

Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat

5800 GEMBLoux

(BELGIQUE)

A550-K40

180705719

5719

**CONTRIBUTION A L' APPRECIATION  
DE LA SALINITE PAR L' UTILISATION  
D' UNE PLANTE TEST**

Travail de fin d'Etudes

présenté par

**Mamadou KHOUMA**

en vue de l'obtention du diplôme

d'Ingénieur Agronome

Orientation Science du Sol

Année Académique : 1977 - 1978

## R E M E R C I E M E N T S

Nous remercions vivement le Professeur HANOTIAUX qui a suivi, avec intérêt, ce travail.

Nos remerciements vont également à Messieurs MATHIEU et GAUCHER qui nous ont orienté vers le sujet, à Madame MARLIER-GEETS pour sa constante collaboration et à Messieurs CRABBE, FROMENT et BOLYN pour leurs conseils et leurs critiques.

Nous remercions enfin tout le personnel de la chaire de Pédologie qui nous a supporté pendant toute la durée de ce travail.

## I N T R O D U C T I O N

Les énormes superficies occupées par les sols salins et potentiellement salins ont depuis longtemps attiré l'attention des agronomes et plus particulièrement de ceux qui sont confrontés aux problèmes de mise en valeur des terres.

L'histoire du sel est aussi vieille que le monde et, le tristement célèbre exemple de la salinisation de la vallée du Tigre et de l'Euphrate en est une parfaite illustration. Dans cette zone, la conjonction de l'irrigation avec une eau chargée, de la faible profondeur du niveau des nappes souterraines et de l'aridité du climat, a été à l'origine de la salinisation des terres. A travers le monde, la répartition des sols salins suit, en général, assez fidèlement la répartition des zones arides où le déficit pluviométrique est très accentué. Cette coïncidence aridité, salinité s'explique par l'intensité du pouvoir évaporant en zone aride, avec, comme conséquence, d'importantes remontées capillaires entraînant les sels vers les couches superficielles du sol.

Les origines de la salinité sont multiples et nous aurons l'occasion d'en reparler plus loin.

Dans beaucoup de pays d'Afrique, d'Amérique, d'Asie et d'Australie, il s'est avéré que les sols salins représentaient un potentiel immense pour l'agriculture. Leur mise en valeur requiert une étude préalable aussi objective que possible, afin de bien cerner les problèmes et de proposer les solutions adéquates qui s'imposent.

A travers la littérature consultée, deux critères de diagnostic se dégagent nettement. Il s'agit d'une part, de la conductivité électrique des extraits de sol, et d'autre part, du bilan ionique. la conductivité électrique donne une idée de la teneur globale en sels sans précision sur la nature des sels. Lorsque le chlorure de sodium est l'électrolyte prédominant, on arrive à établir une bonne corrélation entre la conductivité électrique et la réponse des cultures. Lorsqu'il y a présence d'autres électrolytes tels que le chlorure de magnésium, la corrélation est moins évidente.

D'un autre côté, il semblerait que la présence de sulfates solubles fausse la mesure de la conductivité par suite d'une rétrogradation de l'ionisation.

Un bilan ionique donne une idée de la nature des ions en solution sans qu'on puisse, dans l'état actuel des connaissances, préciser avec certitude la nature des électrolytes. on peut espérer que les recherches en cours en matière de modélisation sur les sols salins apporteront une contribution appréciable à la compréhension de la dynamique interne de ce type de sol.

Face aux difficultés liées à l'interprétation de la conductivité et du bilan ionique de solutions salines sur la physiologie des plantes cultivées, nous avons émis l'hypothèse qu'il serait possible d'évaluer les effets de la salure de la solution du sol ou d'une eau d'irrigation en utilisant une plante test. Peut-être serait-il alors possible de classer les sols salins selon un gradient d'utilisation grâce à une méthodologie simple (la plante test) dans des régions où l'équipement en laboratoires spécialisés est insuffisant. La démarche poursuivie dans ce genre de problème est de travailler dans un premier temps avec des milieux de culture artificiels et dans un deuxième temps de vérifier les conclusions sur les sols ou les eaux auxquels on s'intéresse.

Dans ce travail, nous nous sommes limités involontairement au premier aspect du problème, c'est-à-dire à l'étude du comportement végétatif du melon cantaloup, dans des milieux de salinité différente, dans les premiers stades de sa croissance. Nous avons d'abord travaillé avec une solution nutritive de base à laquelle furent ajoutées des concentrations croissantes de chlorure de sodium (NaCl) allant de 2 à 10 grammes par litre par pas de 2. Notre objectif étant ici, de mesurer l'effet de la pression osmotique des solutions.

Ensuite, des essais ont été réalisés avec un mélange de chlorure de sodium et de chlorure de calcium dans des proportions bien définies. Ici, on voulait mesurer l'influence de la composition cationique de la solution.

Nous avons également travaillé avec un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de sodium. Dans cet essai, c'est l'effet de la composition anionique de la solution que l'on a voulu tester.

Dans le dernier essai, nous avons opéré avec un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de calcium dans le but de tester l'influence simultanée de la composition cationique et de la composition anionique de la solution.

Préalablement à l'exposé des résultats des essais, il nous a paru nécessaire de préciser certaines notions et de faire le point sur les nombreux travaux, malheureusement souvent contradictoires, qui ont trait au problème de la toxicité liée à la salinité.

Pour rappeler nos motivations, nous avons pris comme point de départ deux exemples concrets qui illustrent la diversité des sols salins rencontrés dans un cadre géographique aussi limité que celui du SENEGAL : les sols de Mangrove et les sols du Delta.

Ce travail n'a nullement la prétention d'être exhaustif, il se veut une modeste contribution à l'appréciation de la salinité.

P R E M I E R E   P A R T I E

---

R A P P E L   D E   C E R T A I N E S   N O T I O N S   C O N C E R N A N T

---

L A   S A L I N I T E

CHAP. I : Paramètres caractéristiques des sols salin.



I.I. Conductivité électrique des solutions.

La conductivité électrique d'une solution mesure l'aptitude de cette solution à transporter le courant électrique. C'est l'analogue de la résistivité dans un métal et, s'exprime en mho/cm; mmho/cm et Ymho/cm.

Elle dépend de la quantité d'ions en solutions d'une part, ce qui explique son emploi pour déterminer la teneur en électrolyte d'une eau ou d'une solution de sol, et d'autre part, de la température qui influence directement l'ionisation. Une mesure de la température accompagne toujours une mesure de conductivité électrique. La température de référence est 25°C. On la mesure grâce à un conductimètre.

Il existe une table de facteurs de corrections publiée par l'U.S. department of Agriculture.

Facteurs de correction de la conductivité en fonction de la température

(ft)

Température OC	facteur de correction (ft)	Température OC	facteur de correction (ft)
8	1,499	21	1,092
10	1,421	22	1,067
12	1,351	23	1,044
14	1,284	24	1,021
15	1,254	25	1,000
16	1,224	26	0,979
17	1,196	28	0,941
18	1,168	30	0,906
19	1,142	32	0,873
20	1,118	34	0,873

## I.2. Pression osmotique.

La pression osmotique d'une solution est définie comme étant sa pression de diffusion, c'est-à-dire la force qui tend à répartir uniformément les particules de la substance dissoute dans tout le volume du solvant.

Cette pression se traduit également par la résultante des chocs des particules de la substance dissoute sur les parois de la cellule contenant la solution.

Bien que la pression osmotique d'une solution puisse atteindre une valeur importante, (22,6 atmosphères pour une solution renfermant une môle de soluté par litre) elle ne se manifeste pas extérieurement.

Pour mettre en évidence et pour mesurer la pression osmotique, il faut, par un moyen approprié, s'opposer à la réalisation de cette force, c'est-à-dire empêcher les particules de la substance dissoute de se répartir uniformément dans le volume de solvant mis à leur disposition. Ceci est réalisé par emploi de membranes semi-perméables qui possèdent la propriété de laisser passer librement les molécules de solvant mais arrêtent les particules de substances dissoutes.

Dans le cas d'un non-électrolyte, la pression osmotique est une fonction croissante du nombre de molécules-grammes en solution.

Dans le cas d'un électrolyte, la dissociation aura pour effet d'accroître le nombre "d'individus chimiques". La pression osmotique dépendra donc du nombre de molécules-grammes et de leur degré de dissociation exprimé par le coefficient d'ionisation ( $i$ )

$$i = I + (x - I) d$$

avec

x = nombre d'ions donnés par la molécule dissociée

d = degré de dissociation.

Trois lois principales peuvent être dégagées de l'étude de la pression osmotique.

1. "A température constante, la pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration de la substance dissoute".
2. "Des solutions équimoléculaires de substances différentes ont même pression osmotique à même température, lorsqu'il s'agit de non-électrolytes".
3. "Lorsqu'il s'agit d'un électrolyte, la pression osmotique est liée à la nature de l'électrolyte".

I.3. Relation entre conductivité électrique et pression osmotique et concentration en ion de l'extrait saturé d'un sol.

A partir de 30 échantillons de sols alcalins et salins provenant du Colorado, de l'Idaho, de l'Oregon, de Washington et de l'India, R.B. CAMPBELL, C.A. BOWER, et L.A. RICHARDS ont établi les équations suivantes :

$$\text{Concentration en milliéquivalent par litre} = 10,37 \times (\text{C.E} \times 10^3)^{1,065}$$

$$\text{Pression osmotique} = 0,321 \times (\text{C.E} \times 10^3)^{1,065}$$

$$\text{Pression osmotique} = 0,029 \times (\text{m.e./l})$$

Ces équations sont de la forme  $Y = ax^b$  et sont représentées par des droites sur papier logarithmique.

C.E. = conductivité électrique à 25°C exprimée en mho/cm

m.e/l = milliéquivalent par litre.

La pression osmotique est exprimée en atmosphère.

