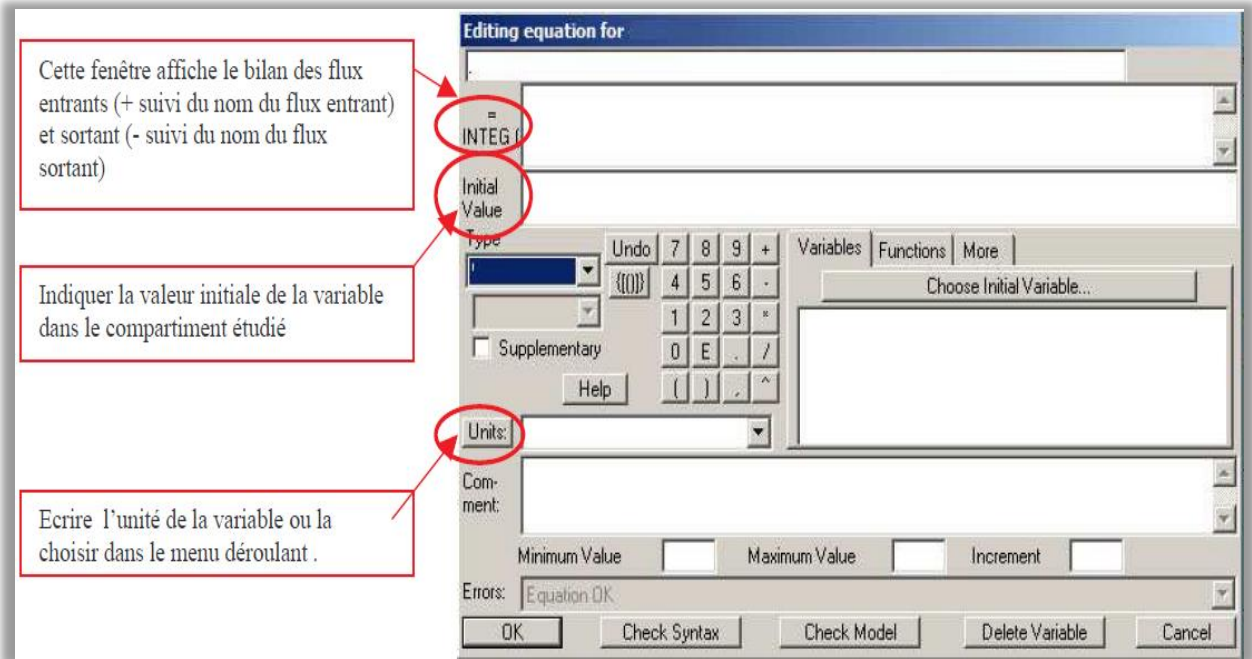
Tableau III.3. Les différents éléments du modèle

Actions	icône	Commentaires
Créer un compartiment		Choisir l'icône et cliquer dans la fenêtre d'affichage pour créer le compartiment, le nommer.
Créer un flux		Choisir l'icône, cliquer une première fois pour déterminer le départ du flux et une deuxième fois pour déterminer son arrivée. Nommer le flux.
Créer une variable		Choisir l'icône et cliquer dans la fenêtre d'affichage pour créer la variable, la nommer.
Créer une flèche		Tirer la flèche du compartiment vers la variable : elle désigne une opération mathématique qui convertit les données du compartiment en une variable ¹
Utiliser la gomme		... et comme une erreur est toujours possible...

III.7.2.2. Paramétrer le modèle

Sélectionner l'icône  : tous les éléments du modèle apparaissent en surbrillance. Cliquer sur l'élément du modèle à paramétrer pour obtenir l'ouverture d'une fenêtre de dialogue.

-Paramétrer un compartiment

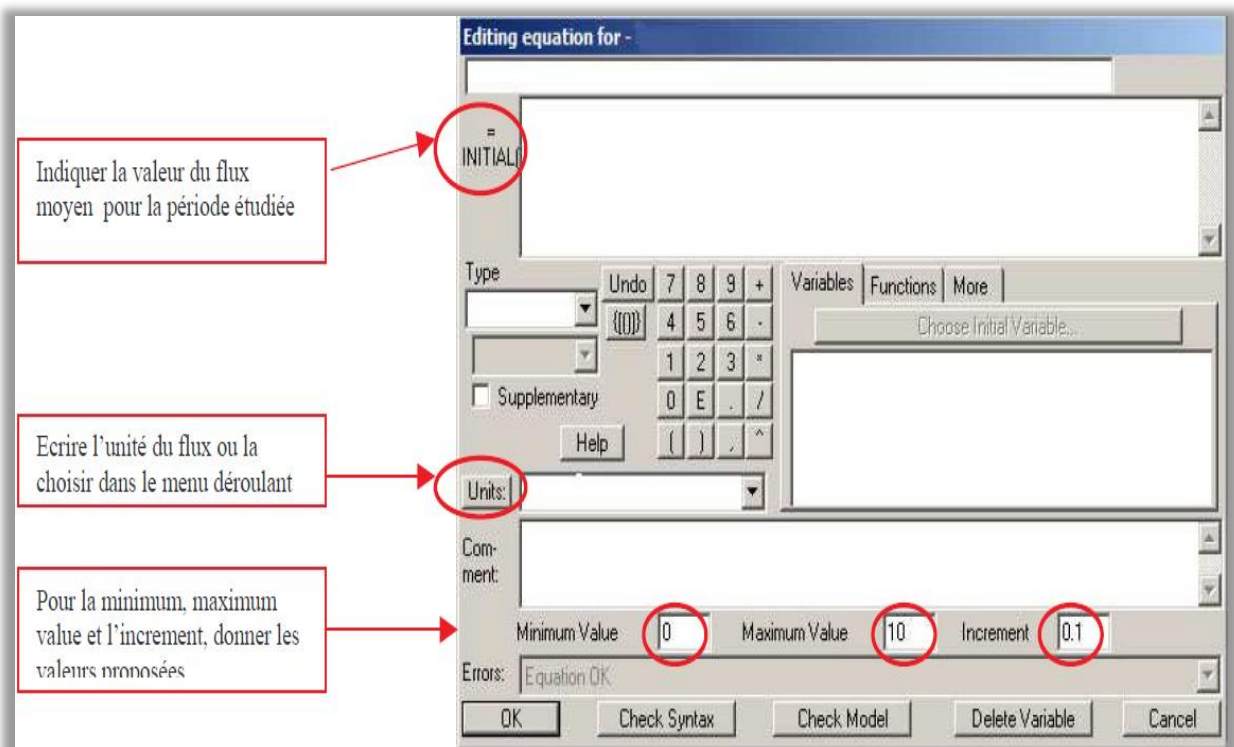


Cette fenêtre affiche le bilan des flux entrants (+ suivi du nom du flux entrant) et sortant (- suivi du nom du flux sortant)

Indiquer la valeur initiale de la variable dans le compartiment étudié

Ecrire l'unité de la variable ou la choisir dans le menu déroulant.

-Paramétrer un flux



Indiquer la valeur du flux moyen pour la période étudiée

Ecrire l'unité du flux ou la choisir dans le menu déroulant

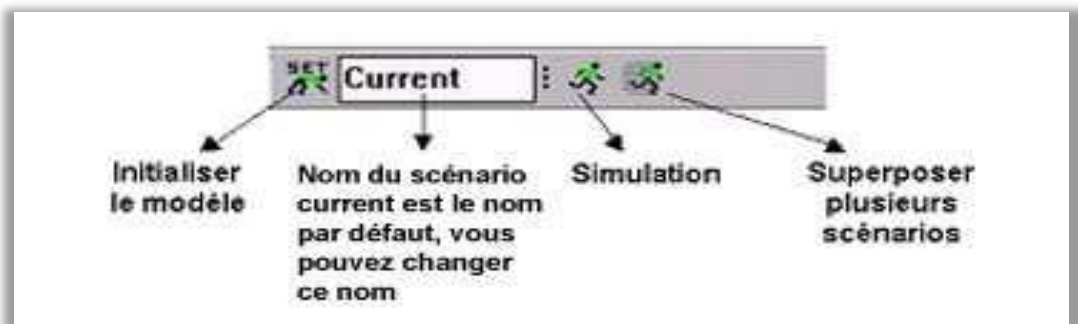
Pour la minimum, maximum value et l'increment, donner les valeurs nommées

III.7.3. Lancer le calcul, faire une simulation

Attention :

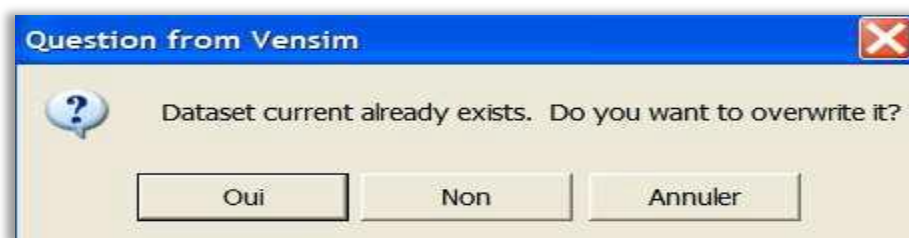
Une simulation n'est possible que lorsque le modèle est correctement paramétré lorsque : tous les éléments du modèle ne sont plus en surbrillance.

