



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة زيان عاشور الجلفة
Université ZIANE Achour de Djelfa
كلية العلوم الطبيعية والحياة
Faculté des sciences de la nature et de la vie
قسم العلوم الفلاحية والبيطرية
Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE
EN SCIENCES AGRONOMIQUES
Spécialité : EAU ET ENVIRONNEMENT

THÈME

**Impact de la sécheresse climatique sur la nappe phréatique
dans le steppe Algérienne (cas de la wilaya de Djelfa)**

Présenté par : Lakhal yousra & Ben houra hanane

Devant le jury composé de :

Président : Dr BOUGOUTAIA Youcef..... - Univ Djelfa

Promoteur : Dr. GUESMI Boubaker - Univ Djelfa

Examineur : Dr. BOULEKNAFET Zohir..... - Univ Djelfa

Année Universitaire : 2021-2022



Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents :

*A celui qui m'a appris que la patience est le secret de succès et qui m'a toujours soutenu moralement et matériellement au cours de mes études ; à qui j'ai éprouvé un profond respect. Mon adorable père **MOHAMED SGHIR BOUALAM***

*A celle qui sacrifia tout ce qu'elle a de cher pour me prodiguer une éducation, un soutien, une assistance et un encouragement pour enfin devenir ce que je suis maintenant La source de la tendresse ma mère **HALIMA***

*A mes sœurs et mes frères **Noureddine , Rabahe , chaimaa et son Fils Abd Al Fatah ,** Pour votre soutien moral et encouragements vous m'avez appris la patience et la concentration sur mon travail. Je vous souhaite un avenir plein d'amour, de bonheur et de succès.*

*Je vous aime beaucoup. A mon binôme **HANAN** qui ont partagé avec moi les moments difficiles et qui ont partagé mes bons souvenirs et leur présence à mes cotés dans tous les cas,*

*A mes amis : **SIHAM , HADJER , MALIKA , AMEL , GHANIA , ANFEL , LOBNA , FATIMA , SARA ,***

A mes collègues de la promotion de 5^{ème} année Eau et l'environnement

Je tiens à remercier également toutes les personnes qui ont contribué de Pré ou de loin à la réalisation de ce travail

YŒÛSRÀ



Dédicace

Tout cela est par la grâce de mon Seigneur Louange à Dieu, et que les prières et la paix soient sur le bien-aimé Mustafa je te remercie : à toi, ma mère, qui a lutté pour notre succès. Qui m'a appris à donner sans rien attendre en retour. Oh, la source de ma force et de mon estime de soi.

Tout cela. grâce a vos prières et à vos soins.

À l'homme le plus grand et le plus cher de l'univers À la chose la plus précieuse que j'ai À mon père, qui a donné sa vie et ses efforts jusqu'à ce que j'atteigne ce moment

"Que Dieu vous bénisse"

A mes proches et à mon idéal de réussite, mes frères : Amar, Dhaouia, Lakhdar, Iman, Fatima, Yassin, Youssra, Mohamed Lakhdar, à la femme de mon cher frère, om al-Khair, aux jeunes poussins, Farah et Maroua

A la source de tendresse qui, grâce à ses prières, a succédé à ma grand-mère Fatima Que Dieu vous bénisse mon cher

A ma famille , ma grand-mère, , mes oncles, mes tantes, mes oncles et tantes, mes cousins

Au cadeau le plus précieux que Dieu m'ait fait, mon compagnon et mon soutien dans la vie

Moussa

A ma persévérante collègue Youssra A mes amis : Faiza, Ghania, Shaima, Hdjer .Kholoud A mes collègues, master 2 eau et environnemnt

J'adresse mes sincères remerciements et ma gratitude à mes professeurs et à ceux qui nous ont emmenés aux horizons de la science et de la connaissance

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin

HANANE



Remerciements

Je tiens avant toute chose à remercier le bon dieu qui m'a aidé durant tout mon parcours de recherche.

*Je tiens également à exprimer ma plus profonde gratitude à mon encadreur, **Dr GUESMI Boubaker** pour ses conseils et son soutien, ainsi qu'à l'ensemble des enseignants qui ont contribué dans ma formation.*

*Nous n'oublions pas non plus de remercier la Fondation
Hydraulique et l'AGIRE*

Mon profond respect et profonds remerciements vont aussi à tous les membres du jury pour leur évaluation de ce modeste travail de recherche.



Résumé

L'Algérie est un pays situé au Nord de l'Afrique. Son climat est essentiellement Les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Ils constituent la question environnementale majeure qui domine notre époque et le défi majeur auquel doivent répondre les organismes de lutte environnementale. L'eau, l'une des matières premières les plus importantes en Algérie. Du fait de son importance, il est indispensable de connaître sa vulnérabilité aux changements climatiques, en Algérie.

En Algérie, la vulnérabilité aux changements climatiques s'exprime à travers plusieurs aspects : explosion démographique, réduction probable des ruissellements, raréfaction des ressources, dégradation des infrastructures hydrauliques, menaces aux zones humides... etc. Face à cette situation, l'Algérie a pris des mesures quantitatives et qualitatives adaptatives dans le cadre d'une gestion durable de cette ressource inestimable pour l'avenir. La nappe phréatique dans le steppe Algérienne et Spécialement à Djelfa risque comme bon nombre de zones en Afrique d'être touché, négativement par les changements climatiques, c'est pourquoi on s'intéresse à la vulnérabilité de ce bassin, plus particulièrement de ses eaux superficielles, un élément fondamental du développement.

Mots-clés : Changements climatiques, eau, vulnérabilité, mesures de gestion, Algérie.

Abstract.

The climate changes for a long time ceased being a scientific curiosity. They constitute the major environmental question which dominates our time and the major challenge to which must answer the environmental organizations of control. Water, one of the most important raw materials in Algeria. Because of its importance, it is essential to know its vulnerability with the climate changes, in Algeria.

In Algeria, the vulnerability with the climate changes is expressed through several aspects: demographic explosion, probable reduction in the water run-offs, scarcity of the resources, the degradation of the hydraulic infrastructures, threats at wetlands... etc. Face this situation, Algeria took quantitative and qualitative measures adaptive within the framework of a durable management of this invaluable resource for the future. The water table in the Algerian steppe and especially in Djelfa risks, like many areas in Africa, being negatively

affected by climate change, which is why we are interested in the vulnerability of this basin, more particularly of its waters. superficial, a fundamental element of development.

Key words. : Climate changes, water, vulnerability, strategy of adaptation, Algeria.

الملخص

توقفت التغيرات المناخية لفترة طويلة عن كونها فضول علمي. حيث أنها تشكل السؤال البيئي الرئيسي الذي يهيمن على عصرنا والتحدي الرئيسي الذي يجب أن تجيب عليه المنظمات البيئية للمراقبة. فالماء من أهم المواد الخام في الجزائر ونظرا لأهميته، فمن الضروري معرفة مدى تأثير الجزائر بالتغيرات المناخية.

و يتم في الجزائر التعبير عن قابلية التأثر بالتغيرات المناخية من خلال عدة جوانب: الانفجار الديموغرافي، الانخفاض المحتمل في جريان المياه ، ندرة الموارد ، تدهور البنى التحتية المائية ، التهديدات على الأراضي الرطبة ... إلخ. ولقد اتخذت الجزائر العديد من التدابير سواء كمية أو نوعية تكيفية في إطار إدارة دائمة لهذا المورد الطبيعي الذي لا يقدر بثمن. إن منسوب المياه الجوفية في السهوب الجزائرية وخاصة في الجلفة، مثل العديد من المناطق في إفريقيا ، يتأثر سلبيًا بالتغير المناخي ، وهذا هو السبب الرئيسي لاهتمامنا خاصة ضعف هذا الحوض وتعتبر مياهه السطحية ، عنصر أساسي من عناصر التنمية.

الكلمات الدالة. : التغيرات المناخية ، المياه ، القابلية للتأثر ، استراتيجية التكيف ، الجزائر.

Listes des figures

Figure 1: Schéma du système climatique, ses composantes et de leurs différentes interactions.....	5
Figure 2: Emission de Gaz à effet de serra	6
Figure 3: impact du climat sur ressources en eau	11
Figure 4: Conséquences du réchauffement climatique sur l'eau potable	12
Figure 5: schéma des nappes libres et captives.....	13
Figure 6: Nappes aquifères de charbon et de grès rechargées en eau météorique (exogène) par les précipitations	14
Figure 7: Les variations relatives des précipitations (%) pour la période 2000-2099 par rapport à la période 1980-1999.....	16
Figure 8: Représentation conceptuelle des interactions clés entre les eaux souterraines et le climat.....	17
Figure 9: Les principaux facteurs régissant le climat sur Terre.....	19
Figure 10: Situation administrative de la wilaya de djelfa	22
Figure 11 : Carte piézométrique de la nappe du Mio-plio-quaternaire du synclinale de.....	26

Liste des tableaux

Tableau 1: Répartition des réserves en eau de la planète	13
Tableau 2: Besoin en eau domestique et équipements	24

Sommaire

<i>Dédicace</i>	
<i>Remerciements</i>	
<i>Résumé</i>	
<i>Listes des figures</i>	
<i>Liste des tableaux</i>	
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
Introduction	3
1. Climat et le changement climatique	4
1.1.Le climat.....	4
1.1.1.Le système climatique	4
1.2. Changement climatique :.....	5
1.2.1 : L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre:.....	6
1.2.2 : Le dioxyde de carbone (CO2) :	6
1.2.3 : Le méthane (CH4) :	6
2.Impact du climat sur ressources en eau	7
2.1.L'eau et le changement climatiques :.....	7
2.2. Impact des changements climatiques sur les ressources en eau en Algérie :.....	7
2.2..1. Le Changement climatique, un facteur aggravant :	7
2.2.2. Impact du changement climatique sur les eaux de surface :.....	8
2.2.3. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines :.....	8
2.2.4.Les changements affectant les eaux de barrages :	9
2.2.5.Les changements affectant les nappes phréatiques.....	11
3. Les eaux souterraines :	12
3.1. Origines des eaux souterraines :.....	14
3.1.1. Eaux météoriques :.....	14
3.1.2. Eaux connées :	15
3.1.3. Eaux juvéniles :.....	15

3.2. Différents types d'eau souterraine :	15
4. Influence du climat sur l'eau souterraine(la nappe)	15
4.1. Influence climatique sur la ressource en eau souterraine.....	18
4.1.1. Influence sur la recharge.....	18
4.1.2. Influence sur la résurgence	18
4.1.3. Influence sur le stock (ou emmagasinement)	19
4.1.4. Influence sur la qualité.....	19
Chapitre II : Matériels et Méthodes.....	20
Introduction :	20
I. Présentation de la ville de Djelfa.....	21
1. Situation Géographique Et Limites Administrative	21
1.1. Situation de la commune de Djelfa	21
2. Aperçu hystorique de la ville de Djelfa	23
2.1. Situation géologique.....	23
2.2. Alimentation de la ville de Djelfa en eau potable	23
3. Analyse de corrélation entre données piézométrique et données climatiques	25
3-1 : Données climatiques	25
3.2 : données piézométriques :	25
3.3. Coefficient de corrélation r de Pearson :	26
3.4 Calcul du coefficient de corrélation de Pearson :	27
Chapitre III : Résultats et Discussion	31
1. Que signifient les chiffres de la corrélation ?.....	31
2. Matrice de corrélation?	32
3. Analyse de corrélation dans R	32
4. Données pour le test de corrélation	32
5. Matrice de corrélation.....	33
6. Faire un corrélogramme avec la fonction corrplot de R.....	33
7. Résultats et discussions	34
7.1. Forage 1142-G7.....	34
7.2. Forage 1224-G7.....	35
7.3. Forage 1962-G8.....	36

7.4. Forage 1992-G8.....	37
7.5. Forage 1778-G8.....	38
7.6. Forage 1783-G8.....	39
7.7. Forage 1787-G8.....	40
7.8. Forage 1802-G8.....	42
Conclusion.....	43
Références bibliographiques	45

Introduction générale

Introduction générale

Depuis les années 90, la notion des changements climatiques met en débat les ressources en eau et les risques qui leurs sont liées en les situant au cœur même du problème. Selon les experts, à l'horizon 2020 l'Algérie connaîtra une réduction des précipitations de l'ordre de 5 à 13% et une augmentation des températures de 0,6 à 1,1°C. A cet horizon non lointain (**Anonyme , 2009**) , l'Algérie, pays aride, subirait des sècheresses et des inondations récurrentes et les besoins en eau doubleront de volume sous la pression de la croissance démographique et l'urbanisation continue. Le pays connaît déjà une accentuation des sècheresses et donc l'aggravation des phénomènes de désertification, salinisation des sols, pollution des eaux superficielles et par conséquent dégradation progressive des ressources en eau(**Anonyme ,2009**). De même les inondations qui continuent à sévir au nord comme au sud, seraient plus importantes en termes de fréquence surtout durant le printemps et l'automne(**Anonyme ,2009**).

Des vérifications et suivis de l'évolution de plusieurs paramètres climatiques relatifs à la température, humidité, vent et évaporation ont permis de valider l'hypothèse d'existence et de persistance de ce phénomène du changement climatique . (**Aliouche , 2016**)

Pour aller plus loin des observations et des données ont été recueilli sur des phénomènes naturels qui commençaient à présenter des risques majeurs pour la société et l'humanité. Si on parle de sécheresse et des inondations, de la fonte accélérée des neiges ceci permet de se mettre d'accord sur l'existence du changement climatique. (**Aliouche , 2016**)

L'Algérie est l'une des régions les plus vulnérables face aux impacts et changement climatique au cours du 21^{ème} siècle. Le nord de l'Algérie a connu une variabilité à la baisse de la pluviométrie annuelle au cours du 20^{ème} siècle. Cette variabilité s'est accentuée à partir des années quatre-vingt et a eu des impacts importants sur la ressource en eau superficielle et souterraine. (**Aliouche , 2016**)

Dans ce contexte, la gestion de l'eau est un enjeu de grande importance. Tous les moyens sont bons pour la mobilisation et l'exploitation de cette dernière.

Depuis les années 80, l'Algérie a engagé un vaste programme de réalisation, de stations d'épuration. Cependant, une grande partie de ces stations fonctionne avec des rendements épuratoires souvent faibles si elles ne sont pas déjà à l'arrêt. Les problèmes d'assainissement demeurent une préoccupation majeure et nécessitent une prise en charge conséquente par des mesures appropriées dans une optique de sauvegarde et de respect de l'environnement (**Kettab et al ., 2008**). Cet état de fait nous oblige à donner de l'importance et améliorer les performances en localisant les défaillances dans le système d'assainissement par la recherche des indicateurs de performance, qui peuvent également être mobilisées pour analyser la viabilité du service d'assainissement. La mise en place de ces indicateurs de performances constitue donc un outil d'aide à la gestion améliorée des stations d'épuration et des systèmes de collecte des eaux (**Karef et al ., 2017**).

Ce travail, composé de trois parties, sera particulièrement axé sur les approches suivantes :

- La première partie s'agit d'une synthèse bibliographique concernant les notions du climat, changement climatique et variabilité climatique. Ainsi les causes du l'évolution du climat, les impacts de ces changement sur les ressources en eau. Enfin, une introduction sur la modélisation du changement climatique et ces impact sur les ressources en eau.
- La deuxième partie consiste à définir les outils et la méthodologie utilisée dans la présente étude. Au premier lieu nous s'intéressons sur la présentation de la zone d'étude et la problématique liée à la disponibilité et la qualité des données. Ensuite, nous définissons les méthodes statiques utilisées pour la détection de rupture aux seins des séries pluviométrique. Enfin, nous allons définir les indices climatiques et son rôle pour suivre l'évolution du climat.
- La dernière partie consiste à faire une application de ces méthodes sur la zone d'étude et interpréter les résultats obtenus.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Introduction :

Depuis l'Antiquité, le climat de la Terre se caractérise par sa diversité selon le temps et l'espace. Ce changement est dû à un temps très long, qui ne peut être compris par l'homme à ce moment-là. Cependant, il semble que le changement climatique s'est accéléré ces derniers temps. des décennies dans ces conditions. la question s'est posée de la véracité de ces changements, de leurs causes, de leur avenir, et de leurs effets directs et divergents sur les modes de vie, la santé et la vie humaine.

Par conséquent les climatologues avertissent du danger d'une augmentation des températures moyennes dans l'atmosphère et les océans en raison des concentrations présentes et futures de gaz à effet de serre accumulés dans l'atmosphère, suite à une activité accrue. depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle. c'est pourquoi la température moyenne à la surface de la Terre atteindra un niveau record d'ici la fin du 21^{ème} siècle. Cette situation aura des effets néfastes sur les écosystèmes et les populations humaines, notamment : l'élévation du niveau des mers et des océans, l'apparition d'événements extrêmes tels que les sécheresses, les inondations, la propagation de maladies infectieuses et épidémiologiques, la baisse du niveau des eaux et la production agricole de base (blé et maïs), etc. Pour cette raison, la communauté internationale s'efforce depuis des décennies, par le biais de conférences et de conventions sur le climat, de redoubler d'efforts pour maintenir la température à un niveau qui évite de porter atteinte au système climatique et d'éviter les éventuels effets néfastes en respectant les engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre et en renforçant l'adaptation aux effets néfastes du changement climatique.

