



CENTRE REGIONAL AGRHYMET



DEPARTEMENT FORMATION ET RECHERCHE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTERE EN GESTION DURABLE DES TERRES

PROMOTION : 2012/2013

PRESENTE PAR : HASSANE Iddé

THEME :

**Effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la croissance du
Violet de Galmi dans les vallées de Akoukou et Toudouni**

Soutenu le 12 Novembre devant le jury composé de :

Président : Pr Yadjé GUERO

Membre : Pr Sanoussi ATTA

Dr Pignina BAZIE

Encadreur : Mr Soumana Moumouni

Maître de mémoire : Pr Sanoussi ATTA

Sommaire

Dédicaces	iii
Remerciements	iv
Liste des tableaux	v
Liste des Figures	vi
Liste des photos	vi
Sigles et abréviations	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	7
<i>1.1. Caractéristique génétique et botanique de l'oignon</i>	7
<i>1.2. Importance de la production d'oignon</i>	8
<i>1.1.3. Généralités sur la salinité des eaux et des sols</i>	11
- <i>La salinisation</i>	11
- <i>La sodisation</i>	11
- <i>L'alcalinisation</i>	11
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	20
<i>II.1. Présentation de la zone et des sites d'étude</i>	20
<i>II.2. Justification de la zone d'étude</i>	21
<i>II.3. Situation climatique</i>	21
<i>II.4. Cadre géologique</i>	21
Chapitre III : Matériels et méthodes	25
<i>III.1. Les matériels d'étude</i>	25
<i>III.2. Caractérisation des sites de production et de l'eau de la nappe</i>	26
<i>III.2.1. Dispositifs et techniques de collecte des échantillons</i>	26
<i>III.2.2. Analyses chimiques des échantillons</i>	28
<i>III.3. Identification des effets de la salinité et de l'alcalinité sur la production du violet de galmi</i>	29
Chapitre IV: Résultats	33
<i>IV.1. Caractérisation des sites</i>	34
<i>IV.1.1. Salinité du sol et de l'eau des sites: Niveau actuel et distribution spatiale</i>	34
<i>IV.1.1. 2. Nature des sels contenus dans le sol des sites et l'eau de la nappe</i>	36

IV.1.2. Alcalinité des eaux et des sols : niveau actuel	30
IV.2. Effets d'un stress salin sur la croissance de l'oignon.....	XXXIII
IV.2.1. Effet du stress sur le Violet de Galmi	XXXIII
IV.2. 2. Effet du stress sur leViolet de Galmi, le Prema et le Yali	XXXIV
IV.2.3. Perceptions paysannes de la salinité	33
Chapitre V : Discussion	XXXV
V.1. Etat d'alcalinisation et de salinisation des sites	XXXV
V.3.Relation entre la salinité des sites et la réponse du Violet de Galmi au stress salin	XL
Conclusion.....	XLII
Bibliographie.....	Erreur ! Signet non défini.

Dédicaces

A mes enfants :

Ashraf

Amira

Chamsoudine

Et

A mon épouse Djamila Hamani

Vous avez été mon seul refuge et mon seul soutien durant cette formation

Puisse le Bon Dieu nous permettre d'accomplir le bien comme toujours et pour

toujours comme mon défunt père Hassane Seybou Amadou Mijinyawa.

Remerciements

Le présent mémoire est le couronnement du travail que nous avons abattu pendant une année entière. Aussi il nous plait ici d'adresser nos remerciements aux institutions et personnes suivantes :

Le Centre Agrhymet pour les enseignements divers mais aussi pour la prise en charge lors de notre séjour ;

L'Union Européenne pour le financement de la formation ;

La Faculté d'Agronomie pour l'aide pour les analyses de laboratoires ;

La Direction Régionale de l'Hydraulique de Dosso pour avoir accepter de faire les analyses des échantillons d'eau ;

Le Projet de Promotion d'une Agriculture Productive PromAP pour l'accueil et l'aide qu'il m'a fait ;

Professeur ATTA Sanoussi pour ses conseils inestimables et la patience envers ma personne ;

Professeur GUERO Yadji pour les conseils inestimables ;

Docteur DAN Lamso pour son aide qui m'a été prestigieuse ;

Professeur Nacro Bismark pour les conseils ;

Docteur BAZIE Pignina pour son aide ;

Ma Famille pour la patience dont elle a fait preuve ;

Enfin à tous ceux qui de près ou de loin m'on apporté leur aide au cours de cette formation

Liste des tableaux

Tableau I : Echelle de salinité en fonction de l'extrait de pâte saturée (USSLS, 1954)	15
Tableau II : Sodium Adsorption Ration en degré d'alcalinisation (SERVANT et SERVAT, 1966)	15
Tableau III: Caractéristiques physico-chimiques du sol et de l'eau de la nappe.....	30
Tableau IV : Comparaison de la conductivité électrique moyenne au niveau des rives gauches, droites et des fonds des vallées de Akoukou et de Toudouni.....	36
Tableau V : Teneur en cations (meq/l) des échantillons de sol des vallées de Akoukou et de Toudouni	28
Tableau VI : Teneur en anions (meq/l) des échantillons de sol des vallées de Akoukou et de Toudouni	28
Tableau VII : Teneur en cations et en anions des échantillons d'eau de la vallée de Akoukou.....	28
Tableau VIII : Teneur en cations et en anions des échantillons d'eau de la vallée de Toudouni.....	28
Tableau IX : Teneur en cations et en anions de la roche et de l'efflorescence.....	28
Tableau X: pH, alcalinité, SAR (meq/l) et Residual Sodium carbonate (meq/l) de la solution du sol de Akoukou.....	31
Tableau XI: pH, alcalinité, SAR (meq/l) et Residual Sodium carbonate (meq/l) de la solution du sol de Toudouni	31
Tableau XII : pH, alcalinité, SAR et Residual Sodium carbonate de l'eau de Akoukou.....	31
Tableau XIII : pH, alcalinité, SAR et Residual Sodium carbonate de l'eau de Toudouni.....	XXXII
Tableau XIV: Effet du stress salin sur les paramètres de croissance du Violet de Galmi.....	XXXIV
Tableau XV : Effet du stress salin sur les paramètres de croissance des trois variétés d'oignon	XXXIV

Liste des Figures

Figure 1 : production 2011 de certaines zones de production dans le monde	9
Figure 2 : Evolution de la production d'oignon en Afrique de l'ouest.....	9
Figure 3 : de la commune de Kalfou	21
Figure 4 : Schéma du dispositif de prélèvement des échantillons de sols au niveau des vallées Les Petits cercles au niveau des parcelles de travail représentent les points de prélèvement des échantillons	28
Dispositif 1: Il a pour but de déterminer le comportement du Violet de Galmi en condition saline. Il est composé de deux parcelles de Violet de Galmi soumises à deux niveaux de salinité différents. Ces parcelles ont été disposées au hasard dans des blocs répétées quatre fois (Figure 5).	30
Figure 6: Schéma du dispositif expérimental d'étude du comportement sous stress salin de l'oignon	30
Figure 7: étude du comportement du Violet de Galmi sous stress salin	31
Figure 8 : Conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol des trois toposéquences et de l'eau de la vallée de Toudouni	34
Figure 9: conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol et de l'eau de vallée de Akoukou	35
Figure 10 : Diagramme de Piper	29
Figure 11: Diagramme de Riverside de comparaison des échantillons d'eau	XXXII
Figure 12: Diagramme de Stabler des échantillons d'eau des deux sites	XXXIII
Figure 13: Evolution comparée du diamètre au collet des plants des trois variétés d'oignon soumises au stress salin et du violet de Galmi non stressé (témoin) en fonction du nombre de jours après repiquage	LIV
Figure 14: Evolution du nombre de feuilles chez les trois variétés et chez le témoin en.....	LIV
Figure 15 : Croissance de la tige en hauteur chez les trois variétés et chez le témoin.....	LV
Figure 16 : Croissance de la hauteur du collet à l'apex des feuilles chez les trois variétés et chez le témoin	LV

Liste des photos

Photo 1: Réseau hydrographique de la zone d'étude	26
Photo 2 : prélèvement de sol Photo 3 : prélèvement de roche Photo 4 : prélèvement d'eau	Erreur ! Signet non défini.
Photo 5: Superficies abandonnée : Photo 6 Parcelle abandonnée.....	33
Photo 7 : Structure du sol au niveau de la Toposéquence 1 de Toudouni	Erreur ! Signet non défini.
Photo 8 : poche rendues stérile par le sel Photo 9 : poche rendues stérile par le sel	XXXVIII
Photo 10: Mortalité des feuilles et coloration bleu vert des tiges	XL

Sigles et abréviations

ARC : Alcalinité Résiduelle Calcite

CE : Conductivité électrique

CMA/AOC: Conférence des Ministre de l'Agriculture de l'Afrique de l'Ouest et du Centre

DDA : Direction Départementale de l'Agriculture

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

HC3N: Haut commissariat à l'Initiative 3N

INS : Institut National des Statistique

IRAT : Institut de Recherche Agronomique Tropicale

pH : Potentiel d'Hydrogène

PIB : Produit Intérieur Brut

RGAC: Recensement Général de l'Agriculture et du Cheptel

RSC : Residual Sodium Carbonates

SAR : Sodium Adsorption Ratio

SDT: Solides Dissous Totaux

US. Agr. Research Service : United State Agriculture research Service

USSL : United State Salinity Laboratory Staff

Résumé

Au Niger l'oignon est le deuxième produit agricole exporté dans la sous région après le niébé.

Cependant depuis les années 2000, une baisse de la production a été observée en Afrique de l'Ouest et particulièrement au Niger. Dans certaines zones de production, il a été observé des indicateurs de salinisation de l'eau et du sol. Mais aucune information n'existe sur le niveau de salinité et d'alcalinité des sites et l'effet de ce phénomène sur la croissance du violet Galmi qui est l'écotype local le plus produit au Niger.

Dans le présent document, nous étudions la salinité et l'alcalinité des sols et des eaux et leurs effets sur la production du Violet de Galmi dans les vallées de Akoukou et de Toudouni situées dans l'est du département de Tahoua.

Dans chaque vallée, sur 18 échantillons composites de sol et 7 échantillons d'eau répartis entre 3 toposéquences et les profondeurs 0-20 cm et 20-40 cm, la mesure de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 et le pH_{eau} et le dosage des cations et des anions majeurs ont été faits d'abord.

Dans la seconde partie de l'étude deux expérimentations en pots plastiques ont été faites sur la réponse du Violet de Galmi au stress salin. Une identification de ces effets chez cet écotype local en utilisant l'eau du site de 4,3 mS/cm de conductivité électrique et le sol du site comme traitement salin et une eau de robinet et un sol de 0,6 mS/cm comme témoins. La seconde comparait la réponse du Violet de Galmi à celle des variétés asiatiques prema et yali. Le traitement salin est appliqué une semaine après repiquage dans les deux dispositifs. Le diamètre au collet, la hauteur de la tige, la hauteur du collet à l'apex des feuilles et le nombre de feuilles sont relevés chaque 3 jours sur les plants repiqués au stade 2 feuilles.

Les résultats ont montré que les fonds des vallées présentent une conductivité variant de 1327 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 3863 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un SAR variant de 0,18 à 0,29. La conductivité de l'eau varie de 746 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 4313 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et le SAR de 1,42 à 4,1. Ils ont également montré une réduction de la croissance de 80%, de 63% et de 42% respectivement pour la tige, la plante entière et le diamètre ainsi qu'une réduction du nombre de feuille de 72% par rapport au témoin.

Mots clés : Salinité, alcalinité, stress salin, Violet de Galmi, Niger

Abstract

In Niger onion is the second agricultural product exported under area after niébé. However since the years 2000, a fall of the production was observed in West Africa and particularly Niger. In certain production zones, it was observed indicators of salinisation of water and ground. But no information exists on the level of salinity and alkalinity of the sites and the effect of this phenomenon on the growth of purple Galmi which is the local ecotype more produced in Niger.

In this paper, we study the salinity and alkalinity of soil and water and their effects on the production of Violet de Galmi in two valleys of eastern Tahoua, Niger.

In each valley, 18 composite soil samples and 7 water samples distributed between 3 toposequences and depths 0-20 cm and 20-40 cm, measuring the electrical conductivity of the extract 1/5 and pHeau and the determination of major cations and anions were made.

In the second part of the study two experiments in plastic pots were made in response Violet de Galmi to salt stress. Identification of these effects in the local ecotype using site water of 4.3 mS / cm conductivity and soil site as saline treatment and a water tap and a soil of 0.6 mS / cm as witnesses. The second experiment compared the Violet de Galmi response to the Asian varieties of prema and Yali. The saline treatment is applied a week after transplanting in both devices. Collar diameter, the height of the stem, the height of the entire plant and number of leaves are collected every three days over transplants at 2-leaf stage.

The results showed that the valley bottoms have a conductivity ranging from 1327 μ S/cm to 3863 μ S/cm and SAR ranging from 0.18 to 0.29. The conductivity of the water varies from 746 μ S/cm to 4313 μ S/cm and SAR of 1.42 to 4.1. They also showed a reduction in growth of 80%, 63% and 42% respectively for the stem, the whole plant and the diameter and a reduction in leaf 72% compared to the witness.

Keywords: salinity, alkalinity, salt stress, Violet de Galmi, Niger

Introduction

Le Niger est un pays sahélien dont le développement socioéconomique repose essentiellement sur l'Agriculture (elle contribue à hauteur de 45% au PIB). Il a une superficie estimée à 1267000 Km² et sa population avec un taux d'accroissement naturel de 3,3%/an tourne autour de 17, 12 Millions d'habitants dont 79,6% de ruraux et 50,6% de femmes (INS, 2013).

Dans ce pays à 77% désertique, l'introduction et le développement de l'irrigation se sont de plus en plus imposés comme axe prioritaire des politiques de développement agricole. Cette importance de l'irrigation est née du constat fait à partir des grandes sécheresses des années 1970 et 1980 que la politique agricole basée essentiellement sur le développement des cultures pluviales ne permettait pas d'atteindre la satisfaction des besoins alimentaires des populations qui entre temps s'accroissaient rapidement (ALIZEE et al, 2011).

Avec 80% des superficies cultivables estimées à quinze million d'ha, l'agriculture pluviale n'arrive à répondre aux attentes des populations qu'une année sur deux (HC3N, 2012).

La promotion de l'irrigation avait pour objectifs l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire, l'augmentation du revenu des producteurs et l'équilibre de la balance commerciale. Aussi de 1964 à 2005, les superficies irriguées toutes catégories confondues ont atteint 88885 ha soit 89% des superficies aménagées et 33% du potentiel en terres irrigables du pays estimé à 270000 ha soit 2% des superficies cultivables (ALIZEE *et al*, 2011).

En ce qui concerne les cultures de contre saison, il est important de préciser que la production d'oignon bulbe est faite essentiellement dans les régions de Tahoua et Zinder avec respectivement 49% et 44% de la superficie totale qui est de 30272 ha (RGAC, 2008). Dans la région de Tahoua, où les cultures de contre saison occupent et nourrissent directement environ 94334 producteurs et occupent 28702 ha (RGAC, 2008), les productions horticoles viennent en complément des cultures pluviales. Au Niger selon la couleur, on trouve 4 types d'écotypes locaux. Ce sont les oignons violets, les oignons blancs, les oignons rouges et les oignons roses (BOUKARI *et al*, 2012). Parmi les oignons violets, le violet de Galmi est l'écotype qui présente de loin le plus d'avantages comparatifs pour le pays. Au niveau régional, cela a suscité la mise au point d'autres cultivars tels que le Violet de Koudougou et le Violet de Korhogo (DAGNA, 2006). En 2012 les exportations d'oignon bulbe ont été estimées à 85571 tonnes pour une valeur de 8466 millions de FCFA (INS, 2013).

Dans le département de Tahoua, la production se fait essentiellement dans des vallées aménagées avec des seuils d'épandage qui y assurent la mobilisation des eaux à travers la recharge de la nappe phréatique. Notre zone d'étude comprend les vallées de Akoukou et de Toudouni situées dans l'Est du département (Commune rurale Kalfou).

Leur fonctionnement hydrologique dépend essentiellement de la pluviosité, des apports des sous bassins versants et de quelques rares affluents.

Aujourd'hui il est observé dans ces zones une salinisation qui se manifeste par le dépôt de sel après chaque apport d'eau dans les parcelles de maraîchage. Par ailleurs des analyses de l'eau des puits effectuées au niveau des villages riverains ont révélé un niveau de salinité très élevé variant de 1197 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 6280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement, 1997). Cette salinisation semble avoir un effet négatif sur la production du Violet de Galmi dans ces vallées. En effet les productions annuelles y suivent les mêmes tendances qu'au niveau national. En effet selon FAOSTAT (2013), une baisse de 1651 tonnes par rapport à 2008 a été observée en 2011. En outre en Afrique de l'ouest, une baisse des productions d'oignon liée à la chute des rendements était annoncée depuis 2000 (CMA/AOC, 2000). Par ailleurs selon Bernstein et Ayers (1953) cité par SHANNON (1999) la salinité entraîne chez l'espèce *Allium cepa* une perte de rendement de 50% à partir de 4,1 mS/cm.

Malgré l'importance des vallées et celle de la production de cet écotype local dans la vie socioéconomique des populations, aucune étude n'a été faite :

- Sur la salinisation et l'alcalinisation dans cette partie du bassin des Iullemedens ;
- Sur la réponse des variétés sahéliennes en général et sur la réponse du Violet de Galmi au stress salin ;

Sur le plan scientifique il est décevant de ne disposer à l'heure actuelle concernant la réponse des plantes au sel que d'une description incomplète des effets sur la physiologie (LEVIGNERON et al, 1995).

Notre étude qui porte exclusivement sur les effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la production du Violet de Galmi dans les vallées de Akoukou et de Toudouni trouve alors tout son fondement.

Les mécanismes et les principales conséquences du phénomène de salinisation ont été largement étudiés aussi bien dans le reste du monde et que dans les aménagements autour du

fleuve Niger (GUERO, 1987). Et on dispose d'indicateurs de risque de salinité en fonction de la qualité de l'eau d'irrigation et du faciès géochimique du sol (ADAM, 2011). Des techniques de gestion et de traitement des sols affectés ont également été proposées par plusieurs auteurs et institutions. Aussi à titre d'exemple selon US. Agr.Research Service (1962) la salinisation a deux causes principales :

La cause naturelle qui est de nature hydrogéochimique liée à l'altération d'une roche mère riche en sel et à la présence d'une nappe peu profonde caractérisée par des remontées capillaire de l'eau et une cause anthropique par laquelle l'Homme à travers l'eau d'irrigation enrichie le sol en sels. Ce type de salinisation/alcalinisation est qualifié de secondaire.

Par ailleurs toutes les eaux d'irrigation contiennent des sels solubles (US. Agr.Research Service, 1962). En conséquence selon BAUDER (2007) cité par ADAM (2011) même avec des eaux de bonne qualité ($CE \leq 0,75$ dS/m) le phénomène de salinisation s'installe.

. Dans ce contexte de dégradation physique et chimique et de raréfaction des terres, la protection des sols s'impose comme un axe stratégique prioritaire du développement durable de ces zones de production. Mais pour être efficace elle nécessite non seulement la connaissance des conséquences liées aux types d'utilisation des terres, à leurs effets sur les sols et les cultures mais également la maîtrise des techniques et des coûts d'intervention.

Au plan scientifique cette étude va contribuer à améliorer les connaissances notamment :

- ✓ Sur les comportements physiologique et agronomique du violet de Galmi dans un contexte de salinisation. Cette contribution va permettre une meilleure sécurisation de la filière ;
- ✓ Le lien qui peut être fait avec certaines observations scientifiques notamment celles situant la zone de Barmou et le village de Kéhéhé en bordure d'une mer quaternaire selon URVOY (WWW.persée.fr, consulté le 20 Mars 2013)
- ✓ Sur la connaissance du bassin des Iullemenden à travers l'étude de la salinité dans sa partie centrale.

L'objectif général assigné à cette étude était de Contribuer à une meilleure connaissance des effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la production du violet de Galmi sur les sites maraîchers des communes rurales de Kalfou.

Les objectifs spécifiques étaient de :

- Effectuer une caractérisation chimique des sols et de l'eau d'irrigation particulièrement en ce qui concerne la salinité et l'alcalinisation sur les vallées de Akoukou et Toudouni ;
- Etudier les effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la production du violet de Galmi dans les vallées de Akoukou et Toudouni.
- Comparer la réponse du Violet de Galmi à celle de deux variétés introduites (Yali et Prema).

Les questions scientifiques posées étaient :

- Quelle est l'origine du phénomène de salinisation/alcalinisation des sols dans les vallées de Akoukou et Toudouni ?
- Quel est le niveau actuel de salinité des sols et de l'eau d'irrigation dans les vallées de Akoukou et Toudouni ?
- La salinité des sites a-t-elle un effet sur la production de l'oignon ?
- Quels sont les effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la production du violet de Galmi dans les vallées de Akoukou et Toudouni ?
- Le Violet de Galmi est-il plus sensible à la salinité que le Prema et le Yali ?

Les hypothèses de l'étude étaient :

- La salinité des sols est liée à l'eau de la nappe phréatique ;
- Le niveau actuel de salinité est de faible à moyen selon les sites comparativement à l'échelle de salinité de l'extrait de pâte saturée (USSS, 1954) ;
- La salinisation et l'alcalinisation ont des effets négatifs sur les comportements physiologique et agronomique du violet de Galmi ;
- Le Violet de Galmi résiste mieux à la salinité que les variétés introduites.

En nous appuyant sur le cas de ces 2 sites de l'Est du département de Tahoua, nous avons utilisé les approches suivantes dans le cadre de la présente étude:

- ✓ caractérisation des sites à travers une approche toposéquentielle de la salinisation et de l'alcalinisation des sols;
- ✓ Une analyse de la salinité et du pouvoir alcalinisant de l'eau de la nappe alluviale dans les vallées ;
- ✓ A travers une approche tenant compte du contexte hydrogéochimique de la production du Violet de Galmi nous avons réalisé :

- une identification des effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la culture du Violet de Galmi à travers une expérimentation en pots plastiques;
- Une comparaison de la réponse du Violet de Galmi au stress salin à celle de deux variétés introduites (le Prema et le Yali)

Ainsi donc notre étude a porté sur deux phases essentielles qui sont la caractérisation du sol et de l'eau à travers la détermination du niveau actuel de salinité et d'alcalinité et l'identification des effets de ces deux phénomènes sur la production de l'oignon. Plus précisément il s'est agit d'identifier les signes symptomatiques du stress salin sur le violet de galmi dans le contexte hydrogéochimique de sa production.

Le présent document qui présente le travail que nous avons effectué dans le cadre du stage de fin d'année comprend une introduction, une synthèse bibliographique, une partie résultats, une partie discussion et la conclusion.

PREMIERE PARTIE :
GENERALITES

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.1. Caractéristique génétique et botanique de l'oignon

1.1.1. Filiation génétique

Le matériel végétal utilisé est l'oignon qui est cultivé presque partout dans le monde pour le bulbe principalement et dans une certaine mesure les feuilles en Afrique tropicale et au Niger en particulier. Selon SHANNON (1999), les oignons et l'aïl seraient originaire de l'Asie central.

Du point de vue filiation phylogénétique, l'oignon appartient à l'espèce *Allium cepa* Lin., au genre *Allium*, à la famille des Liliaceae, à l'ordre des Liliales, à la classe des Nymphaeoside, au sous embranchement des Magnobophytine et à l'embranchement des Macrophyte.

La variété Violet de galmi est un écotype du Niger dont la zone habituelle de production est composée par les principales vallées de l'Ader-Doutchi-Maggia. Il a été obtenu en 1975 à la suite de recherches menées conjointement par l'IRAT et l'INRAN (DAGNA, 2006).

Le prema est une variété rouge asiatique comme le Yali.

1.1.2. Caractéristiques botaniques de l'oignon

1.1.2.1. Système racinaire

L'oignon possède un système racinaire fasciculé très limité.