Clique sur l'icône << superposer plusieurs scénarios >>



Par défaut, le calcul généré par le modèle est enregistré dans un fichier current.vdf.

Si plusieurs calculs sont effectués sous le même nom de scénario, le logiciel demande l'autorisation d'écraser le calcul précédent par le message suivant :



Répondre oui est la simulation génère un nouveau calcul et un nouveau fichier.

Si vous répondez non et la simulation s'interrompt. Pour lancer une simulation, il faut alors changer le nom du scénario.

Voir le résultat graphique :

- Courbe bleue : valeurs mesurées sur le terrain (le réel)
- Courbe rouge : valeurs calculées par le modèle (modèle)

III.7.4. Arrêter une simulation

Cliquer sur l'icône << stop >>



[13]

CHAPITRE IV

APPLICATION SUR VENSIM

CHAPITRE IV

APPLICATION SUR VENSIM

IV.1. Modèle pluie-débit annuel GR1A

Le modèle GR1A permet de faire des simulations des débits au pas de temps annuel à l'aide du modèle GR1A. La version utilisée ici est celle présentée par Mouelhi (2003) et Moulehi et al. (2006). On se référera à ces documents pour avoir plus de détails sur ce modèle (Mouelhi, S., 2003).

L'équation du débit simulé est :

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

Nom du bassin	BV DU K'SOB	
Superficie du bassin (km²)		1352
Paramètres modèle	Transf.	Réels
x: Coefficient de correction de l'ETP (mm)	0.68	1.97
Valeur initiale de la pluie		
Pk-1		445.50
Période		
Durée de la période test (années)		2
Date de départ		1982
Date de fin		1983
Moyenne des pluies observées (mm/an)		445.5
Moyenne des ETP observées (mm/an)		976.7
Moyenne des débits observés (mm/an)		13.0
Moyenne des racines des débits observés		3.4
Moyenne des logs des débits observés		2.3
Critères d'efficacité (%)		
Nash(Q)		95.7
Nash(VQ)		94.1
Nash(ln(Q))		90.2
Bilan		100.0

Les données des pluies, débits et de l'ETP annuelles du bassin versant ont été utilisées par GR1A qui permet de calculer les débits simulés, le Nash et le bilan. Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants:

Données				Modèle
années	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
1981	352	955.52	18.42	6.94
1982	588	976.42	21.93	20.09
1983	303	976.94	4.13	5.97
1984	266	933.53	10.77	2.96
1985	339	977.16	30.54	4.49
1986	412	960.15	26.10	8.46
1987	355	1002.00	11.28	6.12
1988	344	1002.01	12.90	5.18
1989	359	978.78	33.59	5.90
1990	331	932.50	15.77	5.49
1991	371	939.51	28.62	6.76
1992	444	942.97	12.25	10.99
1993	348	993.29	16.47	6.25
1994	265	1044.21	76.71	2.58
1995	345	989.40	38.83	4.57
1996	267	927.66	9.43	3.30
1997	286	959.02	30.80	3.08
1998	317	1010.07	13.55	3.71
1999	318	1071.47	46.78	3.53
2000	290	1059.92	12.67	2.91
2001	366	1067.51	18.40	4.76
2002	437	1039.31	53.33	8.70
2003	444	1043.71	55.98	9.87
2004	350	1001.59	38.63	6.23
2005	469	1021.39	52.82	10.47
2006	380	992.24	59.56	7.94

Calcul du critère							
Qobs	VQobs	$\ln(Qobs+M/40)$	Qcal	VQcal	$\ln(Qcal+M/40)$	$\Delta(Q)^2$	$\Delta(VQ)^2$
18.422	4.292	2.931	6.936	2.634	1.983	131.942	2.751
21.928	4.683	3.103	20.093	4.482	3.016	3.369	0.040
4.135	2.033	1.495	5.968	2.443	1.840	3.362	0.168
10.774	3.282	2.407	2.958	1.720	1.189	61.091	2.442
30.540	5.526	3.430	4.490	2.119	1.572	678.573	11.609
26.104	5.109	3.274	8.460	2.909	2.173	311.298	4.843
11.277	3.358	2.451	6.121	2.474	1.864	26.585	0.782
12.899	3.591	2.582	5.184	2.277	1.706	59.520	1.728
33.588	5.796	3.524	5.895	2.428	1.828	766.903	11.340
15.766	3.971	2.778	5.487	2.343	1.760	105.638	2.651
28.620	5.350	3.365	6.762	2.600	1.958	477.754	7.559
12.249	3.500	2.532	10.995	3.316	2.427	1.574	0.034
16.469	4.058	2.821	6.254	2.501	1.884	104.347	2.426
76.711	8.758	4.344	2.583	1.607	1.068	5494.940	51.141
38.828	6.231	3.668	4.568	2.137	1.588	1173.778	16.761
9.426	3.070	2.277	3.296	1.815	1.287	37.580	1.574
30.795	5.549	3.438	3.085	1.756	1.227	767.868	14.387
13.553	3.681	2.630	3.709	1.926	1.395	96.894	3.082
46.777	6.839	3.852	3.528	1.878	1.349	1870.425	24.611
12.672	3.560	2.565	2.905	1.705	1.173	95.392	3.442
18.401	4.290	2.930	4.760	2.182	1.626	186.070	4.443
53.326	7.302	3.983	8.705	2.950	2.201	1991.085	18.941
55.982	7.482	4.031	9.875	3.142	2.322	2125.910	18.833
38.635	6.216	3.663	6.234	2.497	1.881	1049.831	13.831
52.820	7.268	3.973	10.470	3.236	2.379	1793.519	16.257
59.563	7.718	4.092	7.937	2.817	2.112	2665.236	24.014

$\Delta(\ln(Q+M/40))^2$	$\Delta 2(Q)^2$	$\Delta 2(VQ)^2$	$\Delta 2(\ln(Q+M/40))^2$	Pobs	ETPobs
0.900	29.062	0.872	0.400	352	955.517
0.007	79.153	1.755	0.646	588	976.416
0.119	79.153	1.755	0.646	303	976.936
1.484	5.098	0.006	0.012	266	933.532
3.451	306.548	4.701	1.279	339	977.159
1.213	170.880	3.066	0.952	412	960.146
0.345	3.079	0.000	0.023	355	1002.001
0.767	0.018	0.054	0.080	344	1002.015
2.876	422.573	5.941	1.500	359	978.782
1.037	7.475	0.375	0.230	331	932.504
1.980	242.998	3.967	1.138	371	939.508
0.011	0.612	0.020	0.054	444	942.970
0.878	11.816	0.490	0.273	348	993.285
10.736	4055.061	29.164	4.184	265	1044.206
4.325	665.484	8.255	1.873	345	989.400
0.981	12.999	0.083	0.000	267	927.661
4.889	315.548	4.802	1.297	286	959.025
1.526	0.272	0.105	0.110	317	1010.074
6.266	1138.738	12.119	2.413	318	1071.471
1.937	0.129	0.041	0.071	290	1059.919
1.699	28.831	0.868	0.398	366	1067.515
3.175	1623.667	15.558	2.835	437	1039.313
2.919	1844.772	17.008	3.000	444	1043.709
3.174	655.523	8.166	1.860	350	1001.593
2.540	1583.151	15.286	2.803	469	1021.391
3.923	2165.174	19.006	3.217	380	992.240