Nous insisterons sur le fait que ces relations sont sujettes à caution lorsqu'on est en présence d'un mélange d'électrolytes dans lequel le chlorure de sodium n'est pas prépondérant.

#### I.4. Le pourcentage de sodium échangeable (E.S.P).

Ce pourcentage donne une idée du degré de saturation du complexe absorbant par l'ion  $\text{Na}^+$ .

La détermination de l'E.S.P nécessitait le dosage du sodium et la détermination de la capacité d'échange cationique. Actuellement on utilise le "Sodium adsorption ratio" (S.A.R) défini comme suit :

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

$\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  étant exprimés en méq/litre de cations solubles dans un extrait de pâte saturée.

Le pourcentage de sodium échangeable est estimé à l'aide de la relation :

$$\text{E.S.P.} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ S.A.R})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ S.A.R})}$$

CHAP. II : Les origines de la salure.

Les origines de la salure sont multiples. Nous nous en tenons à la remarquable synthèse qu'en ont faite GAUCHER G. et BURDIN S.

La salure peut être rattachée aux points suivants :

- contact de la mer (salure d'origine marine) ;
- présence de couches sédimentaires salifères (salure d'origine continentale ou géologique) ;
- certaines manifestations généralement posthumes, du volcanisme (salure d'origine volcanique).

## 2.1. La salinisation marine.

Divers mécanismes peuvent intervenir parmi lesquels les auteurs distinguent :

- a) La submersion des terrains par la mer au cours de tempêtes, de marées exceptionnelles, de raz-de-marée, rupture de digues de protection.
- b) Les infiltrations de la mer dans une nappe phréatique littorale, constituée originellement par des eaux douces. La contamination des terres se produit suite à une remontée du niveau phréatique.
- c) La présence de sel apporté par les embruns sous l'action du vent.
- d) La présence de vases marines imprégnées de salant marin, qui se fixent et s'accumulent sur certaines côtes, ainsi que les dépôts d'estuaire.
- e) La salinisation des lagunes littorales qui est sous la dépendance directe de la mer. Les lagunes sont des dépressions dans lesquelles des eaux originellement plus ou moins salées, se concentrent par évaporation.

Le régime lagunaire s'établit dès que l'évaporation excède l'alimentation en eau, avec la réserve que ceci doit être considéré en termes de bilan semestriel ou annuel.

## 2.2. La salinisation d'origine continentale ou géologique.

Les roches salifères sont le plus souvent gypso-salines, c'est-à-dire constituées d'accumulations de chlorure de sodium et de gypse, associées à des bancs d'argile ou de marne. Ces roches ont été incorporées à des systèmes montagneux lors des plissements et y ont engendré une tectonique particulière appelée le diapyrisme.

Au cours des mouvements orogéniques, les formations salifères ont imprégné de sel et de gypse les roches avec lesquelles elles étaient en contact.

Actuellement les formations gypso-salines placées en relief se comportent comme des centres de redistribution du salant.

Il semble que les faciès lagunaires, riches en évaporites, ont été particulièrement étendus sur le globe aux Permien, Trias et Oligocène.

### 2.3. La salinisation d'origine volcanique.

Cette salinisation est liée aux manifestations posthumes de l'activité volcanique.

On cite :

- les fumerolles dans lesquelles on constate la présence d'acide chlorhydrique et d'anhydrides sulfureux et sulfhydriques ;
- la présence de soufre et gypse ;
- les sources thermales à minéralisation chlorurée ou sulfatée généralement localisées dans les régions de volcanisme ;
- l'altération des roches volcaniques les plus récentes accompagnée d'une libération de carbonate de sodium.

#### 2.4. La salinisation d'origine anthropique.

Nous mentionons ici un type de salinisation que l'on peut qualifier de secondaire.

Cette salinisation est liée à l'emploi excessif d'eau d'irrigation chargée en sels sur des sols à mauvais drainage. Celle-ci a lieu dans des régions où l'intensité du pouvoir évaporant est tel qu'il se produit à certaines périodes d'importantes remontées capillaires entraînant les sels vers les couches superficielles du sol.



CHAP. III : Classification des sols salins.

Dans ce chapitre, nous n'avons retenu que les trois classifications les plus utilisées dans le monde.

### 3.1. Les normes américaines.

D'après l'U.S. Salinity Laboratory (Richard et al), on distingue trois catégories de sols salins.

#### a. Les sols salins.

Ce sont des sols dont la conductivité électrique à 25°C de l'extrait saturé de sol est égale à 4 mmhos/cm et dont la quantité de Sodium échangeable est inférieure à 15% .

#### b. Les sols alcalins.

Ce sont des sols dont la conductivité électrique à 25°C de l'extrait saturé de sol est inférieure à 4 mmhos et dont le pourcentage de Sodium échangeable est supérieur à 15.

#### c. Les sols salins alcalins.

Ces sols ont une conductivité électrique de l'extrait saturé de sol supérieure à 4 mmhos et un pourcentage de Sodium échangeable supérieur à 15.

### 3.2. Classification française. D'après MANIL G. et HANOTIAUX G.

Dans la classification française, les sols salins sont groupés dans la classe des sols sodiques ou halomorphes.

Leur subdivision est basée sur le degré de dispersion et de lessivage des colloïdes argileux.

#### a. Sous-classe des sols halomorphes à profil A/C (à colloïdes minéraux flocculés).

Ces sols peuvent présenter des efflorescences blanches de sel en surface. Le complexe colloïdal est flocculé grâce à l'abondance du calcium (85% ou plus des échangeables).

Le pH est de l'ordre de 7 à 8,5.

Le profil du type A/C comprend souvent en période sèche les horizons suivants :

- minces couches d'efflorescences superficielles ;
- horizon A<sub>1</sub> grisâtre, floclulé ;
- horizon A<sub>2</sub> ou A<sub>3</sub> de teinte plus claire, grumeleuse, avec localement des taches salines : cette dernière couche est limitée en profondeur par une nappe salée.

Les sols sont appelés SOLONTCHAKS, sols à alcalis blancs, sols salins.

b. Sous-classe des sols halomorphes à profil A/B/C (à colloïdes dispersés).

Dans les solontchaks, la faible profondeur de la nappe salée maintient un équilibre chimique et physico-chimique.

Lorsqu'il y a un rabattement de la nappe accompagné d'une percolation d'eau douce en surface, des phénomènes d'hydrolyse se produisent selon la réaction



En présence du Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> formé, le pH monte fortement et les colloïdes se dispersent entraînant la disparition de la structure grumeleuse (Solonisation).

Selon l'importance des phénomènes de la migration des argiles, on distingue les groupes suivants :

Groupe I - Sols à alcalis

Ces sols représentent le premier stade de l'évolution décrite plus haut. Ils apparaissent sous des nuances climatiques légèrement plus humides que celles qui maintiennent les sols salins.

Il peut y avoir des fluctuations importantes de la nappe salée, avec début de solonisation, selon les saisons.

Sous l'influence de l'eau douce et des activités biologiques, il y a désaturation du complexe en ions Ca<sup>++</sup> remplacés par des ions Na<sup>+</sup>. L'état floclulé des argiles devient instable. La structure devient compacte, fendillée à l'état sec.

Groupe 2 - Sols alcalins, solonetz, sols à alcalis noirs

Dans ces sols, l'hydrolyse des argiles est très poussée; le pH atteint des valeurs supérieures à 10.

Il y a une migration des colloïdes argileux et de l'humus, vers le bas.

Lessivage important des horizons supérieurs.

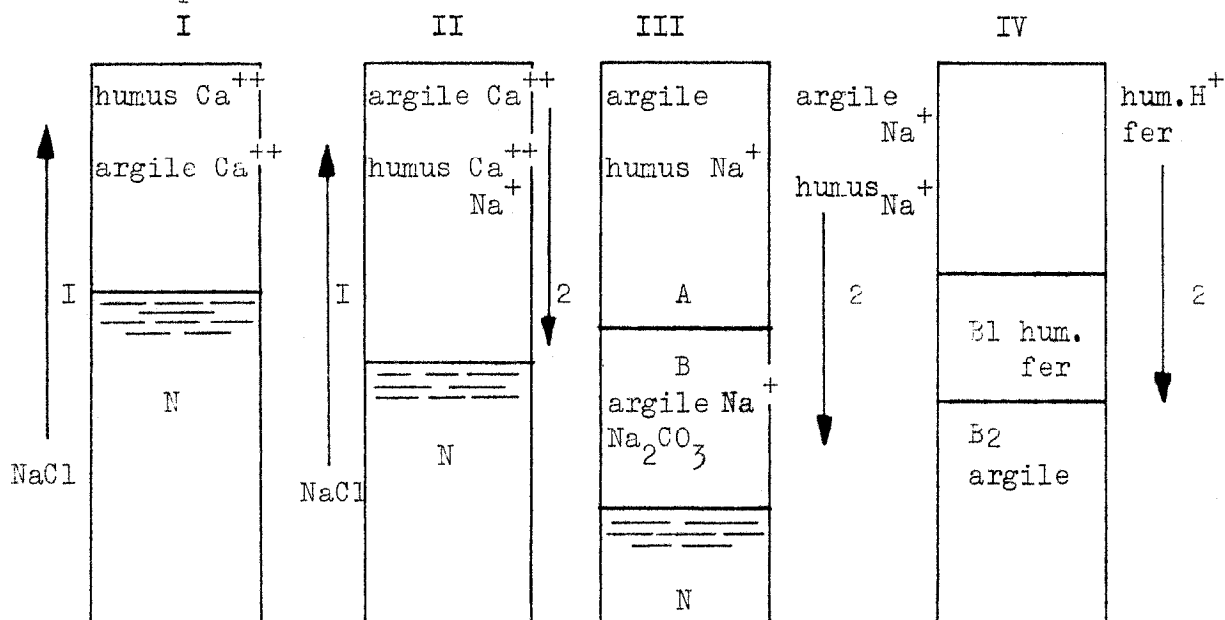
L'horizon B devient compact avec une structure prismatique suite aux fentes de retrait qui se développent en périodes sèches.