1. Climat et le changement climatique :

1.1.Le climat :

Selon **Baghdadli(2014)** le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base des données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent, comme les régions continentales du globe connaissent un climat qui dépend de leur latitude et de la distance qui les sépare des principaux plans d'eau de la Terre, Nous notons également que les aires climatiques sont très diversifiées et le climat varie du type méditerranéen au type saharien. Au nord, les hivers sont pluvieux et froids, les étés chauds et secs. Le climat, le long de la côte, est adouci par la présence de la mer.

L'Est algérien est une région plus pluvieuse que l'Ouest, avec ses deux mètres de pluie par an et des sommets enneigés d'octobre à juillet. Le pied sud de l'Atlas tellien marque la limite du climat aride : sec et tropical, avec de grands écarts de températures en hiver : la température moyenne est de 36°C le jour et 5°C la nuit. (**Baghdadli , 2014**)

La région steppique de Djelfa était autrefois connue sous le nom du pays de froid et de gel, à cause de son hiver qu'avait été très rigoureux avec de gel fréquent (**Boubakeur et al. 2014**)

Cependant, durant ces dernières décennies on y assiste à un climat sans froid, avec une disparition quasi-totale de gel. Cette réalité, que personne ne peut nier, est en effet, très préoccupante et inquiétante dans un tel écosystème steppique déjà fragile, épuisé et sensible à tout déséquilibre climatique le rendant très vulnérable à une désertification accélérée. (**Boubakeur et al. 2014**)

1.1.1.Le système climatique :

Le système climatique est considéré comme un système complexe composé de cinq éléments majeurs : l'atmosphère, l'hydrosphère (océans, rivières, lacs, eaux souterraines), la cryosphère (neige, glaciers, banquise), la lithosphère (surfaces continentales) et la Biosphère (organismes vivants), ainsi que les interactions entre ces

éléments. Les interactions entre les différentes composantes se font sous forme de transferts de masse (eau, carbone, sédiments) et d'énergie (rayonnement, flux thermique). A travers ces échanges, les différentes composantes du système climatique sont dépendantes les unes des autres. En d'autres termes, la modification des caractéristiques de l'une d'entre elles aura nécessairement un effet sur au moins une des autres composantes. Par exemple, une augmentation de la température de l'atmosphère aura tendance à réduire l'étendue de la cryosphère et donc l'albédo de la surface terrestre. L'énergie retenue à la surface va alors augmenter, conduisant à une amplification de l'augmentation initiale de la température atmosphérique. Cet effet de " rétroaction " de la cryosphère sur l'augmentation de la température atmosphérique est appelé rétroaction positive : le changement initial est amplifié. Au contraire, dans le cas d'une atténuation du changement, on parle de rétroaction négative. Ces rétroactions permettent de maintenir ce que l'on appelle l'équilibre dynamique du système climatique. Cet équilibre dynamique peut être perturbé par différents facteurs externes tels que les variations du rayonnement solaire, le volcanisme ou l'émission de gaz à effet de serre. Ces facteurs sont également appelés forçages externes. (Plazzotta ,2018)

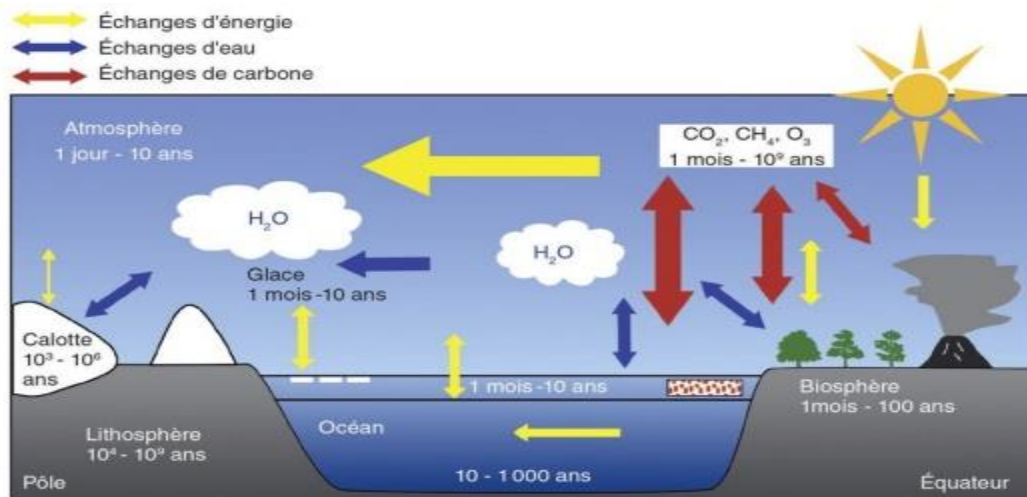


Figure 1: Schéma du système climatique, ses composantes et de leurs différentes interactions

Source :Plazzotta, 2018

1.2.Changement climatique :

Selon **Richard et al.(2013)** le changement climatique se produit à un rythme sans précédent et a un impact sur de nombreuses personnes à travers le monde, le

besoin d'efforts d'adaptation n'a jamais été aussi urgent, l'élévation du niveau des mers, les sécheresses plus longues et plus fréquentes, l'augmentation de l'activité des ouragans et les inondations affectent de plus en plus affectent de plus en plus les moyens de subsistance.

1.2.1 : L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre:

Autres que la vapeur d'eau qui se recycle rapidement et en permanence, le gaz à effet de serre est un élément très important, qui doit être observé avec précision sur plusieurs décennies pour donner lieu à une interprétation fiable.(Melouani , 2021)

1.2.2 : Le dioxyde de carbone (CO₂) :

Sa concentration augmente continûment depuis le milieu du XIXe siècle, en raison principalement des activités industrielles. Les études montrent que l'origine de cette augmentation est due pour plus de la moitié à la combustion des combustibles fossiles, le reste aux déboisements massifs et d'autre part à la production de ciment.(Puget et al . , 2010)

1.2.3 : Le méthane (CH₄) :

Dû notamment aux fermentations diverses (zones humides, ruminants, déchets domestiques, biomasse, ...), aux fuites de gaz naturels et à la fonte du pergélisol, sa concentration s'est accrue de 140 % sur la même période. Elle semble cependant stabilisée depuis 2000.(Puget et al . , 2010)

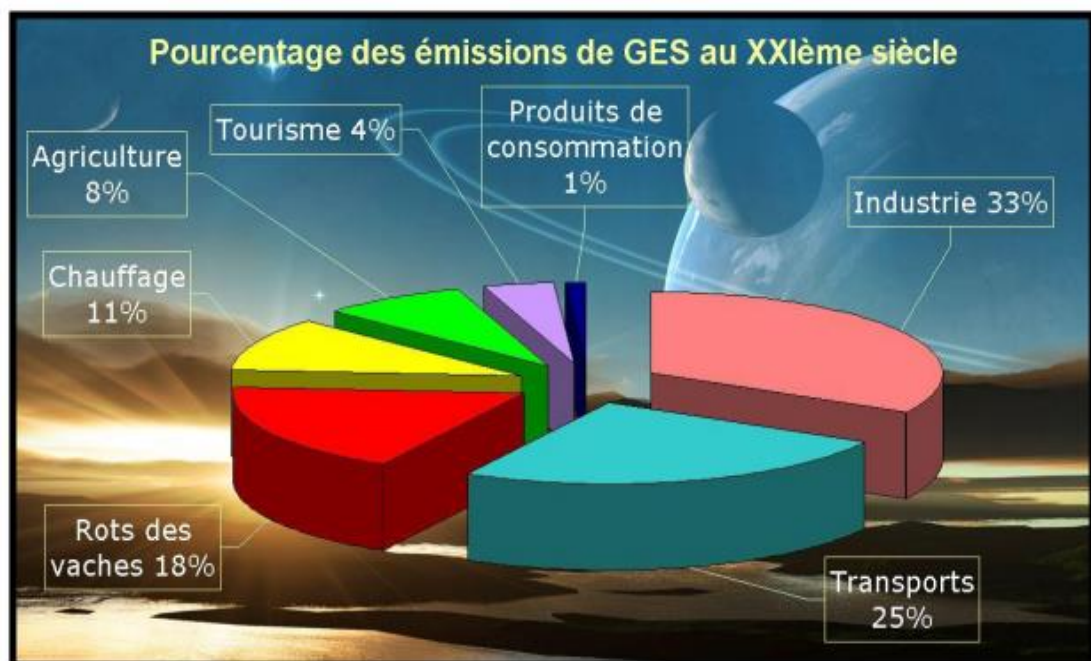


Figure 2: Emission de Gaz à effet de serre . *Source :Vasilii ,2013*

2.Impact du climat sur ressources en eau

Selon **Salah et al (2022)** Depuis les années 1950, le climat terrestre a connu des changements représentés, essentiellement par le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, en étroite relation avec l'activité humaine. Parmi les conséquences de ces changements on note pour de nombreux pays :

- 1) une augmentation de la température,
- 2) une diminution des précipitations et de la masse des calottes glaciaires,
- 3) une élévation du niveau de la mer .
- 4) une raréfaction des ressources en eau.

2.1.L'eau et le changement climatiques :

Le constat dressé par la division Eau de l'ONU est clair : « L'eau est le premier intermédiaire par lequel le changement climatique impacte les écosystèmes terrestres, ainsi que le mode de vie et le bien-être de nos sociétés ». Ces impacts peuvent jouer à la fois sur le cycle annuel de l'eau et sur les extrêmes comme les risques d'inondation et de sécheresse, et ainsi affecter durablement l'hydro-système.(**Aliouche , 2016)**

2.2.Impact des changements climatiques sur les ressources en eau en Algérie :

L'eau est l'élément par lequel de nombreux effets de la crise climatique sont ressentis par la société, notamment à travers les secteurs de l'énergie, de l'agriculture, de la santé et des transports. Ces impacts sont subordonnés à des facteurs de changement non climatiques comme la croissance démographique, les migrations, le développement économique, l'urbanisation et les évolutions environnementales et géomorphiques naturelles ou liées à l'utilisation des sols, qui compromettent la durabilité des ressources en diminuant les réserves d'eau ou en augmentant la demande. (**ONU, 2019**)

2.2.1. Le Changement climatique, un facteur aggravant :

D'après **Nichane et Khelil (2014)**, Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20ème 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°C 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. (Kadi , 1997)

2.2.2. Impact du changement climatique sur les eaux de surface :

Pour la préservation et protection des aquifères, les aquifères sont la plus grande source d'eau douce au monde dont dispose l'être humain et peuvent s'avérer moins vulnérables aux effets directs du changement climatique que l'eau de surface. Ainsi, les aquifères sont une composante clé de la réduction du risque de pénurie d'eau à court terme et du renforcement de la sécurité hydrique reposant sur des mesures d'adaptation climatique comme la gestion de la recharge des aquifères. Pour autant, les capacités de stockage et les taux de recharge varient considérablement, ce qui suppose une adaptation des mesures à l'échelle locale. (ONU, 2019).

Au cours des décennies à venir, le changement climatique accélérera probablement la fréquence des sécheresses météorologiques (baisse des précipitations) et des sécheresses agricoles (baisse de l'humidité des sols) dans de nombreuses régions aujourd'hui sèches. Ces phénomènes pourraient augmenter la fréquence des sécheresses hydrologiques courtes ou «flash» (baisse des eaux de surfaces et des eaux souterraines)(ONU, 2019).

2.2.3. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines :

La plupart des études des effets du changement et de la variabilité climatiques sur les eaux souterraines se sont concentrées sur les processus qui affectent la

recharge, la décharge, les changements dans le stockage et les processus physiques associés qui régissent l'écoulement de l'eau souterraine. Relativement peu d'études des effets du changement et de la variabilité climatiques sur les eaux souterraines ont sur les processus qui affecteront la qualité des eaux souterraines. La qualité des eaux souterraines est une fonction des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques de la ressource, de la ressource. Ainsi, on peut s'attendre à ce que la qualité des eaux souterraines de répondre aux changements climatiques et aux activités humaines activités humaines liées, en raison des influences de la recharge, de la décharge et de l'utilisation des terres sur les systèmes d'eaux souterraines. La qualité de l'eau souterraine est un concept de valeur spécifique car la qualité de l'eau est liée à des normes spéciales d'utilisation de l'eau, normes d'utilisation de l'eau. La protection et l'amélioration de la qualité des eaux souterraines des eaux souterraines a été une préoccupation environnementale prioritaire en raison des implications directes sur les normes sanitaires de l'eau potable de l'eau potable. De plus, si les eaux souterraines deviennent trop salines salée en raison de l'élévation du niveau de la mer, par exemple, la qualité de l'eau peut être un facteur limitant pour d'autres utilisations de l'eau. être un facteur limitant pour d'autres utilisations des eaux souterraines, comme l'agriculture, l'industrie ou les besoins des écosystèmes. Par conséquent, la durabilité des d'approvisionnement en eau dans le cadre du changement et de la variabilité climatiques dépend non seulement de la quantité et de la qualité des sources d'eau souterraine, mais aussi de l'environnement hydrologique physique. souterraines, mais aussi des caractéristiques physiques et hydrogéologiques de l'aquifère, des lois, des règlements, de la réglementation et de l'environnement. l'aquifère, des lois, des réglementations et des facteurs socio-économiques qui contrôlent la demande et l'utilisation des eaux souterraines . (Timothy et al , 2011)

2.2.4. Les changements affectant les eaux de barrages :

Le niveau des barrages et sa capacité de stockage évoluent avec le changement climatique, car celui-ci l'affecte directement, car la nature et la forme du terrain, la précarité du couvert végétal et le non boisement et l'urbanisation à la source des barrages génèrent une forte érosion qui réduit la capacité de stockage des barrages de 2 à 3% chaque année, résultant du dépôt de limon et de sédiments par les précipitations. (Kadi, 1997)

2.2.5. Les changements affectant les nappes phréatiques

La réduction des précipitations due aux sécheresses depuis le début des années 1970 a conduit à une diminution régulière des réserves d'eau souterraine des couches aquifères majeures du nord du pays. Dans de nombreuses plaines du pays, le niveau des nappes a déjà chuté dans des proportions inquiétantes (> 20 m.), La multiplication des sécheresses combinée à la surexploitation des eaux souterraines a conduit à la minéralisation des zones non saturées des aquifères profond, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines de l'ouest. Le taux moyen d'utilisation des eaux souterraines est de 79% dans la région nord, Il peut quelquefois atteindre et dépasser 90% dans certaines aires. Dans les régions côtières, la baisse de la pression hydraustatique a déjà entraîné la pénétration de l'eau de mer dans les réserves d'eau douce des aquifères côtiers dans les régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba. (Meddi ., Hubert. 2002)