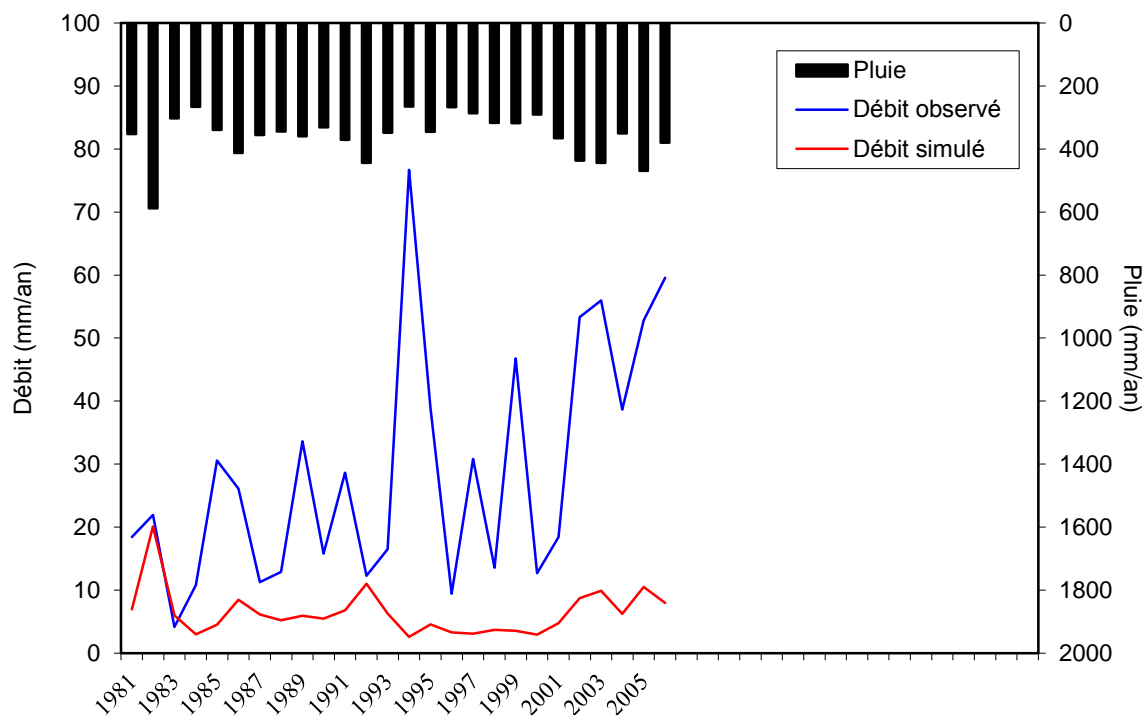


Figure IV.1. Pluies et Hydrogrammes des chroniques des débits observés et simulés

Les résultats : le calage de ce modèle se fait uniquement pour une durée de 2 ans, le Nash est de 95.7% pour un bilan de 100%. Le paramètre de calage x est de 1.97.

IV.2. Application des données sur Vensim

On propose l'utilisation du modèle de simulation des débits du BV K'sob sur Vensim. La modélisation commence par dessiner un modèle, puis la saisie des équations numériques (en précisant les quantités). Ensuite, une simulation est lancée avec enregistrement automatique dans une base de données. Enfin, les données de simulation peuvent être examinées avec des outils d'analyse pour découvrir le comportement dynamique des variables dans le modèle.

Schéma de construction du modèle :

- création → test → ajustement, répété jusqu'à ce que le modèle réponde à vos exigences
- débogage
- analyse du modèle

Le comportement d'un modèle de simulation dans Vensim est uniquement déterminé par les équations qui gouvernent les relations entre différentes variables.

IV.2.1. Convention d'écriture des noms


IV.2.1.1. Variables

Les **variables de niveau** (Level) commencent par une majuscule. Ex : Q simulé.


Les **variables auxiliaires, constantes, avec recherche de données (Look up)**, et autres variables sont en minuscules. Ex : température.

IV.2.1.2. Diagrammes




Les stocks (Level) sont inscrits avec . Lors de l'utilisation de cet outil, la variable d'état du stock est désignée comme niveau (Variable Level) et dessinée dans un rectangle. On peut faire autrement, mais cela peut être source de confusion et n'est pas recommandé, sauf à des fins spéciales.




Constantes, Auxiliaires (et Lookup, Données, autres variables) sont entrées avec l'outil  (variables dans une boîte sans contour). Avoir des formes différentes pour chaque type de variable n'affiche pas plus d'informations, mais il n'y a aucune norme et l'aspect visuel peut être développé. Les variables auxiliaires influençant une variable d'état peuvent être représentées dans un cercle.


IV.2.2. Construction du diagramme

- On lance Vensim.
- On clique sur le bouton **Nouveau modèle**, ou on sélectionne le menu **File> New Model**
- Dans la fenêtre de paramétrage (Time Bounds), on tape 1981 pour le temps initial et 2006 pour le temps final. On clique sur le menu déroulant pour les **unités de temps**, et on sélectionne l'année. On clique sur **OK** (ou on appuie sur Entrée).

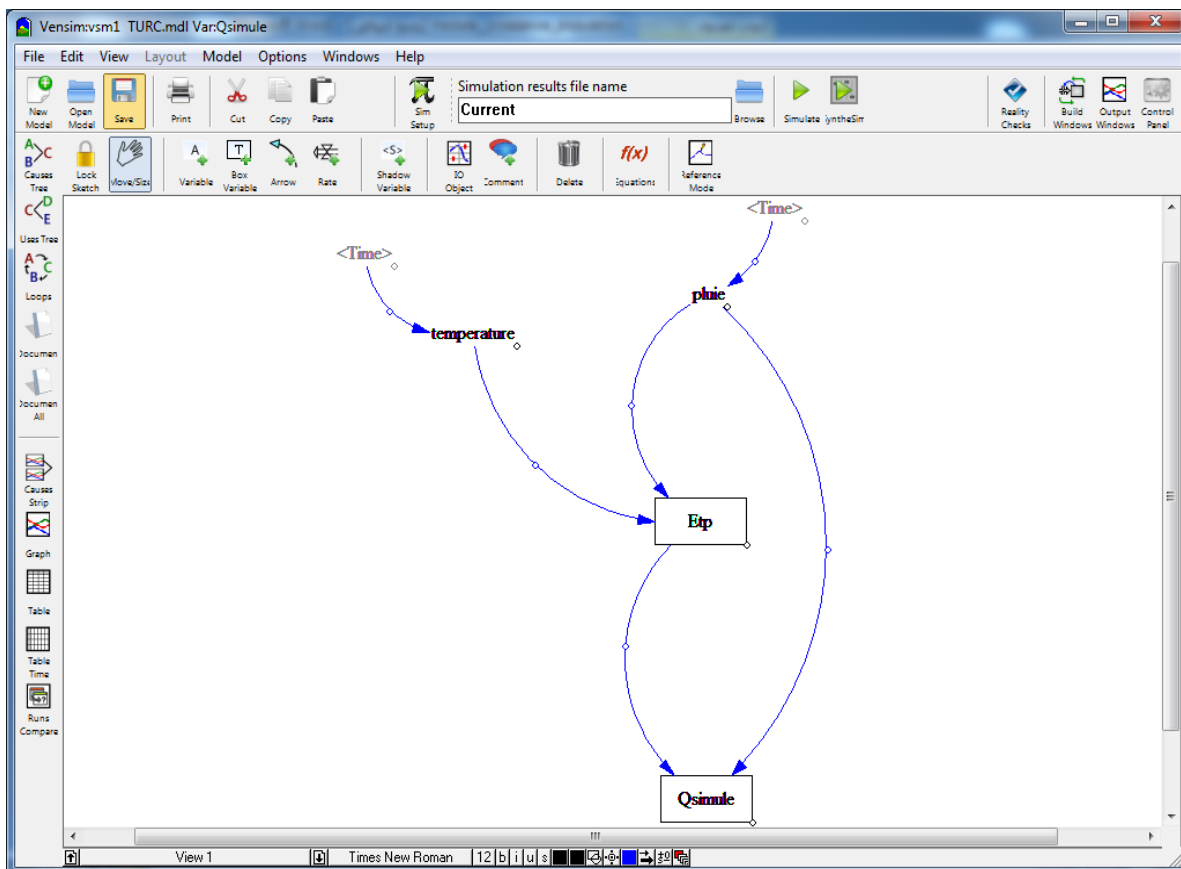
- On sélectionne l'outil **Variable - Auxiliary/Constant** . On tape "pluie" et on appuie sur Entrée. On tape "température" et on appuie sur Entrée.