Groupe 3 - Soloths et Solodi

La solonisation ou solothisation est une accentuation des phénomènes de lessivage. Il y a une acidification des horizons de surface et une migration des composés ferriques.

Il se produit un genre de podzolisation marquée par un horizon B très compact.

Les schémas suivants (DUCHAUFOR) illustrent l'évolution des sols halomorphes :



I. Solontchak → II. Sols à alcalis → III. Solonetz → IV. Soloth

N = nappe salée

I = saison sèche

2 = saison humide

### 3.3. La classification soviétique.

Les auteurs soviétiques prennent en considération le pourcentage de sels, exprimés en fonction d'un poids de terre sèche et les types de sels impliqués dans les processus de salinisation : chlorures, sulfates, carbonates etc...

Ainsi, d'après KOVDA, on distingue :

- les solontchaks sodiques ;
- les solontchaks sulfatés ;
- les solontchaks chlorurés ;
- les solontchaks nitratés.

Dans les solontchaks sodiques, les sels prédominants sont  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  et  $\text{MgCO}_3$ .

Les solontchaks sulfatés contiennent principalement  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  et  $\text{CaSO}_4$ .

Dans les solontchaks chlorurés, on retrouve  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  et parfois  $\text{CaCl}_2$ .

Les solontchaks nitratés contiennent surtout  $\text{NaNO}_3$  et  $\text{KNO}_3$ .

Dans la nature, une accumulation pure d'un de ces sels est rare, mais la prédominance de l'un ou l'autre groupe d'anions est fréquemment rencontrée.

La subdivision des sols solonetziques est basée sur leur régime hydrologique.

KOVDA les subdivisent en deux groupes :

a. Les solonetz de prairie.

Avec une nappe souterraine située à une profondeur de trois, cinq ou huit mètres, les eaux sont légèrement ou modérément minéralisées.

Les parties inférieures de l'horizon B et l'horizon C dans les solonetz de prairie sont souvent caractérisées par la présence plus ou moins marquée de sels facilement solubles et quelquefois de gypse.

Ces horizons contiennent toujours une quantité significative de carbonate de calcium.

b. Les solonetz de steppe.

L'essentiel de ce que nous en avons retenu est qu'ils se sont formés indépendamment des fluctuations de la nappe. Ils se seraient développés sur d'anciennes plaines inondées, grâce à l'alcalinisation résiduelle.

Les normes américaines permettent de se faire une idée, assez rapidement, de la teneur en sels d'un sol ou d'une eau.

Sur le plan agronomique, nous pensons que la terminologie soviétique est plus explicite et surtout plus écologique, c'est-à-dire plus naturelle. En donnant le pourcentage et les types de sels, elle permet d'éviter de nombreuses erreurs d'interprétation qui pourraient résulter de la seule mesure de la conductivité électrique. Ceci est d'autant plus vrai qu'à même concentration, des solutions de natures différentes peuvent avoir des conductivités électriques inégales. Mais la classification soviétique exige des dosages analytiques et des manipulations plus nombreuses.

A concentration égale, beaucoup de plantes réagissent différemment selon la prédominance de tel ou tel type de sel.

De nombreuses expérimentations aussi bien en laboratoire qu'au champ concordent pour reconnaître que la réponse du coton est meilleure lorsque la salinité est du type sulfaté chloruré. Ceci, bien entendu, dans les limites de tolérance de la plante. La classification française a le mérite de tenir compte des conditions de pédogenèse.

CHAP. IV : Effets de la salinité.



#### 4.1. Les effets directs.

Les effets directs résultant de la salinité sont :

- une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol ;
- une accumulation d'ions toxiques ;
- une modification importante de l'équilibre ionique pouvant entraîner un déséquilibre nutritionnel.

#### 4.2. Les effets indirects.

Parmi les effets indirects nous citons :

- une modification de la structure du sol résultant des propriétés peptisantes de l'ion  $\text{Na}^+$  en excès ;
- une mobilisation de certains ions toxiques normalement présents dans le sol  
ex : l'aluminium ;
- une immobilisation de certains oligo-éléments comme le fer et le manganèse.

#### 4.3. Les effets spécifiques des ions.

Les ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{--}$  sont reconnus comme faisant partie des macro-éléments indispensables, tandis que des ions tels que  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{HCO}_3^-$  ne semblent pas jouer de rôle majeur dans les phénomènes de nutrition minérale.

Quant au Sodium reconnu comme non indispensable, HARMER, BENNE, LANGHLIN et KEY cités par BOLYN, lui attribuent un effet utile selon l'abondance relative de potassium. Les auteurs précités distinguent quatre catégories de végétaux selon la réponse au sodium.

- La première regroupe les végétaux ne répondant pas à l'addition de  $\text{Na}^+$ , même lorsque l'ion  $\text{K}^+$  est déficitaire.
- La deuxième regroupe les végétaux qui répondent favorablement à l'ion  $\text{Na}^+$ , mais uniquement dans le cas d'une carence potassique.
- La troisième, les végétaux réagissant faiblement à un apport de Sodium, même lorsque le Potassium est abondant.
- Dans la dernière catégorie, on retrouve les végétaux réagissant très favorablement à un apport de Sodium, même lorsque les concentrations potassiques sont très élevées.

L'interaction Sodium-Potassium semble donc être un phénomène extrêmement variable qui dépend de la nature des plantes.

HEIMANN H. en travaillant sur arachide (*Arachis hypogea* L) variété Virginia 4, sur sol calcaire moyennement lourd à réaction neutre à légèrement alcaline avec une capacité d'échange cationique de 14 à 20 milliéquivalents par 100 g, et en utilisant l'irrigation par aspersion avec une eau légèrement saline, conclut que :

- l'addition de 1,5 g/l de chlorure de sodium ne réduit pas significativement le poids de matière fraîche et la production de gousses est identique à celle du témoin ;
- la même quantité de sel, 1,5 g/l de chlorure de sodium, additionnée de 0,15 g/l de KCl, a plus que doublé la production de gousses.

#### 4.4. Le problème de la toxicité.

L'expression "ion toxique" est à prendre avec précaution. Souvent, l'effet toxique attribué à un ion n'est que "la goutte d'eau qui fait déborder le vase". Cela signifie que s'il n'y avait pas présence d'une multitude de facteurs dont les effets sur la plante ne s'extériorisent pas, l'effet toxique attribué à un ion serait difficilement mis en évidence.

A cela s'ajoute le manque de relativité dans la plupart des conclusions faites sur le sujet. Des expériences réalisées par HOMES montrent à suffisance la nécessité de cette relativité.

Des rondelles de navet ont été immergées dans des solutions de KCl et de  $ZnCl_2$ , ainsi que dans des mélanges de ces deux solutions. Les résultats montrent que l'adjonction d'une solution de  $ZnCl_2$  à une solution de KCl produit un mélange qui était non seulement moins toxique que si les toxicités des deux solutions étaient additives, mais encore moins toxique que la solution de KCl pur. Les proportions pour lesquelles l'effet le plus favorable a été constaté sont les suivantes :

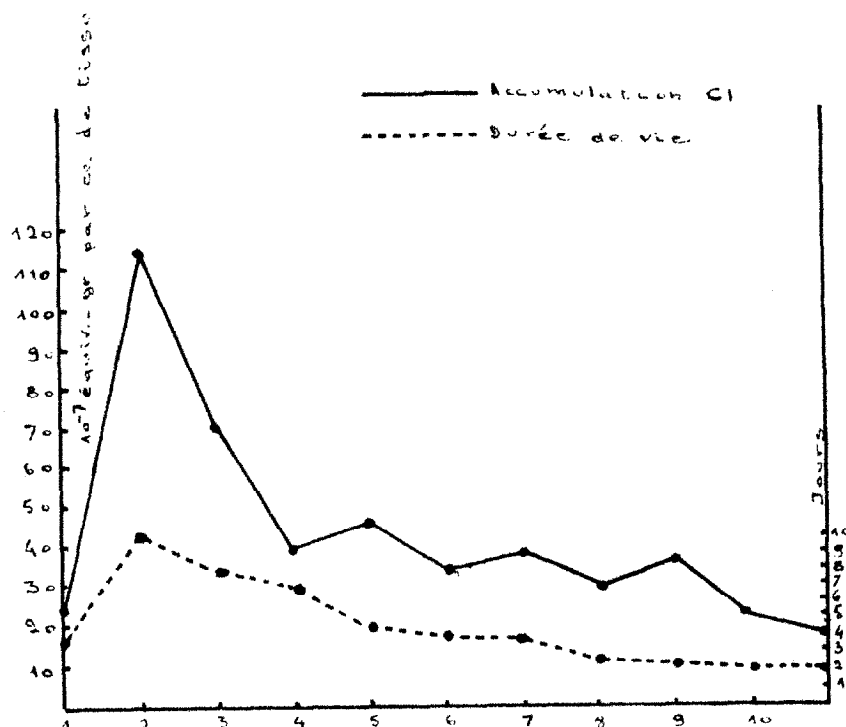
- 10% équivalents-grammes Zn
- 90% équivalents-grammes K

Les résultats des expériences sont repris ci-dessous :

TABLEAU I

Solutions n°	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Concentration en $10^{-7}$ ion-gr par cc	51	51	50	50	50	49	49	49	49	48	48	
Proportions relatives en équiv-gr	K	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	Zn	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Accumulation moyenne par cc de tissu $10^{-7}$ ion-gr Cl	27	114	71	39	46	34	38	30	36	24	20	
Durée moyenne de vie en jours	3,4	8,6	6,7	6,1	4,1	3,4	3,2	2,2	2,1	1,8	1,9	

DIAGRAMME I



Emprunté à HOMES, M.V. (1947)

De même OSTERHOUT a constaté que le mélange d'une solution de NaCl et d'une solution de CaCl<sub>2</sub> de toxicité égale était moins toxique que les solutions pures. La croissance radiculaire maximale étant obtenue dans le mélange contenant 5 % de la solution de CaCl<sub>2</sub> et 95 % de la solution de NaCl.