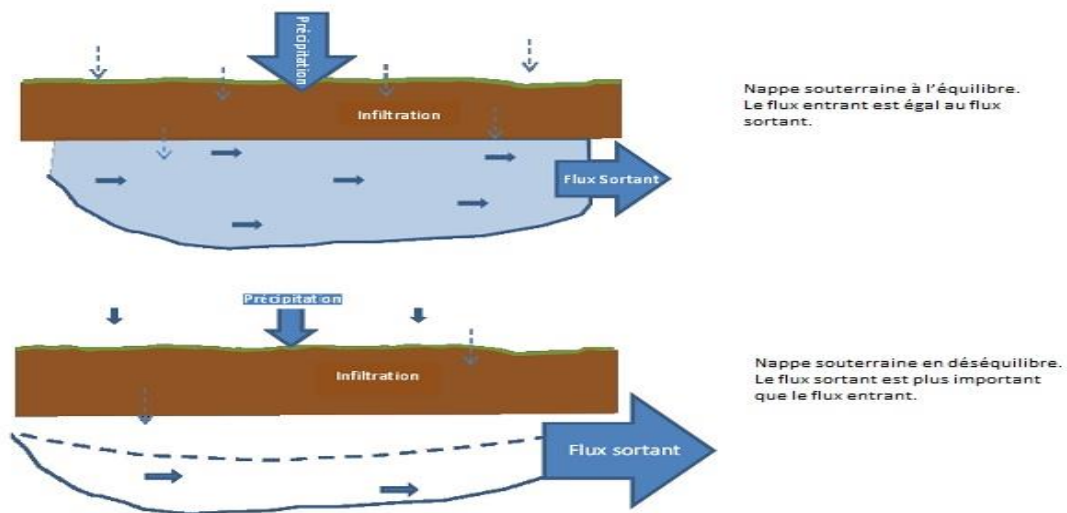


Figure 3: Impact du climat sur ressources en eau. *Source Siges , 2019*

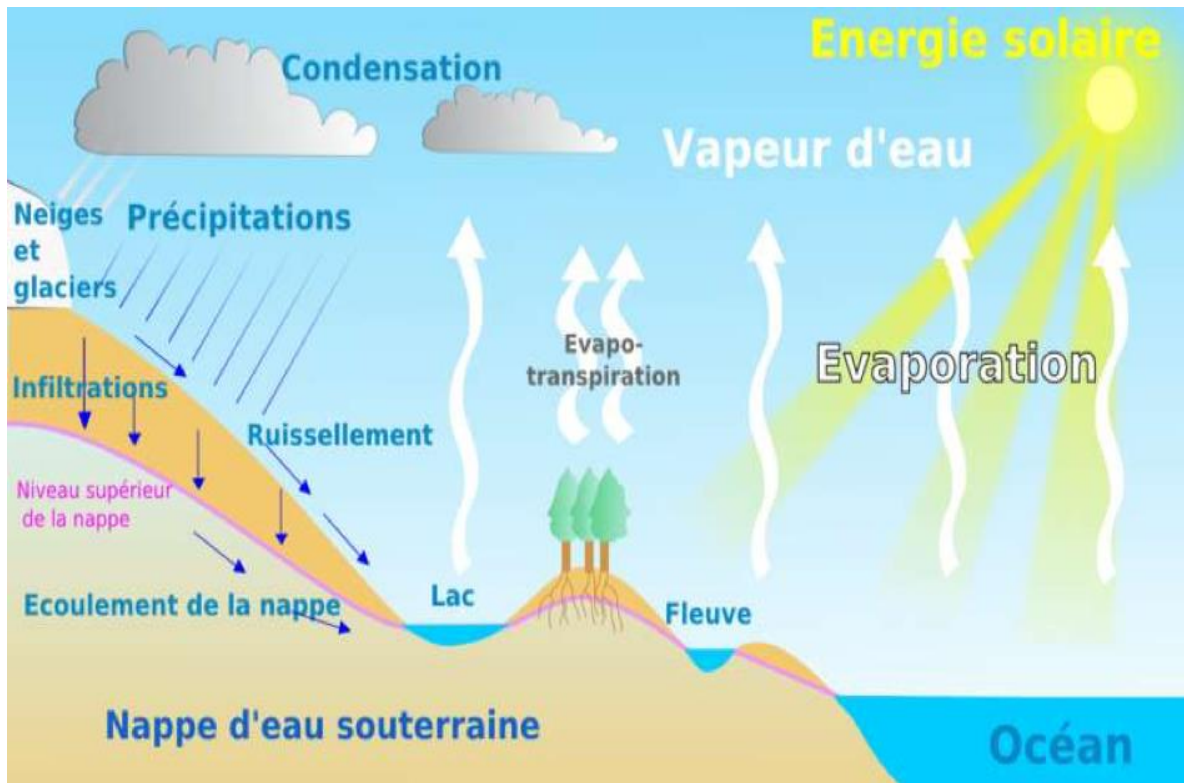


Figure 4: Conséquences du réchauffement climatique sur l'eau potable

Source : Josmose , 2017

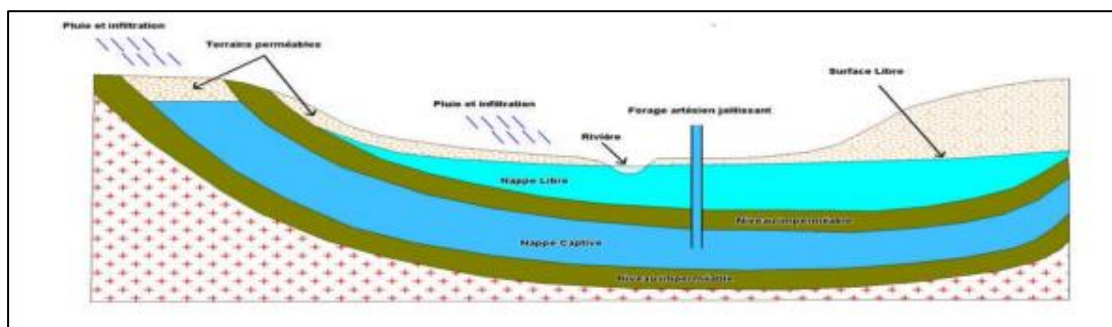
3. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont généralement une très bonne source d'eau potable, en raison des propriétés purificatrices des sols ; elles sont également utilisées pour l'irrigation et la pulvérisation, et, lorsque les eaux de surface sont rares, à des fins industrielles. Dans de nombreuses zones arides et semi-arides, il constitue la principale source d'eau. Un aquifère constitue un réservoir naturel d'eau généralement de bonne qualité. Mais bien qu'elles soient plus protégées que les eaux de surface, les eaux souterraines semblent être sujettes à la pollution, (Jean,1975)

Tableau 1: Répartition des réserves en eau de la planète

	Stock (km ³)	% du total	1 % du totale eau douce
Océans	1 350 000 000	97,41	-
Glaciers	27 500 000	1,984	76,632
Eaux souterraines	8 200 000	0,592	22,8503
Mers intérieures	105 000	0,00758	-
Lacs d'eau douce	100 000	0,00722	0,2787
Sols	70 000	0,00505	0,195
Air	13 000	0,00094	0,0362
Rivières	1 700	0,00012	0,0047
Biosphère	1 100	0,00008	0,0031

Source : Ammouche ,2013

**Figure 5:** schéma des nappes libres et captives . Source Ammouche ,2013

3.1. Origines des eaux souterraines :

3.1.1. Eaux météoriques :

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire proviennent des précipitations (pluies, neige) et de leur infiltration dans le sous-sol. Dans les aquifères de grande taille, l'eau peut provenir de périodes où le climat était différent et peut donc servir d'indicateur de paléoclimats. (Kada et Arab .,2019)

Les eaux météoriques se trouvent près de la surface de la terre et sont dues à l'infiltration d'eau de pluie. Leur salinité, naturellement, est négligeable, et elles ont tendance à être oxydantes. Les eaux météoriques sont souvent acides en raison de la présence d'acides humiques, carboniques et nitreux dissous (provenant de l'atmosphère), bien qu'elles puissent rapidement se neutraliser dans le sous-sol, notamment lorsqu'elles traversent des roches carbonatées.(Richard et Stephen .,2015)

Les eaux météoriques sont diluées et ne contiennent que des quantités mineures d'ions importants pour le système carbonaté tels que Ca^{+2} , Mg^{+2} , Sr^{+2} , Mn^{+2} et $^{+3}$, et Fe^{+2} et $^{+3}$.(Clyde et William ., 2013)

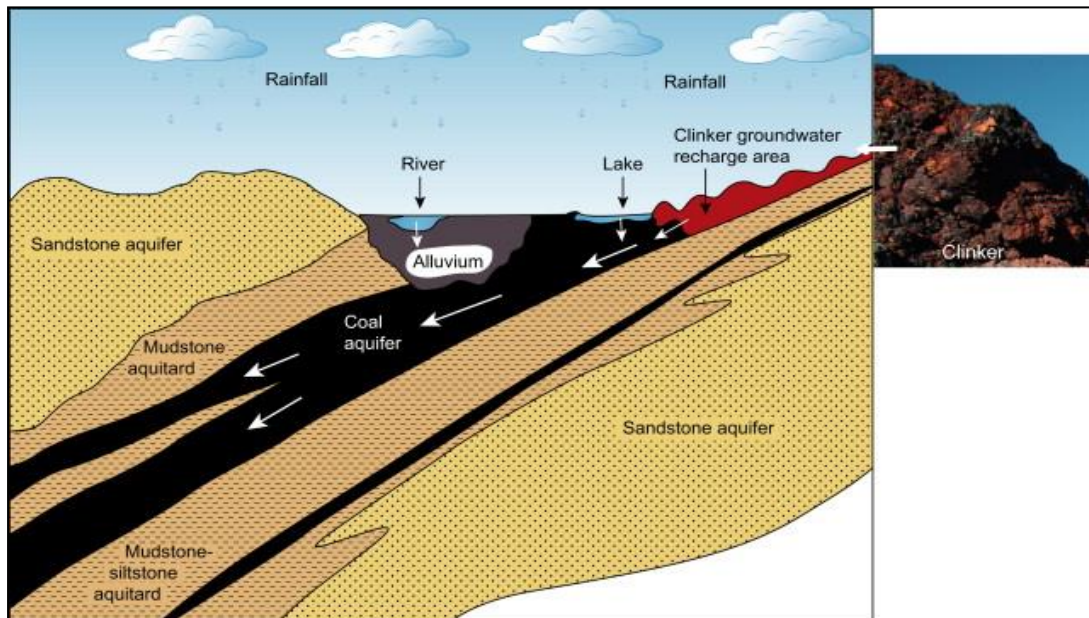


Figure 6: Nappes aquifères de charbon et de grès rechargées en eau météorique (exogène) par les précipitations

Source Romeo ,2014

3.1.2. Eaux connées :

Les eaux que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) sont dérivées des réservoirs d'eaux météoriques qui ont réagi avec les roches environnantes. Souvent ces eaux sont relativement salées. Les eaux connées peuvent contribuer à l'hydrologie de formations géologiques, ou bien rester piégées dans des roches dont la perméabilité est très faible et dont toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent cette eau est présente depuis la formation de la roche. (Kada et Arab .,2019)

3.1.3. Eaux juvéniles :

Ces eaux sont libérées directement par des processus magmatiques en profondeur. Elles sont difficilement distinguables des eaux situées en profondeur. Les processus magmatiques peuvent relâcher en plus de l'eau, des composés gazeux (CO₂ par exemple) (Kada et Arab .,2019)

3.2. Différents types d'eau souterraine :

Sous l'aspect hydrogéologique, une roche contient de l'eau sous différentes formes(François ,2002) :

- Eau de constitution entrant dans la structure cristalline des minéraux (le gypse par exemple a pour formule CaSO₄.2H₂O) ;
- Eau adsorbée à la surface des minéraux par des interactions électrostatiques ;
- Eau non-libre située dans les pores fermés et inclusions fluides ;
- Eau libre circulant dans les pores et les fissures.

4.Influence du climat sur l'eau souterraine(la nappe)

L'eau souterraine sera moins directement et plus lentement touchée par le changement climatique que les eaux de surface. C'est parce que les rivières se reconstituent sur une échelle de temps plus courte, et la sécheresse et les inondations se retrouvent rapidement dans les niveaux d'eau de la rivière. L'eau souterraine, par contre, sera affectée plus lentement, Les principaux domaines où le changement climatique affecte l'eau souterraine est par la recharge, la décharge et le stockage. En

volume l'utilisation des eaux souterraines par l'irrigation est beaucoup plus importante; les impacts dans le futur de la variabilité climatique, ainsi que du changement affectant l'eau souterraine peuvent être amplifiés par des effets indirects sur la demande en eau de l'irrigation, couvrant plus de 2 milliards de personnes. Bien que l'eau souterraine soit généralement considérée comme une ressource «résistante à la sécheresse», la plupart des aquifères peu profonds qui alimentent les populations rurales sont vulnérables aux sécheresses annuelles ou plus longues. Ce sont les aquifères profonds et captifs qui peuvent présenter des tendances de baisse, après des sécheresses prolongées. (Calow ,2009)

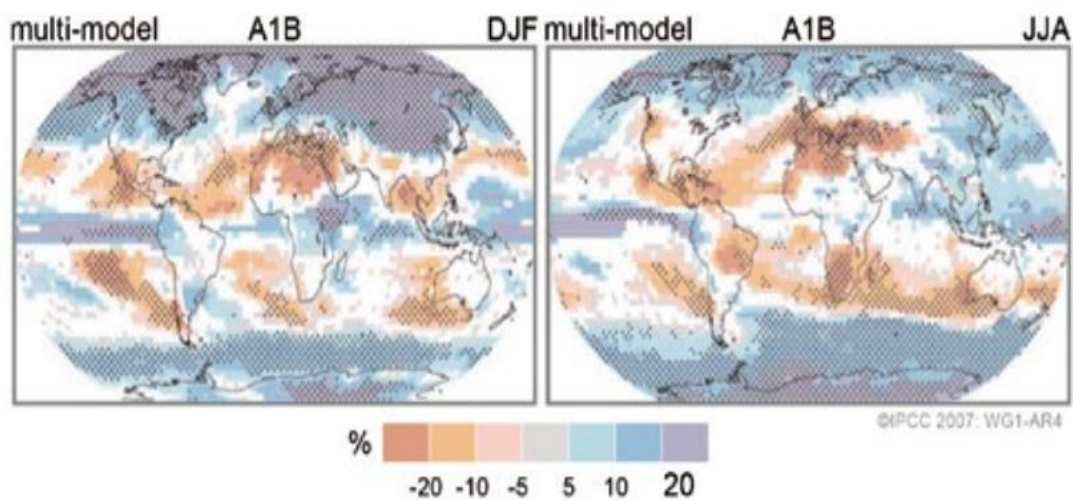


Figure 7: Les variations relatives des précipitations (%) pour la période 2000-2099 par rapport à la période 1980-1999.

Les valeurs sont des moyennes multimodales basées sur le scénario A1B du SRES pour décembre-février (à gauche) et juin-août (à droite). Les zones blanches sont celles où moins de 66% des modèles concordent sur le signe du changement et les zones en pointillés sont celles où plus de 90% des modèles concordent sur le signe du changement. (Calow ,2009)

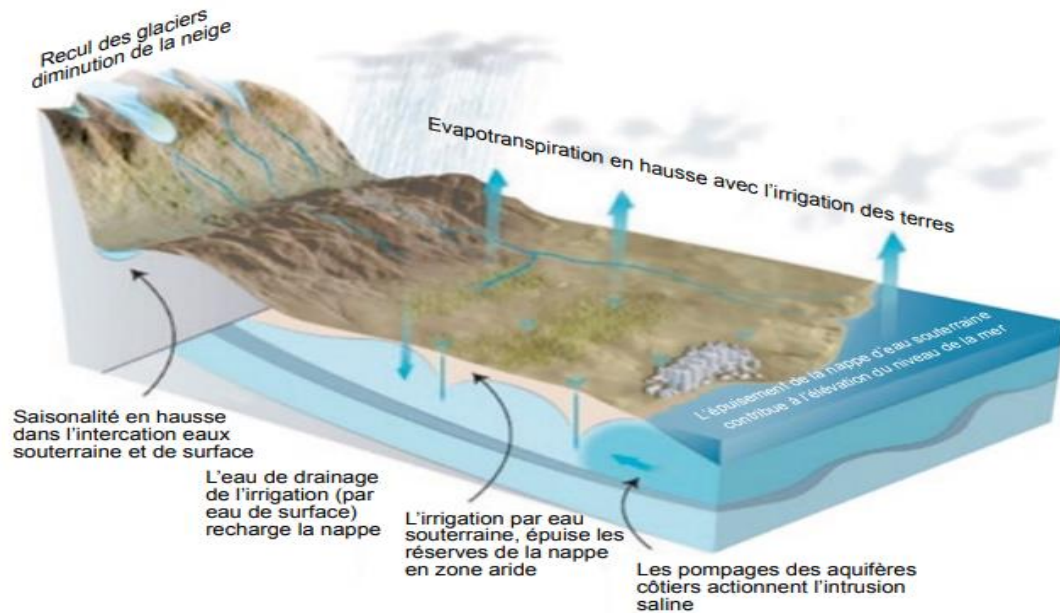


Figure 8: Représentation conceptuelle des interactions clés entre les eaux souterraines et le climat.