- On sélectionne l'outil **Box Variable-Level**  et On tape le nom de la variable d'état ("Etp"), et appuie sur la touche Entrée. On Lie de la même manière pour le "Q simulé".

- On sélectionne l'outil **shadow variable**  clique une fois a broche de la "pluie" et autre fois a broche de la "température", On choisit le variable "time" pour les deux fois et On Clique sur **OK**.

- On sélectionne l'outil **Arrow** , clique une fois sur "température" et une fois sur "Etp". Clique une fois sur "Etp", puis une fois sur "Q simulé" .
- On lit de la même manière pluie aux "Etp" puis aux "Q simulé" et "time" aux "pluies" puis aux "températures".
- On enregistre votre modèle (menu **File>Save as...**) dans le répertoire de notre choix. Donne un nom à votre modèle et choisisse le type "Vensim Model" (Ex : Déb.mdl).

La structure du modèle de simulation du débit du BV K'sob est maintenant terminée, comme le montre la figure ci-dessous.



IV.2.3. Saisie des équations

Le modèle a maintenant une structure complète. Toutefois, si nous essayons de simuler, nous obtiendrons un message disant que le modèle comporte des erreurs et ne peut pas être simulé. Afin de simuler, elle a besoin d'un ensemble d'équations qui décrivent chacune de ces relations. Ces équations sont de simples expressions algébriques, définissant une variable en termes de relations causales avec d'autres variables. Par exemple:

$$Etp = pluie / \text{SQRT}(0.9 + pluie^2 / (300 + 25 * temperature + 0.05 * temperature^3)^2) .$$

Nous allons saisir les unités de mesure pour chaque équation que nous entrons. Les unités nous permettent de vérifier la cohérence entre toutes les dimensions, les équations. La cohérence des unités est importante comme contrôle formel de la bonne structure du modèle. Nous allons utiliser le menu **Model > Units Check** (Ctrl + U) pour vérifier l'ensemble du modèle après avoir ajouté toutes les équations.



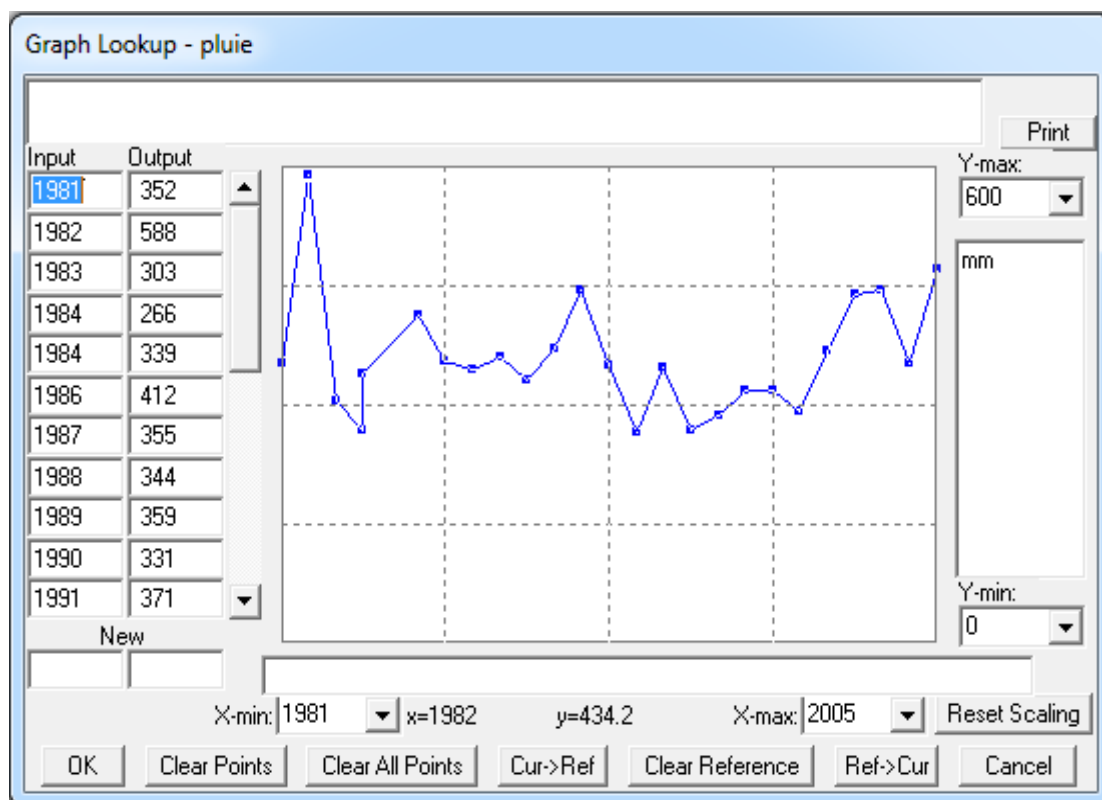
- On clique sur l'outil **Equations** .

Toutes les variables dans le modèle deviennent noires. La surbrillance est utilisée comme outil de vérification de l'exhaustivité de la saisie. Elle indique les variables qui nécessitent encore des équations, ou dont les équations sont incomplètes. Lorsqu'on saisit les équations pour chacune des variables, la surbrillance disparaît. L'item de menu **Model > Check** (Ctrl + T) ou le bouton **Check Model** dans l'éditeur d'équation contrôle et affiche ce qui reste à faire.

- On clique sur la variable "pluie".

L'éditeur d'équations s'ouvre. L'apparence exacte de l'éditeur d'équations dépendra de la version de Vensim configuration que nous utilisons. Vensim PLE et PLE Plus ont simplifié l'éditeur d'équations, mais les principaux éléments sont les mêmes.

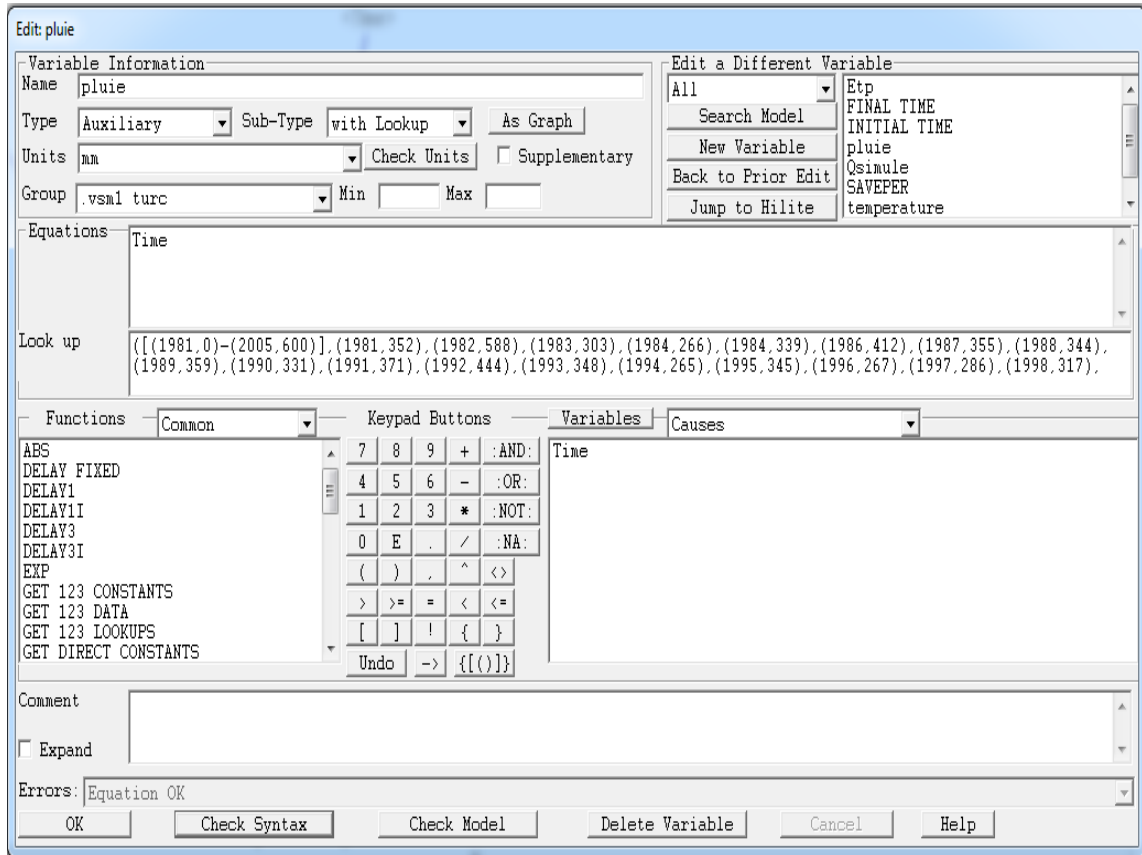
En haut de l'éditeur, se trouve le nom de la variable (nous avons cliqué sur pluie). La zone de liste déroulante de gauche montre le type de variable : Auxiliary et le sub-type: choisir with lookup, puis on clique sur As graph et saisir les données de pluies comme le montre la figure suivante.