4.5. Phénomènes toxiques attribués aux ions les plus courants dans les sols salins.

a. Les anions.

- Chlorures :

les symptômes d'intoxication se manifestent généralement par des brûlures de l'extrémité des feuilles qui peuvent s'étendre par la suite, et gagner tout le limbe.

- Sulfates :

provoquent des marbrures jaunâtres ou bronzées sur les feuilles. Une chute accentuée des feuilles a été signalée.

- Bicarbonate :

signes de chlorose.

b. Les cations.

- Sodium :

les symptômes sont difficiles à distinguer de ceux de l'anion cl avec lequel il est souvent associé. L'effet nuisible des hautes teneurs serait dû au fait que la plante souffre d'une déficience en calcium.

- Calcium :

de grandes concentrations dans la solution du sol seraient préjudiciables à certaines plantes, en particulier aux halophytes et semi-halophytes.

- Magnésium :

sa toxicité serait augmentée lorsque la proportion de calcium dans la solution du sol diminue.

- Bore :

nous le mentionnons parcequ'il se révèle être toxique à faible concentration. L'eau d'irrigation en contient souvent dans les régions arides.

On signale une toxicité de l'eau boratée à partir de 0,1 ‰. A 2 ‰ l'eau devient inutilisable.

#### 4.6. L'influence de l'humidité atmosphérique sur les plantes en milieu salin.

Contrairement à ce qui se passe chez beaucoup de végétaux poussant sur des sols non salins, une humidité relative élevée est favorable aux plantes poussant sur des milieux salins.

Les expériences faites par BOLYN sur une Fabaceae originaire de l'Afrique du Sud, *Virgilia oroboides* (Berg) Salter, cultivée en milieu nutritif équilibré montrent que celle-ci continue à végéter à une conductivité électrique de 16,2 mmhos cm, pour autant que la température soit inférieure à 18°C et que l'humidité relative soit supérieure à 95 %.

Dès que la température dépasse 18°C et que l'humidité relative tombe en-dessous de 80 %, l'auteur constate une perte de turgescence et des nécroses sur les feuilles, suivies d'une mort rapide des plantes.

#### 4.7. L'influence de la solution du sol.

Lorsque la pression osmotique de la solution du sol et le potentiel capillaire additionnés atteignent 15 atmosphères, on assiste généralement à un flétrissement des plantes cultivées.

La salinité, en augmentant la pression osmotique de la solution du sol, joue un rôle considérable sur le point de flétrissement des plantes.

D'après TAMES, cité par GRILLOT G., la plante meurt, lorsque dans la solution du sol, l'équation suivante se vérifie :

$$\sum m.e = \frac{(A_t - Ch) P_s}{33,6}$$

avec

$\sum m.e$  = somme des milliéquivalents

$A_t$  = eau totale du sol (capacité de rétention)

$$= A_u + A_i$$

$A_u$  = eau utile du sol

$A_i$  = eau inerte du sol, obtenue par l'addition de ses deux composants Ch et Co.

Ch = composant hygroscopique

Co = composant osmotique

Ps = force de succion des racines.

En Tunisie, un flétrissement des tomates fut constaté à I4 - I5 % d'humidité, en sol dont la solution contenait 7 grammes de NaCl par litre; alors que dans le sol témoin sans sel, le flétrissement ne fut observé qu'à 9 % d'humidité.

En Irak, le flétrissement a été constaté à 7,5 % d'humidité dans un sol sans sel et à I2 % en sol salé.

#### 4.8. L'incidence de la salinité sur la microflore.

Selon les travaux de PANTANELLI, la nitrification est entravée en solutions titrant plus de 5 ‰ de sels. La vitalité des microbes fixateurs d'azote est arrêtée par I ‰ de chlorure, 4 ‰ de nitrate et 20 ‰ de sulfate de soude.

RAVIKOVITCH a trouvé I.890.000 bactéries par gramme de terre dans un sol ramené à 0,28 ‰ de sels totaux et qui, salé auparavant à I,03 ‰ renfermait seulement I5.200 bactéries par gramme.

Cependant VERONA affirme trouver 8.595.000 bactéries par gramme de terre à 0,5 % de NaCl, contre 616.500 en terre à 0,01 %. D'autre part en U.R.S.S., on a constaté que la flore microbienne était plus abondante dans les solontchaks et les solonetz qu'en sols non salins et qu'en solods.

Il semble que c'est surtout le déficit d'air qui déprime l'activité microbienne.

#### 4.9. Les bases physiologiques de la tolérance aux sels.

Les végétaux possèdent divers mécanismes de réaction face à un excès de sels.

Nous citerons :

- le mécanisme de pompe à flux de sodium chez certaines algues marines de littoral ;
- les glandes spéciales pour l'excrétion de sels chez certaines espèces de Tamarix, Frankenia sp, Avicennia sp, Statice sp et Spartina sp ;
- le stockage à travers la succulence chez Salicornia sp, Suaeda sp, Arthrocnemum sp ;
- la perte ou l'inactivité de certaines parties de la plante (feuille, etc...) chez Calotropis sp, Eragrostis bipinnata.

Les plantes les plus tolérantes ont la capacité d'ajuster la pression osmotique interne de leur suc vacuolaire sur la pression osmotique du sol.

Cette capacité d'ajustement valable dans plusieurs cas n'explique pas toujours la tolérance de certaines plantes.



Les travaux de AYERS et KOLISCH à l'U.S. Salinity Laboratory, ont abouti à un accroissement de la pression osmotique des sucs cellulaires du Trèfle rouge, plus important que celui de la luzerne cultivée dans les mêmes conditions de salinité. Malgré cela, le Trèfle rouge s'est révélé moins tolérant que la luzerne.

Des nombreuses études faites sur la tolérance des plantes aux sels, il ressort que celle-ci est extrêmement variable au sein d'un même genre, d'une même espèce et des diverses variétés.

Les études montrent également l'importance de l'humidité du sol et du climat local dans la détermination de la tolérance. Ceux-ci ne sont malheureusement pas souvent indiqués.

#### 4.10. Les causes de la réduction de croissance.

Deux théories sont avancées dans la littérature :

- la théorie osmotique, rappelant que les plantes ne peuvent pousser sur des sols salins que si la pression osmotique de leurs cellules est supérieure à celle de la solution ambiante, conclut que les sels créent des difficultés dans l'appel d'eau des plantes et causent par là la déshydratation des tissus;
- pour les partisans de la théorie de la toxicité, l'effet toxique des sels n'est pas le résultat des sels en tant que tels, mais d'une accumulation d'intermédiaires toxiques qui perturbent le métabolisme cellulaire  
ex : accumulation de putrescine accompagnée de la formation de surfaces nécrotiques typiques sur les feuilles.

Ces deux théories, à notre avis, ne sont pas antagonistes, mais plutôt complémentaires.

Lorsqu'on est en présence de faibles concentrations qui ne permettent pas d'atteindre des valeurs élevées de la pression osmotique, l'effet toxique peut jouer en créant un déséquilibre ionique dans la plante.

Aux fortes concentrations, la pression osmotique peut atteindre des valeurs telles que la plante souffrira d'un manque d'eau.

Comment réagit la plante face à une telle situation ?

D'après GREENWAY H., lorsque la plante ne prélève pas de sels dans le milieu environnant, les conséquences seront les mêmes que celles des plantes qui poussent dans des sols secs contenant très peu d'électrolytes. De telles plantes ont une faible turgescence et une faible hydratation.

Toujours dans le cas où il n'y a pas prélèvement de sels, des composés organiques accumulés dans les cellules peuvent restaurer la turgescence et l'hydratation par le processus déjà mentionné de l'ajustement osmotique. Cela nécessite des quantités considérables de produits métaboliques et particulièrement des sucres.

Pour une concentration extérieure de 100 milliéquivalents par litre de NaCl (5,7 g/l de NaCl), la sève cellulaire devrait accumuler 30 g/l d'hexose ou 60 g/l de disaccharides.

L'ajustement osmotique peut aussi se faire par un prélèvement de sels vers l'intérieur des cellules. Cependant, ce prélèvement introduit un danger de déséquilibre par le phénomène d'antagonisme des ions.

Chez les espèces agronomiquement intéressantes, la tolérance aux sels serait généralement associée à un pouvoir de désorption d'ions à partir des tissus végétaux.

Ainsi, chez le soja, les lésions sur feuilles n'apparaissent que dans les variétés qui ont de fortes concentrations de  $\text{Cl}^-$  dans leurs feuilles (ABEL et MACKENZIE).

Des cas similaires impliquant des dommages associés aux fortes teneurs en  $\text{Na}^+$  ou en  $\text{Cl}^-$  dans les feuilles ont été signalés chez différentes espèces de coton.

Cette situation apparemment paradoxale qui fait que les plantes les moins tolérantes sont celles qui accumulent le plus d'ions dans leurs feuilles s'expliquerait par le fait que chez les plantes tolérantes, l'ajustement osmotique dans les tissus est dû en partie à l'accumulation de substances organiques.

CHAP. V : Aperçu sur quelques sols salins du SENEGAL.

### 5.I. Les sols de mangrove.

Dans le Sud du pays en Casamance, on se trouve en présence de conditions particulières comparativement au reste du SENEGAL.