Source : Calow ,2009

La recharge des eaux souterraines par les précipitations, la croissance de l'irrigation pour répondre à la sécurité alimentaire et le pompage des eaux souterraines sont liés entre eux à travers l'impact résultant du changement climatique.(Calow ,2009)

Les modifications climatiques interviennent à toutes les échelles de temps et ne sont pas un phénomène nouveau puisque le climat a changé de nombreuses fois en réponse au forçage des divers facteurs. Des liens entre le climat et les eaux souterraines existent donc à toutes les échelles de temps. Allant de réponses à court terme comme les variations de pression atmosphérique et les marées jusqu'à des réponses à long terme comme les variations climatiques à l'échelle de milliers d'années qui ont eu un effet sur la recharge passée et qui ont potentiellement un impact sur le comportement du système actuel. De plus, en comparaison avec les systèmes d'eau de surface, les systèmes souterrains tendent à répondre plus lentement aux variations des conditions climatiques. Ces perturbations induisent des changements hydrologiques qui peuvent potentiellement se répercuter sur la ressource en eau souterraine, en relation avec certains mécanismes propres à cette ressource

(recharge, décharge, stock) et/ou ses caractéristiques (quantité, qualité). (Antoine , 2015)

4.1.Influence climatique sur la ressource en eau souterraine

4.1.1.Influence sur la recharge

La recharge des eaux souterraines peut être définie comme l'eau qui atteint un aquifère que ce soit verticalement ou latéralement. Naturellement, la recharge des eaux souterraines peut localement avoir lieu à partir des compartiments d'eau de surface et/ou par l'alimentation diffuse des précipitations via la zone non-saturée (Döll and Fiedler, 2008) ainsi que par drainance d'aquifères. La plupart des systèmes hydrogéologiques sont alimentés par les deux types de recharge, mais la proportion de recharge diffuse diminue avec l'aridité de la région. Les facteurs influençant la recharge des aquifères peuvent être contrôlés par des forçages externes comme la quantité de précipitation, la température, la vitesse du vent, l'évapotranspiration, l'utilisation du sol et la végétation ou bien contrôlés par les propriétés physiques particulières du milieu comme les propriétés du sol, la géomorphologie, la topographie et la géologie. Néanmoins, les précipitations (efficaces) restent le paramètre climatique moteur de la recharge des systèmes souterrains. La sensibilité de la recharge aux variations climatiques est liée aux changements de la quantité de précipitation effective (précipitations atteignant la partie souterraine) elle-même fortement dépendante de l'évapotranspiration (paramètre lui-même fortement dépendant de la température et donc des concentrations en CO₂).. Bien que les effets des variations climatiques sur la recharge soient difficiles à apprécier, certains indices conservés dans l'eau souterraine (signatures isotopiques des éléments constitutifs de l'eau et des concentrations en gaz nobles) permettent de contraindre les conditions climatiques au cours de la recharge et la durée depuis laquelle cette recharge s'est effectuée. soulignant ainsi que les eaux souterraines sont des archives paléoclimatiques. (Antoine , 2015)

4.1.2.Influence sur la résurgence

La décharge, autre élément clé, est caractérisée par la circulation d'eau au sein d'un aquifère sortante de celui-ci. Les zones naturelles caractéristiques de décharge d'eau souterraine sont les réseaux hydrographiques, les marais, les zones humides, les lacs et les océans. L'intime relation existant entre ces compartiments d'eau de surface

et la partie souterraine implique que si un de ces compartiments est impacté par le climat, les autres le seront aussi. Néanmoins, l'impact climatique sur la décharge est moins bien connu du fait du manque de données et de la difficulté à quantifier ces processus. En effet, moins d'intérêt a été porté à l'étude des écosystèmes dépendants des eaux souterraines (végétation...) et la décharge des eaux souterraines vers les rivières, les zones humides et les océans. Les interactions des eaux souterraines avec les compartiments de surface sont aussi dépendantes des niveaux relatifs entre eux, l'impact du climat se fait donc ressentir indirectement par l'altération de la recharge et/ou des mécanismes de décharge (comme l'évapotranspiration). (**Antoine , 2015**)

4.1.3. Influence sur le stock (ou emmagasinement)

Du fait de l'affectation des entrées (recharge) et des sorties (décharge) du système hydrologique par les variations climatiques, le stock d'eau au sein du système est lui aussi modifié. Les variations de quantité d'eau (variation de l'emmagasinement) correspondant à la différence entre la recharge et la décharge sont dépendantes des propriétés du système souterrain et de l'échelle de temps suivant les processus considérés (pouvant aller de la journée aux milliers d'années). (**Antoine , 2015**)

4.1.4. Influence sur la qualité

Enfin, le climat n'affecte pas seulement la recharge, le stock et la décharge des systèmes souterrains, mais peut aussi influencer la qualité de l'eau souterraine (**Dragoni and Sukhija, 2008**). En effet, la qualité des eaux souterraines dépendante des propriétés physiques, chimiques et biologiques des aquifères est notamment contrôlée par les fluctuations climatiques. La perturbation de la recharge et de la température de l'eau modifie la chimie de l'eau, les communautés bactériennes, le transport de soluté et les temps de résidence. (**Antoine , 2015**)

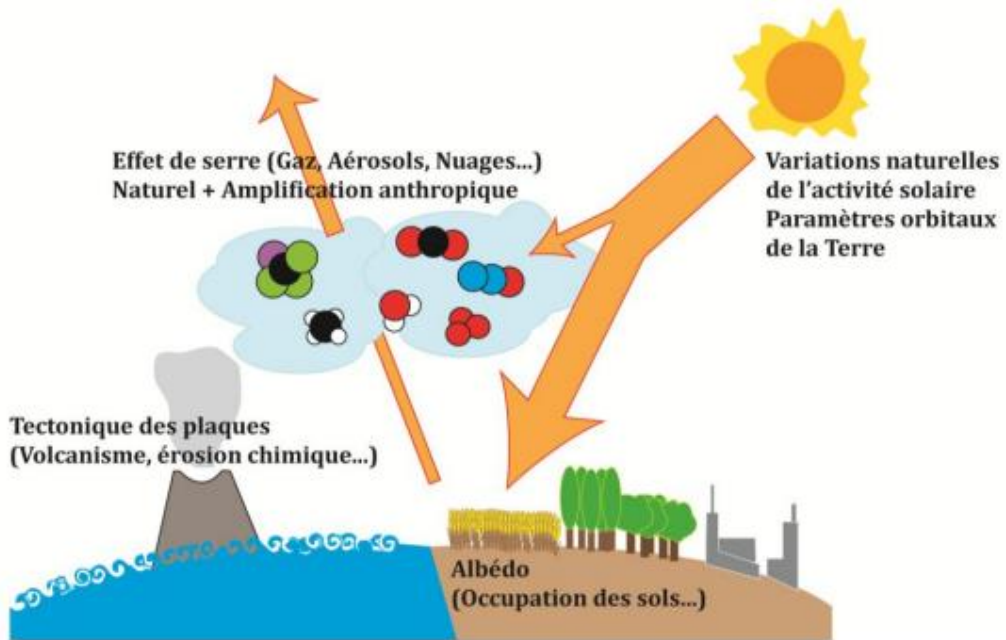


Figure 9: Les principaux facteurs régissant le climat sur Terre .

Source : Antoine , 2015

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Chapitre II : Matériels et Méthodes**Introduction :**

Une description détaillée de la zone d'étude ainsi que le matériel et les méthodes utilisées est indispensable. En effet, la zone de Djelfa représente typiquement la steppe algérienne. Cette steppe est une partie très vulnérable de territoire de l'Algérie et en outre elle forme un rempart protecteur des terres fertiles au nord. Cependant elle est progressivement menacée par la désertification. En effet les changements climatiques dont la sécheresse est un facteur primordial de sa dégradation en influençant ses potentialités en particulier ses réserves en eau.

En outre, l'explication de la méthodologie ainsi que les méthodes utilisées permet au lecteur de bien comprendre et débattre le travail pour en fin en être convaincu et peut en faire une suite de recherche. Ou aussi peut l'utiliser comme référence pour les projets de développement durable de cette région sans laquelle le nord-africain aurait pu être envahi par le sable.

I. Présentation de la ville de Djelfa

1. Situation Géographique Et Limites Administrative :

1.1. Situation de la commune de Djelfa :

a) Situation géographique :

La commune de Djelfa est située entre 2.67°-3.14° longitudes Est Greenwich et 34.20°-34.63° latitudes Nord Equateur. La ville de Djelfa qui est le chef-lieu de la wilaya est situé à 300 KM au Sud de la capitale. (Voir la carte N° 01). (Aliouat , 2018)

b) Situation Administrative :

La commune de Djelfa est limitée administrativement par les communes suivantes :

- Au Nord : la commune de Ain Maàbad
- Au Nord Est : la commune de Dar chioukh
- A l'Est : la commune de Moudjbara
- Au Sud–Est : la commune de Zakar
- Au sud : la commune d'Ain El Ibel
- A l'Ouest : la commune de Zaafrane

Elle est considérée comme un carrefour très important Nord-Sud et Est-Ouest, reliée par un important réseau routier assurant les trafics inter Wilaya d'importance nationale et régionale : (Aliouat , 2018)

- ❖ La route nationale 1 (R.N.1) : reliant Alger au Sud du pays en passant par Djelfa.
- ❖ La R.N.46 : reliant Djelfa à Boussâada, puis Biskra au Sud –Est et Sétif au Nord-Est.
- ❖ C.W.189 : reliant Djelfa à Moudjbara au Sud-Est ;
- ❖ C.W.164 : reliant Djelfa à Charef à l'Ouest.

Elle est située dans une position centrale par rapport à l'ensemble de la wilaya et du pays, elle couvre une superficie de 542.17 Km² et totalise une population de plus de 360 000 habitants. (Aliouat , 2018)

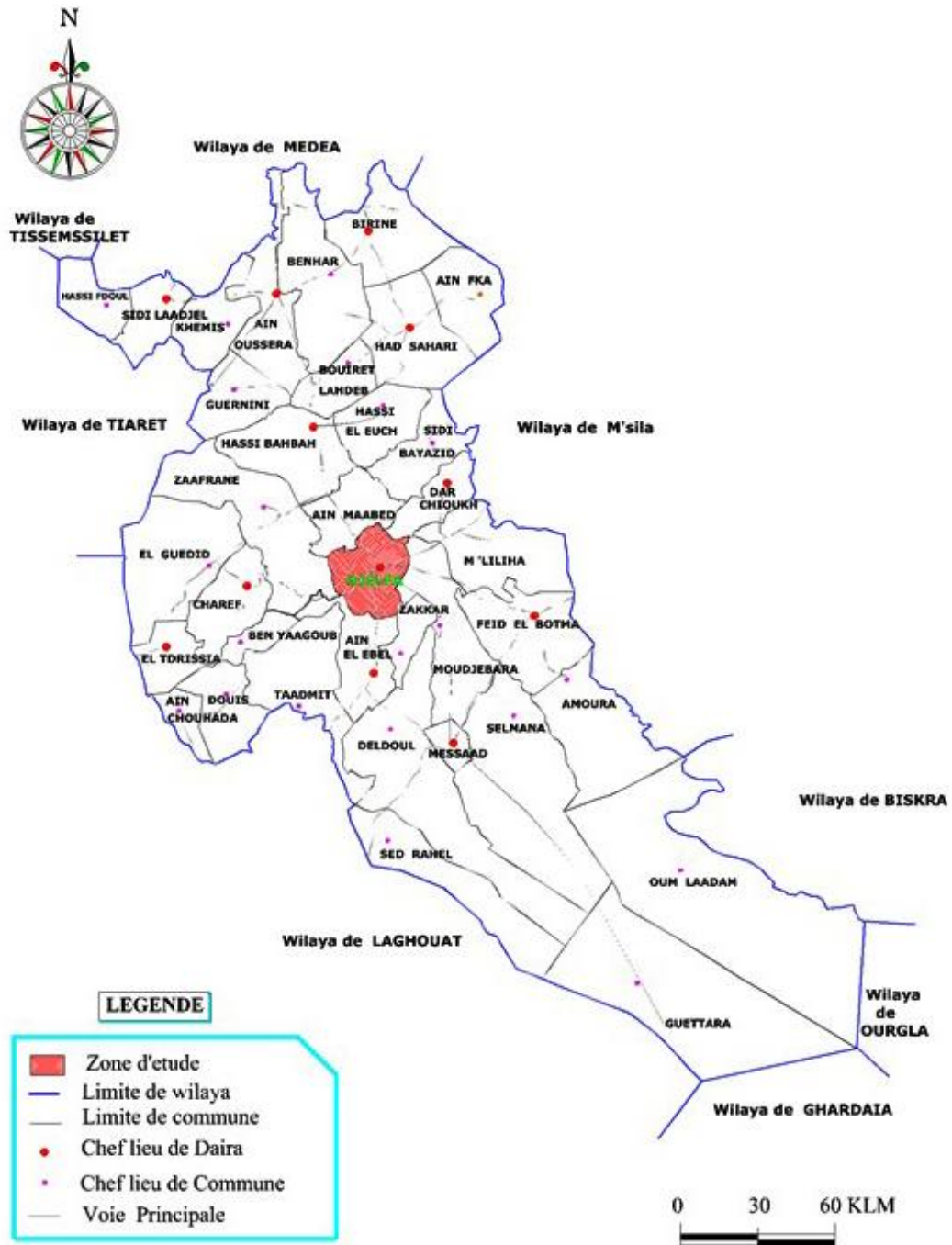


Figure 10: Situation administrative de la wilaya de djelfa

Source : Aliouat , 2018

2. Aperçu historique de la ville de Djelfa :

« On peut dire que la naissance des villes correspond à trois motifs possibles : l'économique, le politique, la défense (le troisième pouvant être considéré comme un sous- aspect du second). Ainsi, chaque cité se trouve marquée dès son origine par le choix initial ». (**Garnier ,1997**)

C'est le 13 février 1861 que la ville de Djelfa a vu le jour (administrativement) après que Napoléon III décrète la création d'un centre de population civile de 55 feux au lieu-dit « DJELFA» en lui affectant un territoire de 1775 hectares 92 ares et 15 centiares, ce qui en fin n'était que pour régulariser un état de fait qui existait depuis plus de 5 ans déjà.

Les années qui suivirent avaient été marquées par une certaine immigration locale de la population, on comptait approximativement 700 habitants dont 300 européens, et à fin d'assouvir leurs besoin on note aussi la création des équipements comme par exemple la construction d'une école française, d'un abattoir, d'un marché de bétail, de bois et de sel, ce qui par la suite, et au cours des années, impliquait la construction d'une voie ferrée et d'une gare routière au Nord de la ville (1912).

A la fin des années 50 et début 60, il y a eu la démolition des remparts et l'extension de la ville dans tous les sens, avec l'apparition des plusieurs autres quartiers (Bordj, Zahaf, Cent maisons, les logements HLM de Guennani, Benjermin, Porte de Charef, etc...).(**Garnier ,1997**)

Au cours du découpage administrative 02/07/1974, Djelfa a été promue en chef-lieu de wilaya bénéficiant ainsi de l'autonomie financière et administrative ce qui a fait de cette dernière, une grande ville s'étalant sur une superficie considérable et en grand essor.

2.1. Situation géologique

En se basant sur les observations faites sur les cartes géologiques de la région et sur le terrain, les environs de la station d'épuration sont constitués en grandes parties par des marnes en bancs de (0.2-0.5) m avec intercalation des argiles et des argiles feuilletées limoneuses. (Aliouat , 2018)

2.2. Alimentation de la ville de Djelfa en eau potable

La ville de Djelfa est alimentée par un champ captant de sorte que :

- 75% de la population sont alimentés à partir du champ captant Oued S’dar (9forages).
- 22 % à partir du champ captant nord (4forages).
- 3% à partir du champ ouest (7forages).

Le linéaire d’adduction qui véhicule l’eau potable de 98 km de longueur assure un débit de 395 l/s, qui alimente de son côté un réseau de linéaire de distribution de 291 km de longueur. **(Garnier ,1997)**

Les besoins ont été estimés à partir de la dotation de l’hydraulique de la wilaya de Djelfa et sont représentées dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2: Besoin en eau domestique et équipements

Horizon	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Dotation (l/s)	200	200	200	200	200	200	200	200
Nombre Habitants	1915	2023	2323	2667	3062	3516	4036	4634
	23	98	66	71	70	17	78	48
Consommation journalière (m3/j)	3830	4047	4647	5335	6125	7032	8073	9268
	4,6	9,7	3,2	4,2	3,9	3,3	5,6	9,5
Consommation horaire (m3/h)	1596	1686,6	1936,4	2223,1	2552,3	2930,1	3364	3862,1
Besoins des équipements (l/s)	53,20	56,22	64,55	74,10	85,07	97,67	112,13	128,74
Besoin total (l/s)	496,54	524,74	602,43	691,63	794,03	911,63	1046,57	1201,53

Source : Direction des Ressources en Eau de Wilaya de Djelfa, 2022

3. Analyse de corrélation entre données piézométrique et données climatiques

3-1 : Données climatiques

La station météo de Djelfa est la principale source des données climatiques nécessaires pour cette recherche. En effet, l'administration de cette station fournit des données mensuelles calculées à base des prélèvements horaires pour la température de l'aire, la pression atmosphérique et l'humidité, et des prélèvements journaliers pour les précipitations et les évaporations. Donc, pour chaque année un tableau de contingence ayant les paramètres climatiques en ligne et les mois en colonne est établi par la station météo. Les données climatiques disponibles sont pour la période de 1975 à 2021. Ses paramètres climatiques constituent les facteurs influençant le niveau piézométrique ou autrement dit sont les variables explicatives de changement de ce niveau piézométrique qui indique directement les réserves en eau souterraines de cette zone d'étude.

3.2 : Données piézométriques :

Le niveau, la cote ou la surface piézométrique est l'altitude ou la profondeur de la limite entre la nappe phréatique et la zone vadose dans une formation aquifère. Ce niveau est mesuré à l'aide d'un piézomètre, dans notre étude nous avons obtenu les données piézométrique depuis ANRH Djelfa.