Maintenant, on clique sur **OK** et on saisit dans les unités de mesure mm dans la boîte **Units**.

On place le curseur dans la boîte d'édition équation et on clique sur la variable time dans la liste des **Variables** (dans le milieu de l'Éditeur d'équations).

L'équation de la variable "pluie" est maintenant terminée, comme le montre la figure ci-dessous.



Remarque: On effectue de la même manière pour la variable de "température" sauf les unités de mesure degré dans la boîte Units.

- On clique sur la variable "Etp".

En haut de l'éditeur se trouve le nom de la variable (on clique sur Etp). La zone de liste déroulante de gauche montre le type de variable : Auxiliary et le sub-type: choisir Normal.

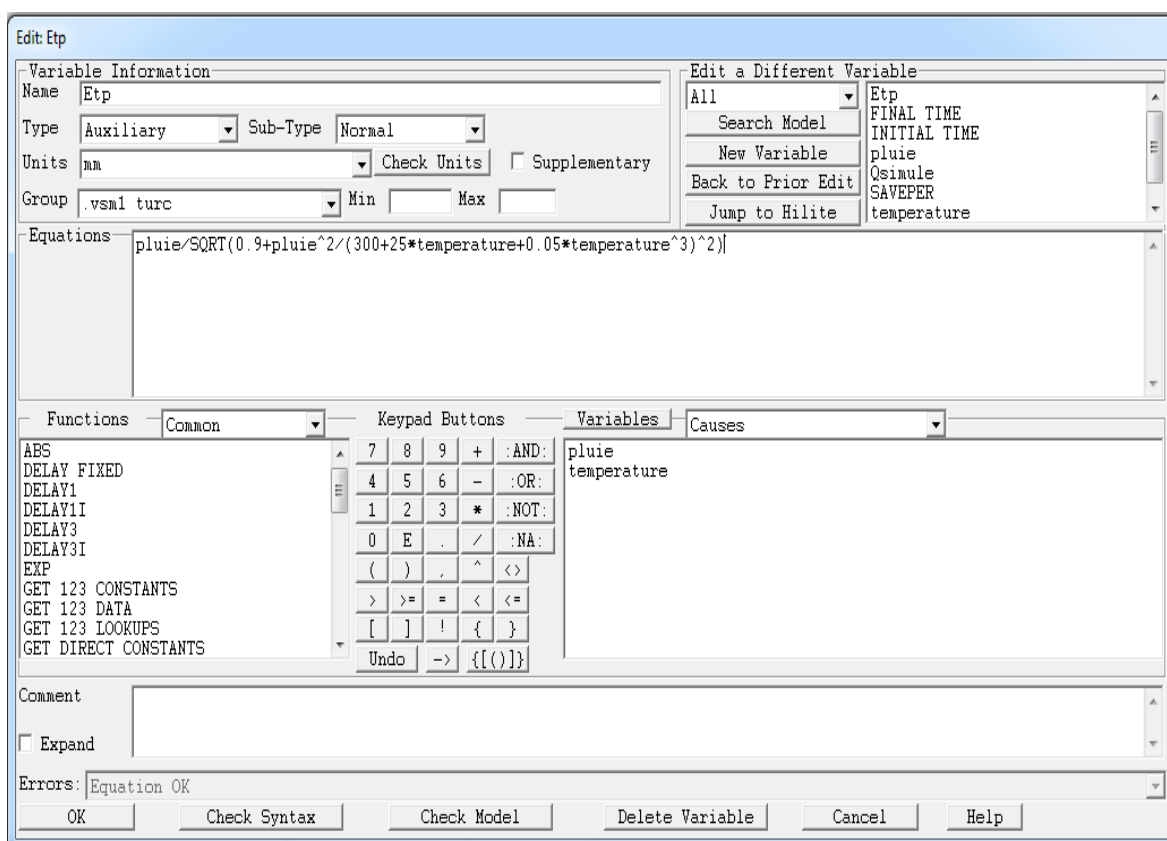
On saisit dans les unités de mesure mm dans la boîte **Units**.

On place le curseur dans la boîte d'édition équation et on tape:

$\text{pluie}/\text{SQRT}(0.9+\text{pluie}^2/(300+25*\text{temperature}+0.05*\text{temperature}^3)^2)$

cette équation est la formule de turc.

la figure suivante montre l'équation dans vensim :



Remarque : on procède de la même manière pour la variable de "Q simulé". L'équation de Q simulé est de: $\text{pluie} * (1 - 1 / (1 + ((0.7 * \text{pluie} + 0.3 * 445.5) / (1.97 * \text{Etp}))^2)^{0.5})$

IV.2.4. Vérification du modèle et des unités (erreurs de syntaxe)

Avant d'utiliser le modèle pour une simulation, il convient de vérifier les équations et les unités.

- On sélectionne le menu **Model> Check Model** (ou appuyez sur Ctrl + T), on devrait obtenir une boîte d'information disant "le modèle est OK".

Si le modèle comporte des erreurs, l'éditeur d'équations sera ouvert à la variable contenant l'erreur. On vérifie que l'équation utilise toutes les variables et que leurs noms dans les équations sont identiques à ceux des variables déclarées. On vérifie aussi que la structure de notre modèle est la même que dans le diagramme ci-dessus.

- On sélectionne le menu **Model> Units Check** (ou appuyez sur Ctrl + U), on devrait obtenir une boîte d'information en disant "Les unités sont AOK".
- On sélectionne le menu **Model> Units Check** (ou appuyez sur Ctrl + U), on devrait obtenir une boîte d'information en disant "Les unités sont AOK".

Si une erreur d'unités est repérée, on lit la fenêtre de sortie pour voir les variables qui pose problème. On ouvre l'**Éditeur d'équations** sur chacune des variables et on vérifie les unités de la liste ci-dessus. Les unités posent souvent problème quand la formulation des équations est incomplète ou incorrecte.

IV.2.5. Simulation



On clique sur le bouton **simulate**  sur la barre d'outils

IV.2.6. Analyse du modèle

Le graphique et ses outils:

- On clique sur le niveau "Q simulé" dans le diagramme

Ceci sélectionne la variable comme Workbench, une autre façon de faire est de choisir Q simulé par le menu **Edit>Find**. On vérifie la barre de titre en haut de la fenêtre Vensim : elle permet de voir que Q simulé est sélectionné.

- On clique sur l'outil **Graph** . Un graphique de Q simulé est généré.