Du point de vue géographique, la Casamance est une plaine basse, mal drainée par la rivière Casamance. C'est une plaine qui reste fortement inondée pendant toute la saison des pluies. Les pluies tombent de mai en octobre - novembre. Une part importante de ces pluies est sous l'influence de la mousson principalement en basse et moyenne Casamance. La hauteur moyenne annuelle des précipitations se situe aux alentours de 1.500 mm. Cette hauteur moyenne diminue très rapidement lorsqu'on passe de la côte à l'intérieur.

En résumé, le climat de la basse et moyenne Casamance est caractérisé comme étant un climat de type soudano-sahélien à variante maritime.

La rivière débouche à Ziguinchor en formant un pseudo-delta aux nombreux bras anastomosés découpant des îlots bordés de palétuviers. Ce système fluviomarain serait dû à une transgression marine, dans un pays plat constitué de grès ferrugineux tertiaires (AUBREVILLE).

Les sédiments fluviomarins qui recouvrent une bonne partie de la Casamance, le long de la rivière sont soumis à une pédogénèse dans laquelle les différentes transformations du soufre jouent un rôle très important. Le matériel sédimentaire qui a servi à remblayer la zone estuarienne vient probablement de l'érosion de la couverture de sols ferrallitiques du bassin versant (VIEILLEFON 1974).

L'étude des diverses fractions granulométriques et des lames minces a montré les liens de parenté entre sédiments de mangrove et sols de plateaux. Ce matériel est principalement constitué de quartz cariés et fracturés, de kaolinite et d'oxyde de fer.

a) Succession végétale dans la plaine alluviale.

Selon l'hypothèse la plus plausible actuellement, la mangrove est d'abord colonisée par une végétation d'*Avicunia nitida* dont la particularité repose sur les racines respiratoires ou pneumatophores. A cette première colonisation par *Avicunia* qui stabilise les sédiments succède une végétation de *rhizophora mangle* qui possède des racines échassées. La végétation de *rhizophora* en ralentissant l'impact de la marée favorise un assèchement avec, comme conséquence, une remontée capillaire des sels eu égard au pouvoir évaporant intense de la région. Ceci entraîne une augmentation des teneurs en sels, favorable à une recolonisation par *Avicunia* plus résistante. Sur les parties exondées, où l'influence des marées est presque nulle, appelées "Tanne vif", la teneur en sels est telle qu'aucune végétation ne s'y développe. A cette zone de Tanne vif succède une zone légèrement en dépression submergée en saison de pluies et appelée "Tanne herbacé" avec prédominance d'une végétation d'*Héléocharis mutata*.

b) Différenciation pédologique.

Sur le plan pédologique, la différence principale entre la mangrove et le tanne repose sur les formes du soufre.

- Dans la mangrove, les sédiments sont très riches en soufre provenant d'une part du milieu marin et, d'autre part, de la décomposition des végétaux sur place. Dans ces sédiments en état de submersion quotidienne, le soufre est sous forme réduite, principalement sous forme de soufre élémentaire et de pyrite. Les sulfates solubles sont présents dans la mangrove mais les teneurs sont négligeables comparées à celles du tanne.

- Dans le tanne où règne un régime annuel de submersion (le tanne est inondé en grande partie pendant la saison des pluies), il se produit une oxydation des composés réduits du soufre pendant la saison sèche sous l'action combinée des bactéries sulfo-oxydants, de l'aération et du pH. Cette oxydation produit de l'acide sulfurique et de la jarosite. Le pH dans ces sols de tanne peut être très bas et descendre jusqu'à une valeur de 2. Il semblerait qu'en conditions naturelles, la jarosite joue un rôle de tampon en captant les ions  $H^+$  issus de l'oxydation des composés ferreux. Lorsqu'on accélère ce processus par la poldérisation, ce rôle tampon de la jarosite ne se manifeste plus et on se trouve très rapidement en présence d'un sol salin très particulier appelé "sol sulfaté acide". Sous l'action des pluies hivernales et selon leur ampleur, le tanne peut se déssaler en partie avec une légère réduction de l'acidité. Sur le terrain cela se manifeste par une prolifération de graminées sur le tanne. De façon empirique le paysan se sert de cette végétation graminéenne comme repère pour un début d'exploitation éventuelle.

## 5.2. Les sols du delta.

Au Nord dans la région du delta du fleuve Sénégal, d'énormes problèmes de salinité se posent.

Deux origines ont été reconnues :

- une salinisation marine ancienne liée à la transgression dunkerquienne qui a laissé des surfaces "d'eaux piégées" qui devinrent de véritables lagunes. La présence de cristaux de gypse maclés est caractéristique de cette salinisation (GAUCHER) ;
- une salinisation marine actuelle.

TRICART a abondamment traité le problème du sel dans la notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. Nous en avons retenu les grandes lignes :

a) Situation dans les cuvettes.

L'évaporation intense qui règne à partir de janvier - février a pour effet d'assécher les cuvettes, augmentant ainsi la concentration des eaux qui y sont restées prisonnières. Vers mars - avril, la plupart des cuvettes sont complètement asséchées. Selon l'intensité des crues, la durée de l'assèchement peut se prolonger ou se raccourcir. Lorsque l'assèchement est complet, le fond des cuvettes est tapissé d'efflorescences blanchâtres.

La concentration en sel est fonction de la granulométrie. Dans les matériaux argileux le sel reste diffus, prêt à former une boue imperméable lors des premières averses. TRICART cite l'exemple d'une pluie de 20 mm ne pénétrant qu'à 3 cm seulement, la surface étant transformée en boue liquide. Dans les limons, la bonne perméabilité permet au sel de se concentrer en surface sous l'effet de l'évaporation. Le sel se concentre en cristaux de 0,05 mm qui cimentent les particules limoneuses entre elles. Des agrégats de limon contenant jusqu'à 10 - 15 % de sel se forment ainsi, présentant la granulométrie apparente du sable. Ces agrégats sans cohésion sont facilement mis en mouvement par le vent. Les cuvettes deviennent par cet effet des aires de déflation de limon salé. Tout le delta est ainsi saupoudré de poussière salée.

La nuit, une abondante rosée se forme malgré la sécheresse diurne de l'air (15 à 25 % d'humidité relative). Cette rosée facilite la précipitation des limons en suspension dans l'air qui en s'alourdisant se déposent sur les feuilles de Tamaris.

Pendant la même saison, le débit du Sénégal devient très faible. L'eau de la mer remonte dans les chenaux principaux jusqu'entre Richard-Toll et Dagane soit près de 200 Km.



Les apports de sel actuels

L'origine du sel actuel est incontestablement la mer. Les eaux du fleuve ne contiennent qu'une faible proportion de sel dissous. L'absence de cuvette à dynamique de sebkhas en dehors du delta, dans des zones sensiblement identiques du point de vue des précipitations et de l'évaporation, est un des arguments avancés. Les embruns sont également cités comme origine probable grâce aux conditions exceptionnellement favorables.

- Prédominance des vents provenant du large et soufflant presque pendant toute la saison sèche.
- Violence de la houle sur le littoral, avec déferlement de la barre, qui projette de nombreuses gouttelettes d'eau salée dans l'air.
- Sécheresse de l'atmosphère qui permet la cristallisation du sel des embruns en minuscules particules aptes à flotter longtemps dans l'air.
- Existence d'un état hygrométrique relativement élevé la nuit, en saison sèche, provoquant l'hydratation des particules de sel en suspension dans l'air et leur précipitation.

b) Les masses de sel résiduelles.

Ce type de formation ne peut s'expliquer sans faire appel à l'histoire du delta. Nous référant toujours aux travaux de TRICART, nous notons qu'au Dunkerquien, la plus grande partie du delta était sous régime lagunaire. Une quantité importante de sel s'est incorporée aux sédiments au fur et à mesure de leur dépôt, tant aux limons qu'aux argiles. Ce sel qui fait maintenant partie intégrante des formations Dunkerquiennes se déplace en circuit fermé.

- L'évaporation de la saison sèche le fait concentrer vers la surface où il permet, sur les levées, le déclenchement des phénomènes éoliens.

- Lors des pluies d'hivernage, dans les parties non submergées des levées, une partie du sel redescend en profondeur, prête à remonter à la saison suivante.
- Le vent transporte, avec le limon, une certaine quantité de sel, mais la part qui est exportée du delta ne semble pas être considérable.
- L'eau de ruissellement dissout un peu de sel, contribuant à recharger en sel le fond des sebkhas où elle se concentre finalement.

Nous avons pu prélever trois échantillons dans le delta. Le prélèvement provient des cuvettes dénommées respectivement I, IIIa et IIIb.

Des mesures de conductivité électrique ont été effectuées sur les extraits de pâte saturée.

Nous avons également doser les chlorures et le  $\text{CaCO}_3$ .

Voivi les résultats des analyses

	Conductivité électrique à 25°C en mmho/cm	$\text{Cl}^-$ mg/l	$\text{CaCO}_3$ mg/l <sup>3</sup>	Nacl mg/l
I	6,49	I 250	I 762,5	2 062,5
IIIa	2,12	450	634,5	742,5
IIIb	26,83	I 900	2 679	3 135

En nous référant aux normes américaines nous pouvons conclure que :

- l'échantillon IIIa est non salin, il est dans la classe 0 ;
- l'échantillon I est légèrement salin, il est dans la classe I ;
- l'échantillon IIIb est fortement salin, il est dans la classe 3.

La gamme de sols qu'on rencontre dans le delta est très variée et ne se reflète pas entièrement dans ces échantillons. Ainsi pour donner une illustration aussi complète que possible de ces sols, nous avons résumé l'étude assez détaillée qu'a faite G. GAUCHER lors d'une mission. On trouvera à côté du nom attribué à l'aide de la classification française des sols, le correspondant dans la classification américaine (7ème approximation).

Aperçu des sols d'après G. GAUCHER.

La typologie des sols est en relation étroite avec les régimes qui ont dominé les milieux de pédogénèse.

a. Le régime halomorphe correspond à deux unités géomorphologiques.