Les racines séminales s'allongent rapidement mais dès que la première feuille apparaît, le plateau se formant, elles dégènèrent, relayées par des racines adventives non ramifiées, assez courtes mais très nombreuses. Le système racinaire peut atteindre 40 cm (DJAMILA et al, 2009)

1.1.2.2. La tige

La vraie tige de l'oignon se situe à la base du bulbe, d'où partent les feuilles et les racines. Le cycle complet de l'oignon est bisannuel. La première année, la tige peut atteindre une hauteur de 1 à 15 cm et 1,5 à 2 cm de diamètre. La deuxième année correspond à la croissance des tiges florales, tubulaires et creuses, longue de 50 à 90 cm.

1.1.2.3. Les feuilles

Durant la phase végétative, 7 à 8 feuilles apparaissent en raison d'une par semaine. Elles sont composées d'une gaine à la base et du limbe. Le limbe est tubulaire et pointu à l'extrémité

(FAO, 1992 In GIORGIA et al, 2012). Les feuilles se superposent l'une dans l'autre, et l'ensemble donne lieu à une pseudo tige avec un bulbe à la base.

1.1.2.4. Le bulbe

La bulbification débute par l'épaississement de la partie inférieure des gaines dont le limbe creux et circulaire, devient de plus en plus court à partir de la 7^{ème} ou 8^{ème} Feuille (FAO, 1992 In GIORGIA, 2012).

Dès la 13^{ème} à la 15^{ème} feuille, le méristème n'émet plus que des feuilles sans limbe formant le centre du bulbe lequel sera d'autant plus gros que ces feuilles seront plus nombreuses et plus épaisses. La partie supérieure des gaines ne s'élargit pas ; il en résulte une sorte d'étranglement ou collet constituant le sommet du bulbe. Le grossissement du bulbe se poursuit activement durant 6 à 8 semaines ; puis le collet se ramollit, ses limbes perdent leur turgescence et se couchent (tombaison). C'est la maturité.

En général les oignons sont dits relativement sensibles à la salinité (stade juvénile) et sont qualifiés d'exclusers vis – à – vis du sodium et du chlore (SHANNON et GRIEVE, 1999).

1.2. Importance de la production d'oignon

Selon D'ALESSANDRO et SOUMAH (2008) les oignons et les échalotes représentent pour des millions de producteurs de l'Afrique de l'ouest une part non négligeable de leurs moyens d'existence. Plusieurs pays comme le Nigeria, le Niger, le Sénégal, le Burkina Faso, le Ghana et le Bénin sont de grands producteurs (Figure 2). Mais seuls le Niger et le Burkina Faso produisent des quantités qui excèdent la demande intérieure. Dans le reste du monde il est produit et consommés comme épice et/ou comme produit médicinal. En 2011 la production d'oignon bulbe (Figure 1) est estimée à 1981476 tonnes en Afrique de l'ouest, à 9 399 563 tonnes pour l'Afrique, à 9 481 693 tonnes pour l'Amérique, à 56 701 089 tonnes pour l'Asie et à 6 555 679 tonnes pour l'Union européenne (FAOSTAT, 2013).

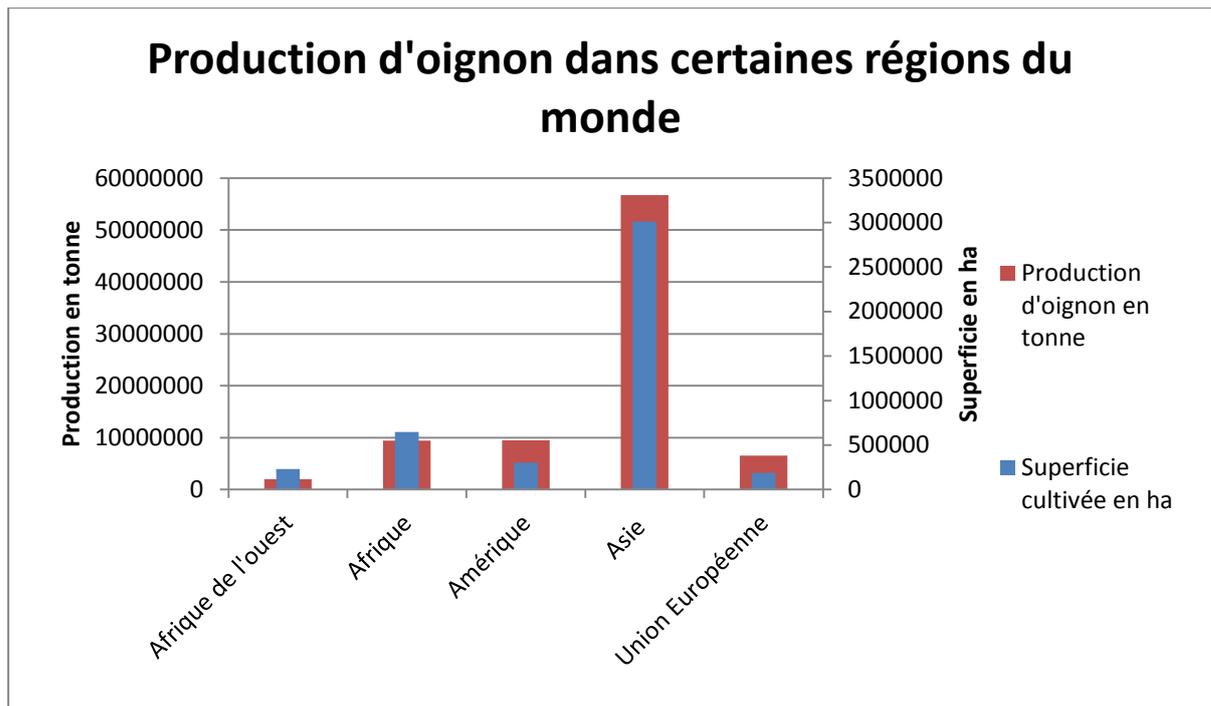


Figure 1 : production 2011 de certaines zones de production dans le monde

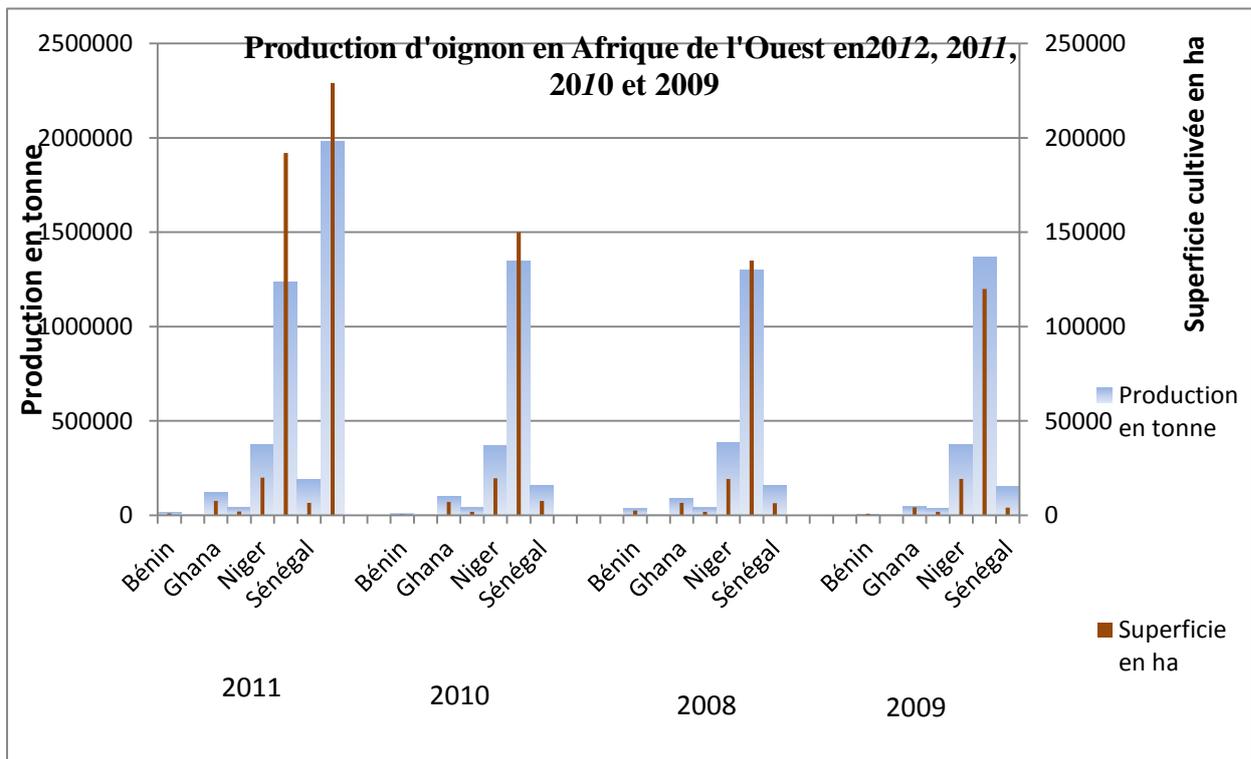


Figure 2 : Production d'oignon en Afrique de l'ouest en 2011, 2010, 2009 et 2008

Au Niger, la production connaît une baisse sensible. En effet la production qui était estimée à 373 637 tonnes en 2008 a chuté à 371 986 tonnes en 2011 (FAOSTAT, 2013).

Il est important de préciser que la production d'oignon bulbe est faite essentiellement dans les régions de Tahoua et Zinder avec respectivement 49% et 44% de la superficie totale qui est de 30272 ha (RGAC, 2008). Dans cette région, où les cultures de contre saison occupent et nourrissent directement environ 94334 producteurs et occupent 28702 ha (RGAC, 2008). Par ailleurs selon l'institut national de la statistique (2012) la valeur des exportations d'oignon bulbe en 2011 est de 14 727 220 000 million de FCFA pour une quantité exportée de 43 297,4 tonnes.

Au Niger selon DAGNA (2006) on trouve les écotypes suivants répartis comme suit :

- Dans la zone du fleuve : on trouve le Violet de Say, le Violet de Gothèye et le Blanc de Gothèye
- Dans la zone centre – sud : on trouve le Violet de Tahoua, le Violet de Madaoua, le Violet de Galmi, le Blanc de Galmi, le Blanc de Tarna, le Blanc de Soumarana et le Violet de Soumarana.
- Dans la zone Sud – Est : on trouve le violet d'Abéché et le Yacouri, qui sont tous les deux d'origine étrangère.

De l'étude de DAGNA (2006) on peut retenir en substance que appelé « Tassa », à cause de sa forme elliptique aplatie qui rappelle la base d'une tasse, le violet de Galmi est le principal écotype cultivé dans la vallée de la Maggia. Sa coloration est violette et son bulbe a des écailles externes de coloration violet-foncé avec une tendance violet-clair au niveau des écailles internes. On retient également que principalement cultivé pour son bulbe, le violet de Galmi a des rendements de l'ordre de 25 à 35 t/ha en culture traditionnelle, alors qu'en culture moderne, ceux-ci peuvent culminer à 60 t/ha. Ses bulbes ont une bonne aptitude à la conservation, et son cycle végétatif est de l'ordre de 140 jours.

Selon DAGNA (2006) Les critères retenus par l'IRAT pour la sélection du violet de Galmi étaient l'amélioration des rendements, celle des qualités de forme et de coloration, de la bonne aptitude de conservation des bulbes et enfin celle de la réduction du taux de floraison de première année. Aussi l'épuration variétale a été faite avec les oignons de la vallée de la Maggia qui répondaient aux critères. A partir des résultats obtenus sur la période de production, selon DAGNA (2006) en 1974, la variété « violet de Galmi » ainsi née se présentait alors comme suit : oignon violet atténué à brun clair, de calibre moyen et homogène dont le cycle végétatif est bouclé au bout de 150 jours, un rendement moyen de

45t/ha pouvant culminer à 60t/ha, une floraison de première année de l'ordre de 31%, une bonne conservation qui est de l'ordre de 91% en 3 mois et 84% en 6 mois.

1.1.3. Généralités sur la salinité des eaux et des sols

1.1.3.1. La salinisation/alcalinisation des sols

1.1.3.1.1. Définition

En général pour certains auteurs, la salinisation regroupe plusieurs mécanismes de dégradation : la salinisation, la sodisation et l'alcalinisation ; bien qu'il s'agisse de phénomènes différents (LACHARME, 2001) qui peuvent être définis de la manière suivante :

- La salinisation

Selon LACHARME (2001) la salinisation est la concentration de sels neutres dans le profil de sol, en quantité suffisante pour affecter ses aptitudes agronomiques : augmentation de la pression osmotique provoquant un stress hydrique de la plante. Dans le cas de la salinisation dite neutre, le devenir du sol n'est pas affecté. En effet, seules les cultures peuvent être affectées en fonction de leur spécificité génétique et/ou physiologique. La structure du sol reste stable.

- La sodisation

Elle est caractérisée par un échange de sodium sur le complexe absorbant des argiles.

- L'alcalinisation

Elle est accompagnée par une élévation du pH du sol sous l'effet de l'accumulation de bases. L'alcalinité totale est la mesure de la concentration totale en carbonates et en bicarbonates de substances telles que le calcium et le magnésium.

La salinisation, la sodisation et l'alcalinisation conduisent à une dégradation et un abandon des terres irriguées si des mesures adéquates ne sont pas prises.

1.1.3.1.2. Origine des sols salés

Ainsi donc pour plusieurs auteurs comme DE FORGES(1972) deux causes majeures. Ce sont :

- La cause naturelle qui est de nature hydrogéochimique liée à l'altération d'une roche mère riche en sel et à la présence d'une nappe peu profonde caractérisée par des remontées capillaires de l'eau. Cette remontée vers les couches superficielles du sol s'accompagne d'une accumulation de sel à la suite de l'évaporation de l'eau. Ce type de salinisation est qualifié de primaire.

- La cause anthropique par laquelle l'Homme à travers l'eau d'irrigation enrichie le sol en sels. En effet toutes les eaux d'irrigation contiennent des sels solubles (US. Agr. Research Service, 1962). Ce type de salinisation est qualifié de secondaire.
- D'autres causes mineures sont souvent citées par les auteurs Comme BENZELLAT (2011). Il s'agit des apports de sels par le vent et par les engrais chimiques utilisés par les producteurs.

1.1.3.1.3. Les sels solubles

Tous les sels plus solubles que le gypse sont considérés comme des sels solubles. Les principaux sont :

Les sels de la série neutre parmi lesquels on a le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de potassium (KCl), le chlorure de calcium (CaCl₂), le chlorure de magnésium (MgCl₂), les sulfates de sodium (mirabilite Na₂SO₄, 10H₂O ou thenardite (Na₂SO₄), les sulfates de magnésium (epsomite, MgSO₄, 7H₂O) et le gypse (CaSO₄, H₂O)

Les sels de la série alcaline tels que le trône (Na₂CO₃, NaHCO₃, 2H₂O) et la nahcolite (NaHCO₃) ou la burkeite : 2Na₂SO₄, Na₂CO₃, les carbonates de magnésium (MgCO₃).

1.1.3.1.4. Méthodes d'évaluation de la salinité et de l'alcalinité

Les sels dissous sont présents dans les solutions aqueuses sous forme d'ions. Ces derniers sont caractérisés par des charges. Aussi plus une solution contient d'ions, mieux elle conduit le courant (REINHARD, 2007). Aussi la méthode la plus commune pour évaluer le contenu total de sels dans l'eau et dans le sol consiste à mesurer la conductivité électrique de l'eau à 25°C (REINHARD, 2007), (FAO 2008), (MONTOROI, 1997).

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio) Quant à lui est utilisé pour prédire la proportion de sodium qui sera adsorbée si on utilise une eau (LEGROS, 2007).

Les paramètres suivants sont utilisés pour décrire les effets de la salinité de l'eau sur les productions et la qualité des sols (BAUDER *et al.*, 2007) : le risque de salinité, le risque de sodicité (proportion relative de sodium par rapport au calcium et au magnésium), le pH, l'alcalinité (carbonates et bicarbonates) et les ions spécifiques (Cl⁻, NO₃⁻, le bore).

Les trois paramètres importants pour apprécier la salinité des sols sont la conductivité électrique, le pH et le SAR.

1.1.3.1.4.1. Mesure de la conductivité électrique et du pH

1.1.3.1.4.1.1. Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique représente la capacité d'une solution à conduire du courant électrique qui représente indirectement la mesure de solides dissous totaux (SDT) dans un échantillon d'eau (REINHARD, 2007).

L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens/cm (S/cm). La conductivité de l'eau est normalement exprimée en microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La relation entre la conductivité et les solides dissous totaux s'exprime comme suit:

$$2 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{ ppm (équivalent à } 1 \text{ mg/l)}$$

La détermination de la salinité d'un sol est basée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous. Selon MONTOROI (1997), la méthode de mesure de la conductivité électrique est la suivante :

Au laboratoire deux méthodes d'extraction du soluté sont utilisées.

- L'extrait dilué

Il ya plusieurs extraits. Mais c'est l'extrait 1/5 qui est généralement utilisé.

Il se fait en utilisant une mesure de sol pour cinq mesures d'eau distillée. Le mélange centrifugé et filtré. La mesure ce fait sur ce filtrat.

- L'extrait de pâte saturée

La méthode nécessite la préparation d'une pâte saturée dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Elle doit être à la saturation complète et de ce fait coulante ;
- Présenter une certaine brillance.

Selon US. Agr.Research Service (1962) la mesure de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol fournit une bonne indication de la concentration du sol en sels solubles.

1.1.3.1.4.1.2. Mesure du pH

Elle est faite à l'aide d'un pHmètre muni d'électrode en verre. Sa détermination se fait par simple lecture de l'appareil une fois l'électrode plongée dans l'extrait dilué de l'échantillon de sol. Les rapports sol/eau peuvent par exemple être de $\frac{1}{2,5}$.

1.1.3.1.4.2. Analyses chimiques

Il s'agit du dosage des cations et anions contenus dans le sol, du pourcentage de sodium échangeable, et du SAR.

En général pour analyser les sels solubles dans le sol, on procède au dosage de l'extrait salin.

Il s'agit précisément de procéder au dosage du :

- Na^+ et K^+ au spectromètre à émission ;
- Ca^{++} et Mg^{++} au spectromètre à absorption atomique ;
- Cl^- par la méthode argentométrique ;
- SO_4^- par gravimétrie ;
- CO_3^- et HCO_3^- par titrimétrie à l'acide sulfurique.

1.1.3.1.4.3. Détermination du pourcentage de sodium échangeable et du SAR

Selon US. Agr. Research Service (1962), le pourcentage de sodium échangeable est la fraction de sodium contenue dans le sol est qui est adsorbée par celui – ci et qui peut être remplacée ou échangée par d'autres constituants comme le calcium et le magnésium. Il est donné par la formule suivante :

$$\text{ESP (\% de Na échangeable)} = \frac{\text{Na}^+}{\text{CEC}} \times 100$$

Où Na^+ est la concentration de la solution en Na^+ et CEC la capacité d'échange cationique

Le SAR est le rapport de la concentration en sodium à la racine carrée de la moitié de la somme des concentrations en calcium et en magnésium. En fonction du pH et de la conductivité électrique ces données permettent de classer les sols ou l'eau d'irrigation.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

1.1.3.1.4.4. Normes d'interprétation des analyses de laboratoires

L'interprétation des résultats d'analyse se fait par comparaison avec des échelles de salinité.

Les échelles les plus utilisées sont représentées par celle établie par l'US Salinity Laboratory Staff en 1954.

Tableau I : Echelle de salinité en fonction de l'extrait de pâte saturée (USSLS, 1954)

CE (dS/m à 25°C)	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 20	➤ 20
Classe de salinité	Sol non salé	Faiblement salé	Moyennement salé	Fortement salé	Extrêmement salé

Source: BELLA, 2001

Tableau II : Sodium Adsorption Ration en degré d'alcalinisation (SERVANT et SERVAT, 1966)

SAR	< 4	4- 8	8- 12	12 -18	➤ 18
Degré d'alcalinité	Pas d'alcalinisation	Faible alcalinisation	Alcalinisation moyenne	Alcalinisation forte	Alcalinisation intense

Source: BELLA, 2001

1.1.3.1.5. Conséquences de la salinité et de l'alcalinisation sur les propriétés physiques et chimiques du sol

La salinité, la sodicité et l'alcalinisation entraîne un dysfonctionnement hydrique suite à une détérioration des caractéristiques physiques des sols qui conduit à une sécheresse édaphique (MINKO et VALET, 1998) et par conséquent à une baisse progressive de la productivité des sols. En fonction de leur teneur en sels et de leur état, on distingue plusieurs classes de sols selon DUCHAUFOR (1983) cité par BELLA (2001) parmi lesquelles :

- Sols à complexe sodique ou alcalin (Solonetz) caractérisés par une conductivité électrique ne dépassant pas 4 dS/m, un pH > 8,5 et une quantité de sodium à 15% du CEC
- Sols salins à complexe calcique (Solontcheks) caractérisés par une conductivité électrique < 4,5 dS/m dans les horizons de surface, 15 dS/m dans les horizons inférieurs selon la texture, un pH < 8,5 et une quantité de sodium qui ne fait pas 50% des cations en solution.

1.1.3.1.6. Effets de la salinité sur les plantes

1.1.3.1.6. 1. Effets nutritionnels et physiologiques de la salinité sur les plantes

La salinité à des niveaux élevés cause des stress hyper ioniques et des stress hyper osmotique chez la plante (HASANUZZAMAN, 2013).

La plante réagit à la salinité en deux phases : une phase rapide, (phase osmotique) qui inhibe la croissance des jeunes feuilles et une phase lente (phase ionique) qui accélère la sénescence des feuilles matures (MUNNS et TESTER, 2008). Ainsi donc les effets du stress salin sur la plante se manifestent en deux temps: une phase rapide liée à une élévation de la pression osmotique. Au cours de cette phase des difficultés d'alimentation hydriques se posent à la plantes. Ensuite une phase lente liée à l'effet d'ion spécifique toxique pour la plante. Selon FRANCOIS et MAAS (1999), sur les sols salins, les sels sont des mélanges. Les effets spécifiques d'un ion sont faibles et c'est l'effet osmotique qui domine. Selon IVANA et ZARKO (2012) la principale cause de la baisse de la croissance de la plante en présence de sel est le stress hydrique. Le résultat de ces effets peut causer: des dommages membranaires, un déséquilibre nutritionnel, une altération du niveau des régulateurs de croissance, une inhibition des enzymes, un dysfonctionnement du métabolisme incluant la photosynthèse (HASANUZZAMAN *et al* (2012). Beaucoup d'effets négatifs de la salinité sont causés principalement par les ions sodium et chlorure au niveau de la plante. Ces ions produisent les conditions décisives de survie de la plante par l'interception de plusieurs mécanismes physiologique (HASANUZZAMAN *et al*, 2013). Plusieurs auteurs comme YUNCAI et SCHMIDALTER (2005) ont montré qu'il existe une compétition entre le sodium et le potassium, le calcium et entre l'ion chlorure et les nitrates. En effet des concentrations élevées de sodium dans la solution du sol réduisent les concentrations de K^+ et de Ca^{++} dans les tissus de beaucoup d'espèces végétales (HU et SCHMIDALTER, 1997). En conséquence plusieurs processus enzymatiques sont perturbés dans le cytoplasme (TESTER et DAVENPORT, 2002).

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent donc une altération de la nutrition minérale des plantes (LEVIGNERON ,1995). Cette altération de l'alimentation de la plante se manifeste par un déséquilibre nutritionnel et une augmentation de la pression osmotique dans la rhizosphère.

Selon COUPIN cité par GEORGE. (1957) les sels moyennement toxiques sont: les sulfates de sodium et de magnésium et le chlorure de magnésium alors que les faiblement toxiques sont : les carbonates et nitrate de sodium, les chlorures de sodium, de potassium et d'ammonium et le sulfate de potassium.