L'allure générale des cartes piézométriques démontre que l'écoulement souterrain suit un axe Sud-Ouest vers le Nord-Est parallèle à l'axe d'orientation du synclinal (**Rahmani , 2016**). L'interprétation détaillée de ces cartes montrent qu'à l'aide des courbes isopièzes ainsi que la direction des axes d'écoulement, trois zones bien distinctes s'individualisent. La première zone au Sud-Ouest et au centre, dans la zone Sud-Ouest, l'écoulement se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est directement vers les oueds M'sekka et Ben Naam. Nous observons l'existence d'une ligne de partage des eaux souterraines qui peut être due à l'influence des forages.

Le gradient hydraulique est relativement moyen, il est de l'ordre de 1%. Dans la partie centrale, les courbes isopièzes s'enserrent et deviennent parallèles aux formations géologiques, ce qui s'explique par une alimentation de la nappe par les formations Sénoniennes semi perméables du flanc Nord du Synclinal où l'écoulement s'effectue du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Le gradient hydraulique dans cette première zone est de l'ordre de 1 à 2%. Donc dans cette zone, les lignes de courant convergent vers l'oued principal Djelfa-Mellah, la nappe est drainée par l'oued (**Rahmani B.,**

2016). Une deuxième zone centre Est où et l'écoulement se fait du Sud vers le Nord. vers une dépression justifiant une surexploitation des forages dans cette zone, avec l'existence d'une ligne de partage des eaux souterraines et un gradient hydraulique relativement moyen à faible il est de l'ordre de 0,5%. (Rahmani , 2016). La dernière zone est à l'Est avec gradient hydraulique relativement moyen de l'ordre de 1 %. Un sens d'écoulement selon un axe de drainage d'une direction Ouest-Est alimentant les formations calcaires Sénoniennes (Rahmani, 2016)

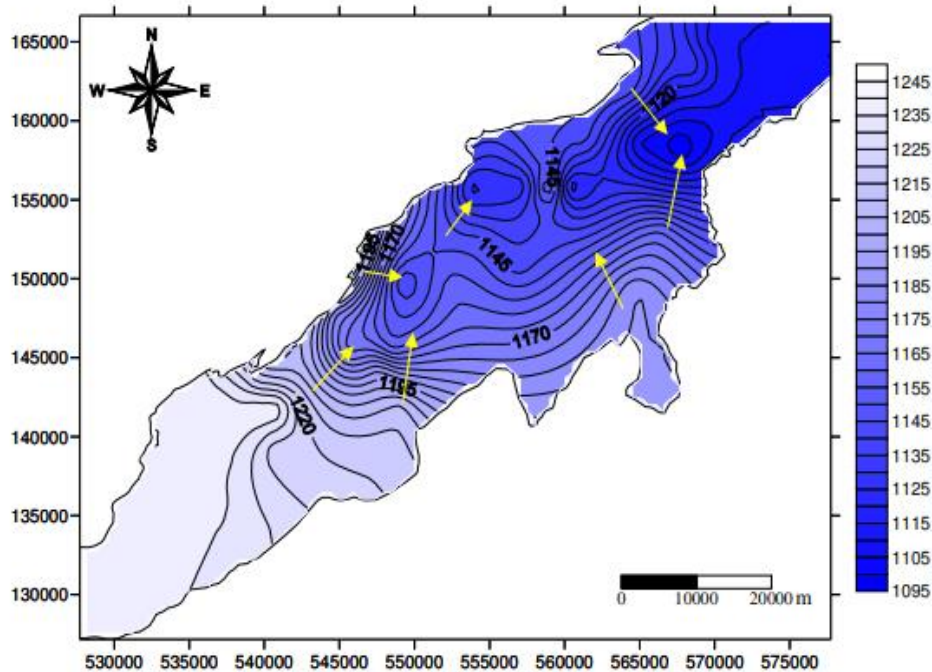


Figure11: Carte piézométrique de la nappe du Mio-plio-quaternaire du synclinale de

Source : Rahmani , 2016

3.3. Coefficient de corrélation r de Pearson :

Publié en 1896 par Karl Pearson, le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson, également appelé coefficient de corrélation linéaire, et son test associé sont des approches paramétriques permettant de mesurer et de tester si deux variables continues appariées X^1 , X^2 , suivant une loi normale bi-variée, sont corrélées. (Lemakistatheux , 2022)

On notera que l'aspect apparié des deux variables est abusif, le coefficient s'applique aussi bien à des variables temporelles qu'à des variables non appariées. Il serait plus concret de parler de variables conjointes. (Lemakistatheux , 2022)

Dans le cas où l'échantillon est trop petit, on a plutôt recours au coefficient de corrélation de Spearman qui se base sur les rangs de (X^1, X^2) ou encore une variante plus pessimiste, le coefficient de corrélation de Kendall.

Enfin, il faut garder à l'esprit que corrélation et causalité ne sont pas intrinsèquement liées. En effet, deux variables peuvent être corrélées sans pour autant que la variabilité de l'une explique celle de l'autre. On a alors recours au coefficient de corrélation partielle dans ce cas afin de déterminer si la relation qui unie deux variables ne provient pas d'un troisième variable cachée. (Lemakistatheux, 2022)

3.4 Calcul du coefficient de corrélation de Pearson :

Hypothèse préliminaire : variables *continues appariées* et *normalités*.

L'idée qui se cache derrière la formule du coefficient de corrélation est d'imaginer une droite optimale pour laquelle les couples de points $(X_i^1, X_i^2), \forall_i \in [1, n]$ seraient les plus proches possibles relativement à la variance de leur distribution respective. En notant n le nombre d'observations, et en se basant sur ce principe, on a la formule suivante (Lemakistatheux, 2022):

$$r_p(X^1, X^2) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^1 - \bar{X}_1) \cdot (X_i^2 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^1 - \bar{X}_1)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (X_i^2 - \bar{X}_2)^2}}$$

Le coefficient de corrélation de Pearson varie dans l'intervalle $[-1, 1]$. De façon « universellement arbitraire » on parle de,

- corrélation positive : lorsque l'une des variables est fonction croissante de l'autre. L'Angle formé entre les deux variables tend alors vers 0° si le coefficient $r_p \in [0.7, 1]$;
- de corrélation négative : lorsque l'une des variables est fonction décroissante de l'autre. L'Angle formé entre les deux variables tend alors vers 180° si le coefficient $r_p \in [-1, -0.7]$;

Plus r_p converge en valeur absolue vers 1 et plus la corrélation entre les deux variables est forte. A contrario plus il tend vers 0 et plus l'orthogonalité entre les deux vecteurs est forte, ce qui implique l'absence de corrélation. (Lemakistatheux, 2022)

Il faut bien garder à l'esprit que le coefficient de corrélation de Pearson mesure la qualité de la relation linéaire entre les deux échantillons. Ainsi, par exemple, une relation quadratique ne sera pas décelée par cet outil statistique. Ci-dessous quelques

exemples tirés du site wikipédia et assez représentatif de ce que peut détecter ce coefficient. (Lemakistatheux , 2022)

Evolution du coefficient de corrélation :

Soit (X^1, X^2) . Trivialement, le coefficient de corrélation tend vers 1 lorsque $X^1 \rightarrow a \cdot X^2 + b$, $(a,b) \in R$. En effet, si cela devient le cas on obtient :

$$\begin{aligned} r_p(X^1, X^2) &= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^1 - \bar{X}^1) \cdot (X_i^2 - \bar{X}^2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^1 - \bar{X}^1)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (X_i^2 - \bar{X}^2)^2}} \\ \rightarrow \frac{\sum_i (a \cdot X_i^2 + b - \overline{a \cdot X_i^2 + b}) \cdot (X_i^2 - \bar{X}^2)}{\sqrt{\sum_i (a \cdot X_i^2 + b - \overline{a \cdot X_i^2 + b})^2 \cdot \sum_i (X_i^2 - \bar{X}^2)^2}} &= r_p(a \cdot X^2 + b \cdot X^2) \\ &= \frac{\sum_i (a \cdot (X_i^2 - \bar{X}^2) + b - b) \cdot \sum_i (X_i^2 - \bar{X}^2)}{\sqrt{\sum_i (a \cdot (X_i^2 - \bar{X}^2) + b - b)^2 \cdot \sum_i (X_i^2 - \bar{X}^2)^2}} \\ &= \frac{a \cdot \sum_i (X_i^2 - \bar{X}^2)^2}{\sqrt{a^2} \cdot \sqrt{\sum_i (X_i^2 - \bar{X}^2)^4}} = 1 \end{aligned}$$

On remarque que le numérateur, soit la cohérence des fluctuations entre X^1 et X^2 , ne peut jamais être plus grand que le dénominateur, soit l'estimation optimiste de ces fluctuations. Etant donné que la formule consiste en un ratio distance relative sur distance euclidienne, cela explique que le coefficient varie entre -1 et 1 .

Le coefficient de corrélation de Daniels :

Les coefficients de corrélation de Pearson, Kendall et Spearman peuvent être considérés comme des cas particuliers d'un même et unique formule appelée coefficient de corrélation de Daniels.

Pour toute paire d'observations $i_1, i_2 \in [1, n]$, on note \mathbf{a}_{i_1, i_2} , \mathbf{b}_{i_1, i_2} les indices respectivement associés aux variables X^1 , X^2 . La formule du coefficient de corrélation de Daniels est alors :

$$r_{(X^1, X^2)}^D = \frac{\sum_{i_1} \sum_{i_2} \mathbf{a}_{i_1, i_2} \cdot \mathbf{b}_{i_1, i_2}}{\sqrt{(\sum_{i_1} \sum_{i_2} \mathbf{a}_{i_1, i_2}^2) \cdot (\sum_{i_1} \sum_{i_2} \mathbf{b}_{i_1, i_2}^2)}}$$

Il varie également dans l'intervalle [-1 ; +1] et les conclusions sont les mêmes que pour le coefficient de corrélation de Pearson.

On peut alors retrouver le coefficient de corrélation de Pearson en posant

$$a_{i1,i2} = (X_i^1 - \bar{X}^1) \text{ et } b_{i1,i2} = (X_i^2 - \bar{X}^2) .$$

● **Le test de nullité du coefficient :**

A la formule du coefficient de corrélation est associée la statistique du test de nullité qui permet de déterminer si r_p est significativement différent de 0 ,

$$t = (n - 2)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{|r_p (X^1, X^2)|}{\sqrt{1 - r_p^2 (X^1, X^2)^2}}$$

Elle suit une loi de Student à n-2 degrés de liberté. L'hypothèse H_0 est :

La pente formée entre les deux variables est nulle $r_p = 0$

Avec $T_{1-\alpha}$ la valeur seuil de la distribution de la statistique de test T pour une confiance α , les hypothèses alternatives sont alors,

- $H_1 : r_p > 0$, soit $T > T_{1-\alpha}$, pour un test unilatéral à droite ;
- $H_1 : r_p < 0$, soit $T < T_{1-\alpha}$, pour un test unilatéral à gauche ;
- $H_1 : r_p \neq 0$ soit $|T| > T_{\frac{\alpha}{2}}$, pour un test bilatéral.

Calcul de la p-valeur exacte :

La loi de distribution à laquelle reporter la statistique de test de nullité du coefficient de corrélation de Pearson est celle de Student. En prenant d le nombre de degrés de liberté et restant dépendant de n , $B(z, \frac{1}{2}, \frac{d}{2})$ la fonction Bêta incomplète et $B(\frac{1}{2}, \frac{d}{2})$ la fonction Bêta. Le calcul de la p-valeur associée à la statistique de test est alors,

- Dans le cas bilatéral :

$$p = P(t_{obs} > t_{n, \frac{\alpha}{2}}) = 1 - \frac{B(z, \frac{1}{2}, \frac{d}{2})}{B(\frac{1}{2}, \frac{d}{2})}$$

- Dans le cas unilatéral à droite :

$$p = P(t_{obs} > t_{n, \alpha}) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{B(z, \frac{1}{2}, \frac{d}{2})}{B(\frac{1}{2}, \frac{d}{2})}$$

- Dans le cas unilatéral à gauche :

$$p = P(t_{obs} > t_{n, 1-\alpha}) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{B(z, \frac{1}{2}, \frac{d}{2})}{B(\frac{1}{2}, \frac{d}{2})}$$

Avec,

$$- z = \frac{t_{\alpha ba}^2}{1 + \frac{t_{\alpha ba}^2}{d}}$$

$$- B\left(\frac{1}{2}, \frac{d}{2}\right) = \frac{r\left(\frac{1}{2}\right)r\left(\frac{d}{2}\right)}{r\left(\frac{1+d}{2}\right)} = \sqrt{\pi} \frac{r\left(\frac{d}{2}\right)}{r\left(\frac{d+1}{2}\right)}$$

$$- B\left(z, \frac{1}{2}, \frac{d}{2}\right) = \sqrt{z} \left(2 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\prod_{i=1}^k (j - \frac{d}{2})}{K! \left(\frac{1}{2} + k\right)} z^k\right), \text{ qui converge assez rapidement pour}$$

K faible.

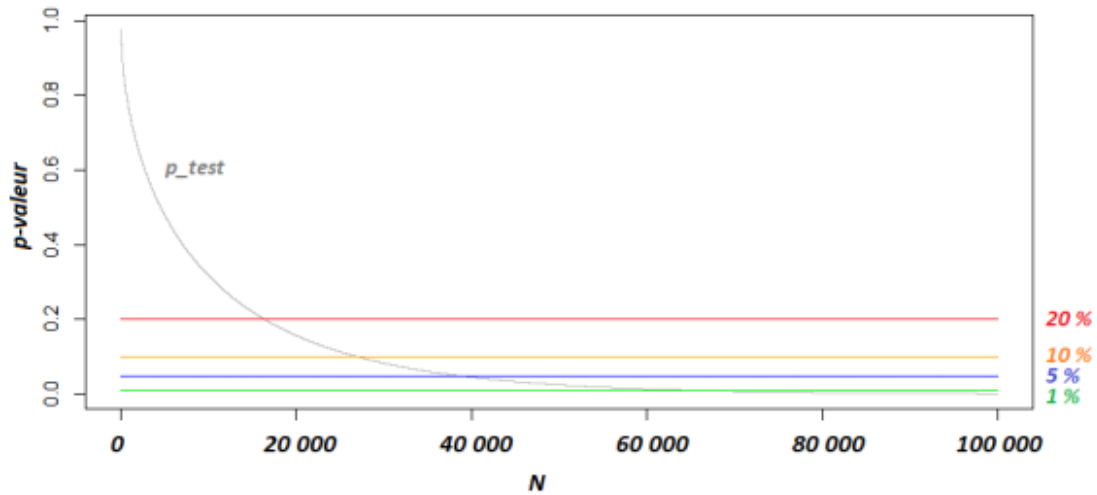
Conditions pour le rejet de H_0 :

Plus la statistique t est grande et plus on a de chance de rejeter H_0 . En effet, r_p variant dans $[-1, 1]$, ce qui implique que lorsque $r_p^2 \rightarrow 1$ alors le dénominateur, $\sqrt{1 - r_p^2}$ tend vers 0 et donc $t \rightarrow +\infty$.

Concrètement, la valeur réelle informative n'est pas le p-value du test de nullité du coefficient mais le coefficient de corrélation. Il peut arriver qu'un coefficient $|r_p| > 0.7$ ne soit associé à un test significatif. En effet, ce n'est pas parce que la pente formée entre les deux variables vaut 0 qu'il n'y a pas la once d'une relation linéaire (Lemakistatheux, 2022).

● **Tendance lorsque $n \rightarrow \infty$:**

On s'intéresse désormais à la résistance du test de nullité du coefficient de corrélation de Pearson au fur et à mesure que la taille d'échantillon croît. On fixe le ratio à 0.001, soit un cas fictif correspondant à un coefficient proche de 0. L'on va s'intéresser à l'influence du facteur $(n - 2)^{\frac{1}{2}}$ sur la statistique de test. Le résultat attendu est forcément que quelque soit la taille de l'échantillon, on ne rejettera pas l'hypothèse H_0 de nullité du coefficient. Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la p-valeur P associée à la statistique de test t_{test} fixée lorsque n croît de 10 à 100000 observations (Lemakistatheux, 2022)



Source : Lemakistatheux , 2022

La manière hâtive, on reste en adéquation avec l'hypothèse de construction de la statistique de test jusqu'à $n = 1641 (P > 20\%)$. Jusqu'à $n = 38409$, on se forcera à rejeter H_0 avec un risque assez fort compris entre 20% et 5%. Enfin, à $n = 66344$ la p-valeur passe en dessous des 1%. (Lemakistatheux , 2022)

Cette simulation montre que le test de nullité du coefficient de corrélation de Pearson est atteint par la malédiction des grands échantillons. Cependant, et même s'il faut relativiser ce constat car ici on prend une statistique de test particulièrement faible, on peut également voir qu'il offre une certaine marge et permet de travailler sur des échantillons assez importants.

Chapitre III

Résultats et Discussion

Chapitre III : Résultats et Discussion

1. Que signifient les chiffres de la corrélation ?

On décrit les corrélations à l'aide d'une mesure sans unité appelée coefficient de corrélation compris entre -1 et +1 et noté r . La significativité statistique est indiquée par une valeur p . Par conséquent, les corrélations sont généralement exprimées à l'aide de deux chiffres : $r =$ et $p =$.