Les sebkhas

- avec des solontchaks (aridisols, orthids, salorthids) dans les zones soumises à l'influence des eaux douces ou à des solontchaks
- solonetz (en milieu moyennement sec : aridisols, argids, natrargids; en milieu humide : entisols, udents, hapludents natraquiques) Hyposolontchaks (entisols, udents, hapludents saliques).

Les levées fluviales et les deltas de rupture

les levées ont été construites par le fleuve par alluvionnement latéral

- solontchaks
- solontchaks - solonetz.

b. Le régime de delta (mangrove des artères fluviales et des lagunes)

- sols à sulfates acides (entisols, aquents, haplaquents ou hydraquent selon la teneur en matière organique) ;
- évolution des sols précédents à l'air libre avec éventuellement submersion temporaire en eau douce : sols à sulfates acides à caractères atténués (entisols, udents, hapludents aquiques), sols faiblement humiques à gley ;

- évolution des mêmes sols en milieu halomorphes : solontchaks, solontchaks-solonetz, hyposolontchaks.

c. Le régime de colmatage dans les anciennes lagunes devenues des cuvettes, et dans les bras morts des défluent

- colmatage par submersion périodique avec dominance du régime actuel (eau douce) : sols alluviaux de colmatage (entisols, udents, hapludents aquiques) ;

- les mêmes sols que ci-dessus mais avec une composante héritée du régime ancien :

régime halomorphe : solontchaks - solonetz, hyposolontchaks

régime de delta : sols à sulfates acides à caractères atténués ;

- colmatage par submersion permanente ou subpermanente dans les bras morts des défluent :

colmatage de marigots : sols alluviaux

(entisols, gley net : aquents, haplaquents; gley diffus; udents, hapludents aquiques)

idem, mais submersion plus prolongée : sols faiblement humiques à gley (entisols, avec une grande variété de types

selon la teneur en matière organique : hydraquents ou haplaquents ;

selon la teneur en sable : psammaquents, quartzopsamments

haplaquentiques)

submersion prolongée : sols humiques à gley - ou sols alluviaux humiques (entisols, aquents, hydraquents).

d. Régime dunaire ou complexe dune-plage.

On y trouve :

- régosols (sols dior, entisols, udents, psamments) ;
- passage aux sols de colmatage : sols faiblement humiques à gley ;
- passage au milieu halomorphe : hyposolontchaks et solontchaks - solonetz.

DEUXIEME PARTIE

---

TRAVAIL EXPERIMENTAL

## INTRODUCTION.

Dans cette deuxième partie, nous avons étudié d'abord l'incidence du chlorure de sodium sur la croissance et le développement du melon cantaloup dans les premiers stades de végétation.

Nous avons par la suite introduit des déséquilibres cationiques et anioniques dans la solution nutritive de base, afin de mesurer l'incidence de tels déséquilibres sur le comportement de notre plante test. Notre objectif restant, rappelons-le, de pouvoir apprécier la salinité d'un sol ou d'une eau lorsqu'on ne dispose pas de moyens suffisants de mesure et d'analyse.

Nous avons travaillé avec un substrat ne contenant presque pas d'éléments biogènes et avec une solution nutritive de composition parfaitement connue.

CHAP. VI : Matériel et conditions de travail.

6.I. Solution nutritive.

Après documentation, nous avons choisi une solution nutritive avec une concentration totale de 42 milliéquivalents par litre et un rapport cations-anions de I,I.

Cette concentration a été retenue parcequ'en-dessous de 42 m.eq/l, il aurait fallu renouveler assez souvent la solution nutritive. Au-dessus de 42 m.eq/l, des problèmes de pression osmotique risquent de se poser.

Empiriquement, la solution à 42 milliéquivalents s'est révélée satisfaisante pour la plupart des plantes (ANSIAUX J-R).

Les rapports entre anions et entre cations ont été les suivants :

N	S	P	K	Ca	Mg
50 %	25 %	25 %	40 %	40 %	20 %

Composition de la solution nutritive

Nombre de milliéquivalents						Produit	Nombre de mg apportant	mg de produit
N	S	P	K	Ca	Mg			
II	5,5	5,5	8	8	4	pour I litre	I m.eq	par litre
	4				4	$SO_4Mg_7aq$	123	492
		5,5	3,7			$PO_4HK_2$	58	319
	1,5		1,5			$SO_4K_2$	87	130,5
2,8			2,8			$NO_3K$	101	282,8
8				8		$(NO_3)_2Ca_4aq$	118	944
0,2						$HNO_3$	63	12,6



Des oligo-éléments ont été ajoutés.

Composition de la solution-mère d'oligo-éléments

Produit	mg/l de solution
$H_3BO_3$	0,85
$SO_4Mn_4H_2O$	0,85
$SO_4Zn_7H_2O$	0,85
$SO_4Cu_5H_2O$	0,18
$SO_4Fe_7H_2O$	10

Vu les faibles quantités à peser, nous avons préparé une solution-mère concentrée qui a été diluée de façon adéquate par la suite.

Les plantes ont été arrosées tous les deux jours avec la solution nutritive. Nous avons travaillé à solution perdue, c'est-à-dire que le percolat n'a pas été récupéré.

## 6.2. Substrat.

Le substrat utilisé est le sable blanc de Campine dénommé M3I, mis sur le marché par la firme SCR SIBELCO d'Anvers.  
Granulométrie : 80 % des particules ont un diamètre compris entre 200 et 500 microns.

Densité apparente : 1,5.

L'analyse du sable brut effectuée au laboratoire de Pédologie de Gembloux a donné les résultats suivants :

K total	Ca total	Mg total
0,00 %	0,12 %	0,018 %

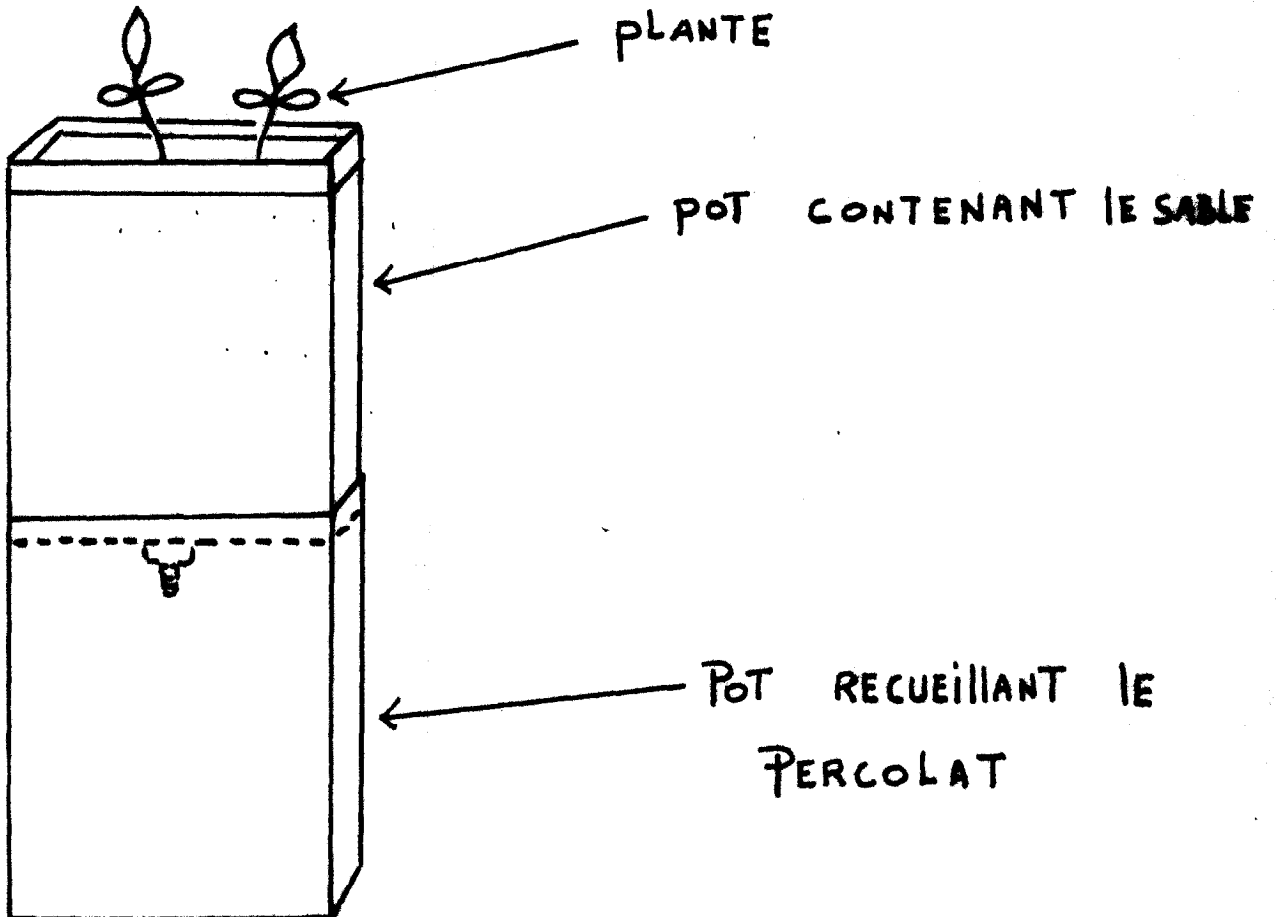
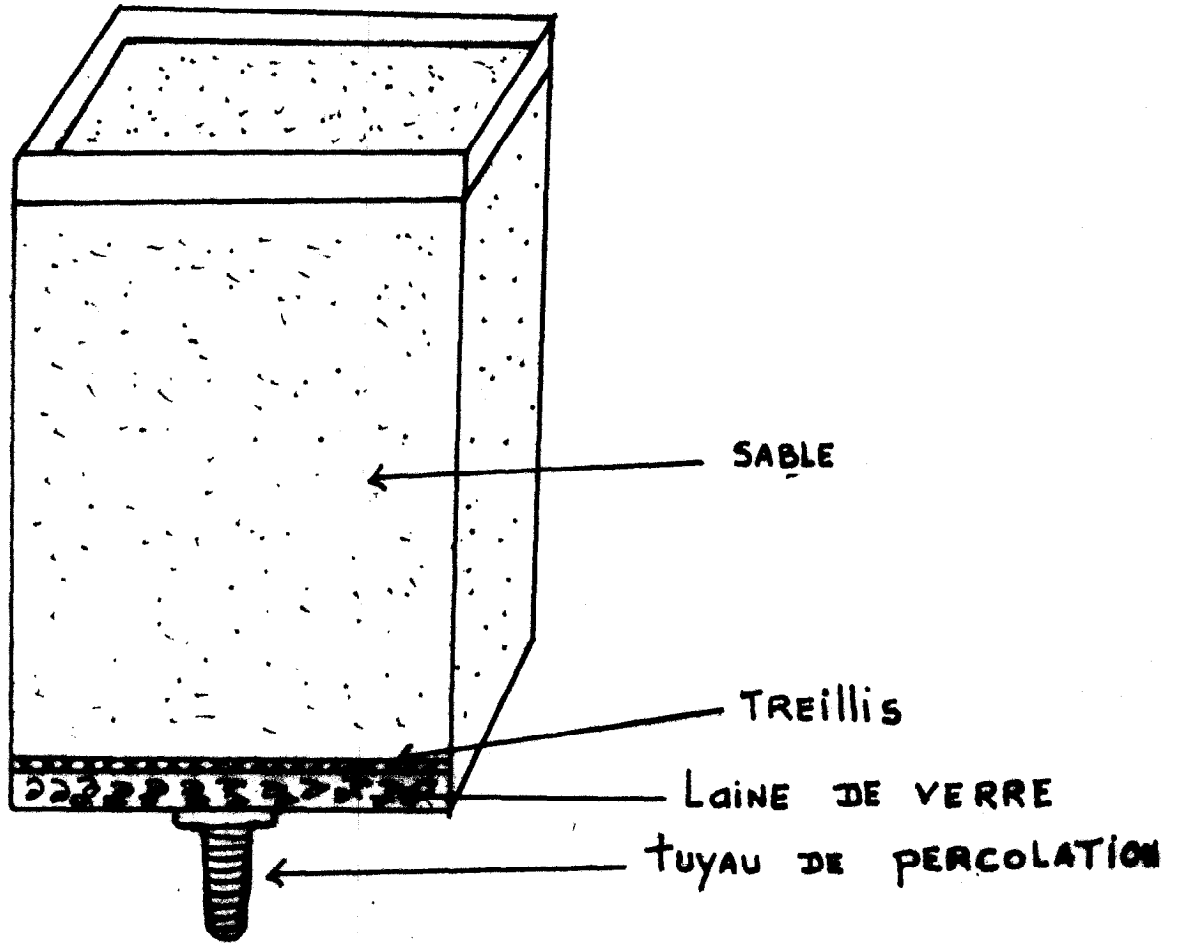
Malgré la faiblesse des teneurs en éléments biogènes, le sable a été abondamment rincé à l'eau distillée et séché.