Aussi ce qui est important pour la plante c'est plutôt le rapport qui existe entre les espèces ioniques qui composent la solution du sol et non l'importance en terme de quantité de chaque ion spécifique (GEORGE, 1957).

Selon Bernstein et Ayers (1953) cité par SHANNON et GRIEVE (1999) la salinité entraîne chez l'espèce *Allium cepa* une perte de rendement de 50% à partir de 4,1 mS/cm, une diminution du diamètre du bulbe, du poids du bulbe, de la taille des racines, de la taille des plants et du nombre de feuilles par plant. Il est cité également une coloration bleu-verte des feuilles. Ces mêmes auteurs ont rapporté une maturation précoce d'une semaine chez l'oignon. Selon SHANNON et GRIEVE (1999) le stade le plus sensible est compris entre la germination et le stade 3-5 feuilles.

Aussi un excès de salinité provoque un rabougrissement de la plante et une diminution de la grosseur des fruits, un flétrissement, une nécrose et la mort de la plante à travers la toxicité et/ou la carence. Il a également été montré que l'addition d'eau salée pendant la fructification améliore le taux de sucres et les composants solides et solubles chez le melon et la tomate. Ce qui augmente leur qualité marchande (SHANNON et GRIEVE, 1999).

1.1.3.1.6. 2. Adaptation des plantes à la salinité

Selon HANANA *et al* (2009) conséquemment au stress les cellules essaient d'ajuster leur potentiel hydrique par homéostasie ionique via la compartimentation vacuolaire et/ou l'exclusion des ions Na^+ et Cl^- . Si cela s'avère insuffisant, la plante procède par la synthèse de composés osmoprotecteur. Selon LEVIGNERON *et al* (1995) pour les plantes dites Excluser vis-à-vis du sodium comme l'oignon, ce dernier est véhiculé dans les feuilles et réexporté vers les racines via le phloème. Il s'agit en général de plantes sensible au NaCl. A l'inverse, les plantes tolérant au NaCl sont dites «inclure» car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na^+ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel. Selon CLAUDE *et al* (2011) d'après leur capacité d'adaptation au milieu on distingue entre autres les plantes calcicoles qui se développent sur terrain calcaire, les calcifuges qui se développent sur terrain siliceux, les halophiles ou halophytes qui fréquentent les sols salés (halomorphes) chargés en chlorure de sodium (accessoirement d'autres sels) et les glycophytes qui poussent sur des sols doux (non salés) la plupart des plantes d'intérêt économique font partie de ce groupe.

Les halophytes sont caractérisés par une morphologie et une structure adaptés (cuticule épaisse, stomates rares), un tissu à pression osmotique très élevée grâce à l'épictèse, la synthèse de composés osmoprotecteurs proline...), une résistance interne à l'intoxication par le chlorure de sodium et un barrage limitant la pénétration.

1.1.3.1.7. Traitement et gestion de la salinité et de l'alcalinisation

Plusieurs études orientées sur les méthodes de réhabilitation des sols salins, sodiques et alcalins ont testé plusieurs techniques au nombre desquelles :

- Des traitements physiques tels que le labour en profondeur et le sous-solage principalement pour les sols sodiques et alcalins qui donnent souvent de bons résultats (US. Agr. Research Service, 1962). Cependant des expérimentations menées au Niger sur des sols affectés par l'alcalinisation ont révélé un faible succès des mesures physiques de réhabilitation des sols dégradés (MARLET, 1992) ;
- Des traitements biologiques portant sur l'utilisation d'espèces végétales (*Echinochloa stagnina*) permettant une amélioration des caractéristiques physiques des sols affectés à travers une réduction de l'alcalinité de l'ordre de 50 à 60% (BARBIERO, 1995) ;
- Des traitements chimiques utilisant divers types d'amendements tels que le gypse, le soufre et même de l'acide sulfurique à 95% (US. Agr. Research Service, 1962). Ces amendements ont pour but de remplacer le sodium qui est en excès sur le complexe par d'autres cations comme le calcium ;
- Le lessivage et le drainage font l'unanimité de tous les auteurs. En effet le drainage permet de récupérer entièrement les sols salins. Il est utilisé efficacement sur les sols sodiques après apport d'amendement (US. Agr. Research Service, 1962).
- L'épandage de la fumure organique en favorisant l'adsorption des cations en plus dans la solution du sol jouerait aussi un rôle important dans l'amélioration des sols salés. (BENZELLAT, 2011).

1.1.3.1.8. Discussion partielle

Les études menées dans le cadre de la compréhension sur les effets de la salinité sur les plantes en général et sur les plantes cultivées d'importance économiques ont permis d'avoir beaucoup de résultats certes, mais ces études ont été menées soit au laboratoire soit dans les centres de recherche et contrôlant un certain nombre de paramètres tels que la quantité de sel, le type de sels et l'espèce. Généralement dans le cadre des études sur le stress salin, il est utilisé du NaCl ou bien du CaCl₂ etc. C'est pourquoi pour nous ces résultats sont encore partiels et utiles en partie pour les producteurs concernés. L'étude des effets de la salinité sur

une culture donnée doit être faite en relation avec le contexte hydrogéochimique dans lequel se fait la production. C'est - à- dire en travaillant avec l'eau de la nappe et/ou le sol du site.

En outre les paramètres pris en compte dans la plupart des études (dimension des racines, quantité de matière sèche etc) ne servent pas la cause du producteur qui a besoin d'informations visuelles qui lui permettra d'intervenir précocement.

Par ailleurs malgré que peu de variation génétique ait été détectée en ce qui concerne le comportement de l'espèce *Allium cepa* en milieu salin, il est indispensable pour des pays producteurs comme le Niger que les investigations se poursuivent. En effet l'essentiel des expérimentations dans le domaine a porté sur des variétés européennes où américaines telles que : Yellow sweet espagnol, Texas Early Grano, San Joaquin, Cristal Wax et Excel. Les variétés sahéliennes n'ont pas encore été étudiées. En ce qui concerne les écotypes locaux du Niger tels que le violet de galmi, le blanc de galmi, le blanc de Soumarana, aucune étude sur le stress salin n'a encore été faite.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Présentation de la zone et des sites d'étude

La zone d'étude est située dans la région de Tahoua et plus précisément dans le département de Tahoua. La région de **Tahoua** au Niger couvre une superficie de 113 317 km². Elle est limitée au nord par la région d'Agadez, au nord-ouest par la République du Mali, à l'ouest par les régions de Tillabéri et Dosso, à l'est par la région de Maradi, et au sud par la République fédérale du Nigeria. Le Département de Tahoua est situé entre 14° 53' 00" Nord , 5° 15' 52" Est et 14° 53' 00" N , 5° 15' 52" E. Les sites d'étude sont situés dans la partie Est du département de Tahoua et plus précisément dans la commune rurale de Kalfou. Ces sites d'études sont constitués par la vallée de Akoukou dont les coordonnées sont **14,992075°N, 5,569579 °E** et la vallée de Toudouni dont les coordonnées sont : **14,726815°N, 5, 458243° E**.

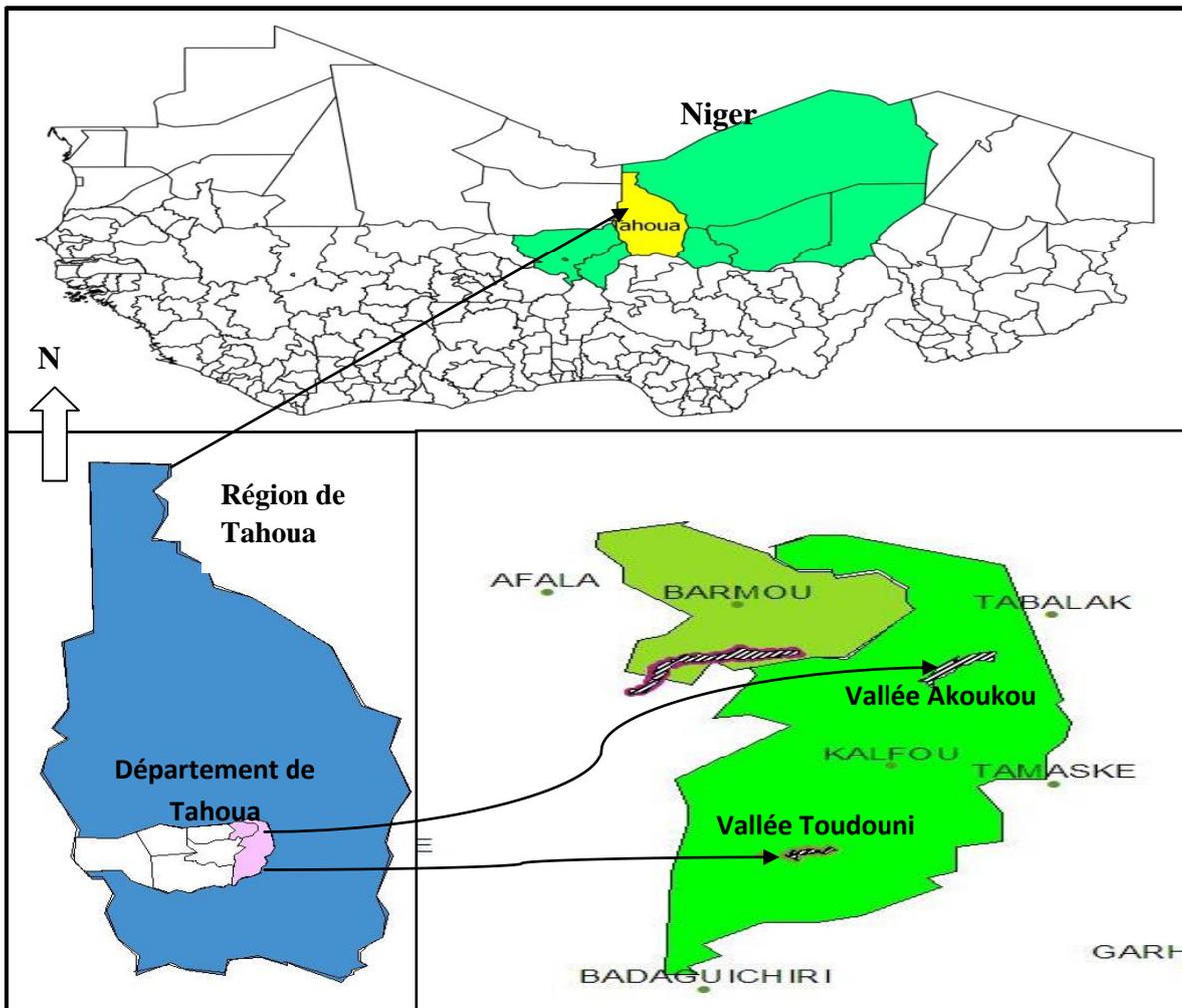


Figure 3 : Carte de la zone d'étude

Source : Hassane, 2013

II.2. Justification de la zone d'étude

La zone d'étude comprend le site de Toudouni et celui de Akoukou. Il s'agit de sites maraîchers où le problème de salinisation a été observé pour la première fois dans le département de Tahoua. L'ensemble de la zone d'étude fait 33 063 habitants. Cette population est composée de Haoussa et de Touareg en majorité qui s'adonnent à l'agriculture, l'élevage et le commerce. L'exode est également fréquent dans cette zone.

II.3. Situation climatique

La figure 3 montre pour les deux sites que la période sèche est plus longue que la période humide. L'évaporation bac varie de à pour l'année 2013. L'humidité minimale varie de 17,2 % en mai à 52,2% en août, l'insolation de 8,2 en mai à 6,1 en août. Quant à l'évaporation elle varie de 435 m/m en mai à 218 m/m. Enfin la tension de vapeur varie de 17,5 HPa en mai à 25,3 en août.

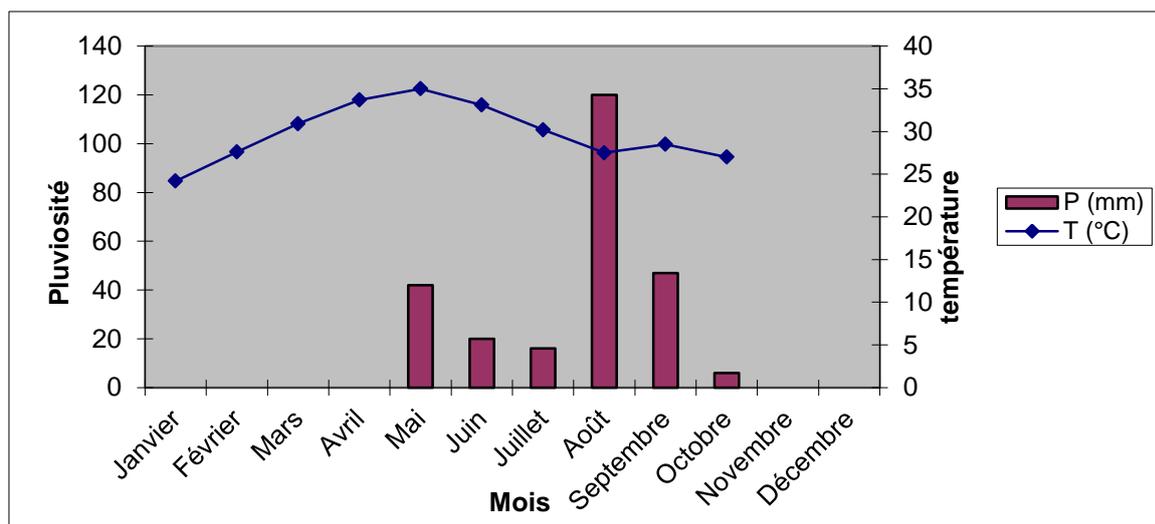


Figure 4 : de la commune de Kalfou

II.4. Cadre géologique

Au plan géologique, la zone d'étude est située au centre du bassin des Iullemendens. Ce bassin sédimentaire identifié en 1931 par Radier selon (FAUQUET, 2005) s'étend sur environ 1100 km en direction nord-sud et 800 km en direction Est-Ouest. Il couvre toute la partie occidentale du Niger, déborde sur le Mali, le Bénin et le Nigeria. Au nord, il est limité par le hogar et ses annexes méridionales, l'aïr et l'Adrar des Ifogas. Il comprend dans son intégralité des formations qui datent du primaire au tertiaire. Enfin sa mise en place est caractérisée selon GREIGERT (1966) par des phases de transgression/regression marines et des phases continentales. Aussi on en distingue essentiellement deux types de formations :

-Les formations transgressives/régressives du crétacé supérieur au paléocène consistant en des dépôts marins de marnes gypsifère ou sableuse), des calcaires dolimitiques et des dépôts de gypse provenant des régressions marines.

-Les formations du continental terminal d'âge éocène où mio-pliocène constituées en séries intercalées d'épaisseur variable. Dans le bassin des iullemenden, le continental affleure sur 90000 km² et sa puissance peut atteindre 300 m (DIDIER DE SAINT-AMAND, 1967)

Le continental terminal comprend les formations suivantes :

- Le CT1 qui est la série sidérolithique de l'Ader qui est la plus ancienne ;
- Le CT2 qui est une série argilo sableuse à lignite ;
- Le CT3 qui est composé des grès argileux du moyen Niger qui sont assez homogènes du point de vue minéralogique (kaolinite, quartz et goethite). Les sols ferrugineux tropicaux sont issus de cette formation.

Les matériaux du Continental terminal présentent en surface une induration de type kaolinique sous forme de carapace cuirassée dont l'épaisseur moyenne ne dépasse pas 1m.

Selon GREIGERT et POUUNET (1965) et à travers (annexe 1), la zone de Toudouni est caractérisée par les formations géologiques suivantes :

- CT1 qui affleure au sommet des plateaux et des collines qui se situent de part et d'autres de la vallée ;
- Des zones à operculinoïdes et à lockartia datant probablement du paléocène qui bordent le CT1 ;
- Des formations rocheuses datant du sénonien supérieur ;
- Et des formations quaternaires constituées par des produits de comblement de la vallée.

La vallée de Akoukou quant à elle est caractérisée par les formations suivantes :

- CT1 qui affleure au sommet des plateaux et des collines qui se situent de part et d'autres de la vallée ;
- Des zones à operculinoïdes et à lockartia datant probablement du paléocène qui bordent le CT1 ;
- Des formations rocheuses datant du sénonien supérieur ;

- Des dunes datant du quaternaire de part et d'autre de la vallée ;
- Et des formations quaternaires constituées par des produits de comblement de la vallée.

Selon HANON (1979-1981) (annexe 2), la zone de Toudouni est caractérisée par les formations suivantes:

- Des dépôts quaternaires constitués par les alluvions du fond de la vallée, des produits mixtes provenant du ruissellement et des dépôts éoliens constituant le haut glacis, les colluvions qui sont des produits de démantèlement des horizons indurés, des éboulis de pente et les dépôts dunaires;
- Les formations rocheuses appartenant à la formation de Gradaoua caractérisée par des couches datant de l'éocène inférieur dominées par la présence de schiste papyracé entre autres et des couches datant du paléocène dominées par la présence de calcaires blancs, homogène, durs, argileux, crayeux, noduleux et à la base par des shistes papyracés et des argiles gris – bleu. Cette formation est surtout caractérisée par la présence d'une abondante faune marine.
- Selon l'auteur ces roches à partir de 100 m de profondeur appartiennent à la formation de In wagar caractérisée par la présence entre autres d'argiles et d'argilites, de silts, de gypse etc. cette formation date du crétacé.
- Plus au sud au-dessus de la formation de Gradaoua, affleure la formation sidérolithique de l'Ader Doutchi ou le CT1. Au nord au sommet des dunes, on le retrouve sous forme de but témoins au dessus de la formation de Gradaoua qui apparait sous forme de cordons.

Au niveau de la zone de Akoukou, on retrouve à peu près les mêmes formations géologiques de part et d'autres de la vallée. L'essentiel des formations rocheuses en lien avec la vallée se localise sur la rive droite et principalement au niveau du village de Adernagatt. Ainsi donc on peut observer du sommet des dépôts au fond de la vallée et de droite à gauche :

- la formation sidérolithique de l'Ader Doutchi ou le CT1 ;
- la formation de Gradaoua ;
- la formation de In wagar ;

- les dépôts quaternaires dont les dépôts dunaires, les colluvions, des produits mixtes provenant du ruissellement et des dépôts éoliens constituant le haut glacis et les alluvions du fond de la vallée.

La découverte de nombreux fossiles d'échinodermes communs aux deux zones nous permet de supposer l'existence de formations datant du céno-manien.

II. 5. Types de sols et végétation

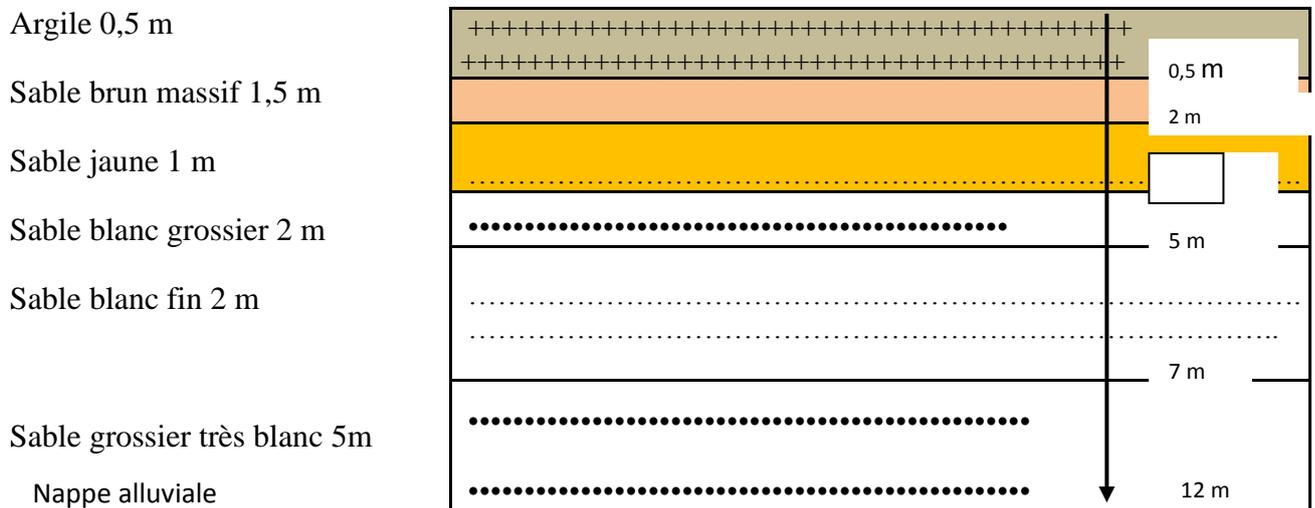
Selon GAVAUD et BOCQUER (1964) sur le site de Toudouni on a les types de sols suivants: les alluvions, les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, les sols minéraux brut d'apport, des sols calcimorphes au niveau des buttes témoins. Au niveau du site de Akoukou, on a des alluvions, des sols dunaires en majorité. En ce qui concerne le couvert végétal, il est composé de: *Balanites aegytiaca*, de *Piliostigma reticulatum*, de *Guiera senegalensis*, de *Fedherbia albida*, *Acacia nilotica*, d'accacia , *Zizyphus mauritiana*, *Acacia seyal*, *Acacia raddiana*, *Prosopis juliflora* et *Boscia senegalensis*. Le couvert herbacé est constitué de plusieurs espèces annuelles dont *Cenchrus biflorus*.

II. 6. Nature lithologique des sites au niveau des parcelles étudiées

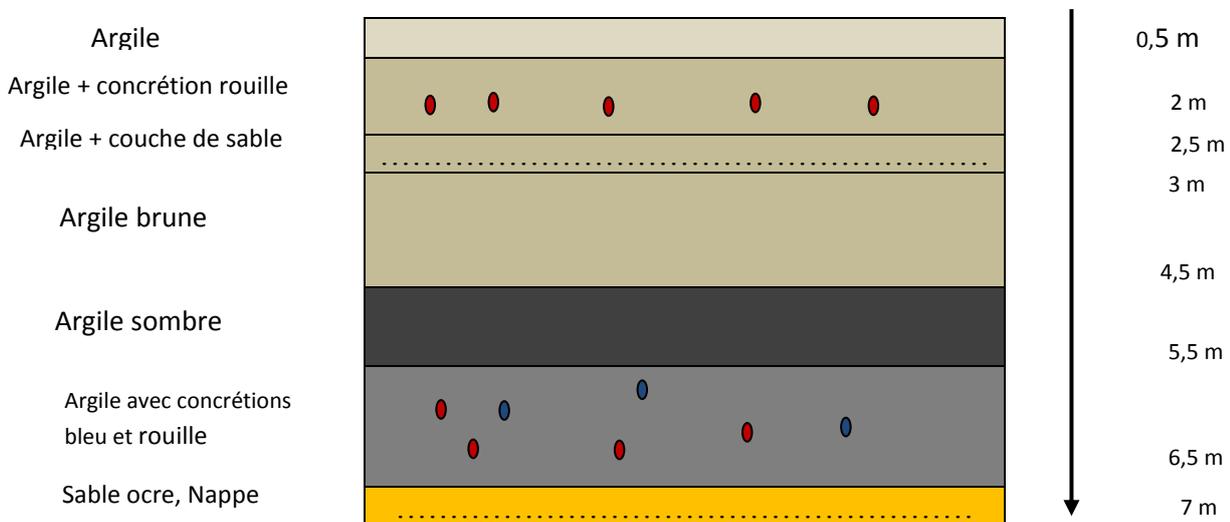
Les sondages effectués au niveau des deux sites principalement dans les vallées ont donné les observations suivantes.

A toudouni, la nappe alluviale est captée à une profondeur variant entre 6 et 7 m de l'aval vers l'amont. La lithologie est constituée par une succession de couches d'argile et de sable fin. Tandis qu'à Akoukou, la nappe est pratiquement captée à une profondeur de 12 m. La lithologie est constituée par la succession de couches sableuses de couleur et de tailles différentes. La couche superficielle étant de l'argile. Les coupes géologiques suivantes illustrent l'ordre lithologique des couches de la surface à la nappe.