- Plus r est proche de zéro, plus la relation linéaire est faible.
- Les valeurs positives de r indiquent une corrélation positive lorsque les valeurs des deux variables tendent à augmenter ensemble.
- Les valeurs négatives de r indiquent une corrélation négative lorsque les valeurs d'une variable tend à augmenter et que les valeurs de l'autre variable diminuent.
- La valeur p indique que l'on peut significativement conclure que le coefficient de corrélation de la population est probablement différent de zéro, d'après nos observations de l'échantillon.
- « Mesure sans unité » signifie que les corrélations existent sur leur propre échelle : dans notre exemple, le chiffre donné pour r n'est pas sur la même échelle que l'altitude ou la température. Cette notion se distingue des autres statistiques de résumé. Par exemple, la moyenne des mesures d'altitude se situe sur la même échelle que sa variable.
- Après avoir obtenu une corrélation significative, on peut également s'intéresser à sa force. Une corrélation positive parfaite a une valeur de 1, et une corrélation négative parfaite a une valeur de -1. Mais dans le monde réel, on ne trouve jamais de corrélation parfaite, à moins qu'une variable ne soit en fait une mesure subrogative de l'autre. Concrètement, obtenir une corrélation parfaite doit vous mettre la puce à l'oreille ! Par exemple, si vous enregistrez par accident une distance par rapport au niveau de la mer pour chaque camping au lieu de la température, vous obtiendrez une corrélation parfaite avec l'altitude.
- Le nombre d'observations, N , est une autre information utile. Comme pour la plupart des analyses statistiques, connaître la taille de l'échantillon aide à évaluer la force de notre échantillon et sa représentativité de la population. Par

exemple, si l'on ne mesure que l'altitude et la température de cinq campings, mais que le parc en compte deux mille, il faut ajouter des campings à notre échantillon.

2. Matrice de corrélation?

Une matrice de corrélation est utilisée pour évaluer la dépendance entre plusieurs variables en même temps. Le résultat est une table contenant les coefficients de corrélation entre chaque variable et les autres. Il existe différentes méthodes de test de corrélation : Le test de corrélation de Pearson, la corrélation de Kendall et de Spearman qui sont des tests basés sur le rang. Ces méthodes sont discutées dans les sections suivantes. La matrice de corrélation peut être visualisée en utilisant un corrélogramme.

3. Analyse de corrélation dans R

La fonction `cor()` de R peut être utilisée pour calculer la matrice de corrélation. Un format simplifié de la fonction est :

```
# x est une variable de type matrix ou data.frame
cor(x, method = c("pearson", "kendall", "spearman"))
```

4. Données pour le test de corrélation

La table de données `mtcars` disponible dans **R** est utilisée dans les exemples suivants pour calculer la **matrice de corrélation**.

```
head(mtcars)
```

	mpg	cyl	disp	hp	drat	wt	qsec	vs	am	gear	carb
Mazda RX4	21.0	6	160	110	3.90	2.620	16.46	0	1	4	4
Mazda RX4 Wag	21.0	6	160	110	3.90	2.875	17.02	0	1	4	4
Datsun 710	22.8	4	108	93	3.85	2.320	18.61	1	1	4	1
Hornet 4 Drive	21.4	6	258	110	3.08	3.215	19.44	1	0	3	1
Hornet Sportabout	18.7	8	360	175	3.15	3.440	17.02	0	0	3	2
Valiant	18.1	6	225	105	2.76	3.460	20.22	1	0	3	1

5. Matrice de corrélation

```
mcor <- cor(mtcars)
mcor
```

	mpg	cyl	disp	hp	drat	wt	qsec	vs	am	gear	carb
mpg	1.00	-0.85	-0.85	-0.78	0.68	-0.87	0.42	0.66	0.60	0.48	-0.55
cyl	-0.85	1.00	0.90	0.83	-0.70	0.78	-0.59	-0.81	-0.52	-0.49	0.53
disp	-0.85	0.90	1.00	0.79	-0.71	0.89	-0.43	-0.71	-0.59	-0.56	0.39
hp	-0.78	0.83	0.79	1.00	-0.45	0.66	-0.71	-0.72	-0.24	-0.13	0.75
drat	0.68	-0.70	-0.71	-0.45	1.00	-0.71	0.09	0.44	0.71	0.70	-0.09
wt	-0.87	0.78	0.89	0.66	-0.71	1.00	-0.17	-0.55	-0.69	-0.58	0.43
qsec	0.42	-0.59	-0.43	-0.71	0.09	-0.17	1.00	0.74	-0.23	-0.21	-0.66
vs	0.66	-0.81	-0.71	-0.72	0.44	-0.55	0.74	1.00	0.17	0.21	-0.57
am	0.60	-0.52	-0.59	-0.24	0.71	-0.69	-0.23	0.17	1.00	0.79	0.06
gear	0.48	-0.49	-0.56	-0.13	0.70	-0.58	-0.21	0.21	0.79	1.00	0.27
carb	-0.55	0.53	0.39	0.75	-0.09	0.43	-0.66	-0.57	0.06	0.27	1.00

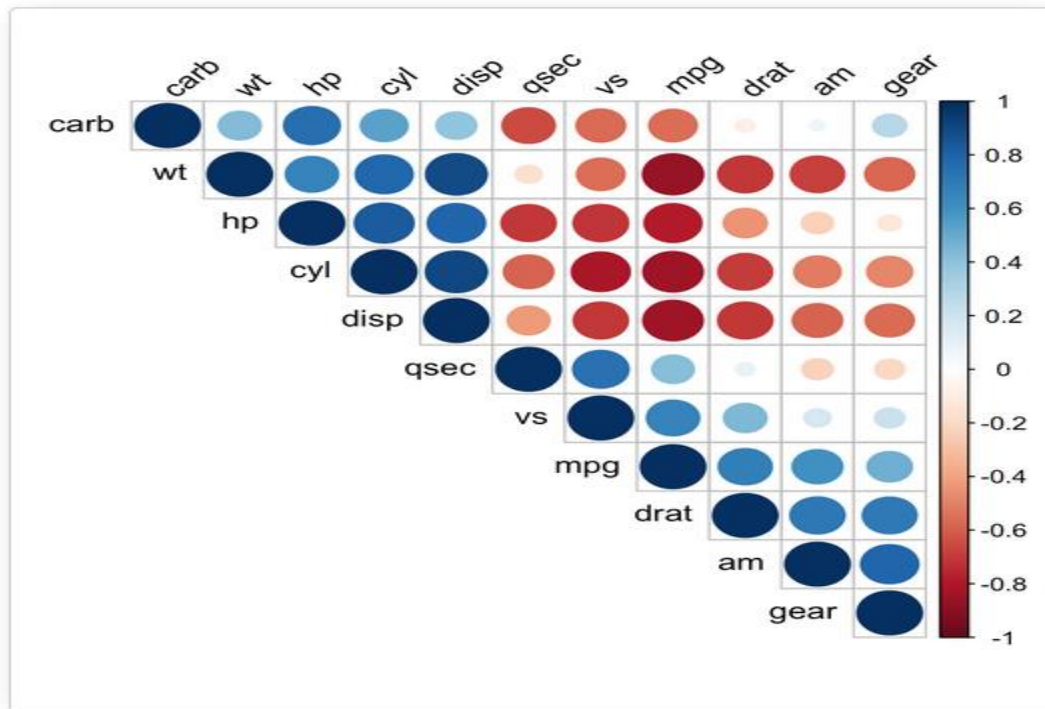
6. Faire un corrélogramme avec la fonction corrplot de R

Vous devez installer le package **corrplot** qui permet de faire une visualisation graphique de la **matrice de corrélation**.

Pour lire plus à propos de la fonction **corrplot()** cliquez ici : [visualiser une matrice de corrélation avec la fonction corrplot](#).

La fonction **corrplot** prend la **matrice de corrélation** comme premier argument. Le second argument (`type="upper"`) est utilisé pour afficher seulement le triangle supérieur de la **matrice de corrélation**.

```
library(corrplot)
corrplot(mcor, type="upper", order="hclust", tl.col="black", tl.srt=45)
```

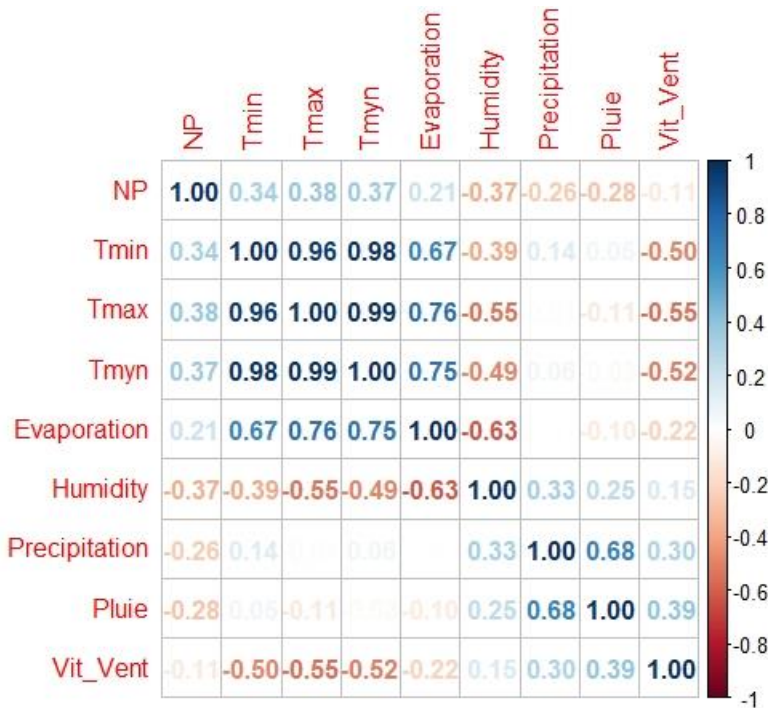
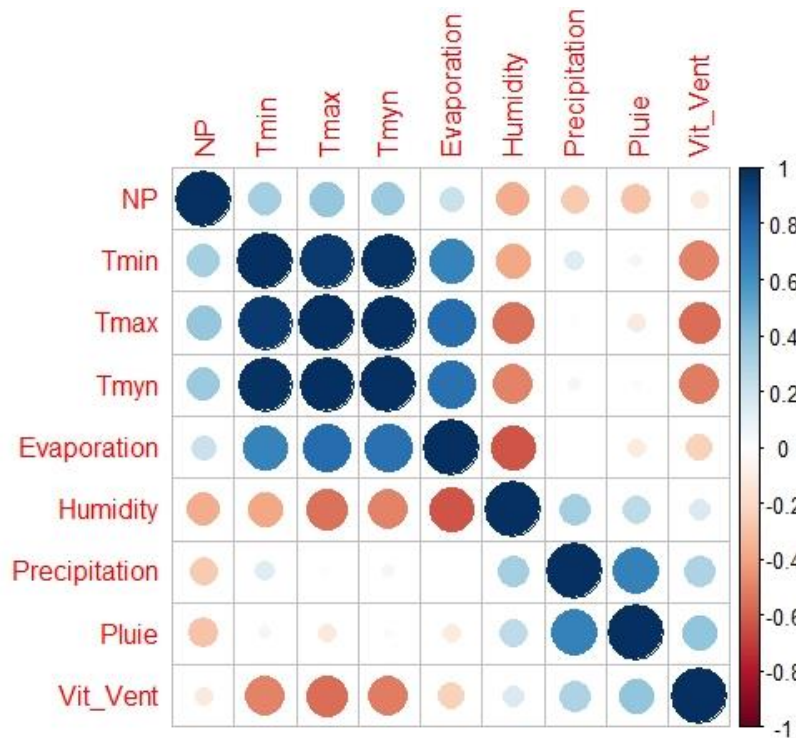


7. Résultats et discussions

On applique la corrélation entre les paramètres climatique et le niveau piézométrique pour les 8 forages

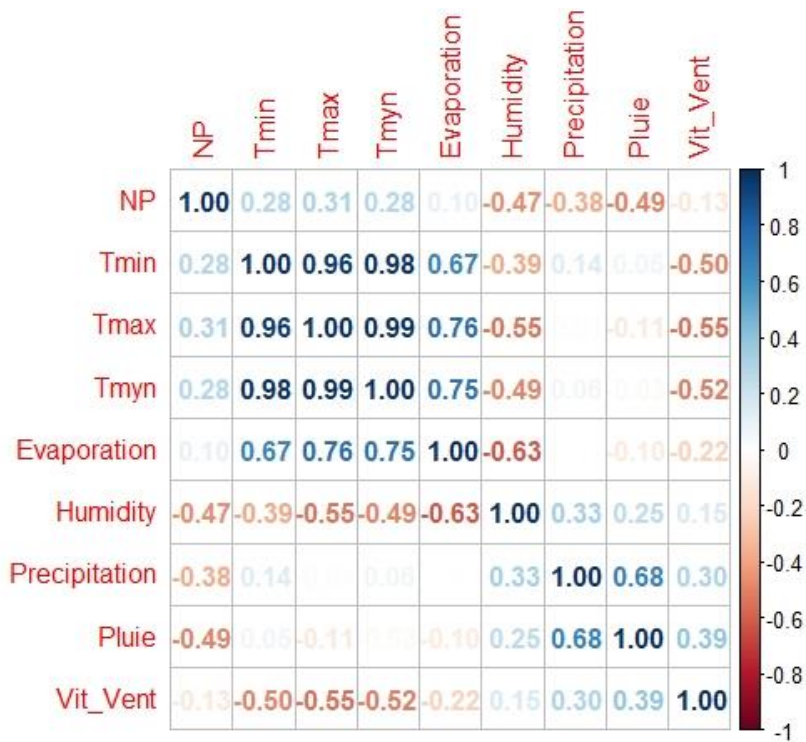
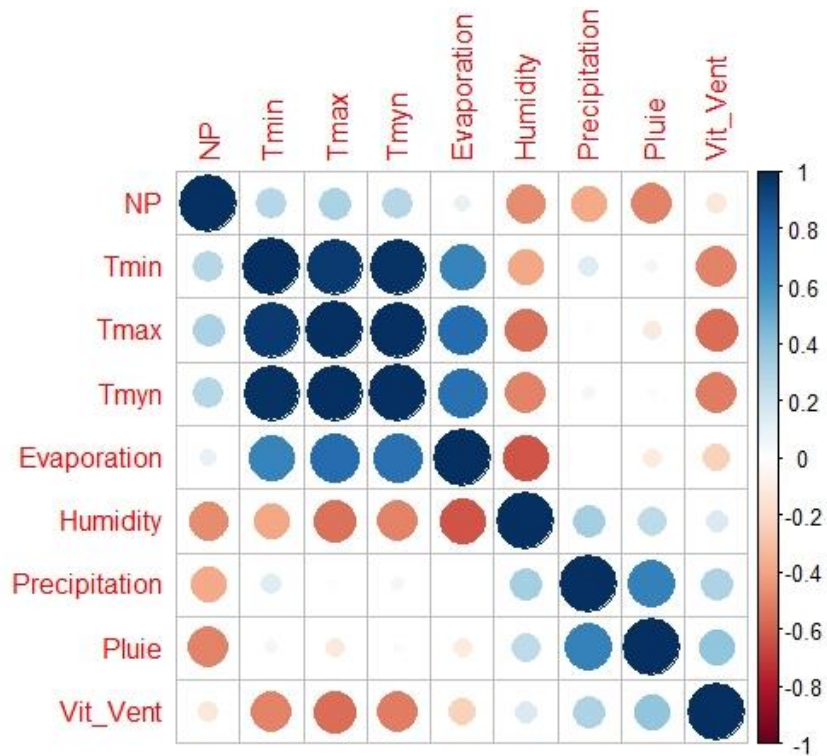
7.1. Forage 1142-G7

Pour le forage 1142-G7 on remarque que le coefficient R est moyenne relation négative moyenne entre niveau piézométrique (NP) et la humidité avec une valeur de -0.37