### 6.3. Dispositif de culture.

Le sable est réparti dans des pots pouvant contenir plus ou moins un kilo de sable. Chaque pot est muni d'un orifice permettant l'écoulement de liquide en excès que recueille un deuxième pot. Cf. figure.

Le fond de chaque pot est tapissé de laine de verre que surmonte un treillis à mailles fines.

SCHEMA DU DISPOSITIF - 49 -



#### 6.4. La plante.

Au départ, nous avons la possibilité de travailler soit avec des graines de tomate, soit avec des graines de melon. Comme nous n'avions aucune raison objective de choisir l'une ou l'autre plante, nous avons décidé de mettre sur pieds un test sur la rapidité de germination.

Les premiers essais ont été mis en route dès le 7 avril 1977.

80 graines de melon cantaloup de la variété Epritel ont été réparties dans 4 boîtes de pétri munies de papier filtre imbibé d'eau distillée.

80 graines de tomate de la variété Moneymaker ont aussi été réparties dans 4 boîtes de pétri.

2 boîtes contenant des graines de melon et 2 boîtes contenant des graines de tomate ont été placées à l'obscurité dans une étuve à + 25°C.

Les 4 autres boîtes ont été soumises aux conditions du laboratoire.

72 heures après, toutes les graines de melon contenues dans les boîtes mises à l'étuve avaient germé ainsi que la majorité des graines de tomate, tandis qu'aucune graine se trouvant dans le laboratoire n'avait germé.

L'insuccès des graines placées dans le laboratoire a été attribué à l'intense pouvoir évaporant qui y régnait. Les graines étaient complètement desséchées.

15 graines germées de melon et 15 graines germées de tomate ont été repiquées dans 6 pots contenant chacun 5 graines, soit de melon, soit de tomate.

Les pots ont été régulièrement arrosés à l'eau distillée. Après deux semaines de végétation, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- la germination est plus rapide lorsqu'elle est conduite à l'obscurité et à l'étuve aussi bien pour tomate que pour melon ;
- le pourcentage de germination est légèrement plus élevé pour le melon ;
- les graines de melon germées sont plus faciles à manipuler pour les opérations de repiquage ;
- le développement de la plantule de melon est plus rapide.

Toutes ces considérations nous ont amené à choisir le melon cantaloup comme plante-test. Dans un essai d'orientation, nous avons observé pendant trois semaines des plants de melon qui recevaient tous les deux jours 50 ml de solution nutritive par pot.

Aucune anomalie ou trouble de croissance n'a été décelé.

#### Description de la plante.

Le melon appartient à la famille des cucurbitacea - nom latin : Cucumis melo L.

Dans nos essais, nous avons utilisé le type cantaloup et précisément la variété Epritel.

Le melon est une plante annuelle extrêmement polymorphe à tiges rampantes ou grimpantes. Les feuilles peuvent être de dimension et de forme variables, entières, réniformes, pentagonales ou avec 3 à 7 lobes.

Tiges et feuilles peuvent être plus ou moins velues. Les racines sont abondantes et traçantes.

Exigences climatiques.

Originaire de pays chauds, le melon exige beaucoup d'insolation, de chaleur et une atmosphère pas trop humide, pour se développer normalement.

Dans la littérature il est admis qu'en-dessous de 12°C sa croissance est arrêtée. La germination nécessite une température assez élevée.

Température du sol et germination (d'après HARRINGTON J.F.).

Nombre de jours nécessaires pour la levée de graines semées à 1,25 cm de profondeur.

Température du sol	20°C	25°C	30°C
Nombre de jours	8 jours	4 jours	3 jours

Température du sol pour la germination (d'après HARRINGTON J.F.).

- Température minimale : 15°5 C.
- Zone de température optimale : 24 à 35°C.
- Température optimale : 32° C.
- Température maximale : 39° C.

Pendant la croissance, la température au niveau des racines doit être assez élevée.

Tous les auteurs sont d'accord pour reconnaître que l'absorption de l'eau dépend de la température au niveau des racines. Lorsque cette température est de 10°C, la quantité d'eau absorbée est très faible même avec une température élevée de l'air. Un pH compris entre 6 et 7,5 convient généralement.

#### 6.5. Paramètres de laboratoire.

Les essais ont été conduits dans le laboratoire de Pédologie.

Vu les exigences en lumière du melon, un dispositif avec rampes a été mis en place. Les tubes d'éclairage sont situés à 60 cm du sommet des pots.

La mesure de l'éclairement donne :

32.000 Lux lorsque la mesure se fait au niveau des tubes

7.000 lux lorsque la mesure s'effectue à la hauteur des jeunes plants.

L'humidité relative moyenne à la hauteur des plants est de 42 %.

Température moyenne du laboratoire : 24°C.

Un dispositif intercalé entre la source de courant et les appareils d'éclairage a permis de contrôler parfaitement la durée de l'éclairage. Nous avons programmé le dispositif pour 16 heures d'éclairage.

Les lampes s'allument à partir de 6 heures et s'éteignent à 22 heures.

#### 6.6. Méthodologie.

Pour éviter une source d'erreurs, nous avons fait prégermer les graines de melon dans des boîtes de Pétri dont le papier filtre est imbibé d'eau distillée.

Les boîtes sont mises à l'étuve,  $+ 25^{\circ}\text{C}$ , pendant 96 heures.

Les graines prégermées ont été repiquées dans les pots de culture à raison de 5 graines par pot. 4 graines sont disposées en carré et 1 graine au centre.

Chaque traitement a été répété quatre fois. Nous avons procédé à un tirage au sort pour l'attribution de l'emplacement des traitements.

L'arrosage s'est fait tous les deux jours avec 50 ml de solution par pot. Cette dose de 50 ml correspond à la quantité qui a permis une percolation convenable.

Des observations régulières ont été faites durant les vingt cinq jours de chaque essai. Les observations furent :

- la rapidité de la levée ;
- l'aspect des feuilles cotylédonaire ;
- l'apparition de la première feuille non-cotylédonaire ;
- la couleur des feuilles et l'aspect général des plantes.

A la fin de chaque essai, la longueur et la largeur des feuilles cotylédonaire et de la première feuille, ont été mesurées.

Nous avons établi des tableaux donnant ces valeurs, en moyenne, et par traitement.

Les plantes entières ont été dépotées par la suite, rincées à l'eau et regroupées par traitement. Les dix meilleurs plants de chaque traitement ont été globalement pesés, frais, et mis sous enveloppe à l'étuve jusqu'à poids constant; la température de l'étuve étant réglée sur  $60^{\circ}\text{C}$ . Après ce passage à l'étuve, les poids secs ont été relevés.