Site de Akoukou



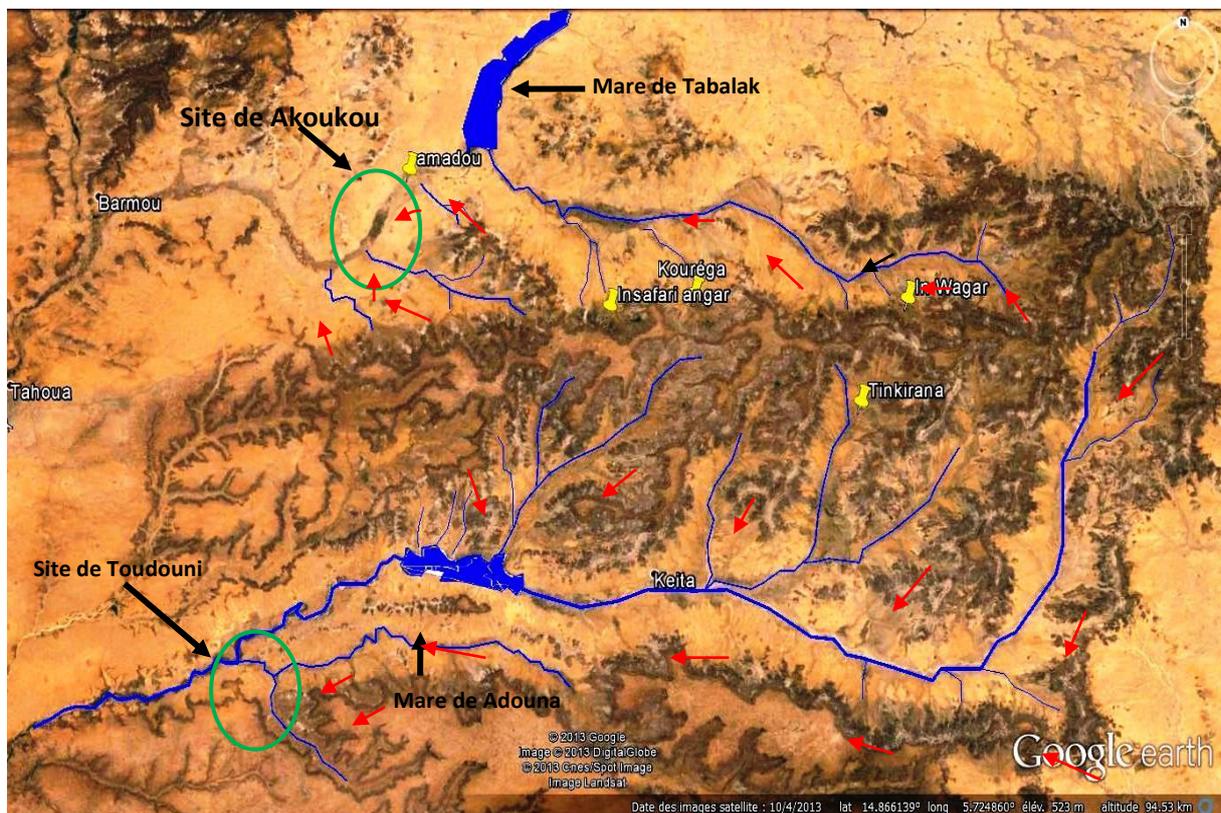
Site de Toudouni



II.7. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique (Photo1) montre que les vallées objets de notre étude sont alimentées à partir des eaux collectées au niveau des sous bassins versants de l'Ader Doutchi dont les plateaux fonctionnent comme un vaste impluvium. Ces derniers sont entaillés par de petits réseaux hydrographiques qui alimentent au sud la vallée de Keita, remplissent la mare de Adouna et passent par la vallée de Toudouni avant de poursuivre leur chemin. Plus au nord, ces réseaux alimentent la mare de Tabalak et la vallée de Akoukou. Le réseau qui alimente la mare de Tabalak prend sa source dans les formations de In Wagar vue précédemment du nom du village voisin de In wagar dont elles portent le nom. Cette zone est très gypsifère.

Photo 1: Réseau hydrographique de la zone d'étude



-  Talus des buttes de l'Ader Doutchi
-  Mares
-  Sens de l'écoulement des eaux
-  Réseau hydrographique

**Deuxième partie : Effets de la salinisation et de la
l'alcalinisation sur la production du Violet de Galmi dans
les vallées de Akoukou et de Toudouni**

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Les matériels d'étude

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé, les producteurs, le sol et l'eau de la nappe alluviale des vallées. Le matériel végétal étudié est l'oignon pour lequel nous avons choisi trois variétés : l'écotype local qui est le Violet de Galmi et deux variétés introduites d'Asie qui sont Prema et Yali.

III.2. Perception paysanne de la salinité

Afin d'appréhender la perception paysanne de la salinité et ses effets sur la production du Violet de Galmi, nous nous sommes entretenus en marge des opérations de sondage avec les producteurs sur les deux sites.

III.2.1. Matériel de travail

Pour bien conduire les entretiens, nous avons utilisé comme matériel de travail un guide d'entretien (Annexe 4). Ce guide porte sur les aspects suivants:

- Identification du producteur incluant sa localisation sur les toposéquences et le nombre d'années d'expérience;
- Les spéculations produites incluant les quantités produites sur 4 années successives;
- L'évolution des caractéristiques du sol et de l'eau;
- Le système d'irrigation pratiqué;
- Les pratiques agricoles; et
- Le comportement des cultures.

III.2.2. Echantillonnage et choix des producteurs

Les producteurs concernés par les entretiens sont ceux qui sont situés sur les toposéquences étudiées. Il n'y a pas de taille fixée pour l'échantillon. En effet le fait qu'un producteur peut fournir les informations sur toute la toposéquence compense l'indisponibilité des producteurs qui est fréquente en hivernage. Au total 30 producteurs à A Toudouni et 20 à Akoukou ont été interrogés.

III.2.3. Conduite des entretiens

Les entretiens sont individuels. Mais certaines réponses sont vérifiées chez les autres enquêtés. Les entretiens sont conduits sur les toposéquences et sont complétés par des observations directes sur les parcelles.

III.3. Caractérisation des sites de production et de l'eau de la nappe

III.3.1. Dispositifs et techniques de collecte des échantillons

Pour apprécier le niveau de salinité et d'alcalinité du sol et de l'eau sur les sites, nous avons adopté une démarche toposéquentielle. Ce choix a été fondé sur le fait qu'en zone tropicale les sols s'organisent en motifs répétitifs selon la toposéquence (BRABANT, 1989). Nous avons placé alors 3 toposéquences au niveau de chacune des vallées de Akoukou et de Toudouni.

Sur chaque toposéquence, nous avons placé en fonction de l'unité paysagique comme le montre la figure 1, une parcelle de travail avec 3 sous parcelles par toposéquence.

Au niveau de chaque sous parcelle, nous avons prélevé 20 échantillons de sols selon un itinéraire en zigzag et à 2 profondeurs différentes: 10 échantillons à la profondeur de 0 – 20 cm et 10 autres à 20 – 40 cm. Pour chaque sous parcelle, les 10 échantillons de la même profondeur ont été mélangés en un composite unique. Ce qui fait six (6) échantillons composites par parcelle et un total de 18 échantillons composites par vallée.

Sur chaque parcelle du fond de la vallée, il a été prélevé un échantillon d'eau au niveau de la nappe alluviale:

Sur la parcelle où sont prélevés les échantillons de sol, nous avons réalisé, à l'aide d'une tarière manuelle, un forage de diamètre 140 mm et de profondeur variable selon la toposéquence. En effet les profondeurs de la nappe varient d'une position à l'autre dans les vallées. Les profondeurs des forages sont de 6 m pour la toposéquence 1 et de 7 m pour la toposéquence 2 pour la vallée de Toudouni et de 12 m pour toutes les toposéquences de Akoukou.

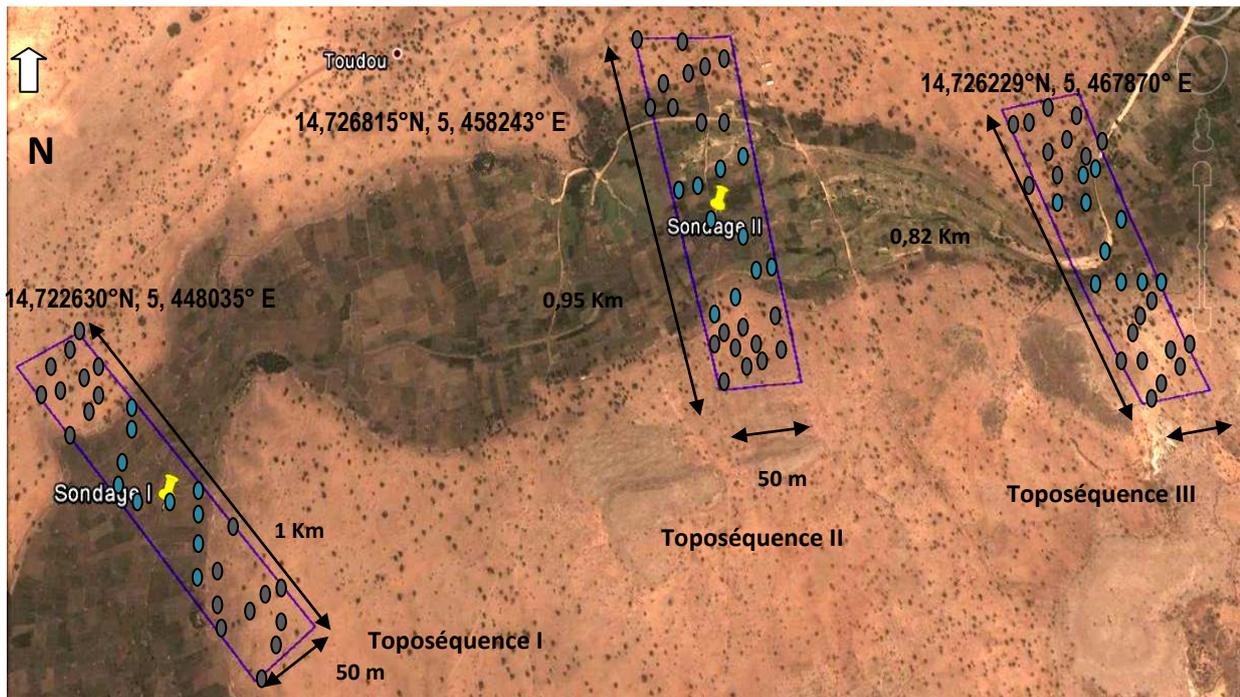
A l'aide d'une motopompe, on prélève dans chaque forage 5 litres d'eau. Puis un seul litre d'eau est retenu comme échantillon pour l'analyse. Pour le site de Toudouni, seuls 2 forages ont pu être effectués vu l'indisponibilité des foreurs et le problème d'accès au site. Sur le site de Akoukou, 5 échantillons ont été prélevés (Figure 1). Les échantillons d'eau ont ensuite été emballés dans des cartons afin d'être protégés de la lumière et des variations de températures puis envoyés au laboratoire le lendemain pour analyse.

Pour faire la lithologie des parcelles, afin de reconstituer les différentes couches traversées par les eaux de surface, à chaque changement de couleur ou de texture, un échantillon est prélevé et la profondeur est notée. Cette opération est faite pour chaque couche jusqu'à l'aquifère.

Par ailleurs, dans une perspective d'identification des sources des sels, des prélèvements d'échantillons ont été effectués dans les roches voisines. Les échantillons ont été prélevés selon un itinéraire linéaire sur les formations rocheuses à la profondeur 0-20 m et à la tarière manuelle. Trente (30) échantillons élémentaires ont été mélangés pour former un composite unique soumis aux analyses de laboratoire.

Pour préciser la nature des sels, des prélèvements d'échantillons d'efflorescences salines ont également été effectués. Ces prélèvements ont été faits sur les parcelles selon les toposéquences à la profondeur 0-20 cm. Ainsi au total 30 échantillons élémentaires ont été mélangés pour former un seul échantillon composite.

a) Site de Toudouni



b) Site de Akoukou

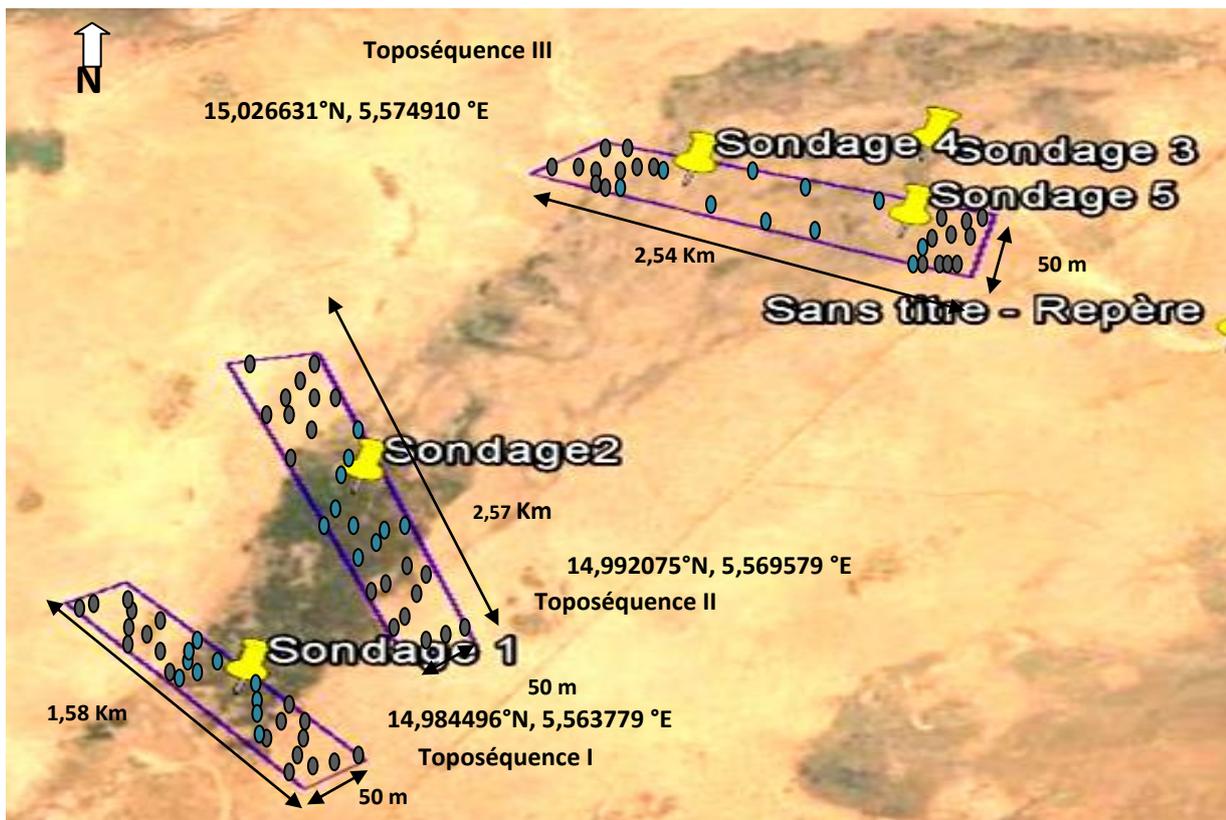


Figure 5 : Schéma du dispositif de prélèvement des échantillons de sols au niveau des vallées Les Petits cercles au niveau des parcelles de travail représentent les points de prélèvement des échantillons

III.3.2. Analyses chimiques des échantillons

III.3.2.1. Analyse chimique du sol des vallées

Les analyses chimiques des 6 échantillons composites par vallée ont porté sur les éléments suivants:

III.3.2.1.1. La conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique, a été effectuée sur un extrait dilué 1/5 à l'aide d'un conductimètre IF91 au laboratoire de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey. La méthode utilisée est la suivante :

- Les échantillons sont broyés et tamisés avec un tamis de 2 mm d'abord.
- L'extrait est préparé avec 20 g de sol dilué dans 100 ml d'eau distillée.
- La solution est mélangée pendant 2 heures sur un agitateur à 35 tours minutes.
- Elle est ensuite centrifugée à 3000 tours minute pendant 20 minutes puis filtrée sur un papier filtre watman 42.
- La mesure de la conductivité est faite par lecture directe du conductimètre en plongeant l'électrode dans l'extrait. Les mesures sont ensuite ramenées à 25°C.

III.3.2.1.2. Dosage de l'extrait salin

Pour chaque échantillon, les cations et les anions suivants ont été dosés par les méthodes suivantes :

- ✓ Na⁺ et K⁺ dosés au spectrophotomètre à flamme ;
- ✓ Les Cl⁻ par la méthode argentométrique de Mohr : précipitation des ions Cl⁻ sous forme de AgCl en présence de AgNO₃ ;
- ✓ SO₄⁻ et NO₃⁻ : par le spectrophotomètre DR 2010 ;
- ✓ Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ CO₃⁻ et HCO₃⁻ : par titrimétrie digital à l'acide sulfurique. Les carbonates sont dosés en présence de phénolphtaline, les bicarbonates sont titrés de la même façon mais en présence de méthylOrange.

III.3.2.1.3. Mesure du pH

La mesure du pH eau a été faite à l'aide du conductimètre multifonction et d'un pH mètre au laboratoire de la Faculté d'Agronomie.

III.3.2.2. Analyse des échantillons d'eau

Les analyses des échantillons d'eau ont été faites au Laboratoire Régional de l'Hydraulique de Dosso. Elles ont porté sur :

- La mesure de la conductivité électrique et du pH
- Le dosage des cations et des anions suivants:
 - Na^+ et K^+ dosés au spectrophotomètre à flamme ;
 - Les Cl^- par la méthode argentométrique de Mohr : précipitation des ions Cl^- sous forme de AgCl en présence de AgNO_3 ;
 - SO_4^{2-} : par le spectrophotomètre DR 2000 ;
 - Ca^{++} , Mg^{++} , CO_3^- et HCO_3^- : par titrimétrie digital à l'acide sulfurique. Les carbonates sont dosés en présence de phénolphthaline, les bicarbonates sont titrés de la même façon mais en présence de méthylOrange.

III.3.2.2.3. Méthodes d'analyse et d'interprétation des résultats

Nous avons effectué des analyses de corrélations et des tests de khi deux afin de voir si les paramètres étudiés du sol et ceux de l'eau sont liés et/ou évoluent ensemble. Des tests de Student Newman Keuls ont aussi été utilisés pour comparer les moyennes. Pour apprécier le niveau de salinité, nous avons utilisé l'échelle de Riverside (1954). Pour apprécier l'alcalinité, nous avons comparé les pH du sol et de l'eau, calculé le SAR (Sodium Adsorption Ratio) et utilisé le logiciel Diagramme pour calculer l'alcalinité résiduelle calcite et le Residual Sodium Carbonate (RSC). Nous avons également fait des diagrammes tels que le diagramme de Piper pour le faciès de l'eau, le diagramme de Stabler pour l'alcalinité et le diagramme de Riverside. Nous avons enfin utilisé le logiciel Diagramme pour calculer l'indice de saturation de l'eau par rapport à certains minéraux tels que le gypse, l'aragonite, l'anhydrite et la dolomite. Les analyses statistiques ont été faites avec Excel Office2007 et SPSS 12.0.

III.4. Identification des effets de la salinité sur la croissance du violet de galmi

III.4.1. Matériel végétal

Il est composé de trois variétés d'oignon qui sont le Violet de Galmi, le Yali et le Prema.

Les plants sont prélevés dans les pépinières au stade 2 feuilles. Ils ont tous une tige dont la taille est de un (1) cm.

III.4.2. Autres matériels

Pour l'expérimentation, nous avons utilisé du sol pour le remplissage des pots plastiques et de l'eau de la nappe pour l'arrosage des plants. Les caractéristiques de ces deux matériaux sont présentées dans le tableau III:

Tableau III: Caractéristiques physico-chimiques du sol et de l'eau de la nappe

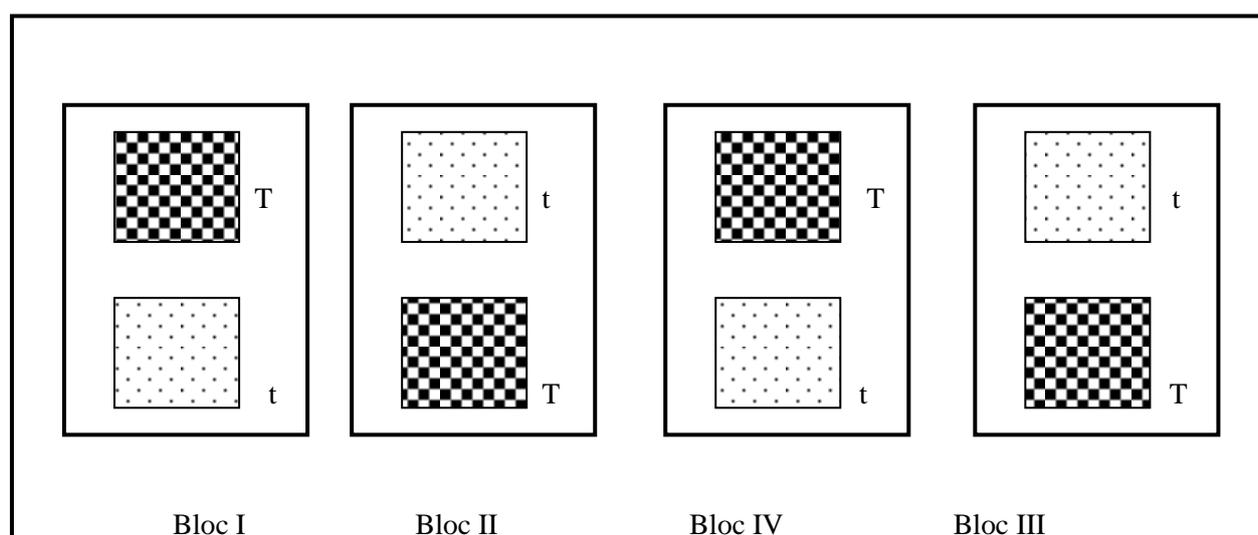
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Ce en mS/cm	pH
Sol	33,8	11	1,1	1,06	9	1,04	1,87	11,54	0,82	2,6	7,52
Eau	26,43	8,56	0,266	16,791	1,015	7,92	0	47	-	4,3	7,65

III.4.3. Méthode de travail

Pour déterminer les réponses du Violet de Galmi au stress salin, nous avons mis en place deux dispositifs expérimentaux :

Dispositif 1: Il a pour but de déterminer le comportement du Violet de Galmi en condition saline. Il est composé de deux parcelles de Violet de Galmi soumises à deux niveaux de salinité différents. Ces parcelles ont été disposées au hasard dans des blocs répétés quatre fois (Figure 6).

Le traitement salin est constitué d'un sol de 2,6 mS/cm et eau de 4,3 mS/cm. Le témoin est constitué par un sol de 0,6 mS/cm et de l'eau de robinet.



T= traitement salin avec sol de 2,6 mS/cm et eau de 4,3 mS/cm

t = traitement témoin avec sol de 0,6 mS/cm et eau de robinet

Figure 7: Schéma du dispositif expérimental d'étude du comportement sous stress salin de l'oignon

Dispositif 2: Son but est de comparer la réponse du Violet de Galmi à celle des variétés asiatiques Yali et Prema dans l'optique d'en proposer la plus tolérante à la salinité pour les parcelles abandonnées. Il était constitué de 4 blocs complètement randomisés (Figure 6). Chaque bloc comportait une parcelle de Violet de Galmi, une parcelle de Yali et une parcelle de Prema disposées au hasard.

Le traitement salin appliqué est constitué d'un sol de 2,6 mS/cm et d'une eau de 4,3 mS/cm de conductivité électrique. Dans ce dispositif les traitements sont constitués par les variétés d'oignon.