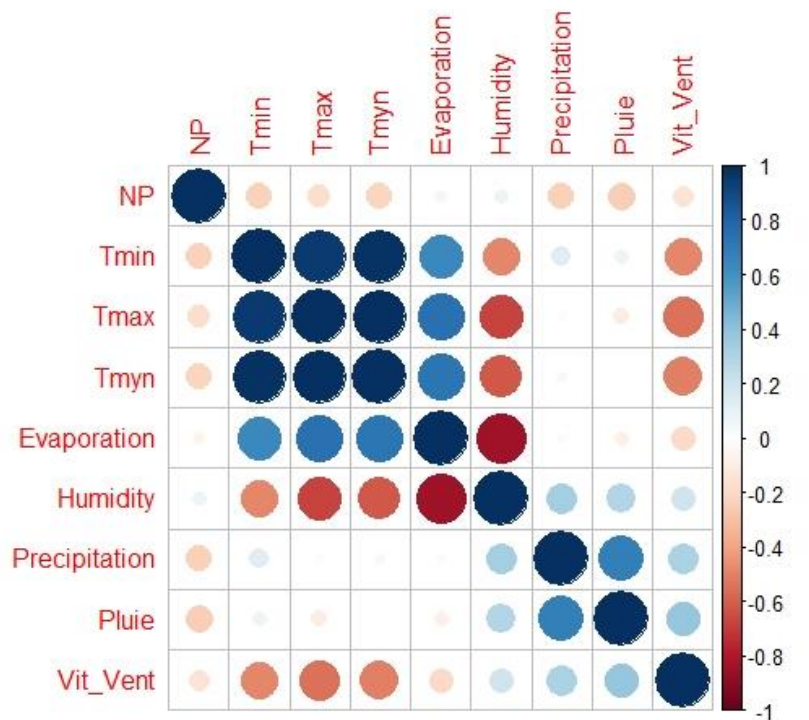
7.2. Forage 1224-G7

pour le forage 1224-G7 on remarque que le coefficient R est moyenne relation négative moyenne entre niveau piézométrique (NP) et la humidité avec une valeur de -0.47 et il ya une relation importante avec la pluie aussi de -0.49



7.3. Forage 1962-G8

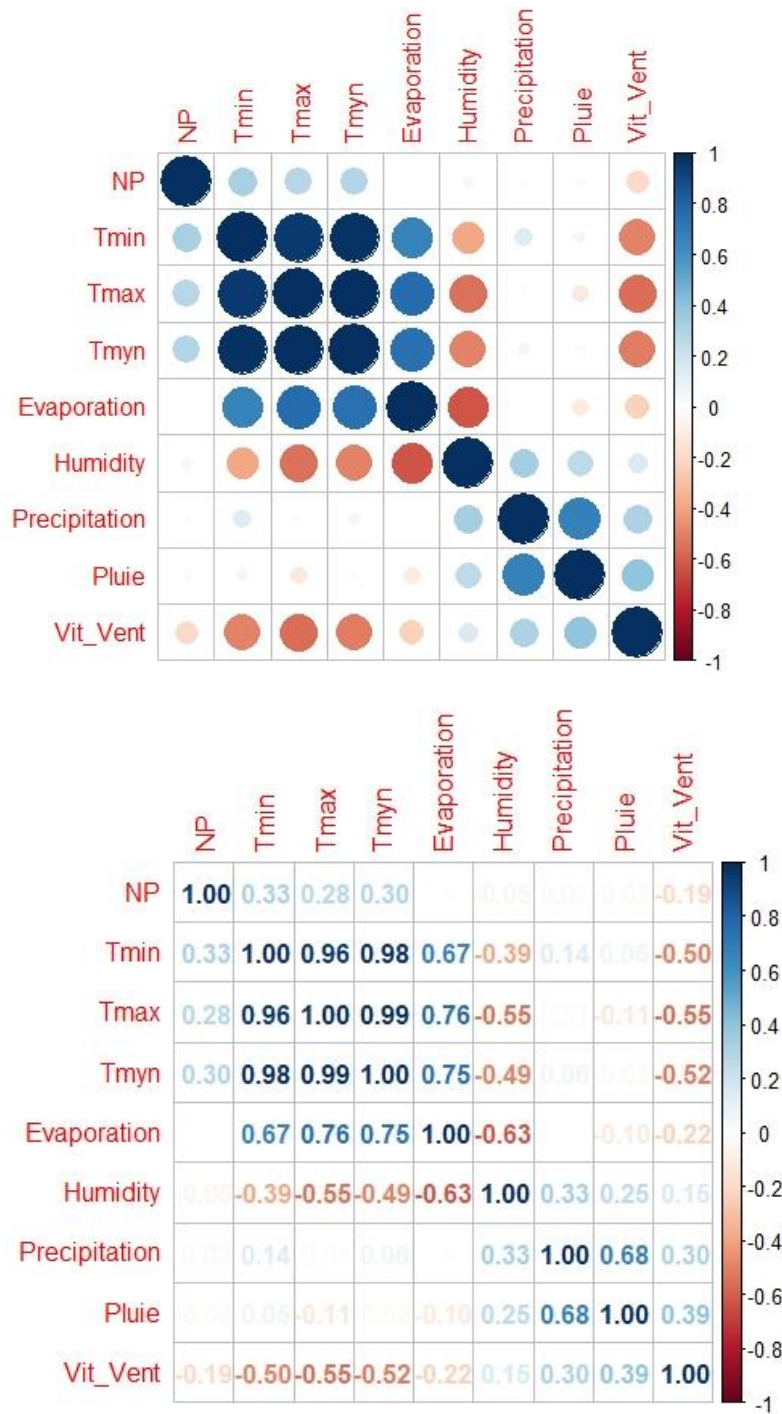
pour le forage 1962-G8 on remarque que le coefficient R est moyenne relation négative faible entre niveau piézométrique (NP) et la pluie aussi de -0.25



	NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Pluie	Vit_Vent
NP	1.00	-0.22	-0.18	-0.22	-0.06	0.07	-0.23	-0.25	-0.14
Tmin	-0.22	1.00	0.96	0.98	0.65	-0.49	0.13	0.07	-0.49
Tmax	-0.18	0.96	1.00	0.99	0.75	-0.67	0.05	-0.10	-0.54
Tmyn	-0.22	0.98	0.99	1.00	0.73	-0.62	0.06	0.01	-0.51
Evaporation	-0.06	0.65	0.75	0.73	1.00	-0.84	0.53	-0.07	-0.19
Humidity	0.07	-0.49	-0.67	-0.62	-0.84	1.00	0.33	0.29	0.20
Precipitation	-0.23	0.13	0.05	0.06	0.01	0.33	1.00	0.68	0.31
Pluie	-0.25	0.07	-0.10	0.01	-0.07	0.29	0.68	1.00	0.39
Vit_Vent	-0.14	-0.49	-0.54	-0.51	-0.19	0.20	0.31	0.39	1.00

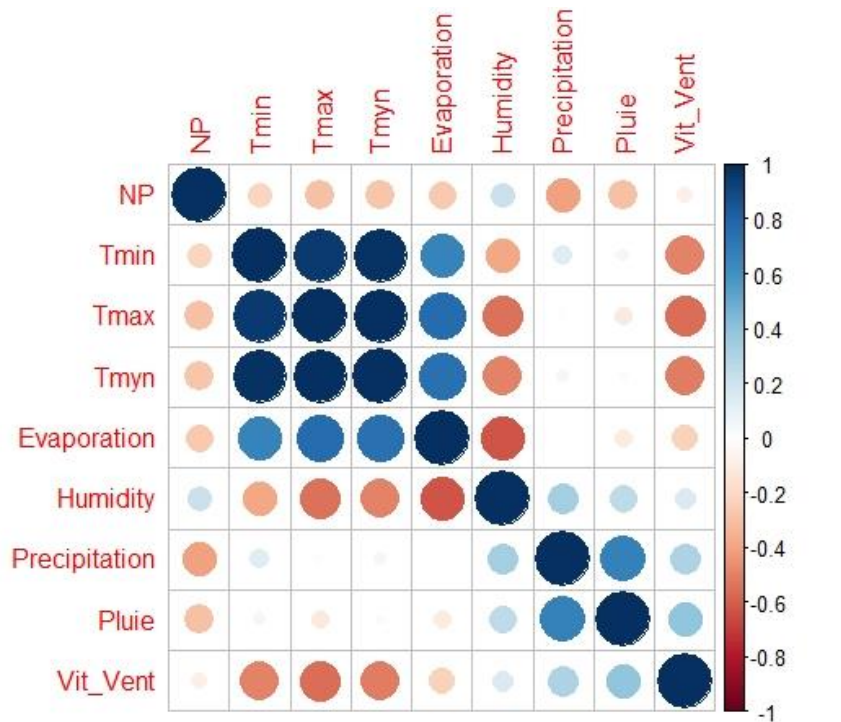
7.4. Forage 1992-G8

pour le forage 1992-G8 on remarque que le coefficient R est moyenne relation positive moyenne entre niveau piézométrique (NP) et la température minimale de 0.33



7.5. Forage 1778-G8

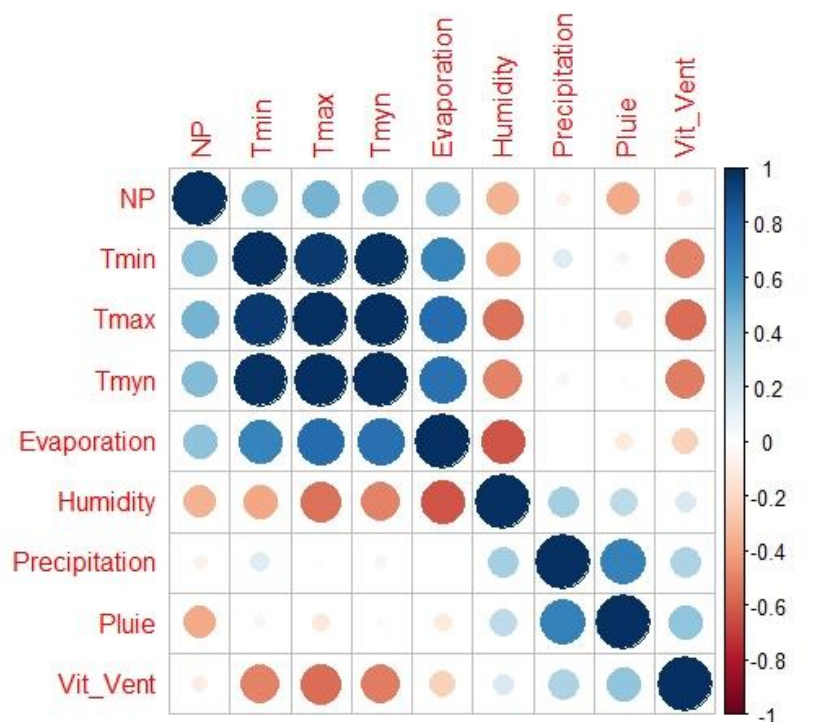
pour le forage 1778-G8 on remarque que le coefficient R est moyenne relation négative moyenne entre niveau piézométrique (NP) et la précipitation de -0.41



	NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Pluie	Vit_Vent
NP	1.00	-0.21	-0.29	-0.28	-0.26	0.21	-0.41	-0.29	-0.09
Tmin	-0.21	1.00	0.96	0.98	0.67	-0.39	0.14	0.05	-0.50
Tmax	-0.29	0.96	1.00	0.99	0.76	-0.55		-0.11	-0.55
Tmyn	-0.28	0.98	0.99	1.00	0.75	-0.49	0.06	0.03	-0.52
Evaporation	-0.26	0.67	0.76	0.75	1.00	-0.63		-0.10	-0.22
Humidity	0.21	-0.39	-0.55	-0.49	-0.63	1.00	0.33	0.25	0.15
Precipitation	-0.41	0.14		0.06		0.33	1.00	0.68	0.30
Pluie	-0.29	0.05	-0.11	0.03	-0.10	0.25	0.68	1.00	0.39
Vit_Vent	-0.09	-0.50	-0.55	-0.52	-0.22	0.15	0.30	0.39	1.00

7.6. Forage 1783-G8

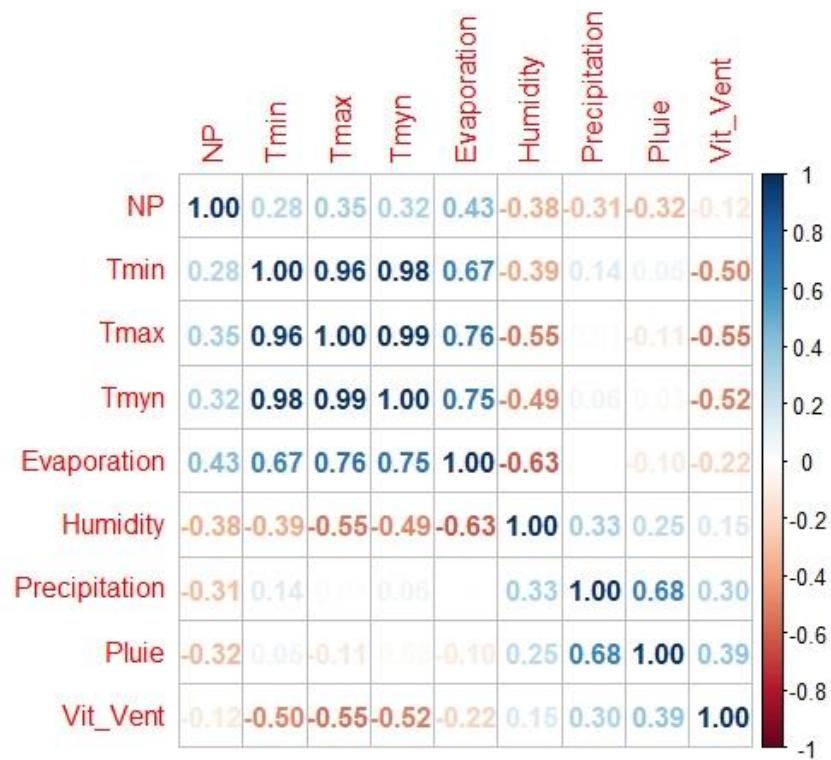
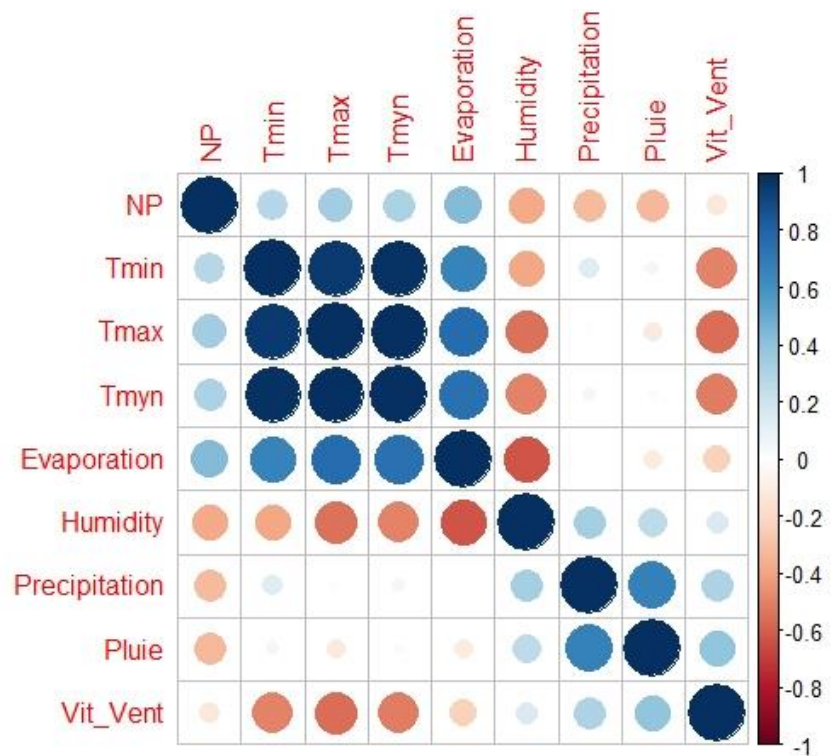
pour le forage 1783-G8 on remarque que le coefficient R est moyenne relation positive moyenne entre niveau piézométrique (NP) et la température maximale de 0.46



	NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Pluie	Vit_Vent
NP	1.00	0.41	0.46	0.44	0.40	-0.34	0.06	-0.37	-0.10
Tmin	0.41	1.00	0.96	0.98	0.67	-0.39	0.14	0.05	-0.50
Tmax	0.46	0.96	1.00	0.99	0.76	-0.55		-0.11	-0.55
Tmyn	0.44	0.98	0.99	1.00	0.75	-0.49	0.06	0.03	-0.52
Evaporation	0.40	0.67	0.76	0.75	1.00	-0.63		-0.10	-0.22
Humidity	-0.34	-0.39	-0.55	-0.49	-0.63	1.00	0.33	0.25	0.15
Precipitation	0.06	0.14		0.06		0.33	1.00	0.68	0.30
Pluie	-0.37	0.05	-0.11		-0.10	0.25	0.68	1.00	0.39
Vit_Vent	-0.10	-0.50	-0.55	-0.52	-0.22	0.15	0.30	0.39	1.00