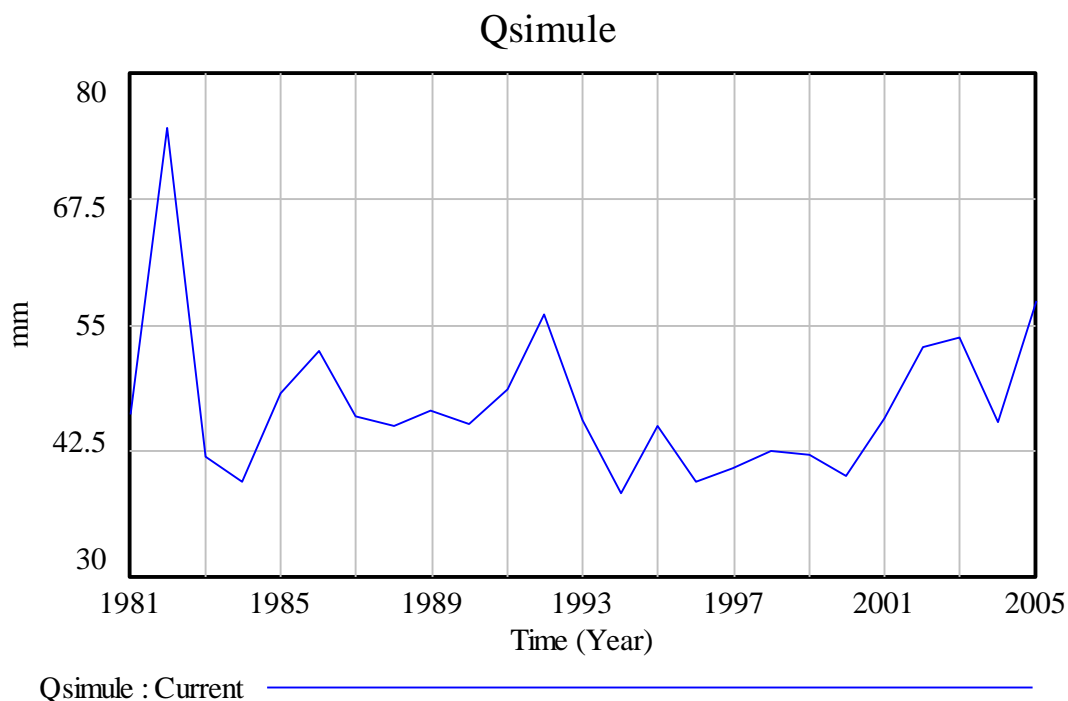
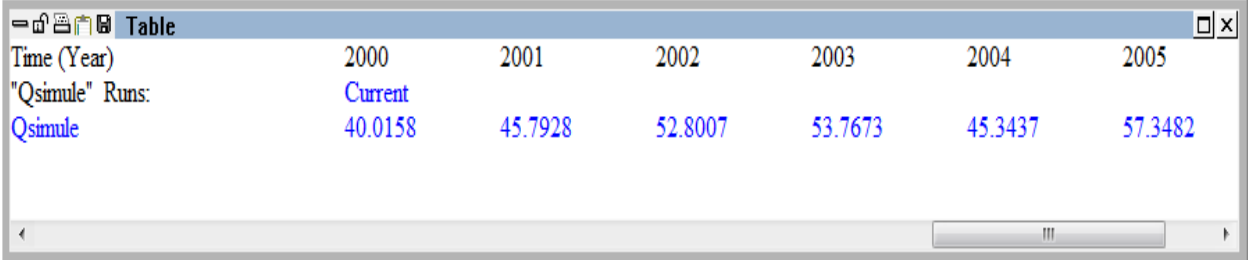



Figure IV.2. Les débits simulés par Vensim de 1981 à 2005

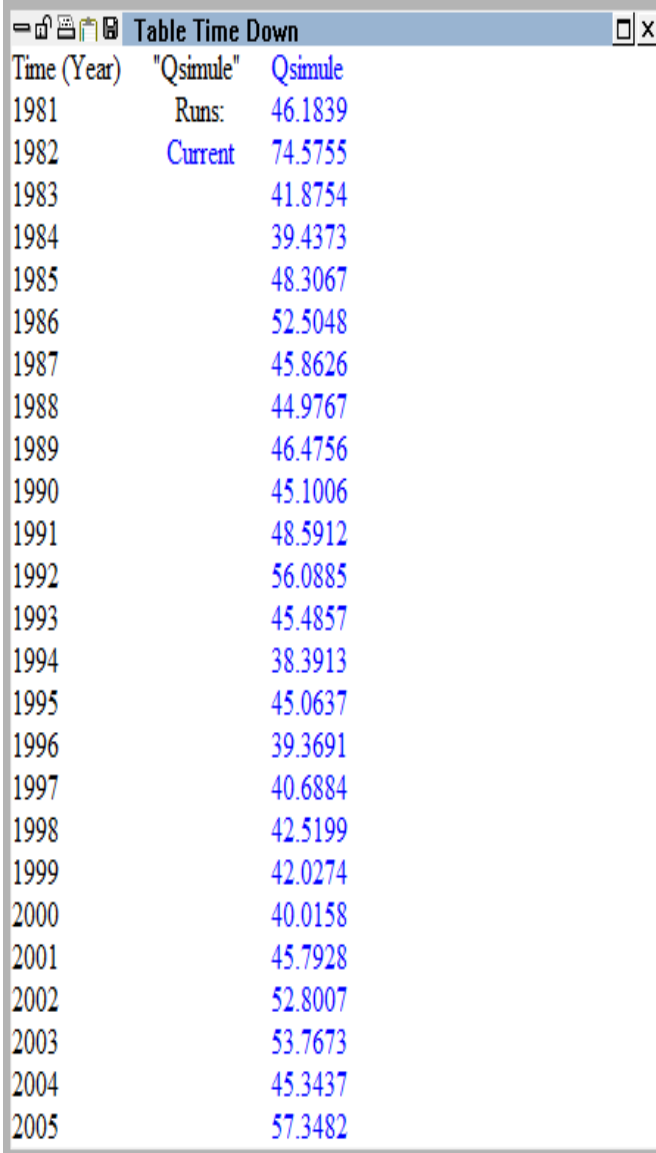
- On clique sur l'outil **Table** .

Puis on fait défiler la fenêtre pour confirmer la fin de la simulation.



Time (Year)	2000	2001	2002	2003	2004	2005
"Qsimule" Runs:	Current					
Qsimule	40.0158	45.7928	52.8007	53.7673	45.3437	57.3482

Une autre façon de faire, est de cliquer sur l'outil **Table Time Down** .



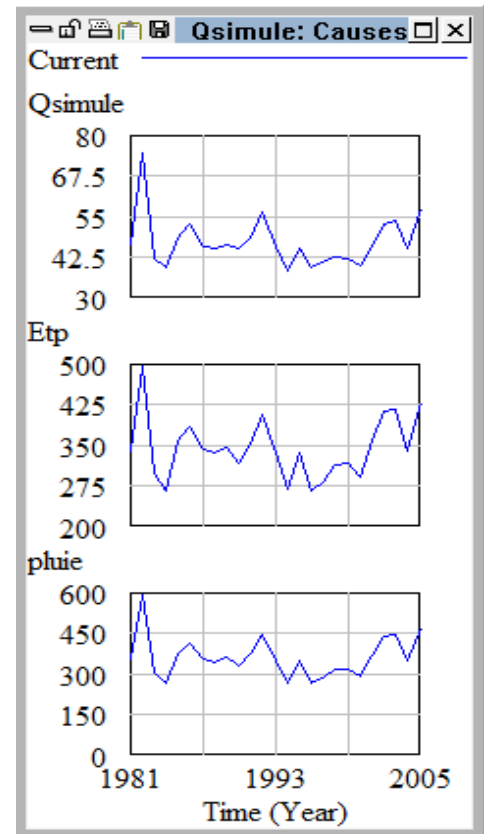
Time (Year)	"Qsimule"	Qsimule
1981	Runs:	46.1839
1982	Current	74.5755
1983		41.8754
1984		39.4373
1985		48.3067
1986		52.5048
1987		45.8626
1988		44.9767
1989		46.4756
1990		45.1006
1991		48.5912
1992		56.0885
1993		45.4857
1994		38.3913
1995		45.0637
1996		39.3691
1997		40.6884
1998		42.5199
1999		42.0274
2000		40.0158
2001		45.7928
2002		52.8007
2003		53.7673
2004		45.3437
2005		57.3482

IV.2.7. Analyse graphique des causes

On clique sur l'outil **Table Causes Strip** .

Une fenêtre graphique est générée montrant

Q simulé et ses causes : Pluie et Etp.