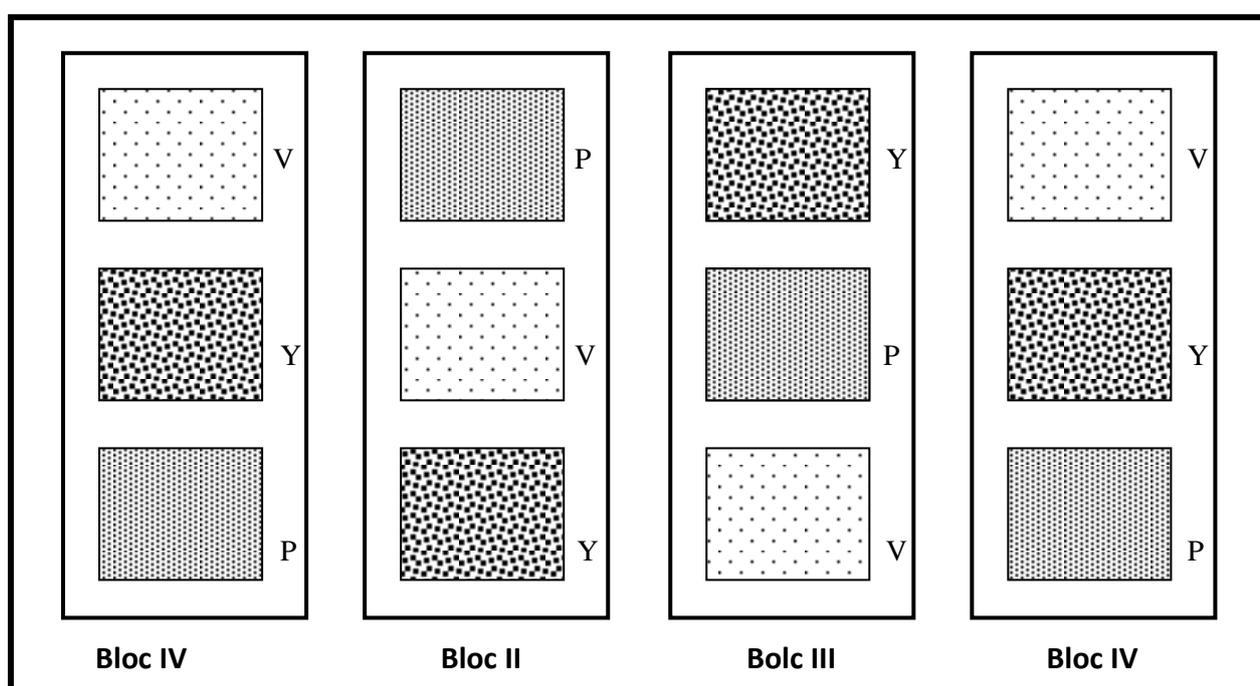


Figure 8: étude du comportement du Violet de Galmi sous stress salin

V = Violet de Galmi, Y = Yali et P = Prema.

Dans les deux dispositifs les cultures sont conduites en pots plastiques dont la capacité est de 1,5 kg de sol en raison de 30 pots par parcelle. Le traitement salin (2,6 mS/cm pour le sol et 4,3 mS/cm pour l'eau) est appliqué une semaine après le repiquage des plants d'oignon dans le cas des deux dispositifs. Dans la première expérimentation, le traitement témoin est constitué par l'eau de robinet et un sol dont la conductivité électrique est de 600 μ S/cm. Ces plants ont environ une taille de 1 cm et sont au stade 2 feuilles pour tous les traitements au moment du repiquage. Les plants ont été prélevés sur les pépinières mises en place sur le site de Akoukou et repiqués en raison d'un plant par pot. Les cultures pour les deux essais ont été suivies

pendant une durée d'un mois. Les plants sont arrosés deux fois par jour en raison de 100 mm/pot.

Le dispositif est protégé de la rosée et de la pluie par un plastique. Tous les pots ont reçu 2g d'engrais NPK le 7 et le 15 Septembre 2013.

Les observations sont faites sur 10 plants par traitement tous les 3 jours à partir du 7 Septembre 2013, soit une semaine après repiquage.

Les observations ont porté sur les caractères suivants:

- le nombre de plants morts,
- le nombre de feuilles,
- la taille du pied du collet à la base de la nouvelle feuille donc la hauteur de la tige,
- la taille de la plante du collet à l'apex de la nouvelle feuille donc la hauteur du plant.
- le diamètre au collet du plant,
- la couleur des plants.

La mesure du diamètre des plants est faite à l'aide d'un pied à coulisse tandis que celle des hauteurs est faite à l'aide d'une règle plate.

III.4.4. Analyses statistiques et interprétation des données

Les données ainsi collectées ont été analysées avec le logiciels SPSS 12.0 et excel office 2007. L'analyse de variance a été réalisée et les moyennes ont été comparées par les tests de Student Newman Keuls. Les courbes de croissance ont été établies. Les vitesses ont été déterminées selon la formule suivante:

$V = \frac{HF-HI}{nj}$ où HF est la hauteur finale, HI est la hauteur initiale, nj le nombre jours d'observation

La formule suivante a également été utilisée pour apprécier le niveau de réduction de cette vitesse de croissance par rapport au témoin: $\frac{VSS}{VT} \times 100$ où VSS = vitesse de croissance du Violet de Galmi sous stress salin et VT = vitesse de croissance du témoin

Chapitre IV: Résultats

IV.1. Perceptions paysannes de la salinité

Les entretiens semi structurés effectués avec les producteurs dont les parcelles sont situées sur les toposéquences ont fourni les informations suivantes :

L'accumulation des sels à des endroits précis et en quantité importante ont été observées sur les deux sites il ya de cela plus d'une trentaine d'années. Selon les producteurs, ces sels appelés « kamissa » en Haoussa apparaissent à des endroits localisés où les animaux viennent le lécher. Par la suite, avec la mise en place de seuils d'épandage dans la partie amont pour le cas de Toudouni, le régime hydrologique a été modifié. Selon les producteurs, la présence de « kamissa » se manifeste partout dans la vallée sous forme d'efflorescences blanches (Photo 5 et 6). D'une manière générale et sans faire le lien avec la salinité, les producteurs ont affirmé que leur productions d'oignon ne font que baisser d'année en année.

Sur un des sites de la toposéquence II (Photo 2 et 3), une famille de producteurs a du abandonner la production depuis quelques années. Ils affirment que l'oignon s'y développe mal et donne des bulbes invendables en dépit de l'apport d'engrais et de l'irrigation quotidienne. En ce qui concerne l'utilisation d'engrais qui est en général le NPK et/ou l'urée, elle n'a jamais dépassé 50 kg par producteur et par an. L'utilisation de pesticides et/ou d'herbicide est rare et est pratiquée essentiellement par les grands producteurs.

Par ailleurs, au niveau de tous les sites, les producteurs ont affirmé que pour produire, il faut irriguer chaque jour pour obtenir une bonne production. En ce qui concerne le gout de l'eau sur les sites, il est généralement variable d'une toposéquence à l'autre mais reste différent de celui de l'eau consommée au village.

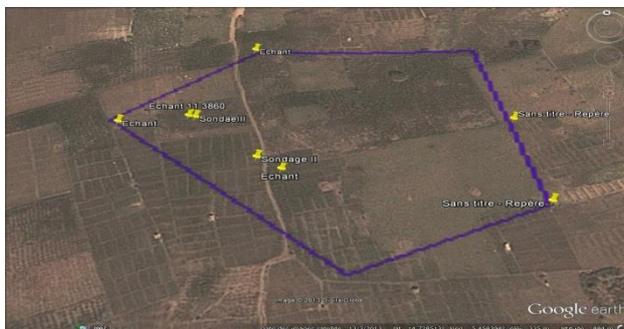


Photo 2: Superficies abandonnée :
suite à la salinité



Photo 3 Parcelle abandonnée
suite à la salinité

IV.2. Caractérisation des sites

IV.2.1. Salinité du sol et de l'eau des sites: Niveau actuel et distribution spatiale

Les figures 8 et 9 présentent la conductivité électrique des sols et de l'eau, respectivement au niveau des vallées de Toudouni et de Akoukou. Pour chacune des vallées, les données des prélèvements des sols effectués à deux profondeurs sur les rives gauches, droites, et les fonds des vallées des trois toposéquences sont présentées ainsi que celles de l'eau. Les résultats indiquent que quelque soit la toposéquence et le lieu de prélèvement la conductivité électrique du sol est pratiquement identique aux deux profondeurs du sol: 0-20 cm et 20-40 cm.

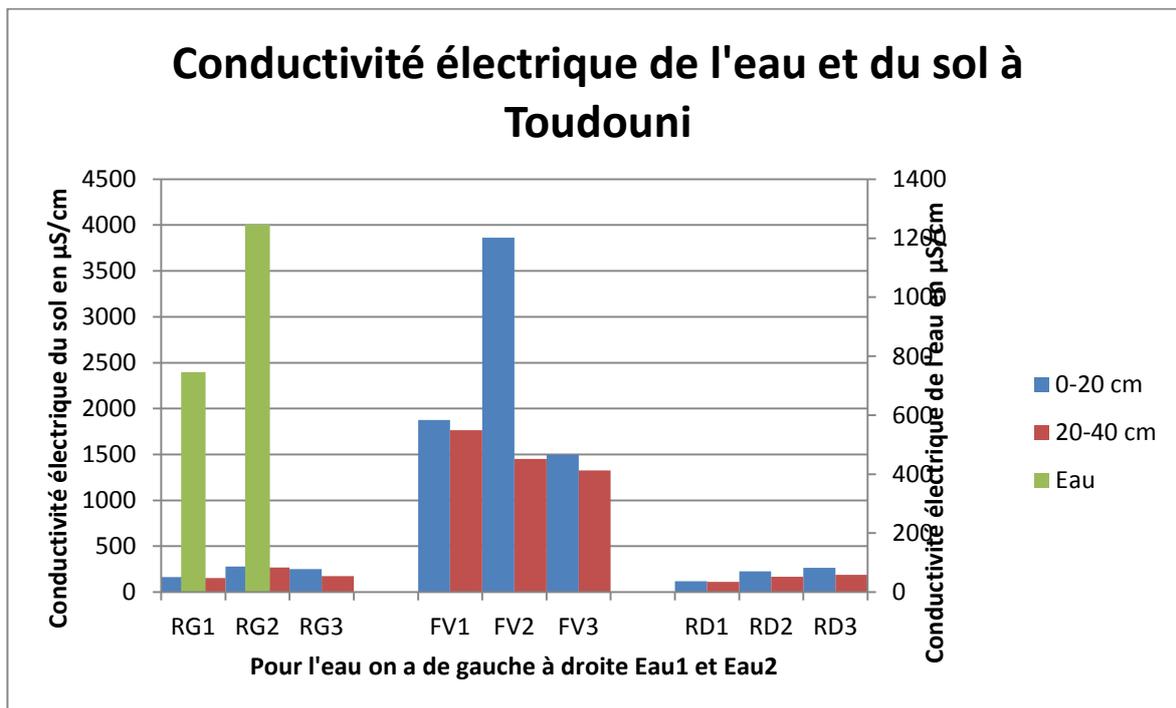


Figure 9 : Conductivité électrique (en µS/cm) du sol des trois toposéquences et de l'eau de la vallée de Toudouni

RG1, RG2, RG3 : rive gauche respectives des toposéquences 1, 2 et 3

RD1, RD2, RD3 : rive droite respectives des toposéquences 1, 2 et 3

Eau 1, Eau 2 : échantillons d'eau respectifs des toposéquences 1, 2

FV1, FV2, FV3 : fonds de la vallée respectifs des toposéquences 1, 2 et 3

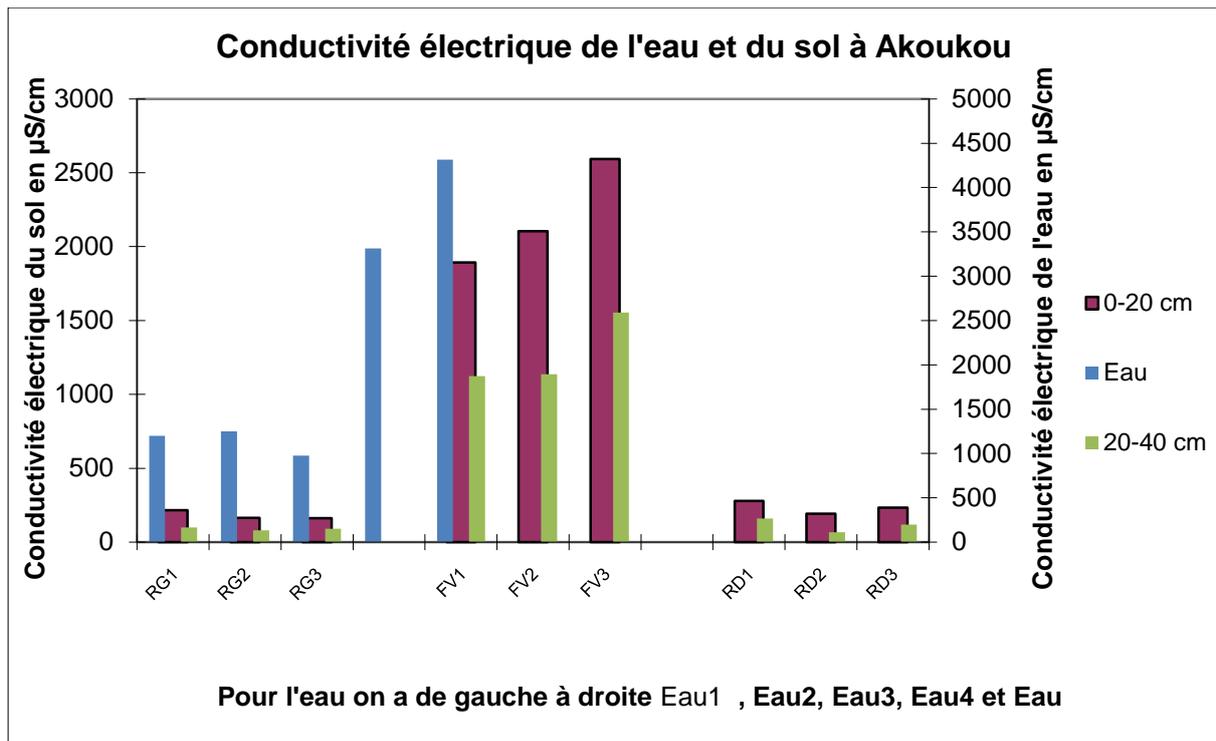


Figure 10: conductivité électrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol et de l'eau de vallée de Akoukou

RG1, RG2, RG3 : rive gauche respectives des toposéquences 1, 2 et 3

RD1, RD2, RD3 : rive droite respectives des toposéquences 1, 2 et 3

Eau 1, Eau 2, Eau 3, Eau 4 et Eau 5 : échantillons d'eau respectifs des toposéquences 1, 2, 3

FV1, FV2, FV3 : fonds de la vallée respectifs des toposéquences 1, 2 et 3

A noter une conductivité électrique exceptionnellement élevée ($4000 \mu\text{S}/\text{cm}$) pour la toposéquence 2 enregistrée à la profondeur de 0-20 cm à Toudouni. Par ailleurs, la conductivité électrique des sols des rives gauches et droites de toutes les toposéquences est très faible ($< 250 \mu\text{S}/\text{cm}$) aussi bien à Toudouni qu'à Akoukou. Cependant, elle est très élevée pour les sols des fonds de vallée : de 1800 à $2600 \mu\text{S}/\text{cm}$ à Akoukou et de 1500 et $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ à Toudouni. Au niveau du site de Toudouni, la salinité est surtout localisée au niveau de la toposéquence 1 alors qu'à Akoukou c'est au niveau de la toposéquence 3. Les niveaux le plus élevés sont de $3863 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour le fond de vallée de la toposéquence 2 de Toudouni et $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Akoukou). Pour l'eau, les plus fortes conductivités électriques enregistrées sont de $1246 \mu\text{S}/\text{cm}$ à Toudouni et $4313 \mu\text{S}/\text{cm}$ à Akoukou. Le tableau 4 montre que des différences significatives existent entre les unités paysagiques d'une même vallée. Par contre, aucune différence significative n'a été trouvée entre les toposéquences et les deux niveaux de profondeur.

2.

Tableau IV : Comparaison de la conductivité électrique moyenne au niveau des rives gauches, droites et des fonds des vallées de Akoukou et de Toudouni

	Toudouni	Akoukou
Rive gauche	214,33a	166,00a
Fond de vallée	1962,83b	2157,67b
Rive droite	178,00a	213, 17a

NB : les moyennes d'un même site suivies des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%

IV.2.2. Nature des ions contenus dans le sol des sites et l'eau de la nappe

Au niveau de la vallée de Akoukou, les résultats indiquent, que les cations Ca^{++} sont les plus abondants dans le sol comparativement aux autres cations (Tableau V). Les teneurs en K^+ et Na^+ sont les plus faibles et le rapport K^+ / Na^+ est sensiblement égal à 1. La teneur en Ca^{++} du sol est pratiquement identique pour les toposéquences 1 et 2, et ceci quelque soit la profondeur du sol, de l'ordre de 18 meq/l. Cependant cette teneur est plus élevée au niveau de la toposéquence 3 : 29,47 et 27,51 meq/l, respectivement pour les profondeurs de 0-20cm et 20-40cm. Les teneurs en Mg^{++} , K^+ et Na^+ des sols sont pratiquement identiques pour les trois toposéquences.

A Toudouni, la teneur en Ca^{++} est également plus élevée comparativement à celle des autres cations (Tableau V). Elle est particulièrement plus importante au niveau de la toposéquence 2, notamment à la profondeur de 0-20 cm (137,53 meq/l). On note également qu'au niveau de cette toposéquence, la teneur en Mg^{++} varie pratiquement du simple (0-20 cm) au double (20-40cm). Au niveau des autres toposéquences et pour les cations K^+ et Na^+ , les teneurs sont très proches et le rapport K^+ / Na^+ est sensiblement égal à 1.

A Akoukou, les anions Cl^- et SO_4^{2-} sont les plus abondants dans le sol (**Tableau VI**). Les teneurs en HCO_3^- et NO_3^- sont les plus faibles. Le rapport $\text{Cl}^- / \text{NO}_3^-$ varie de 7,9 à 15 Au niveau de la toposéquence 3, la teneur de tous les anions à l'exception du CO_3^{2-} est plus élevée, surtout comparée à la toposéquence 1.

A Toudouni, des teneurs exceptionnellement élevées de tous les anions sont enregistrées au niveau de la toposéquence 2, particulièrement à la profondeur de 0-20 cm, comparativement

aux autres toposéquences (**Tableau VI**). La teneur en Cl^- du sol de la toposéquence 1 est deux fois plus importante que celle de la toposéquence 3 alors que la situation inverse est observée pour le HCO_3^- . Le rapport $\text{Cl}^- / \text{NO}_3^-$ varie de 6 à 18.

L'eau de la vallée de Akoukou est surtout riche en Ca^{++} et en Na^{++} . Sa teneur en Mg^{++} et K^+ est beaucoup plus faible (**Tableau VII**). Le rapport Na^+/K^+ varie de 8 à 62. Des variations importantes de teneur en cations ont cependant été enregistrées entre les échantillons d'eau qui ont été prélevés. C'est ainsi que la teneur en Ca^{++} varie de 4,75 à 26,43 meq/l, le Mg^{++} de 0,40 à 8,56 meq/l, le K^+ de 0,19 à 0,45 meq/l, le Na^+ de 2,76 à 16,79 meq/l.

A Akoukou, l'eau de la vallée ne contient pas du tout de CO_3^{2-} . Sa teneur en SO_4^{2-} varie fortement, de 5,73 à 47 meq/l (**Tableau VII**). Elle contient également 2,88 à 8,08 meqL⁻¹ de HCO_3^- et 0,56 à 1,24 meq/l de Cl^- .

Au niveau de la vallée de Toudouni, l'eau est surtout chargée de Ca^{++} (entre 3,43 et 5,5 meq/l) et de Na^+ (3,17 à 6,23 meq/l) (**Tableau VIII**). **Le rapport Na^+/K^+** varie de 12 à 9. Sa concentration en Mg^{++} et K^+ est très faible. En termes d'anions, elle ne contient pas de CO_3^{2-} (**Tableau VIII**) et sa teneur en Cl^- est aussi faible. Elle est plus riche en HCO_3^- et en SO_4^{2-} .

Les teneurs en Ca^{2+} sont très élevées au niveau de la roche et de l'efflorescence, respectivement 182,70 meq/l et 130,75 meq/l (**Tableau IX**). Les teneurs en K^+ et Na^+ sont les plus faibles. La teneur en Mg^{2+} de la roche (24,25 meq/l) est environ trois fois plus importante que celle de l'inflorescence. Au niveau de la teneur en anions (**Tableau IX**), la roche et l'efflorescence ont des teneurs surtout élevées en SO_4^{2-} (respectivement 77,07 et 51,23 meq/l) et dans une moindre mesure en Cl^- (respectivement 29,28 et 25,44 meq/l). Les teneurs des autres anions de la roche et de l'efflorescence sont très faibles et proches.