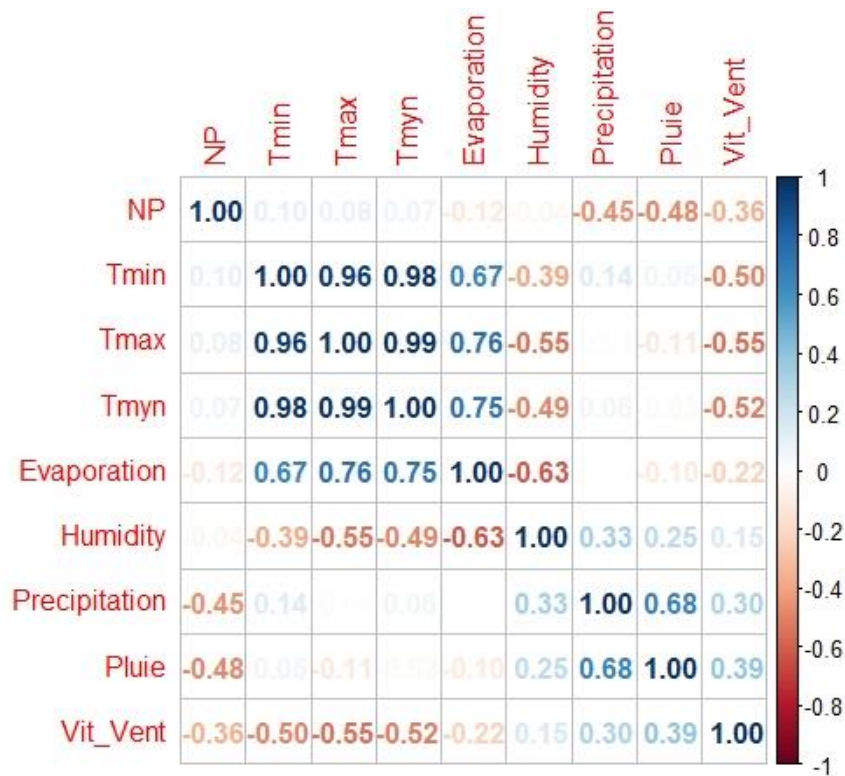
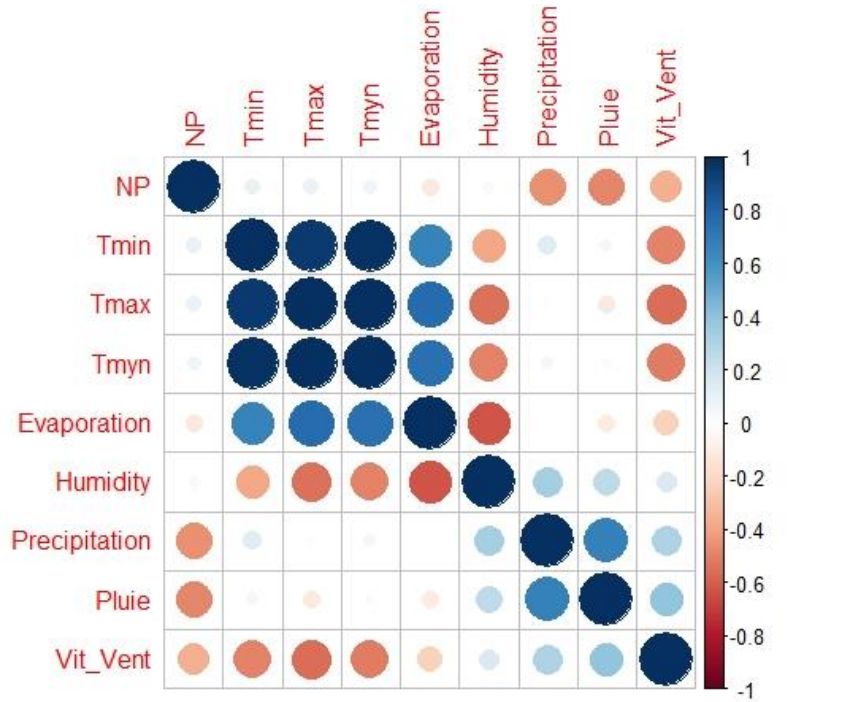
7.7. Forage 1787-G8

pour le forage 1787-G8 on remarque que le coefficient R est moyenne relation positive moyenne entre niveau piézométrique (NP) et évaporation de 0.43



7.8. Forage 1802-G8

pour le forage 1802-G8 on remarque que le coefficient R est moyenne relation négative moyenne entre niveau piézométrique (NP) et la Pluie de -0.48



Conclusion

Conclusion

Les changements climatiques sont devenus plus contraignants bien que l'élévation des températures moyennes et le changement des régimes de précipitations provoquent des modifications drastiques du contexte écologique. Ces changements de l'écosystème, signalés dans les zones du bassin méditerranéen constituent un facteur limitant pour la biodiversité végétale notamment pour les plantes qui poussent dans les milieux fragiles. Toutefois, parmi les environnements vulnérables, l'écosystème steppique en Algérie déjà marqué par l'agressivité climatique a connu une dégradation spectaculaire qui s'est traduite par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologique et socio-économique. Notamment, les steppes à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) connaissent également de sérieuses modifications durant les dernières décennies. Divers facteurs, en particulier l'anthropisation et les aléas climatiques, sont responsables de la régression des nappes alfatières et de leurs superficies.

L'eau étant la ressource la plus essentielle à la vie, et nécessaire à tous les secteurs, il faut se poser la question suivante : parviendrons-nous à approvisionner en eau douce la population en 2050 pour tous ses besoins, domestiques, agricoles, industriels.

La question est d'autant plus douloureuse que le changement climatique accentue cette pression exercée par l'homme sur le cycle hydrologique et sur la ressource en eau. Les ressources hydriques sont vulnérables aux variations climatiques.

D'après notre étude et les résultats obtenus on remarque que le niveau piézométrique a été en relations avec la pluie et une relations positif avec évaporation et la température maximale et minimale

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

1. Aliouat chehabeddine, essai d'introduction d'agriculture urbaine cas de la ville de djelfa, projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master académique en géographie et aménagement du territoire. Spécialité : villes et dynamiques spatiales, faculté des sciences de la nature et de la vie, université ziane achour – djelfa,2018-2019.
2. Aliouche y,2016- impact du changement climatique sur la fluctuation piézométrique de la nappe de la mitidja, mémoire , ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdellah,70 p.
3. Alioucheyaaqoub , 2016, impact du changement climatique sur la fluctuation piézométrique de la nappe de la mitidja, ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaouiabdellah, département irrigation et drainage, memoire de master pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique. P 01
4. Ammouche , 2013-- etude de la qualité des eaux souterraines, mémoire , univ-tlemce, 56 p.
5. Anonyme 2009 – problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en algérie. Pnud. Algérie, 19 p.
6. Anonyme 2009.- problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en algérie. Pnud, algérie, 19p
7. Antoine a, 2015-impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques, thèse, université de rennes 1, 230 p .
8. Baghdadli i, 2014-l'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du meffrouch., mémoire , universiteaboubekrbelkaid – tlemcen, 89 p.
9. Benmebarek f et bouadjadja w,2020-impact des changements climatiques sur les températures et les précipitations en algérien , mémoire , université kasdimerbahd'ouargla, 80 p.
10. Boubakeur g1 , sahnoune m.2 , chakali g.3 , azouzi b.,2014-le rechauffement climatique, une realitevecue a djelfa, revue des bioressources vol 4 n° 2 d p 8-17.
11. Calow, r, 2009-eau souterraine et changement climatique, integration de la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassin transfrontaliers en afrique, 21 p.

12. clyde h et william j, 2013-environnement diagéniquemétéoriquen, pages 165-206
13. Doll P, Fiedler K (2008) Global-scale modeling of groundwater recharge. *Hydrol Earth Syst Sci* 12(3):863–885. doi:10.5194/hess-12-863-2008.
14. Dragoni, W. and Sukhija, B.S. (2008) Climate Change and Groundwater—A Short Review. In: Dragoni, W. and Sikhija, B.S., Eds., *Climate Change and Groundwater*, Geological Society, London, Special Publications 288, 1-12.
15. François. R, « cours d'hydrogéologie », ujf-grénoble, france, 2002, p.4
16. GARNIER Jacqueline- Beaujeu, « la géographie urbaine », Armand Colin, Paris, 1997, P 51.
17. Jacqueline- beaujeugarnier, « la géographie urbaine », armand colin, paris, 1997, p 51
18. Jean j,1975- groundwater pollution,edelsevier scientific publishing company amsterdam - oxford - new york, 327 p.
19. Josmose , 2017- conséquences du réchauffement climatique sur l'eau potable, <https://www.josmose.fr/blog/126-consequences-du-rechauffement-climatique-sur-leau-potable>, (page consulté le 05/03/2022) .
20. Kada h et arab k,2019- caracterisation des eaux souterraines de la region de bouira, mémoire , universiteklimohandoulhadj de bouira, 119 p.
21. Kadi a. 1997 - la gestion de l'eau en algérie, *hydrological sciences-journal des sciences hydrologiques* ;42(2):191–197.
22. KAREF S., KETTAB A., LOUDYI D., BRUZZONITI M.C., Del BUBBA M., AIT NOUH F., BOUJELBEN N. et MANDI L., 2017- Pollution parameters and identification of performance indicators for wastewater treatment plant of Medea (Algeria). *Desalination and Water Treatment*, DOI: 10.5004/dwt.20290, vol.65, 192-198 pp.
23. KETTAB A., METICHE, R. et BENNACAR, N., 2008- De l'eau pour un développement durable: enjeux et stratégies, *Revue Science de l'Eau*, vol. 21, n° (2).
24. Le coefficient de corrélation et le test associé de bravais-pearson , lemakistatheux.wordpress.com, consulté en date 07-05-2022 a 17.15.
25. Meddi m., hubert j. 2002 -changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau. Forum international organisé par acmad sur les

- changements climatiques dans les pays méditerranées et de l’afrique. Alger : 1–2.
26. Mme melouani n , 2021, cours-changement-globaus-et-catastrophes-naturelles-partie 2, université bordj bouarreridj, p02
 27. Nichane m et khelil m,2014- changements climatiques et ressources en eau en algérie : vulnérabilité, impact et stratégie d’adaptation, vol 4 n° 2, p 1-7.
 28. O.p.e.c.s.t., 2001- (office parlementaire d’évaluation des choix scientifiques et technologiques)- les effet des métaux lourds sur l’environnement et la santé.parmiueg.rapport n°(261).
 29. Oie, 2001- (office international de l’eau)- procédés extensifs d’épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités,.
 30. Oie., 2007- (office international de l'eau) : définition de la pollution et des normes de rejet.,
 31. Oms., 1989- l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture : recommandations a visées sanitaire rapport d'un groupe scientifique de l'oms - série de rapport technique, 778 genève,
 32. Ona., <https://ona-dz.org/l-ona-en-chiffres.html> (consulté 04-07-2022)
 33. Onu, 2019- note de politique d’onu-eau sur le changement climatique et l’eau, document, switzerland, 28 p.
 34. Plazzotta m, 2018 « impacts de la gestion du rayonnement solaire sur le
 35. Puget l et al , 2010 le changement climatique, synthèse des interventions et discussions prononcées lors du débat sur le climat le 20 septembre 2010 a l’académie des sciences, des contributions ecrites qui l’ont précédé et des nombreux echanges et commentaires qui l’ont suivi. P 04.
 36. RAHMANI Badreddine , 2016, Approche hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines dans une zone semi aride . Cas de la nappe mio-plio-quadernaire du synclinal de Djelfa (Algérie centrale), Magister en Géologie Université Larbi Tebessi .
 37. Richard c et stephen a,2015- l'environnement souterrain, elsevier inc,153-189.
 38. Richard m , ibrahim t , keith a , musonda m , jian l et mike r, changement climatique et adaptation basée sur les ecosystèmes : une nouvelle approche pragmatique pour atténuer les impacts du changement climatique, current opinion in environmentalsustainability, 5:67–71.

39. romeo m,2014- gestion des eaux produites et impacts environnementaux, pages 437-508.
40. Sahara mekki&harichsalah, impact des indicateurs de performance sur la gestion de la station d'épuration de la ville djelfa, memoire de fin d'etude en vue de l'obtention du diplôme de master academique en sciences agronomiques spécialité : eau et environnement, département des sciences agronomiques et vétérinaires, 2018-2019.
41. Salah o, mohammed b et paulà m,2022-impact du changement climatique sur la ressource en eau en milieu semi-aride : exemple du bassin d'essaouira (maroc) climate change impact on water resource in semi-arid environment: example of essaouira basin (morocco), revue des sciences de l'eau 31p 13-27.
42. Sigès , 2019-impact du changement climatique sur les ressources en eau souterraine, <https://sigesaqi.brgm.fr/impact-du-changement-climatique-sur-les-ressources-en-au.html> (page consulté le 05/03/2022) .
43. Site d'Internet visite le 30-06-2022 à 16 :22 : lemakistatheux.wordpress.com/category/tests-statistique-indices-de-liaison-et-coefficients-de-correlation/le-coefficient-de-correlation-et-le-test-associe-de-bravais-pearson/
44. Système terre et rôle des boucles de rétroaction liées au cycle du carbone » thèse doctorat spécialité : océan, atmosphère, climat de l'université de toulouse.
45. Timothy r. Green a , makoto b , henk c , jason j. Gurdak d,, diana m. Allen e , kevin m. Hiscock f , holger g , alice a,2011- journal of hydrology 405 532–560.
46. Vasilii v,2013- la menace du méthane arctique sur le futur climatique, <https://terresacree.org/rechauf.htm#menace> (page consulté le 04/03/2022).

Annexe

Forage 1142-G7

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
36,80	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
31,30	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
32,10	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
31,85	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
30,9	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
28,85	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
32,83	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
35,5	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
33,83	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
29,9	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
30,7	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
31,55	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
31,6	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
31,2	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
28,83	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
29,35	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
30,2	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
29,1	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
30,45	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
31,85	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1224-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
11	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
10,85	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
8,55	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
10,20	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
8,8	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
8,8	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
9,15	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
10,85	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
7,8	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
7,9	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
8,63	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
8,9	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
8,55	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
7,96	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
8,15	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
8,1	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
8,46	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
8,8	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
8,4	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
11	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1962-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
27,90	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
27,75	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
27,97	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
27,85	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
27,75	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
27,68	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
27,7	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
27,15	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
27,65	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
27,73	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
27,1	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
28,1	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
28	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
27,48	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
27,47	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
27,6	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
27,35	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
27,7	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
27,75	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
sec	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1992-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
27,90	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
27,75	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
27,97	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
27,85	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
27,75	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
27,68	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
27,7	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
27,15	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
27,65	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
27,73	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
27,1	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
28,1	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
28	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
27,48	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
27,47	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
27,6	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
27,35	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
27,7	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
27,75	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
sec	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1778-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
19,70	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
17,70	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
20,00	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
18,20	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
18,1	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
18	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
19,3	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
17,95	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
17,5	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
17,1	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
17,5	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
19,05	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
19,8	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
17	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
17,4	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
18,4	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
19,45	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
20,15	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
19	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
18,85	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1783-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
17,50	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
16,15	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
15,05	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
17,20	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
14,3	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
14,1	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
15,1	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
26,8	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
11,9	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
12,9	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
10,1	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
13,4	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
10,28	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
12	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
13	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
13,6	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
12,9	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
14,1	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
6,6	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
11,85	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1787-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
6,50	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
6,40	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
6,00	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
5,45	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
5,8	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
5,53	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
6,15	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
6,15	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
5,75	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
5,3	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
5,2	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
6,4	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
5,6	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
4,4	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
4,65	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
5,2	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
5,05	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
5,85	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
4,2	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
4,8	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7

Forage 1802-G8

NP	Tmin	Tmax	Tmyn	Evaporation	Humidity	Precipitation	Neige	Gelee	Grele	Pluie	Vit_Vent
14,00	10,8	24	17,6	191	51	4,9	0	0	0	3	4,6
14,20	9,3	22,8	15,8	118	58	15,3	0	0	0	3	4,1
13,40	4,1	15,7	9,8	85	68	13	0	1	0	2	3,4
12,00	11,7	21,9	16,6	113	69	41,4	0	0	0	8	4,1
9,23	4	16,3	10	94	66	29,2	3	3	2	8	3,8
10,63	13,9	26,9	20,6	259	52	38,1	0	0	0	8	2,8
12,45	4,6	16,1	10,3	98	63	29,2	3	5	0	6	4
11,1	14	26,2	20,1	126	61	38,1	0	0	0	6	3,3
9,85	13,3	26	19,9	154	57	36,5	0	0	0	14	3,9
9,2	2,1	12,5	7,5	83	70	72,6	4	7	0	12	6,5
9,5	10,2	20,3	15,7	107	63	38,3	0	0	0	11	4,3
13,1	3,4	15,4	9,8	101	59	5,3	4	4	0	7	4,3
14,5	10,2	18,7	14,2	58	81	74,4	0	0	0	12	3,7
6,95	3,6	14,8	9,3	91	72	54,5	1	5	0	9	5,3
7,45	7,4	20	13,9	105	66	34,6	0	2	2	7	3,8
9,55	9,5	21,2	15,2	112	60	52,5	0	0	0	8	4
9,75	3,5	13	8,4	83	69	32,8	0	6	0	10	6,3
11	5	14	9,1	52	77	21,9	0	4	0	10	4,9
13,9	4,2	15,3	9,6	4,8	76	4,7	0	5	0	5	2,8
12	3,5	13,8	8,4	9,4	54	29,6	2	9	0	9	4,7