IV.2.8. Comparaison entre le débit observé et le débit simulé

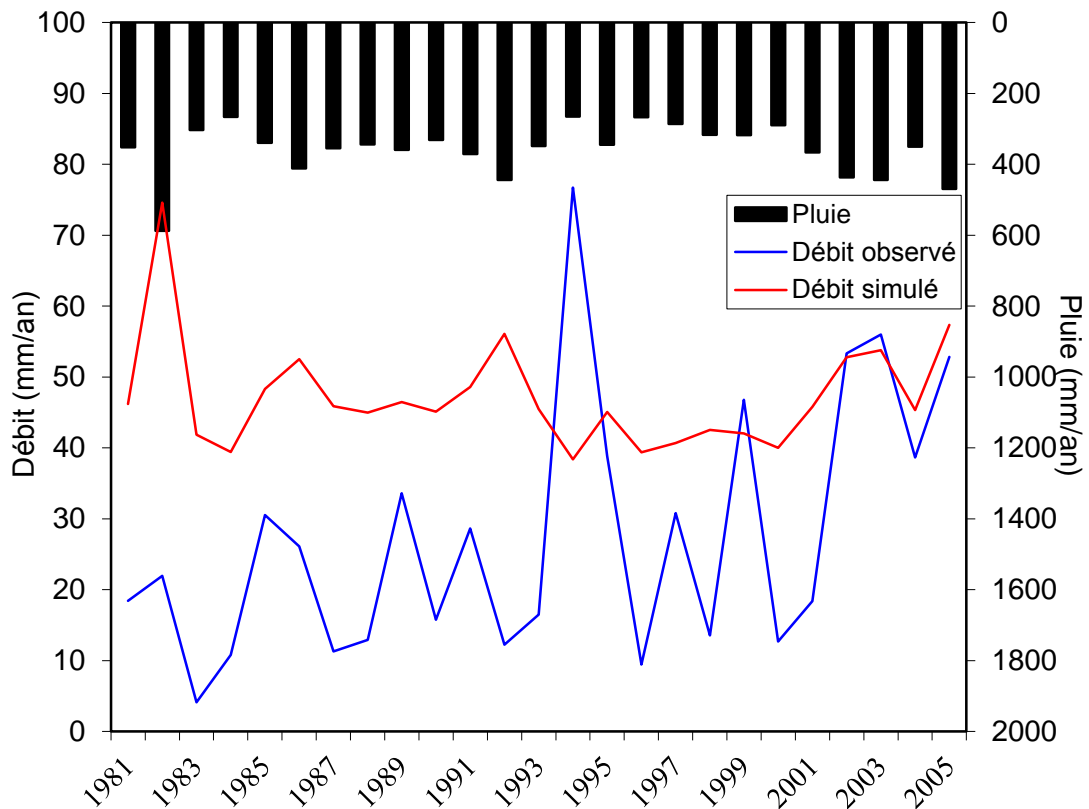
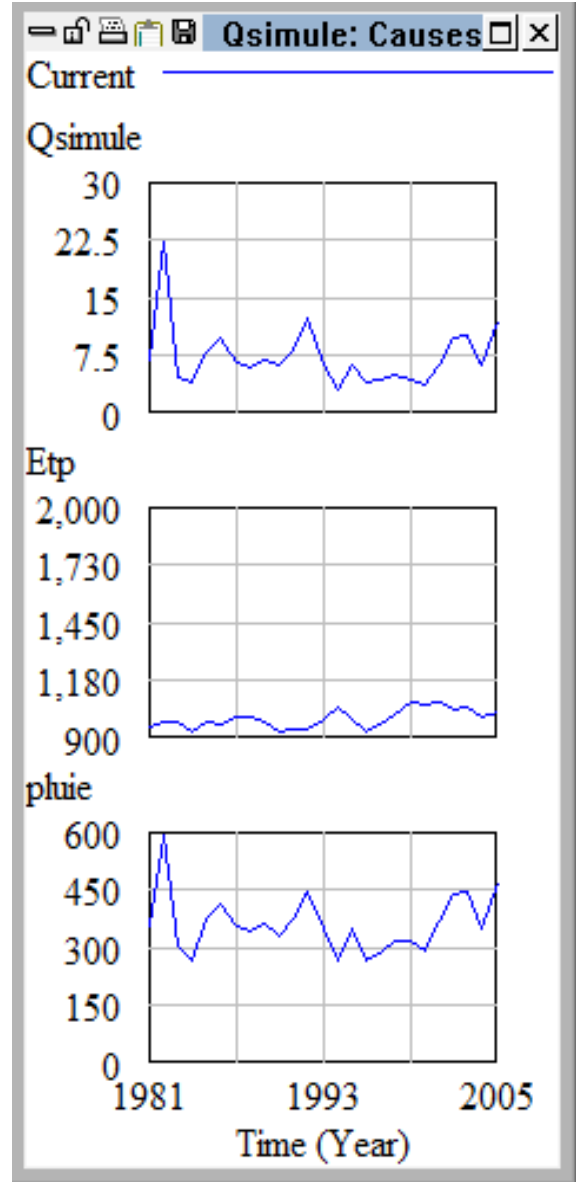


Figure IV.3. Pluies et Hydrogrammes permet de visualiser les chroniques de débits observés et simulés

On remarque que l'utilisation de la formule de turc pour calculer l'ETP donne une mauvaise simulation, donc on a proposé l'utilisation du calcul de l'ETP par la méthode d'Oudin.

IV.2.9. Simulation en utilisant la méthode de Oudin

Time (Year)	"Qsimule"	Qsimule
1981	Runs:	6.9622
1982	Current	22.2883
1983		4.77429
1984		3.93401
1985		7.72049
1986		9.88841
1987		6.47132
1988		6.02711
1989		6.94737
1990		6.35815
1991		8.10497
1992		12.187
1993		6.29242
1994		3.13287
1995		6.2181
1996		4.01493
1997		4.36337
1998		4.94249
1999		4.4346
2000		3.69727
2001		6.13123
2002		9.73515
2003		10.0232
2004		6.27196
2005		11.8918



IV.2.10. Comparaison entre le débit observé et le débit simulé après l'utilisation de la méthode de Oudin

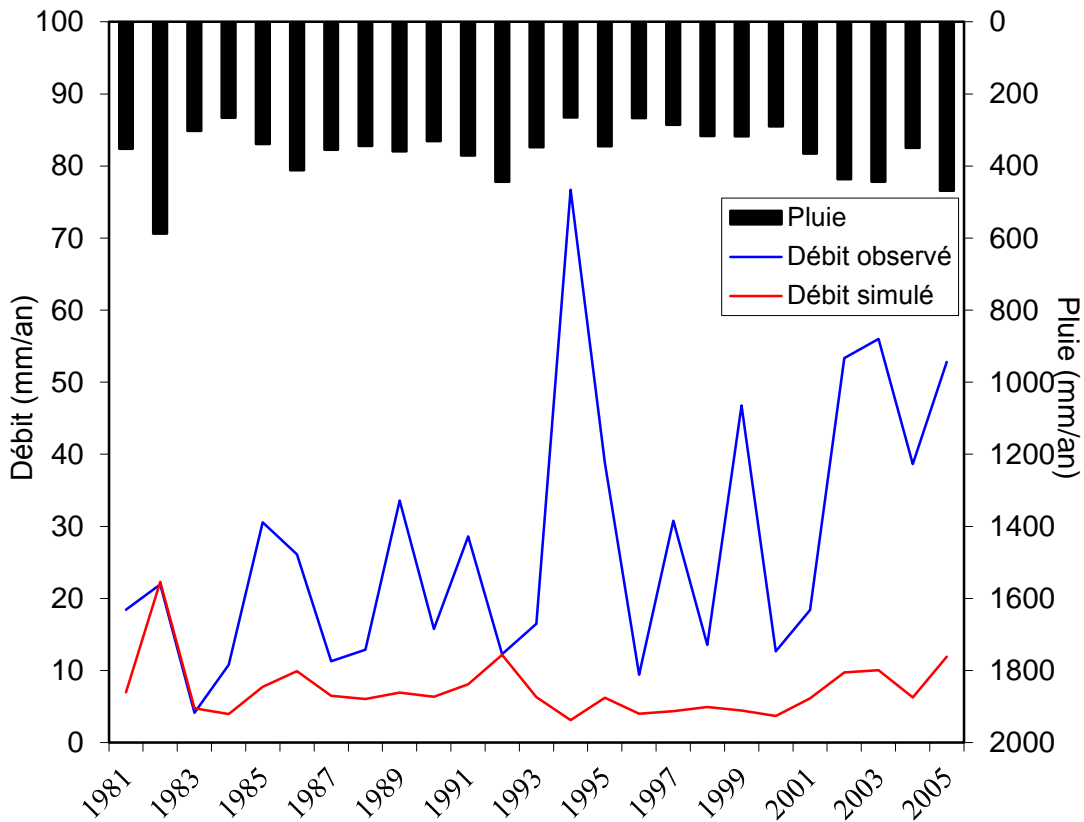


Figure IV.4. Pluies et Hydrogrammes représente de visualiser les chroniques de débits observés et simulés

On remarque que les résultats de simulation sont légèrement meilleurs et sont les mêmes que ceux obtenus par GR1A et la simulation ne peut se faire au-delà de 2 ans.