Tableau V : Teneur en cations (meq/l) des échantillons de sol des vallées de Akoukou et de Toudouni à la date de 12/06 /2013

	Akoukou						Toudouni					
	Toposéquence 1		Toposéquence T2		Toposéquence T3		Toposéquence T1		Toposéquence T2		Toposéquence T3	
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
Ca⁺⁺	17,68	17,68	19,65	16,7	29,47	27,51	16,70	14,74	137,53	80,55	12,77	14,74
Mg⁺⁺	11,00	11,00	12,00	10,00	14,00	13,00	11,00	10,00	8,00	19,00	8,00	6,50
K⁺	1,19	1,08	1,07	1,03	1,03	1,15	1,16	1,16	1,48	1,34	1,14	1,10
Na⁺	1,12	1,04	1,08	0,96	0,96	1,17	0,84	0,84	1,56	1,64	0,82	0,78

Tableau VI : Teneur en anions (meq/l) des échantillons de sol des vallées de Akoukou et de Toudouni à la date de 12/06 /2013

	Akoukou						Toudouni					
	Toposéquence 1		Toposéquence T2		Toposéquence T3		Toposéquence T1		Toposéquence T2		Toposéquence T3	
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
Cl⁻	6,92	6,83	7,51	6,84	9,15	9,62	6,14	6,06	25,25	20,40	2,48	2,15
HCO₃⁻	0,63	0,57	0,48	0,39	1,28	1,18	0,37	0,44	3,07	2,56	0,84	0,79
CO₃²⁻	2,28	1,94	1,45	1,44	1,23	1,06	1,70	1,79	4,18	2,98	1,04	1,40
SO₄²⁻	5,10	5,22	7,80	7,03	9,80	10,58	6,84	6,05	40,33	27,85	7,69	4,27
NO₃⁻	0,46	0,54	0,89	0,78	1,26	1,12	0,73	0,66	1,43	1,27	0,43	0,33

Tableau VII : Teneur en cations et en anions des échantillons d'eau de la vallée de Akoukou à la date du 20/12/2013

	Cations (meq/l)					Anions (meq/l)					
	Eau 1	Eau 2	Eau 3	Eau 4	Eau 5	Eau 1	Eau 2	Eau 3	Eau 4	Eau 5	
Ca⁺⁺	8,38	4,79	5,75	24,21	26,43	Cl⁻	1,24	0,56	0,28	0,23	1,02
Mg⁺⁺	0,40	2,72	1,76	1,72	8,56	HCO₃⁻	2,88	3,70	3,92	8,04	7,92
K⁺	0,19	0,29	0,33	0,45	0,27	CO₃²⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na⁺	3,32	5,02	2,76	12,92	16,79	SO₄²⁻	8,54	8,95	5,73	32,50	47,00

Tableau VIII : Teneur en cations et en anions des échantillons d'eau de la vallée de Toudouni date du 20/12/2013

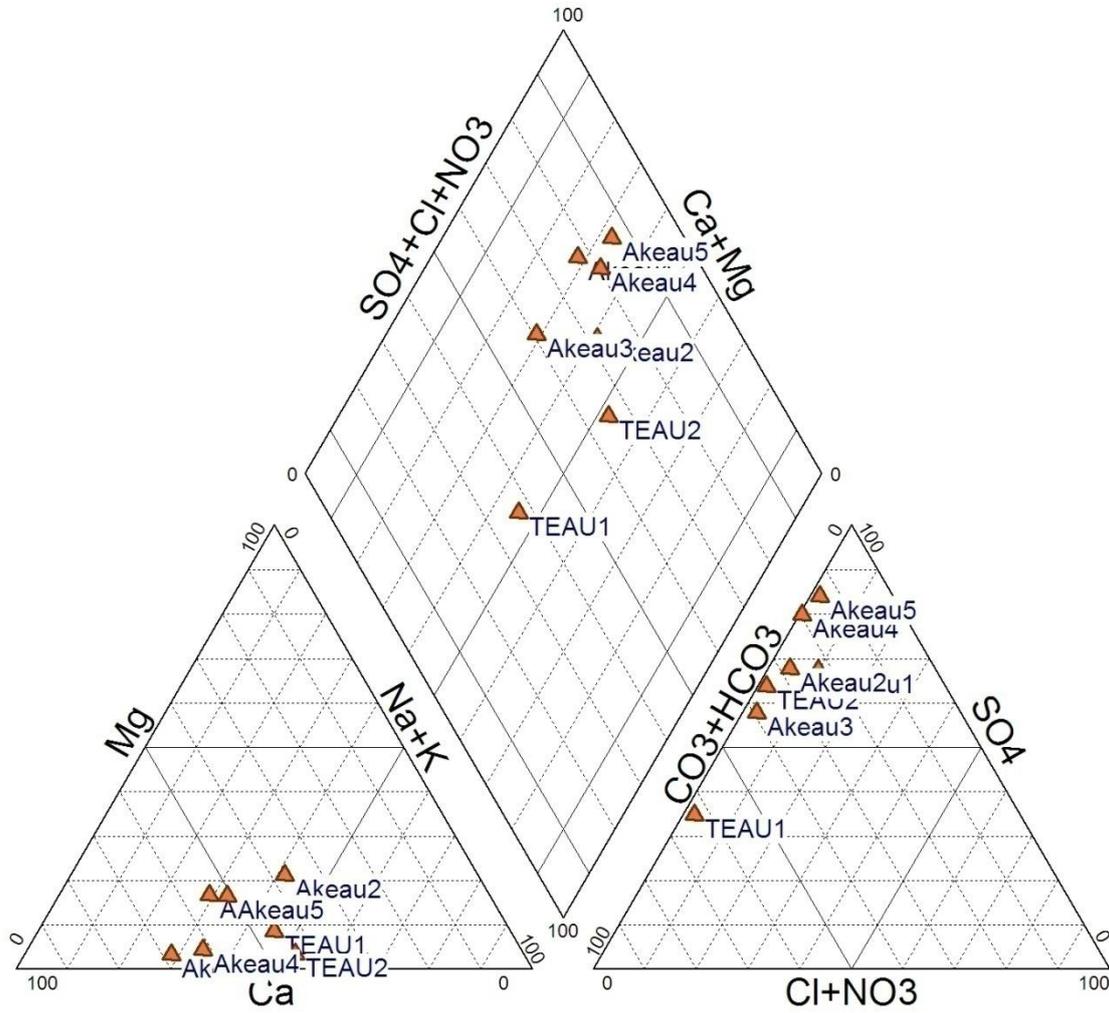
	Cations (meq/l)		Anions (meq/l)	
	Eau 1	Eau 2	Eau 1	Eau 2
Ca⁺⁺	3,43	5,51	Cl⁻	0,17
Mg⁺⁺	0,64	0,44	HCO₃⁻	4,92
K⁺	0,27	0,32	CO₃²⁻	0,00
Na⁺	3,17	6,23	SO₄²⁻	2,71
				8,35

Tableau IX : Teneur en cations et en anions de la roche et de l'efflorescence 25/06/2013

	Cations (meq/l)		Anions (meq/l)	
	Roche	Efflorescence	Roche	Efflorescence
Ca⁺⁺	182,70	130,75	Cl⁻	29,28
Mg⁺⁺	24,25	8,93	HCO₃⁻	3,29
K⁺	2,24	1,58	CO₃²⁻	6,13
Na⁺	2,00	1,63	SO₄²⁻	77,07
			NO₃⁻	2,00
				1,52

Sur la base des résultats des analyses ci-dessus, le diagramme de Piper a été réalisé à l'aide du logiciel Diagrammes de Henri SIMLER (figure 10). Ce diagramme donne le faciès hydrochimique de l'eau de la nappe sur les deux sites. Il indique un faciès bicarbonaté calcique et magnésien pour la toposéquence 1 et un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique pour la toposéquence 2 en ce qui concerne le site de Toudouni. En ce qui concerne tous les échantillons de Akoukou, il donne un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

Diagramme de Piper



Sites de Toudouni et Akoukou

Figure 11 : Diagramme de Piper

NB : TEAU 1 et TEAU : échantillons de Toudouni

Akeau 1, 2, 3, 4 et 5 : échantillons de Akoukou

IV.2.2. Alcalinité des eaux et des sols : niveau actuel

Pour l'examen du niveau d'alcalinité sur les sites, nous avons mesuré le pH de l'eau et du sol et calculé leur SAR (Sodium Adsorption Ratio) et leur alcalinité résiduelle (tableaux X à XIII). On constate que tous les pH sont compris entre 7,3 et 7,94.

Au niveau des deux vallées, le SAR est pratiquement identique (autour de 0,25 meq/l) au niveau de toutes les toposéquences et à toutes les profondeurs de sol.

Au niveau des sols de la vallée de Akoukou, le ARC des toposéquences 1 et 2 qui est très proche est plus faible que celui de la toposéquence 3 (Tableau X). A Toudouni, c'est la toposéquence 2 qui enregistre un ARC exceptionnellement faible, particulièrement à la profondeur de 0-20 cm (Tableau XI).

A Akoukou, le RSC du sol qui est identique au niveau des deux premières toposéquences est plus élevé que celui de la toposéquence 3 (Tableau X). Par contre à Toudouni, les plus faibles teneurs de RSC sont observées au niveau de la toposéquence 2 (Tableau XI)

On constate aussi que le pH de l'eau des nappes est compris entre 7,6 et 7,84. Au niveau de la vallée de Toudouni, le SAR de la toposéquence II est supérieur à celui de la toposéquence I. au niveau de la vallée de Akoukou, le SAR des deux premières toposéquences sont semblables et inférieurs à ceux des nappes de la toposéquence 3. On remarque que l'eau de cette toposéquence a le plus grand pouvoir alcalinisant (Tableau XII).

L'alcalinité résiduelle calcite et le Residual Sodium carbonate sont négatifs pour toutes les toposéquences à l'exception de la toposéquence I de Toudouni (Tableaux XII et XIII).

Nous avons également fait le diagramme de Riverside (figure 11) pour classer les échantillons d'eau selon leur niveau de salinité et leur pouvoir alcalinisant. Il montre que contrairement à leur faible pouvoir alcalinisant, ils sont salés. De manière schématique, le diagramme de Stabler (figure 12) donne la taille de l'alcalinité représentée par les équivalents en bicarbonate par rapport aux autres éléments. Les résultats de l'eau de la nappe de la toposéquence 1 de Toudouni et ceux de la toposéquence 3 de Akoukou contrastent avec les autres.

Tableau X: pH, alcalinité, SAR (meq/l) et Residual Sodium carbonate (meq/l) de la solution du sol de Akoukou

Paramètres	Toposéquence1		Toposéquence2		Toposéquence3	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
pH	7,75	7,67	7,8	7,72	7,8	7,94
SAR	0,29	0,27	0,27	0,26	0,20	0,25
ARC	-14,77	-15,17	-17,21	-14,87	-26,95	-25,32
RSC	-25,77	-26,17	-29,71	-24,86	-40,95	-38,32
RSC +SO4	-22,95	-22,89	-23,36	-19,27	-32,38	-28,80

NB : SAR = Sodium Adsorption Ratio, il n'ya pas de sodisation du complexe ; ARC= Alcalinité résiduel calcite

Tableau XI: pH, alcalinité, SAR (meq/l) et Residual Sodium carbonate (meq/l) de la solution du sol de Toudouni

Paramètres	Toposéquence1		Toposéquence2		Toposéquence3	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
pH	7,52	7,35	7,3	7,34	7,5	7,32
SAR	0,22	0,23	0,18	0,23	0,25	0,23
ARC	-14,63	-12,5	-130,28	-75	-10,89	-12,54
RSC	-25,63	-22,5	-138,28	-94	-18,89	-19,44
RSC +SO4	-20,49	-18,24	-102,13	-69,13	-18,24	-16,57

NB : SAR = Sodium Adsorption Ratio, il n'ya pas de sodisation du complexe

Tableau XII : pH, alcalinité, SAR et Residual Sodium carbonate de l'eau de Akoukou

Paramètres	Eau 1	Eau 2	Eau 3	Eau 4	Eau 5
pH	7,84	7,63	7,43	7,7	7,6
SAR	1,58	2,59	1,42	3,58	4,01
ARC	-5,5	-1,08	-1,82	-16,17	-18,5
RSC	-5,9	-3,8	-3,58	-17,89	-27,06
RSC +SO4	2,64	5,15	2,15	14,61	19,94

NB : SAR = Sodium Adsorption Ratio, il n'ya pas de risque de sodisation du complexe

Pour les toposéquence 1 et 2 mais un risque léger existe pour la toposéquence 3 (EAU4 et EAU5)

Tableau XIII : pH, alcalinité, SAR et Residual Sodium carbonate de l'eau de Toudouni

Paramètres	Eau 1	Eau 2
p H	7,6	7,8
SAR	2,22	3,61
ARC	1,48	-0,94
RSC	0,84	-3,55
RSC +SO4	3,55	6,97

NB : SAR = Sodium Adsorption Ration (taux d'adsorption du sodium sur le complexe)

il n'y a pas de sodisation du complexe pour la toposéquence 1. Un risque faible existe pour la toposéquence 2 (EAU2). Cependant il y a évolution possible vers alcalinisation au niveau de la toposéquence 1. Alcalinité calcite = $[HCO_3^-] - [Ca^{++}]$, RSC = $[HCO_3^-] - ([Ca^{++}] + [Mg^{++}])$, RSC+[so₄²⁻]= $([HCO_3^-] + [so_4^{2-}]) - ([Ca^{++}] + [Mg^{++}])$

$$SAR = \frac{Na+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

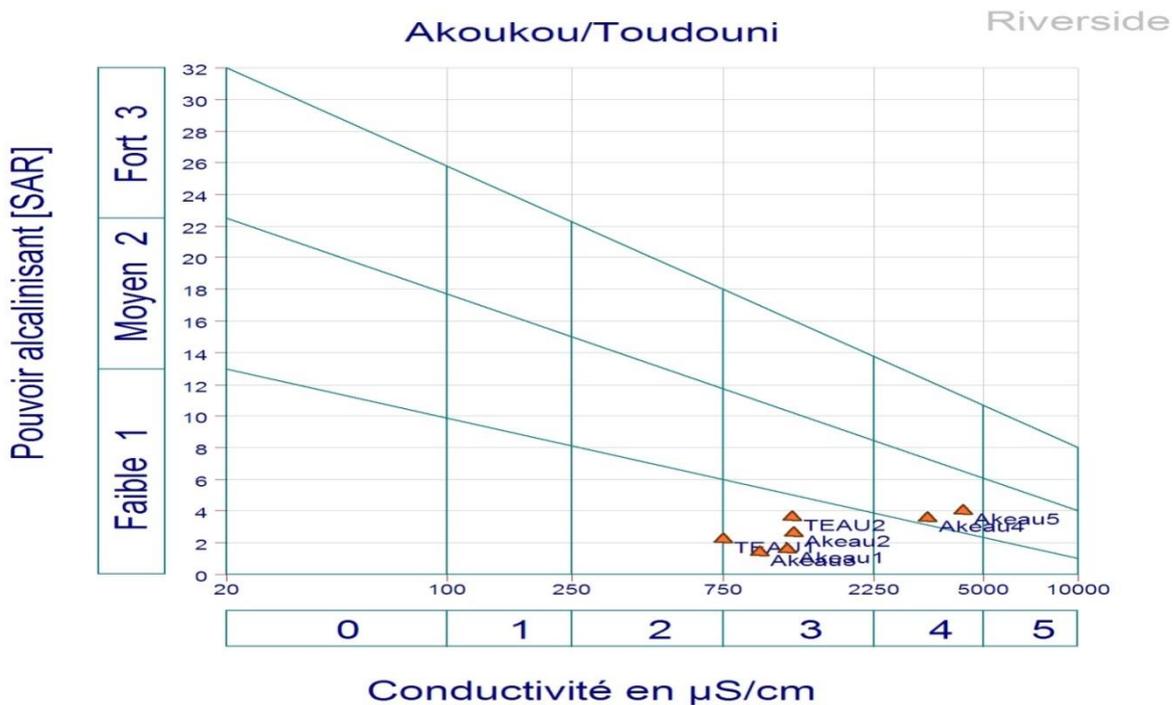


Figure 12: Diagramme de Riverside de comparaison des échantillons d'eau

Tous le premier groupe d'échantillons est classés C3S1 et le second C4S1

Stabler

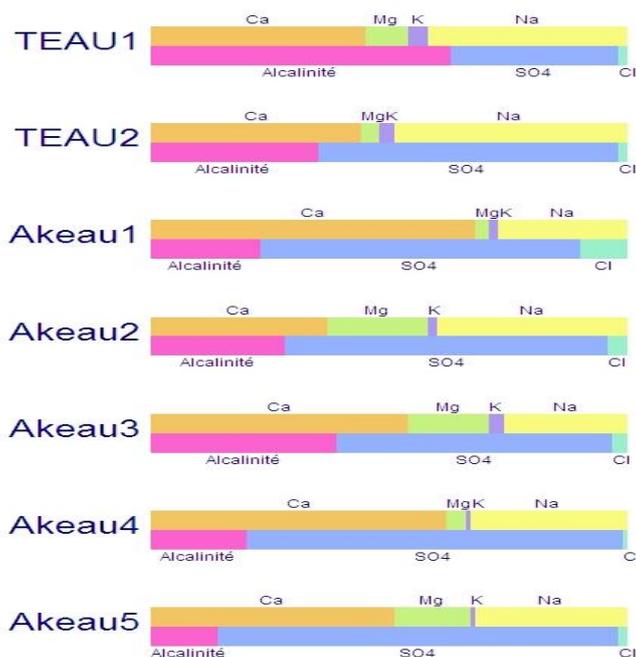


Figure 13: Diagramme de Stabler des échantillons d'eau des deux sites

La bande rose schématise la taille de l'alcalinité représentée par les ions bicarbonates par rapport aux autres ions. On voit bien que pour la toposéquence 1 le risque d'alcalinisation par le SAR est faible mais que l'alcalinité calcite et le RSC sont positifs. Donc une évolution vers l'alcalinisation et la sodisation puis la dégradation du sol reste possible.

IV.3. Effets d'un stress salin sur la croissance de l'oignon

IV.3.1. Effet du stress sur le Violet de Galmi

Les résultats de l'analyse de variance indiquent que le stress salin se traduit au niveau du Violet de Galmi par une réduction significative de la croissance de la plante (Tableau XIV). C'est ainsi que la hauteur du collet à l'insertion de la nouvelle feuille ainsi qu'à l'apex de la feuille, le nombre de feuilles et le diamètre au collet de la plante sont fortement réduits au niveau des plants stressés par rapport au témoin. La vitesse de croissance de ces différents paramètres est également fortement diminuée chez les plants stressés.

Tableau XIV: Effet du stress salin sur les paramètres de croissance du Violet de Galmi

Paramètres de croissance	Témoin	Stress
Hauteur de la tige (cm) 25 jours après repiquage	3, 57a*	1,42b
Hauteur du plant en cm 25 jours après repiquage	20, 18a	7,64b
Nombre de feuilles total 25 jours après repiquage	3,7a	1,83b
Diamètre au collet (cm) 25 jour après repiquage	0,45a	0,24b
Vitesse de croissance de la tige	0,074a	0,015b
Vitesse de croissance du plant	0,551a	0,207b
Vitesse de croissance du nombre de feuilles	0,093a	0,026b
Vitesse de croissance du diamètre du pied	0,014a	0,008b

* : les moyennes de la même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

IV.3.2. Effet du stress sur le Violet de Galmi, le Prema et le Yali

Parmi les trois variétés étudiées, le Violet de Galmi est celle qui apparait comme étant la plus sensible au stress salin (Tableau XV). En effet, la hauteur des plants du collet à l'insertion de la nouvelle feuille des plants stressés de cette variété sont plus courts que celle de Yali et Prema. . De même, le diamètre au collet est plus petit et les plants ont moins de feuilles que les deux autres variétés.

Tableau XV : Effet du stress salin sur les paramètres de croissance des trois variétés d'oignon

	Violet de Galmi	Yali	Prema
Hauteur de la tige (cm) 25 jours après repiquage	1,42b	2,05a	2,36a
Hauteur du plant en cm 25 jours après repiquage	7,64a	12,37b	14,24b
Diamètre au collet (cm) 25 jour après repiquage	0,24b	0,31a	0,37a
Nombre de feuilles total 25 jours après repiquage	1,83b	2,46a	2,66a

les moyennes de la même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Chapitre V : Discussion

V.1. Etat d'alcalinisation et de salinisation des sites

V.1.1. Etat d'alcalinisation des sites

L'examen du pH eau des échantillons composites de sols et des échantillons d'eau montre que les sites ne sont pas dans un processus d'alcalinisation. En effet le pH varie de 7,32 à 7,94 (Tableau X à XIII).

Cette observation est confirmée par la valeur du SAR de l'ensemble de nos échantillons.

Aussi la suite des discussions porteront essentiellement sur la salinité et ses effets sur la croissance du Violet de Galmi.

V.1.2 Etat de salinisation des sites

La mesure de la conductivité électrique à 25°C de l'extrait dilué (1/5) effectuée sur les échantillons composites a révélé un début de salinisation des sols sur les deux vallées étudiées. Elle a révélé également que l'eau de la nappe alluviale utilisée pour l'irrigation est également salée. Les valeurs obtenues varient de 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 3863 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le sol sur le site de Toudouni à la profondeur 0-20 cm et de 111 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1451 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la profondeur 20-40 cm. Au niveau du site de Akoukou, elle varie pour de 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2593 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la profondeur de 0-20 cm et de 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2588 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la profondeur 20-40 cm. Dans les périmètres irrigués de Kollo des valeurs similaires (CE 1/5 entre 1000 et 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ont été trouvées par ADAM (2011). Si la SOGETHA (1963) au moment de l'étude pour l'aménagement des vallées de l'ADER DOUTCHI MAGGIA ne s'est pas intéressée à la salinité des sites ce serait dû probablement au fait qu'en cette période avant aménagement le problème ne se posait pas.

En ce qui concerne l'eau, la conductivité électrique varie de 746 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1246 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur le site de Toudouni et de 975 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 4313 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur le site de Akoukou. Contrairement au site de Toudouni, l'eau utilisée pour l'irrigation semble être plus salée que le sol. Selon KALRA et MAYNARD (1992) et SLAVISH et PETERSON (1993) cité par ADAM (2011), pour approcher de la conductivité électrique du sol, il faut multiplier la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 par 5 pour les premiers et par 5,3 pour les seconds. Sur cette base, selon les normes d'interprétation USSS (1954), à Akoukou le glaciais des rives gauche et droite est non salin tandis que les sols alluvionnaires du fond de la vallée sont fortement salés et cela pour toutes les toposéquences. En effet selon MAMADOU *et al* (1989) ce sont les sols argileux qui

sont les plus salés. A Toudouni, le glacis de la rive gauche et celui de la rive droite sont non salins alors que les sols alluvionnaires sont fortement salés pour les toposéquences 1 et 2 et moyennement salés pour la toposéquence 3. Ces différences seraient certainement liées à la différence de texture entre les toposéquences (cas de Toudouni) et entre les unités paysagiques. En ce qui concerne l'eau de la nappe, le diagramme de Riverside (Figure 11) a permis de les classer selon leur conductivité électrique. Ainsi les échantillons de Toudouni et les échantillons 1, 2 et 3 de Akoukou sont classés C_3S_1 tandis que les échantillons 4 et 5 de Akoukou sont classés C_4S_1 (RICHARDS *et al.*, 1954). Selon MARLET ET JOB (2006) pour le premier groupe, il s'agit d'une eau admissible pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés tandis que pour le second groupe, il s'agit d'une eau de qualité médiocre et fortement minéralisée.

Le test de Fisher a révélé une indépendance totale entre la conductivité mesurée à 0-20 cm et celle mesurée à 20-40 cm. Cette donnée est confirmée par les tests de Student Newman Keuls effectués pour les deux sites. En effet, ils montrent que les différences de moyennes observées pour chaque site entre la conductivité électrique à 0-20 cm et 20-40 cm ne sont pas significatives au seuil de 5%.

On peut affirmer alors qu'à cette profondeur, il n'est pas observé une variation significative de la conductivité électrique. Cette observation n'est pas totalement en contradiction avec MAMADOU *et al* (1989) qui disait que les différences de conductivité électrique en fonction de la profondeur ne sont pas nettes. Cependant en zone rizicole la conductivité semble présenter une variation significative avec la profondeur (ADAM, 2011). Il n'est pas également observé de variation significative de conductivité électrique entre les toposéquences pour tous les sites. En effet les ANOVAS réalisées à cet effet ont montré qu'il n'ya pas de différence de variance significative de la conductivité électrique entre les toposéquences de chaque site.

Par contre une différence significative a été trouvée pour la conductivité électrique entre les unités paysagiques. En effet, le test post hoc de Bonferroni a révélé une différence de moyenne significative au seuil de 5% entre le fond des vallées et les glacis des deux rives. Les écarts sont de 1745 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la rive gauche et 1784 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la rive droite à Toudouni et 1991 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la rive gauche et 1944 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la rive droite ont été trouvés (Figures 8 et 9). Cependant aucune différence significative n'a été observée entre les glacis des deux rives et cela pour les deux vallées.

L'analyse chimique des échantillons d'eau et de sol nous a permis d'identifier Le faciès des échantillons et les teneurs des sels en cations et anions. Le diagramme de Piper (Figure 10) indique un faciès bicarbonaté calcique et magnésien pour la toposéquence 1 et un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique pour la toposéquence 2 en ce qui concerne le site de Toudouni. En ce qui concerne tous les échantillons de Akoukou, il donne un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour toutes les toposéquences.

Le calcul de l'indice de saturation vis-à-vis de la calcite, de l'aragonite, de la dolomite, du gypse et de l'anhydrite calculé à l'aide du logiciel Diagramme a permis de classer les échantillons d'eau en plusieurs groupes. Le groupe des échantillons 4 et 5 de Akoukou et l'échantillon 2 de Toudouni qui ont un indice de saturation positif vis-à-vis de la calcite ($IS_{\text{calcite}} = 0,61, 0,59$ et $0,02$ respectivement pour les échantillons précités) et le groupe des autres échantillons qui ont un indice négatif. Vis-à-vis des autres minéraux seuls les échantillons 4 et 5 de Akoukou ont un indice de saturation positif.

Un indice de saturation positif vis-à-vis d'un minéral donné par exemple la calcite signifie que l'eau peut précipiter la calcite. Un indice de saturation négatif signifie que l'eau peut dissoudre le minéral.

L'examen du réseau hydrographique (Photo 1) de la zone d'étude et la similitude de la composition chimique entre la toposéquence 2 de Toudouni, la composition des roches et celle des efflorescences laisse penser que les sels impliqués dans le processus de salinisation proviendraient de la dissolution des minéraux des formations rocheuses. Après dissolution des minéraux, le réseau hydrographique transporte les sels de l'Ader Doutchi (Keita) vers les deux vallées. En même temps la dissolution des minéraux des roches voisines des vallées enrichie les sols alluvionnaires en sels solubles (Photos 8 et 9). En effet, la présence de gypse dans la zone de In Wagar, Insafari et Kouréga actuellement exploité par les populations a été signalé par Hanon (1979 – 1981). La présence de Dolomite a également été signalée par GREIGERT (1966). Sur cette base, un lien pourra être fait entre la sursaturation des eaux de la toposéquence 3 de Akoukou et la présence de ces minéraux dans les zones concernées. En effet selon BARAL et DICKO (1996) cité par CONDOM (2000) il existerait des lentilles salées dans le CT. Cependant comme le sol est plus riche en chlorure que l'eau de la nappe, leur utilisation comme traceur chimique au niveau des formations rocheuses permettra de faire le lien entre elles et les sels solubles dans les vallées étudiées



Photo 4 : poche rendues stérile par le sel

Photo 5 : poche rendues stérile par le sel

V.2. Effets de la salinisation sur la production du violet de galmi

Les analyses statistiques effectuées à la suite des deux expérimentations ont révélé une plus grande sensibilité du Violet de Galmi au stress salin. C'est ainsi que l'apport de sels se traduit par une réduction significative de la hauteur du collet à l'apex des feuilles, du nombre de feuilles et du diamètre au collet de la plante.

Par ailleurs, la vitesse moyenne de croissance de la tige, celle de la plante du collet à l'apex des feuilles, la vitesse moyenne d'apparition des feuilles et la vitesse moyenne de croissance du diamètre ont été aussi fortement réduites en présence de sels.

Afin de tester la sensibilité au sel de l'écotype local d'oignon qui est le Violet de Galmi, une comparaison a été réalisée avec les variétés introduites qui sont Prema et Yali. Les résultats indiquent que le Violet de Galmi est plus sensible que ces deux variétés. Cette sensibilité se traduit par une réduction des paramètres des croissances précédemment cités.

L'utilisation des deux variétés en cours d'introduction principalement en hivernage, nous a montré qu'elles sont ainsi moins sensibles à la salinité que le Violet de Galmi.

Ces résultats nous montrent que le stress salin affecte la croissance générale des plants, la croissance de la tige (taille de la tige du collet à l'insertion de la nouvelle feuille), le diamètre de la tige et le nombre de feuille chez le Violet de Galmi. Ce stress se manifeste par un ralentissement de la vitesse de croissance.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs qui ont rapporté la réduction de la croissance chez plusieurs espèces végétales suite à la salinité. C'est ainsi que

BERNSTEIN and AYERS (1953) cités par SHANNON et GRIEVE (1999) ont indiqué que la réduction de la croissance des bulbes d'oignon commence à partir de 1,2 mS/cm.

Chez deux cultivars d'*Allium cepa* (BR-1 et Chaco), MIYAMOTO *et al* (2008) ont observé une réduction de la croissance des jeunes plants par l'augmentation de la salinité et l'augmentation du rapport Cl-/SO₄ lorsque la concentration de Cl- dépasse 10 meq/L dans l'eau d'irrigation. Dans la même étude il a été remarqué que l'addition de Ca⁺⁺ et de SO₄²⁻ réduit également la croissance des jeunes plants.

Chez *Gladiolus grandiflorus Hort.* (le glaïeul), la réduction du nombre de feuilles a été observé par HAOUALA et SALHI (2011) après un apport de 150mM de sel aux plants.

Chez le maïs (*zea mays*), des différences significatives ont été trouvées entre les génotypes utilisés en ce qui concerne le diamètre des tiges, les inter nœuds, le nombre de nœuds et la surface foliaire (SADAT *et al*, 2008). Chez *Arachis hypogea*, une réduction du nombre de feuilles par plantes et du nombre de tige par plantes à partir de 2,6 mS/cm a été observée par MANSAH (2006).

Ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par DE MALACH *et al.* (1989) qui n'a trouvé aucune différence par rapport au stress salin entre les cultivars d'oignon.

Par contre ils semblent être en accord avec l'observation de MIYAMOTO *et al* (2008) en ce qui concerne l'effet du gypse sur l'amélioration des productions agricoles sur les sols salés. Comme lui, l'eau que nous avons utilisée dans les deux tests possède un indice de saturation vis-à-vis du gypse positif (IS gypse = 0,46). Ce qui veut dire que cette eau est riche en calcium et en sulfate. Mais une réduction des paramètres de croissance a été observée chez l'oignon dans les deux cas.

La réduction du nombre de feuilles chez *Allium cepa* en condition saline a déjà été indiquée par BERNSTEIN et AYERS (1953) cité par SHANNON et GRIEVE (1999). Cependant chez le Violet de Galmi la réduction du nombre de feuille par rapport au témoin ne signifie pas qu'elles n'apparaissent pas. En effet, l'apparition d'une nouvelle feuille et chaque fois accompagnée par le dépérissement d'une ancienne feuille. Ce phénomène est perceptible sur les figures 13 la Photo 7.

Ce paramètre pourra être considéré comme un signe symptomatique du stress salin chez le Violet de Galmi. Une autre manifestation liée au sel est la coloration bleu-verte des pieds comme précédemment observés par BERNSTEIN et AYERS (1953) cité par SHANNON et GRIEVE (1999). Cette coloration a été observée chez tous les plants sauf chez les témoins (photo 10).



Photo 6: Mortalité des feuilles et coloration bleu vert des tiges

V.3.Relation entre la salinité des sites et la réponse du Violet de Galmi au stress salin

Les analyses des échantillons de sol et d'eau ainsi que la mesure de leur conductivité électrique ont montré d'une part que :

- Le niveau de risque d'alcalinisation des sols par l'eau d'irrigation est faible sur les deux sites d'étude (SAR variant de 1,42 à 4,01) ;
- Qu'il n'y a pas de sodisation du complexe pour tous les sites (0,18 à 0,29);
- Que seule la toposéquence 1 de Toudouni présente la voie de salinisation alcaline.
- Et d'autres parts que seul le fond des vallées est salé (CE variant de 1497 à 3863 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

L'analyse des échantillons a également montré que le sol et l'eau des sites sont riches particulièrement en calcium et en sulfate. Il a montré aussi que le sol est plus riche en chlore et que l'eau est plus riche en sodium.

Les deux expérimentations ont montré que le Violet de Galmi est sensible au stress salin causé par l'eau des sites.

Les résultats de l'entretien avec les producteurs a montré qu'il ya un problème de baisse des rendements et qu'il ya des producteurs qui ont abandonné leur parcelles devenues improductives.

De par ces résultats, nous pouvons dire que la salinité de l'eau et du sol des sites a un effet négatif sur la production du Violet de Galmi. Cet effet se traduit par un ralentissement de la vitesse de croissance des plants après le repiquage. Autrement dit, le stress salin entraîne chez le Violet de Galmi un ralentissement de la croissance du diamètre au collet des plants, une réduction du nombre de feuilles, un ralentissement de la croissance générale de la plante.

Cette action du sel sur la croissance des jeunes plants pourrait s'interpréter de la manière suivante :

Le niveau de salinité du sol et de l'eau de la nappe est généralement supérieur au seuil de tolérance de l'oignon qui est de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Selon BERNSTEIN and AYERS (1953) cités par SHANNON et GRIEVE (1999) la baisse de la croissance commence à partir de ce seuil.

La première action de la concentration en sels solubles est l'augmentation de la pression osmotique et donc le stress hydrique. En effet selon IVANA *et al* (2012) la principale cause de la baisse de la croissance de la plante en présence de sel est le stress hydrique. Aussi en conséquence les plants auront une nutrition hydrique difficile.

La seconde action de la concentration en sels de la solution du sol est le déséquilibre nutritionnel qui regroupe deux types d'actions qui sont la toxicité et la carence en éléments nutritifs.

La toxicité est la conséquence de l'accumulation de certains ions à des quantités anormales dans le tissu et l'espace intracellulaire. Dans le cas de nos sites, le sol est riche en chlore. Cet élément compte tenu du fait qu'il ne précipite qu'à des forces ionique élevé n'est pas tellement affecté par les processus de précipitation (BARBIERO. et VALLES., 1992). Il est de ce fait dès la première irrigation présent dans la solution du sol. Par ailleurs compte tenu du faible taux d'adsorption du sodium sur le complexe du sol, cet élément s'accumule aussi dans la solution du sol. En effet BRADAI et DAOUAOUI (2011) ont constaté une accumulation de sodium dans la solution du sol dans une expérience en pot à la suite de l'utilisation d'une eau à RSC supérieur à 0. En conséquence c'est comme si on irriguait avec une solution de NaCl. Ceci expliquerait le dépérissement des feuilles observé. Elle serait due à la toxicité du Na^+

et/ou du Cl⁻. En effet selon HASANUZZAMAN et al, (2013) l'essentiel des dégâts des sels sur les cultures est dû à ces deux éléments.

La carence peut effectivement survenir dans le cas de notre étude. En effet le sol et l'eau d'irrigation sont pauvres en potassium. La teneur maximale pour l'eau est de 0,44 meq/l tandis que celle du sol est de 1,48 meq/l. Alors que la quantité maximale de sodium est de 1,64 meq/l pour le sol et 16,79 meq/l pour l'eau. Dans ces conditions, il peut se poser un problème préférentiel d'absorption des ions Na⁺ au détriment du K⁺ qui est d'ailleurs plus essentiel pour la plante. Les ions chlorures limiteraient également l'absorption des nitrates. En effet selon YUNCAI et SCHMIDALTER (2005) il existe une compétition entre le Na⁺, le K⁺ et le Ca²⁺ et entre le Cl⁻ et le NO₃⁻. En conséquence cela entraînerait le blocage du fonctionnement de plusieurs mécanismes enzymatiques intra cellulaire (TESTER et DAVENPORT, 2002).

Conclusion

La présente étude s'est intéressée à l'étude de la salinisation et de l'alcalinisation des deux sites de l'est du département de Tahoua . D'une part aucune étude de ces deux phénomènes n'a été jusqu'alors effectuée dans cette partie du bassin des Iullemenden. D'autres parts toutes les études portant sur la réponse de l'oignon aux stress salin n'ont concerné que les variétés américaines et/ou européennes. Donc il y a un manque d'information sur la réponse des variétés sahéliennes en général et sur le Violet de Galmi en particulier. Aussi l'objectif global de la présente étude était de contribuer à une meilleure connaissance des effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la production du violet de Galmi sur les sites maraîchers des communes rurales de Kalfou. Spécifiquement il s'est agi de :

- Effectuer une caractérisation chimique des sols et de l'eau d'irrigation particulièrement en ce qui concerne la salinité et l'alcalinisation sur les vallées de Akoukou et Toudouni ;
- Etudier les effets de la salinisation et de l'alcalinisation sur la production du violet de Galmi dans les vallées de Akoukou et Toudouni.
- Comparer la réponse du Violet de Galmi à celle de deux variétés introduites (Yali et Prema).

Les résultats de cette étude nous permettent de répondre aisément aux questions scientifiques que nous nous sommes posées. Aussi nous pouvons affirmer que dans le cas des deux sites étudiés, l'eau et le sol sont salés. Cela se justifie par le fait que certains éléments comme le

chlore sont plus abondants dans le sol que dans l'eau et que de l'autre côté d'autres comme le sodium sont plus abondant dans l'eau que dans le sol. Par ailleurs, la composition ionique du sol et des efflorescences salines est analogue à celle des roches voisines du crétacé. Ce qui implique que c'est la dissolution de ces roches par les eaux de pluie qui est responsable de la salinité des sols. Les sels pourraient provenir également des roches riches en gypse des zones de Keita via le réseau hydrographique. Les fortes teneurs en sodium de l'eau suppose l'existence de roche riche en cet élément en dessous de l'aquifère de la nappe alluviale et ou dans la nappe souterraine. Nous pouvons dire aussi que la salinité de l'eau varie de 746 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 4313 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Celle du sol varie de 1497 à 3863 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La seconde partie de l'étude nous permet d'affirmer que la salinité des sites a un effet négatif sur la croissance de l'oignon. Ces effets se traduisent par une réduction de la croissance de la tige en hauteur et en diamètre, une réduction du nombre de feuilles et une réduction de la croissance de la plante entière.

Nous avons observé une plus grande sensibilité à la salinité du Violet de Galmi par rapport au Prema et au Yali.

En conséquence les hypothèses 1 et 4 de l'étude à savoir « La salinité des sols est liée à l'eau de la nappe phréatique » et « Le Violet de Galmi résiste mieux à la salinité que les variétés introduites » ne sont pas vérifiées.

Par contre les hypothèses 2 et 3 à savoir « Le niveau actuel de salinité est de faible à moyen selon les sites comparativement à l'échelle de salinité de l'extrait de pâte saturée (USSS, 1954) » et « La salinisation et l'alcalinisation ont des effets négatifs sur les comportements physiologique et agronomique du violet de Galmi » sont confirmées par l'étude.

Sur le plan scientifique on peut retenir :

- Que dans le bassin sédimentaire des Iullemenden, l'évolution chimique des eaux et des sols est fortement influencée par la nature des roches mises en place pendant les temps géologiques.
- Que l'utilisation du gypse peut certes améliorer la structure du sol et le protéger de la dégradation mais elle n'améliore pas pour autant le rendement des cultures ;
- Que le SAR seul ne renseigne pas suffisamment sur les risques d'alcalinisation et de sodisation des sols. La détermination de l'alcalinité résiduelle calcite et du RSC est indispensable pour prévoir la voie de salinisation
- Que la meilleure façon d'étudier les effets du stress salin sur une culture donnée n'est pas d'utiliser une solution saline contrôlée mais d'utiliser l'eau des zones de production. Les sels n'existent pas à l'état pur dans le sol ou dans l'eau comme le

NaCl qui est fréquemment utilisé dans les expériences. C'est des mélanges dont la composition ionique est susceptible d'atténuer ou d'exacerber les effets sur les cultures.

- Que le Violet de Galmi est vulnérable à la salinité et aux types de sels qui existent dans les milieux étudiés.
- Que certaines variétés d'oignon quoique introduites semblent mieux s'adapter au milieu que les écotypes locaux

Pour les populations ce qui est surtout important c'est de savoir :

- Que la baisse des rendements du Violet de Galmi peut être liée à la salinité du milieu de production
- Que pour les parcelles abandonnées, on peut utiliser les deux variétés Prema et Yali qui semblent mieux supporter le stress salin
- Que les eaux de la toposéquence 3 de Akoukou sont très salées et impropres à la consommation humaine, animale et pour la production.
- Que l'utilisation de l'eau de la toposéquence 1 est susceptible de causer une dégradation des sols de cette partie de la vallée.

Cette étude présente néanmoins les limites suivantes :

- Elle ne précise pas la nature réelle des sels responsables des phénomènes étudiés ;
- Les moyens financiers ne nous avez pas permis de prélever les eaux pour toutes les toposéquences pour l'identification des effets du stress salin sur le Violet de Galmi. Par ailleurs cela ne nous a pas permis de faire l'analyse physique du sol et l'analyse chimique des organes végétaux qui auraient pu confirmer certains de nos résultats.

Aussi nous formulons les recommandations suivantes :

- L'intégration des études de salinité/alcalinité dans les études globales de faisabilité techniques pour tout projet d'irrigation dans la zone d'étude
- La mise en place d'un dispositif de suivi de la salinité/alcalinité sur le terrain dans les projets d'irrigation. Ce dispositif pour le contrôle périodique pourra utiliser des kits légers de pH mètre et de conductimètres.

- Etre prudent dans l'utilisation des eaux pour l'irrigation des différentes toposéquence. Prévoir un drainage périodique avec les nappes non salées. Et utiliser la matière organique.
- Il est indispensable de poursuivre les études dans ces zones notamment sur :
 - Le même thème en utilisant les eaux des différentes toposéquences, en faisant les études physiques du sol et en faisant les dosages chimiques des organes végétaux
 - L'évolution des équilibres chimiques dans la solution du sol sous l'influence des eaux d'irrigation. Cette étude permettra de mieux comprendre les mécanismes chimiques en cours et de prédire le comportement des sols avec des modèles efficaces
 - L'amélioration de la nutrition minérale des cultures irriguées dans la zone d'étude. Le sol étant pauvre en potassium, l'eau de la nappe étant riche en sodium, il est indispensable de voir par quelles méthodes on peut mieux satisfaire les besoins des cultures. Et
 - L'influence de la composition ionique des sels solubles sur la qualité du Violet de Galmi dans la zone d'étude.

Bibliographie

1. ADAM Issifou, 2011. Cartographie fine de la salinité des sols d'un périmètre irrigué au Niger en vue de leur remédiation. Thèse pour obtenir le diplôme de Docteur de l'Institut supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticole et en paysage: Spécialité environnement de l'Université Abdou Moumouni et Agrocampus Ouest Université Européenne de Bretagne. Niger, 269 P.
2. ALIZEE Ehrnrooth, LAWALI Dambo et RONALD Jaubert, 2011. Projets et programmes de développement de l'irrigation au Niger (1960 – 2010) : Eléments pour un bilan, CEIPI. P.115
3. ASSANE DANGNA Moumouni, 2006. Les effets de la réappropriation de la culture du « Violet de Galmi », par les producteurs d'oignon de la région de TAHOUA – NIGER, sur la dynamique du territoire local, l'organisation sociale et économique. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur en études rurales, Mention « Développement rural ». UNIVERSITE DE TOULOUSE - LE MIRAIL, 281 P.
4. BAUDER T.A., R.M. Waskom et J ;G. Davis, 2007. Irrigation water quality criteria. In Irrigation, Crop series n° 0.506, 4 P.
5. BENZELLAT Benmahammed, 2012. Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomique. Faculté des Sciences de la nature et Sciences de la terre et de l'Univers. Département d'Agronomie et Sciences des forêts. Université ABOUBEKR BELKAID-TLEMCEN, 170 P.
6. BRADAI A., DAOUAOUI A., MARLET Serge., 2008. Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols dans la plaine du Bas – Chélif, Algérie. Acte du quatrième atelier régional du Projet SIRMA, Mostaganen, Algérie 26 – 28 Mai 2008, P7.
7. BRADAI Abdelhamid et DAOUAOUI Abdelkader, 2011. Evolution géochimique de la solution des sols irrigués par les eaux à alcalinité résiduelle positive en conditions contrôlées. Application au Bas – Chélif. Revue Nature et Technologie . C- Sciences de l'Environnement ; n° 08/Janvier 2013. Pages 27 à 32.
1. CLAUDE Fauri, DÉVAUX Jean et HEMPTINNE Jean-Louis, FERRA Christiane , MÉDORI Paul , 2011. Ecologie: Approches scientifiques et pratiques. ÉDITIONS TEC ET DOC / LAVOISIER. 407P.
8. CONDOM Nicolas, 2000. Analyse et modélisation couplée des processus hydro-géochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols irrigués de l'office du Niger Mali). Thèse présentée à l'Ecole Nationale Agronomique de Montpellier pour obtenir le Diplôme de Doctorat Formation doctorale de Sciences du sol. Ecole doctorale de Biologie intégrative. Ecole Nationale supérieure Agronomique de Montpellier, 240 P.

9. D'Alessandro S. et Soumah A., 2008. Evaluation sous – régionale de la chaîne de valeurs oignon/échalote en Afrique de l'Ouest. Bethesda, MD : projet ATP ; Abt Associates Inc. 72P
10. Djamila Rekika, André Gosselin, Sylvie Jenni et Denys Van Winden, 2009. Optimisation de l'irrigation de la culture d'oignons en sols organique. Projet n° 5437. 63P
11. FAUQUET Francois, 2005. Dynamique des ressources Environnementales et mutations des systèmes Agro sylvo pastoraux en milieu tropical semi aride : le cas de la vallée d'Arewa (Niger central). Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat. Université Joseph Fourier. 266P
12. FRANCOIS L.E. and MAAS E.V.. 1999. Crop response and management on salt affected soils. *In* M. Pessarakli (ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Press Inc. New York, pp. 169-201.
13. GEORGE G., 1957. Utilisation des eaux salines. Recherches sur les zones Arides IV, Compte Rendu de Recherche. UNESCO. Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, 19, avenue Kléber, Paris-16. Imprimerie Chaix, 20, rue Bergère, Paris 9.103P
14. GIORGIA Robbiati, ABASS Mallam Assoumane et VIERI Tarchiam, 2012. L'oignon du Niger : étude d'une filière traditionnelle face à un marché globalisé. L'Harmattan, 2012. 5-7 Rue de l'Ecole polytechnique, 75005 Paris. 164P
15. GREIGERT Jacques ,1966. Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemeden (Afrique occidentale). BRGM - Direction des mines et de la géologie - Paris - Niamey - Publication N°2. 234 p
16. GUERO Yadjji, 1987. Organisation et propriétés fonctionnelles des sols de la vallée du moyen Niger. Thèse de Doctorat des universités de Niamey et de Tunis, Niger, 239P.
17. HANANA Mohsen, HAMROUNI Lamia, CAGNAC Olivier et BLUMWALD Edouard, 2009. Mécanisme et stratégie Cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes
18. HAOULA Faouzi et SALHA Ismahen, 2011. Effet du NaCl sur la croissance du glaïeul (*Gladiolus grandiflorus Hort.*). Revue Suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture. Vol. 43 (6), 378 – 383.
19. HC3N, 2012. Stratégie adoptée en 2012. Document de l'Initiative 3N. 69P
20. Institut National des statistiques, 2013. Résultats préliminaire du recensement général de la population et de l'habitat. 10P.
21. Institut National des Statistiques du Niger, 2012. Bulletin d statistique deuxième trimestre 2012. 60 P.
22. IVANA Maksimovic, MARINA Putnik – Delic, ZARKO Illin, MILAN Mirosavljevic, 2012. Essential Cu and Zn) and trace Pb and Cd) heavy metal loads in onion and potato. Aroznanje, Vol. 13, br. 1. 2012. PP 113 - 122
23. J.P. Montoroi, 1997. Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol. Application à un sol sulfaté acide salé de basse Casamance. Centre ORSTOM d'Ile de France, Avenue Hani Varagnat, 93143, Bondy Cedex, 20 P.