IV.2.11. Simulation par Vensim en utilisant l'impact du changement climatique

On a vu précédemment que dans le bassin versant, la température augmente de 2.7 °C et la pluie diminue de 12.4 mm. On a pris les données de pluies et des températures de 1981 à 2005, affectées simultanément d'une diminution ou augmentation des quantités dues au changement climatique citées ci-dessus.

La simulation des données par Vensim donne les résultats suivants:

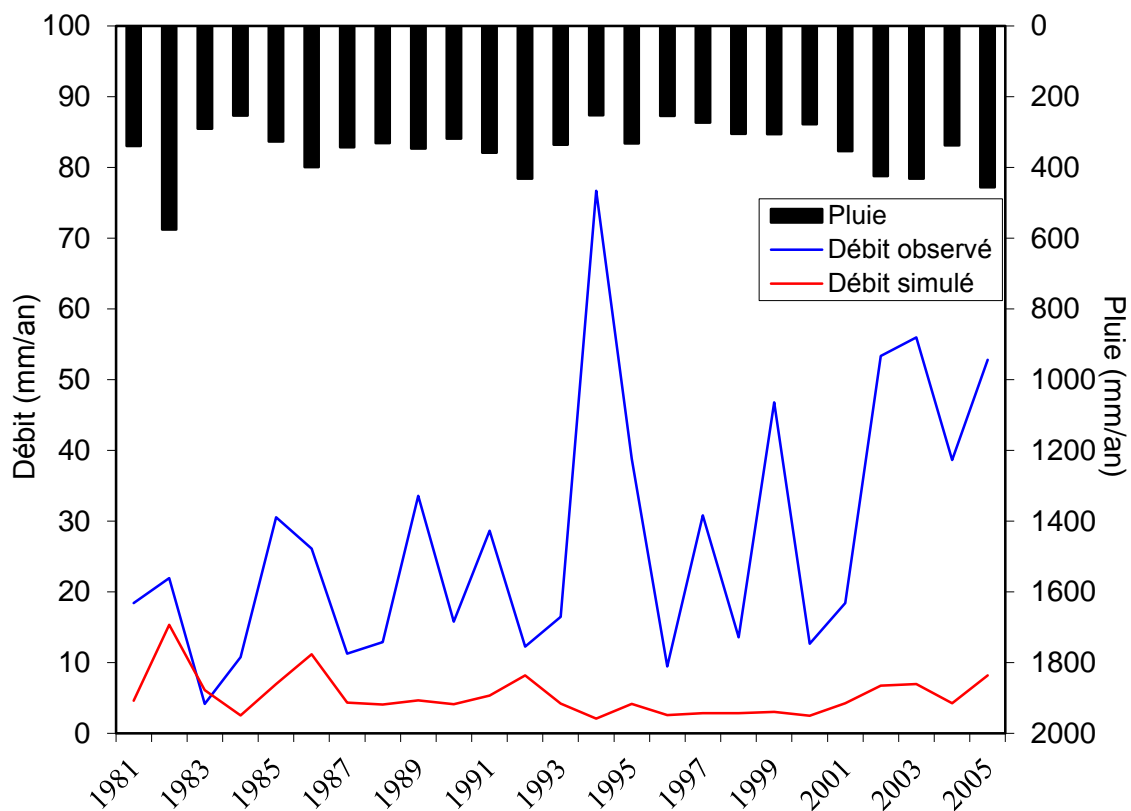


Figure IV.5. Pluies et Hydrogrammes représentant les chroniques de débits observés et simulés

On remarque, d'après le graphe, que les débits simulés seront impactés par le changement climatique tendant vers une décroissance d'où les réserves d'eau superficielle et l'alimentation des barrages seront en diminution.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail de mémoire master, on a traité l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin versant de l'oued K'sob dans le but de simuler les débits annuels selon deux modèles : GR1A et Vensim.

Cette étude donne un aperçu général sur le bassin versant du K'sob, les données de pluies, les températures et les débits annuels recueillies au niveau de la station météorologique de BBA depuis 1982 à 2005. Les études d'impact du changement climatique sur la région de BBA confirment un réchauffement de 2.7 °C par siècle et une diminution des pluies de 12.4 mm/mois par siècle.

On a utilisé les données de pluies, des débits et de l'ETP estimée, du bassin versant K'sob par GR1A qui permet de calculer les débits simulés, le Nash et le bilan. Les résultats obtenus permettent de conclure que le calage de ce modèle se fait uniquement pour une durée de 2 ans, le Nash est de 95.7% pour un bilan de 100% et le paramètre de calage est de 1.97.

Dans l'application des données sur Vensim®, on a dessiné le modèle, on a saisi les équations numériques puis on a fait une simulation.

L'utilisation de la formule de Turc pour calculer l'ETP donne une mauvaise simulation, donc on a proposé l'utilisation de calcul de l'ETP par la méthode d'Oudin. Les résultats de simulation obtenus sont légèrement meilleurs, sont les mêmes que ceux obtenus par GR1A et la simulation ne peut se faire au-delà de 2 ans.

On a appliqué une simulation en utilisant l'impact du changement climatique, dans le bassin versant K'sob, la température augmente de 2.7 °C et la pluie diminue de 12.4 mm. D'après le graphe obtenu, les débits simulés seront impactés par le changement climatique tendant vers une décroissance d'où les réserves d'eaux superficielles et l'alimentation des barrages seront en diminution.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : source www.educapoles.org.
- [2] : Julie Fabre, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse., Septembre 2012.
- [3] : Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2013.
- [4] : M. Nichane et M.A. Khelil / Larhyss Journal, 21 (2015), 15-23. Changements climatiques et ressources en eau en Algérie vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Département d'écologie et Environnement, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.
- [5] : M. Hamidou, cour analyse dimensionnelle, 2^{eme} année master hydraulique urbain, Chapitre I : Modélisation et simulation, 2015.
- [6] : Université Paris Sud XI (Kamel Soudani, kamel.soudani@u-psud.fr-Septembre 2013).
- [7] : J. Goguel, En cyclopédia Universalis.
- [8] : <http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/physique-modele-physique-6047/>.
- [9] : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/07_principes/03a.htm.
- [10] : <http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/matiere-modelisation-11321/>.
- [11] : Sandra Ardoin, mémoire de DEA, prise en compte des spécificités de l'évapotranspiration en zone semi-aride dans la modélisation globale de la relation pluie-débit, soutenu le 11 juillet 2000 à Montpellier.
- [12] : Ivan Caballero, mémoire de DEA, modélisation intégrée d'un système bassin versant aménagé de la cordillère des Andes(vallée du zongo-Bolivie), soutenu le 25 septembre 1998 à Montpellier.
- [13] : Jacques Barrère-Michèle Prieur-Eric Sanchez. INRP.

ملخص

عالجت في هذه الدراسة تأثير تغيير المناخ على النظام الهيدرولوجي لحوض وادي القصب. الهدف هو إجراء محاكاة التدفق السنوي عن طريق نموذج الأمطار والسيول السنوي GR1A وبرنامج Vensim. هذا الأخير أكثر سهولة لإعطاء نتائج مماثلة لتلك التي في GR1A ومحاكاة التدفقات السنوية لا يمكن أن تتم بعد سنتين بغض النظر عن تقدير قيم التبخر بواسطة أسلوب Turc أو Oudin.

الكلمات المفتاحية : محاكاة, GR1A, Vensim, Turc, Oudin, التدفق السنوي, التبخر.

RESUME

On a traité dans ce travail l'étude d'impact du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin versant de l'oued Ksob. Le but est d'effectuer une simulation du débit annuel par l'utilisation du modèle pluie-débit annuel GR1A et du logiciel Vensim. Ce dernier, plus facile à modéliser donne des résultats similaires à celui de GR1A et la simulation des débits annuels ne peut se faire au-delà de 2 ans quel que soit la méthode d'estimation de l'ETP par la méthode Turc ou celle d'Oudin.

Mots clés : simulation, GR1A, Vensim, Turc, Oudin, débit annuel, ETP.

ABSTRACT

Was processed in this work, the impact study of climate change on the hydrology of the Wadi Ksob watershed. The aim is to perform a simulation of the annual flow using annual rainfall-runoff model GR1A and Vensim software. The latter, easier to model gives similar results that GR1A and simulation of annual flows cannot be done beyond 2 years regardless estimate of the ETP by Turc or Oudin method.

Key words : simulation, GR1A, Vensim, Turc, Oudin, annual rate, ETP.