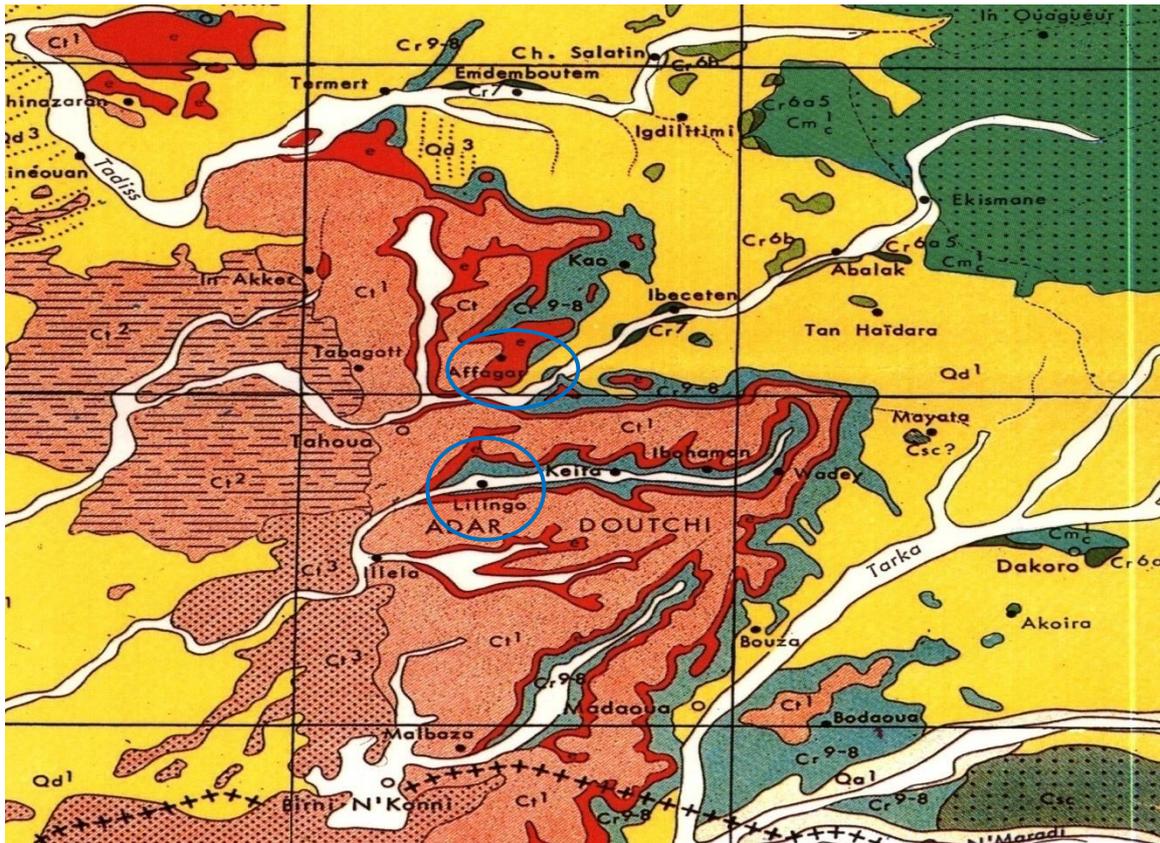
24. L. A. Richards , L. E. Allison L. Bernstein, C. A. Bower, J. W. Brown, M. Fireman J. T. Hatcher, H. E. Hayward G. A. Pearson R. C. Reeve et L. v. Wilcox, 1954. Diagnosis and improvement of Saline and Alkali soils. Agriculture Handbook No. 60. P. 166.
25. Laurent BARBIERO et Vincent VALLES 1992. Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols de la vallée du Dallol Bosso République du Niger). Cah.ORSTOM , Sér.Pédol, Vol. XXVII, N°2, 1992 ; PP 143 -152
26. Laurent BARBIERO, 1995. Les sols alcalinisés sur socle dans la vallée du fleuve Niger. Origines de l'alcalinisation et évolution des sols sous irrigation. TDM Travaux et documents micro fichié n°138, ORSTOM, 262 P.
27. LEVIGNERON Aurélie, Félicie Lopez, Gérard Vansyt, Perre Berthomieu, Pierre Fourcroy et Francine Casse-Delbart, 1995. Cahiers Agricultures N°263 P 263 à 273.
28. M. de FORGES, 1972. Irrigation et salinité. CIHEAM-Options Méditerranéennes.6P.
29. M'Ba Minko et S. Valet, 1998. Effet de la sodicité et de l'alcalinité sur le fonctionnement hydrique : critère de prédiction des risques de sécheresse édaphique des sols compacts de la vallée du Niger. Scientifics registration n° 66, Symposium n°29. 8 P.
30. MAMADOU K. N'DIAYE, ERIK VAN SLOBRE, AMADOU TRAORE, DICK RISSELADA, YACOUBA DOUMBIA et COLLABORATEUR, 1989. Identification des problèmes d'alcalinisation/salinisation des sols à l'Office du Niger. Office du Niger, Division Recherche développement, 80 P.
31. Marc Lacharme, 2001. Contrôle de la salinité dans les rizières. Mémento technique de riziculture. 20 P.
32. Marlet, S., et J.O. Job, 2006. Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R.Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier. ISBN-13: 978-2743009106. 28P
33. MENSAH J. K., AKOMEAH P. A., B. Ikhajiagbe and E. O. Ekpekurede, 2006. Effects of salinity on germination, growth and yield of five groundnut genotypes. African Journal of Biotechnology Vol. 5 (20), pp. 1973-1979
34. Michael C. Shanon and Catherine M. Grieve, 1999. Options for using low quality water for vegetable crops. US. Department of Agriculture Research service, George E. Brown Jr, Salinity laboratory, 450 West big Springs Road, Riverside, CA92507 – 4617. HortScience, Vol. 35 (6) October 2000. PP 1058-1062.
35. Ministère de l'hydraulique et de l'environnement du Niger, 1997. Atlas pour la planification, Arrondissement de Tahoua. Niamey, Niger, 32 P.
36. Mirza Hazanuzzaman, Kamrun Nahar and Masayuki Fjita, 2013. Plant responses to salt stress and roles of exogenous protectants to mitigate salt induced damage. Ecophysiology and responses of plants under salts stress (Eds)P. Ahmad MM. AZOOZ; M.N.V. Prasad 2013.

37. Mohamed OULD SIDI BELLA, 2011. Dynamique de sels solubles dans un sol irrigué et leurs impacts sur la composition minérale du palmier dattier dans la région de Ourgla. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie saharienne. Centre Universitaire de Ourgla. Algérie, 79 P.
38. PIERRE BARRAL Jean et DICKO M.K, 1996. La dégradation des terres à l'Office du Niger. PSI Mali. Travaux et Etudes n°1. 45P
39. Rana Munns and Mark Tester, 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of plant Biology. Vol. 59 : 651-681 DOI : 10. 11146/ annurev.arplant. 59.032607.092911
40. Roger DIDIER de SAINT – AMAND, 1967. Le continental terminal et son influence sur la formation des sols au Niger. Cah. ORSTOM., Sér. Pédol., Vol. VII, N° 4.1969. 24P
41. S. Miyamoto, I. Maetinez and G. Nin, 2008. Effects of salinity and specific ions on seedling emergence and growth of onions. Texas Agrilife Research and extension Center. P.22
42. SADAT S.A. Noori, S. Motahi and O. Lotfifar., 2008. Salinity Tolerance of Maize in Embryo and adult stage. American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci., 3 (5): 717 - 725, 2008. ISSN 1818 – 6769.P.9
43. SOGETHA, 1963. Aménagement régional de l'ader douchi maggi. note de synthèse premiere partie. sha- 33 -9 société générale des techniques hydro agricoles 55 P.
44. TESTER M., DAVENPORT R., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. Ann Bot (Lond) 91503 – 527. PubMed
45. U.S. Agr.Research Service, 1962. L'amélioration des sols salins. Paris, France, CRET, 149 P.
46. YUNCAI Hu and Urs Schmidalter, 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Plant Nutr. Soil Sci. 2005, 168, 541–549.
- 47.
48. Capitaine Y. Urvoy. Terrasses et changements du climat quaternaire à l'Est du Niger. (WWW.persée.fr/web/revue/geo_0003_4010_44_249-40913, Consulté le 20 Mars 2013)
49. Conférence des Ministres de l'Afrique de l'Ouest et du centre, 2000. Filière oignon (www.hubrural.org/IMG/pdf/niger-oignon . consulté le 20/08/13)
50. FAOSTAT, 2013. [www. faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org) (consulté le 28/08/2013)
51. G. Bocquer et M. Gavaud, 1964. Carte pédologique de l'ader douchi. (WWW.Cartographie.ird.fr/sphaera/liste_carte.php Consulté le 20 Avril 2013)
52. Messiaen, C-M et Rouamba A, 2004. Allium cepa L. Fiche de PROTA 4U. Grubben, .J.H. et Denton, O.A. Editeurs). Wageningen ;Pays bas. (WWW.prota4u.org/search-asp; consulté le 20 Octobre 2013).
53. P. BRABANT, 1989. La cartographie des sols dans les régions tropicales : une procédure à 5 niveaux coordonnés. Sciences du sol, 1989 , Vol 27, 4 P 369 à 395 (WWW. afes.fr.2010 consulté le 20 Janvier 2013)

54. Y. De Malach, D. Pasternak, S. Mendlinger, I. Borovic and N. Abd El Salam, 1989. Irrigation with brackish water under desert conditions. VIII. Further studies on onion (*Allium cepa* L.) production with brackish water. Elsevier (<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T3X2eedee6421a715793b17>, consulté le 02/10/13)

Annexe

Annexe 1 : Carte géologique de la zone d'après GREIGERT et PUGNET (1965)

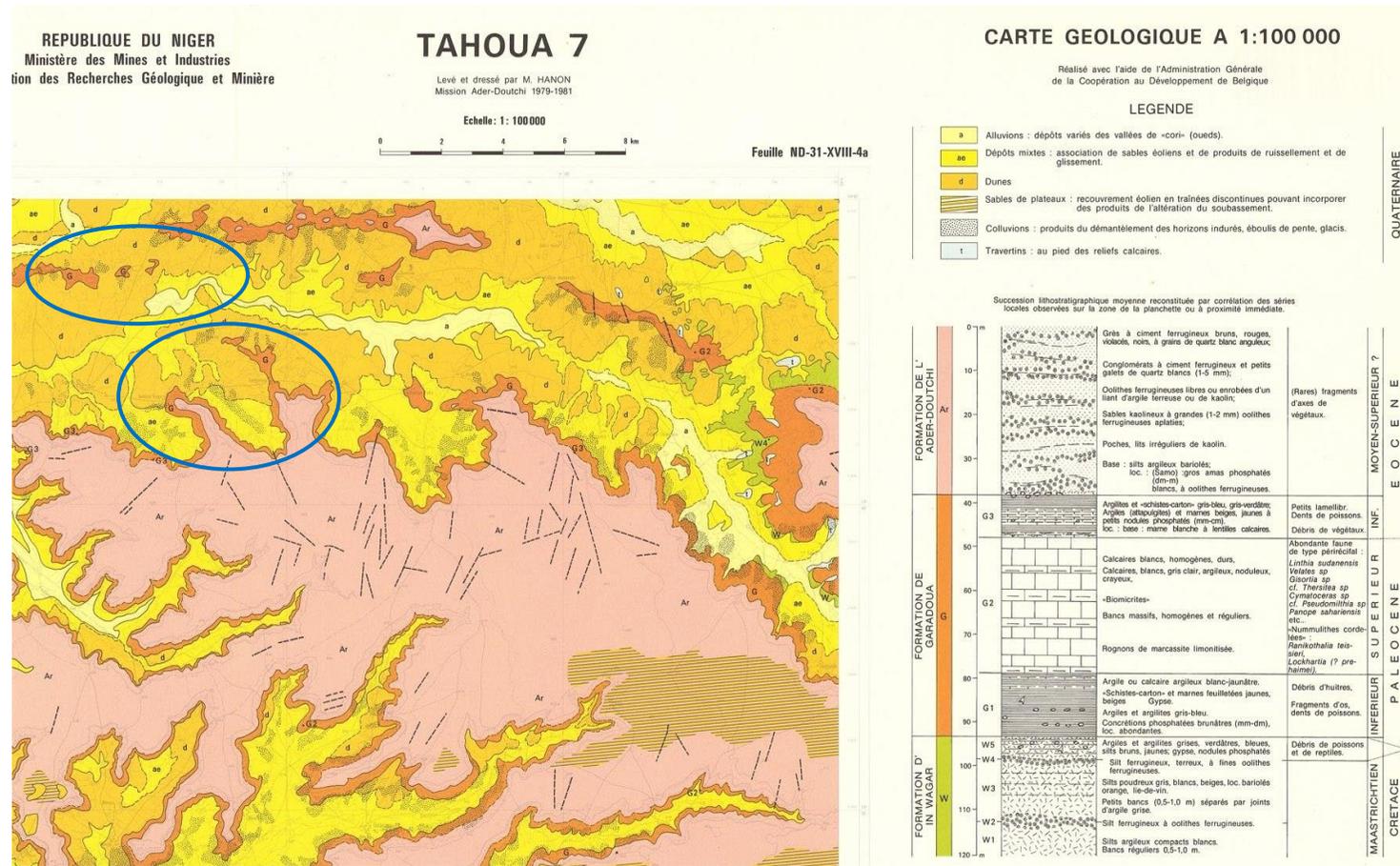


Source : Carte géologique du Niger

D'après GREIGERT et PUGNET

- zones à operculinoïdes et à lockartia
- CT1
- produits de comblement de la vallée
- formations rocheuses datant du sénonien supérieur
- Dunes
- Sites d'étude

Annexe2 : Carte géologique N°2 d'après Hanon(1979 – 1981)



○ Sites d'étude

Annexe3 : Evolution des paramètres de croissance en fonction du nombre de jours après repiquage (Figure 13 à 16)

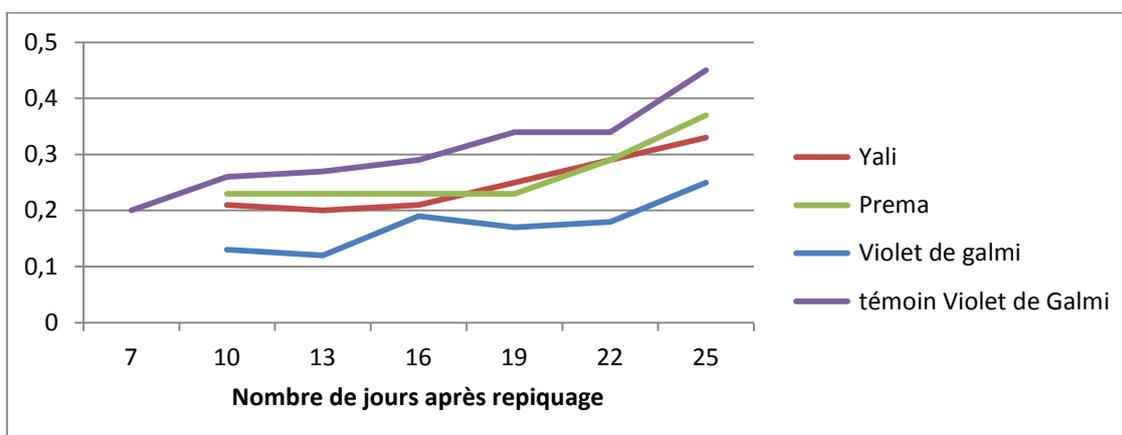


Figure 14: Evolution comparée du diamètre au collet des plants des trois variétés d'oignon soumises au stress salin et du violet de Galmi non stressé (témoin) en fonction du nombre de jours après repiquage

On constate que le stress salin se traduit par une réduction du diamètre au collet des plants des trois variétés d'oignon (Figure 12). Cependant, cette réduction est beaucoup plus importante pour le Violet de Galmi, particulièrement pendant la première semaine d'application du traitement. Les périodes de chute du diamètre correspondent aux périodes de perte de feuilles.

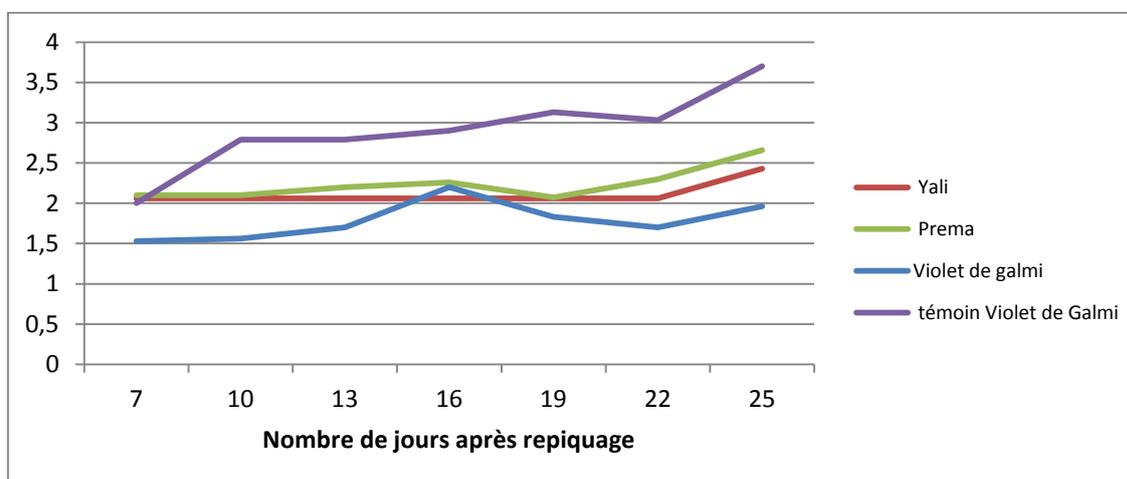


Figure 15: Evolution du nombre de feuilles chez les trois variétés et chez le témoin en fonction du nombre de jours après repiquage

On constate que contrairement au témoin et aux variétés Prima et Yali, l'évolution du nombre de feuilles du Violet de Galmi est triphasique (Figure 13) : une première phase jusqu'au stade de 16 jours après repiquage pendant laquelle on observe une augmentation lente du nombre de feuilles, puis une seconde (entre le 16^{ème} et le 22^{ème} jour) au cours de laquelle le nombre de feuilles chute brusquement avant de repartir à nouveau. Chez les variétés Prima et Yali, le

nombre de feuilles est pratiquement maintenu pendant cette période avant de commencer à augmenter.

L'évolution de la hauteur de la tige (figure 14) des plants stressés du Violet de Galmi suit celle des feuilles (figure 14).

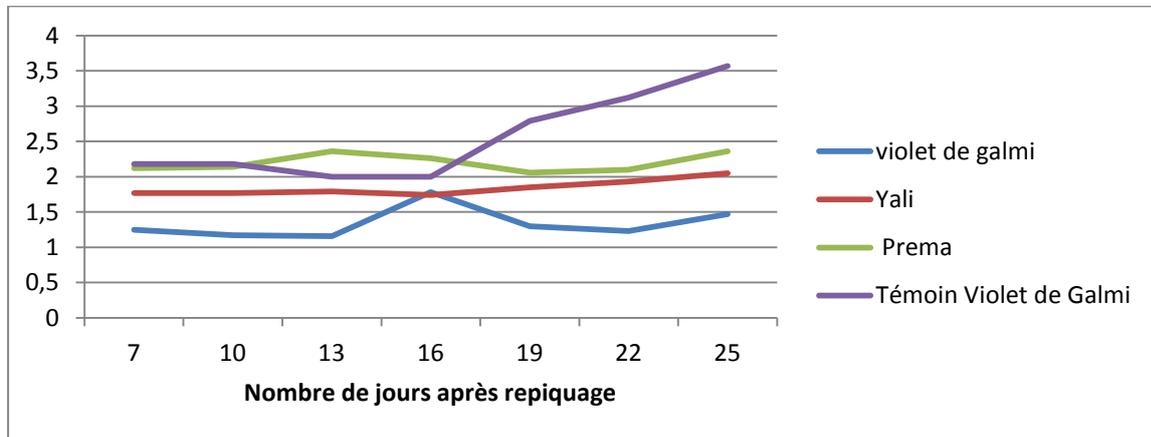


Figure 16 : Croissance de la tige en hauteur chez les trois variétés et chez le témoin

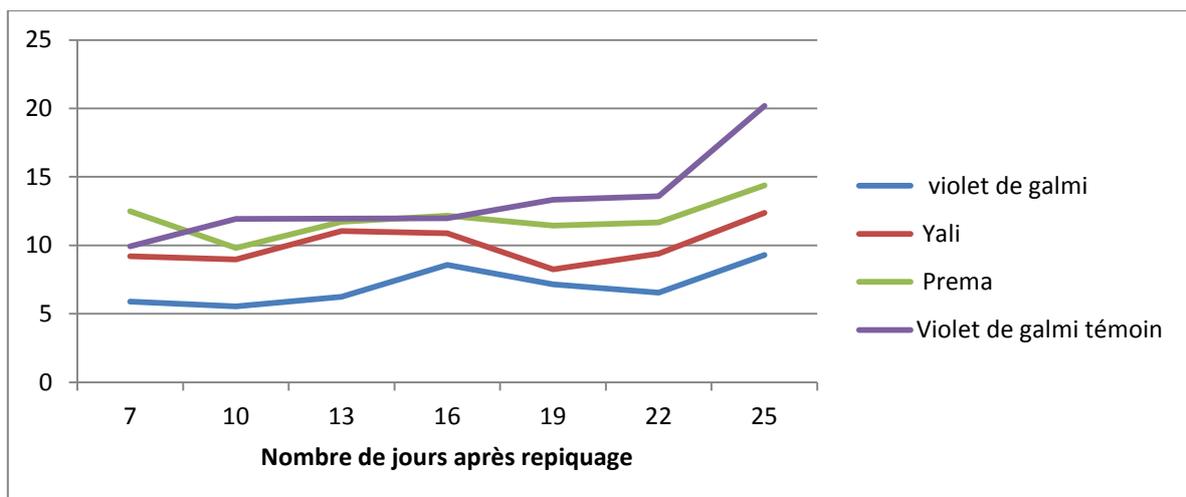


Figure 17 : Croissance de la hauteur du collet à l'apex des feuilles chez les trois variétés et chez le témoin

Annexe4 : Questionnaire d'enquête de terrain

1. Identification du producteur

Nom et prénom	Sexe	Village	N° Toposéquence	Coordonnées GPS	Années d'expérience	Formations reçues

2. Spéculations produites sur l'exploitation et niveau de production

Spéculations	Superficie occupée	Quantités produites en 2013	Quantités produites en 2012	Quantités produites en 2011	Quantités produites en 2010	Superficie occupée en 2013

3. Evolution sur l'exploitation des caractéristiques du sol et de l'eau

- Quelles sont les caractéristiques physiques de votre terrain au début de la culture

a) Type de sol ? _____

b) Terrain très dure à travailler à l'état sec ? /

c) Terrain à engorgement

d) Terrain à infiltration rapide / peu rapide / infiltration difficile

e) Observation de taches sur le sol / OU / A quelles périodes

f) Comment ces paramètres ont-ils évolué sur l'exploitation ? _____

g) Quel est le goût de l'eau d'irrigation ? _____

h) Le goût de l'eau change – t-il pendant l'année ? / ou / A quelle période ? _____

i) Profondeur de la nappe à la fin du maraîchage? / Profondeur en début du maraîchage /

4) Systeme d'irrigation

- a) Moyen de captage utilisé sur l'exploitation ?
- b) Moyen d'exhaure utilisé sur l'exploitation ?
- c) Moyen de transport et de distribution d'eau utilisé sur l'exploitation ?
- d) Comment ces moyens d'irrigation ont évolué sur l'exploitation ?

5) Pratiques agricoles

- a) Quantité de semences utilisée par spéculation ?
- b) Durée de la pépinière par spéculation ?
- c) Méthodes de repiquage ?
- d) Types d'engrais utilisés ? Dose utilisée pour chaque type ?
- e) type de pesticide / herbicide utilisé ? Dose utilisée par type
- e) Opérations culturales effectuées ?
- f) Durée d'irrigation ?
- g) Fréquence d'irrigation ?

6) Comportements de la culture

- a) Pour chaque spéculation quel est le taux de germination ?
- b) Pour chaque spéculation quelle est la durée pour la reprise ?
- c) Pour chaque spéculation quel est le taux de reprise ?
- d) Pour chaque spéculation quel est l'état des cultures deux jours après arrosage ?
- e) Pour chaque spéculation quels sont les signes observés durant tout le cycle ?
- f) Selon vous les rendements des spéculations ont évolué comment ces dernières années ?
- g) Selon vous la taille des cultures ont plutôt tendance à se raccourcir ou à s'allonger ?
- h) Selon vous la taille des bulbes d'oignon ont tendance à augmenter ou à diminuer ?

Tableau n°9 : analyse de corrélation entre les facteurs étudiés

Variables étudiées		Hauteur du collet à l'insertion de la nouvelle feuille	Hauteur du collet à l'apex de la feuille	Nombre de feuille	Diamètre de la tige au collet
Hauteur du collet à l'insertion de la nouvelle feuille	Corrélation de Pearson	1	,880(**)	,843(**)	,913(**)
	Sig. (bilatérale)		,000	,000	,000
	N	60	60	60	60
Hauteur du collet à l'apex de la feuille	Corrélation de Pearson	,880(**)	1	,846(**)	,891(**)
	Sig. (bilatérale)	,000		,000	,000
	N	60	60	60	60
Nombre de feuille	Corrélation de Pearson	,843(**)	,846(**)	1	,907(**)
	Sig. (bilatérale)	,000	,000		,000
	N	60	60	60	60
Diamètre de la tige au collet	Corrélation de Pearson	,913(**)	,891(**)	,907(**)	1
	Sig. (bilatérale)	,000	,000	,000	
	N	60	60	60	60

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).