Contrairement à ce que nous espérions au départ, une analyse statistique rigoureuse des résultats n'a pas été possible suite au manque de données dans certains traitements où, une ou deux répétitions n'ont rien donné. Ceci nous a objectivement contraint à globaliser les rendements sur dix plants.

Nous avons naturellement pensé à l'estimation des données manquantes mais cela s'est révélé impossible.

CHAP VII : Essai Nacl.

Pour cet essai, six solutions correspondant aux différents traitements ont été préparées.

Le témoin ne contient que de la solution nutritive. Les autres traitements contiennent respectivement 2, 4, 6, 8 et 10 g de sodium par litre de solution nutritive.

7.1. pH et conductivité des solutions.

<u>Traitement</u>	<u>pH</u>	<u>Conductivité électrique</u> <u>à 25°C en mmho/cm</u>
0 g/l	6,6	1,74
2 g/l	7,0	5,11
4 g/l	7,2	7,96
6 g/l	7,1	10,72
8 g/l	7,0	13,78
10 g/l	7,1	16,34

7.2. Résultats de l'essai.

Tableau 2 : Nombre de graines levées sur un total de 20 par traitement.

<u>Traitement</u>	<u>Temps en jours</u>					
	<u>2e j</u>	<u>4e j</u>	<u>6e j</u>	<u>8e j</u>	<u>10e j</u>	<u>12e j</u>
NaCl						
0 g/l	0	3	6	10	13	15
2 g/l	6	12	17	17	17	17
4 g/l	0	8	10	13	15	15
6 g/l	0	9	15	16	16	16
8 g/l	0	3	9	12	13	15
10 g/l	0	9	14	17	17	17

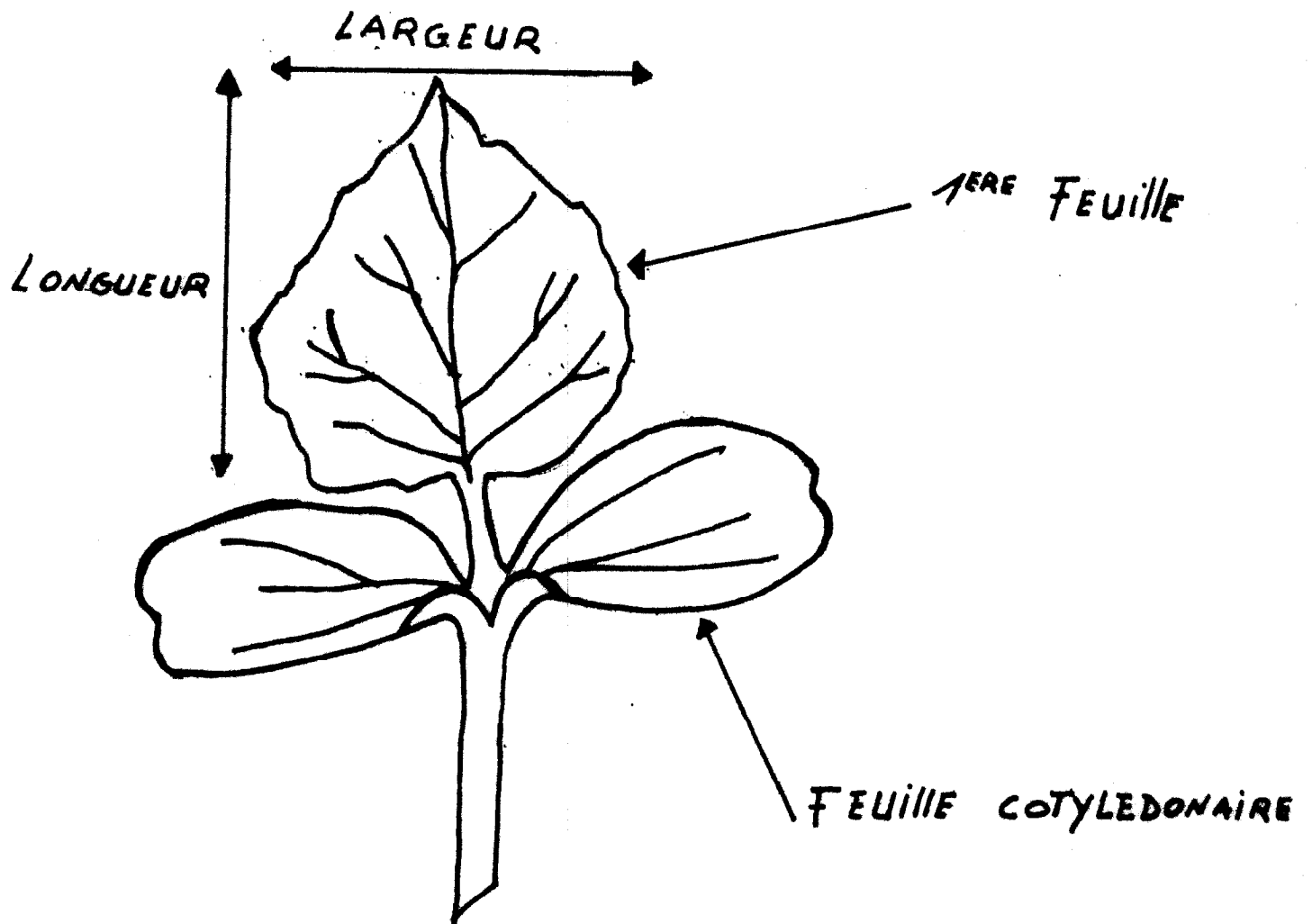
Tableau 3 : Pourcentage de levée.

Traitement	Temps en jours					
	2e j	4e j	6e j	8e j	10e j	12e j
Nacl						
0 g/l	0	15	30	50	65	75
2 g/l	30	60	85	85	85	85
4 g/l	0	40	50	65	75	75
6 g/l	0	45	75	80	80	80
8 g/l	0	15	45	60	65	75
10 g/l	0	45	70	85	85	85

Tableau 4 : Dimensions moyennes des feuilles.

Traitement	Feuilles cotylédonaire		1ère feuille	
	longueur	largeur	longueur	largeur
Nacl				
0 g/l	3,47	1,94	4,74	5,22
2 g/l	3,76	2,08	4,96	5,61
4 g/l	3,54	1,95	4,28	4,80
6 g/l	3,19	1,80	3,48	3,57
8 g/l	3,23	1,76	2,55	2,58
10 g/l	2,90	1,71	2,14	2,08

Les valeurs sont exprimées en cm.



JEUNE PLANT DE MELON (schéma)

Tableau 5 : Poids de 10 plants en g.

Traitement Nacl	Poids sec	Poids frais
0 g/l	3,278	32,15
2 g/l	3,273	45,15
4 g/l	2,084	35,55
6 g/l	1,558	24,52
8 g/l	1,180	14,07
10 g/l	1,419	14,35

N.B. : Vu la différence d'ordre de grandeur entre poids sec et poids frais, les deux mesures n'ont pas été faites avec la même balance; ce qui justifie le maintien de 4 chiffres significatifs pour le poids sec.

Les poids concernent les plantes entières (partie aérienne plus les racines).

### 7.3. Commentaires.

#### 7.3.1. La levée.

Aucune tendance nette n'a pu être observée en ce qui concerne la rapidité de la levée, les extrêmes variant entre 75 et 85 % de levée au 12<sup>e</sup> jour après le repiquage.

Seul le traitement à 2 g par litre a manifesté une levée dès le 2<sup>e</sup>me jour, 30 % alors que tous les autres traitements n'avaient rien donné.

### 7.3.2. Le rendement en poids sec.

D'une façon générale, les rendements en poids de matière sèche décroissent régulièrement au fur et à mesure que la concentration en chlorure de sodium augmente dans la solution nutritive.

Il est à noter que le traitement à 2 g par litre donne un rendement en poids sec quasi identique à celui du témoin et un rendement en poids frais supérieur à celui du témoin. L'explication de ce phénomène pourrait être donnée par le fait que lorsqu'on travaille avec une solution nutritive peu ou moyennement concentrée en potassium, le sodium peut compléter le potassium dans la nutrition minérale des plantes. Il peut aussi jouer un rôle sur la turgescence des tissus.

### 7.3.3. Les dimensions des feuilles.

Il nous a semblé utile d'indiquer les dimensions des feuilles caractéristiques au moment où nous avons fait la récolte (Tableau 5). Les longueurs et largeurs des feuilles suivent la décroissance des poids secs en fonction de la teneur en chlorure de sodium dans la solution nutritive.

### 7.3.4. Autres caractères phénotypiques.

Des déformations morphologiques importantes ont été notées dans les traitements à 8 et 10 g par litre de chlorure de sodium : les feuilles cotylédonaire se sont recroquevillées dès la levée.

L'apparition de la première feuille s'est produite le 6ème jour qui a suivi le repiquage. Le traitement à 2 g/l s'est nettement dégagé de l'ensemble par sa vigueur.

Des signes de chlorose se sont manifestés dans les traitements à 6, 8 et 10 g/l.

Dans tous les traitements, le développement de la partie radiculaire est conforme au développement de la partie aérienne. Les plants les plus vigoureux possèdent des racines plus grandes et plus ramifiées.

#### 7.3.5. Conclusion.

En conclusion, nous retenons trois critères essentiels comme indices de la sensibilité à la salure due au chlorure de sodium. Il s'agit du rendement en poids sec, de la morphologie des feuilles cotylédonaire et de la coloration.

Ceci nous permet d'avancer que la concentration de 4 g/l de chlorure de sodium constitue un seuil de sensibilité et de tolérance pour la plantule de melon dans le cadre de nos essais.



CHAP. VIII : Essais NaCl + CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O.

---

Notre objectif dans cet essai est d'observer l'influence d'une proportion variable de deux cations essentiels (Na<sup>+</sup> et Ca<sup>++</sup>) dans la solution nutritive, la fraction anionique restant commune (Cl<sup>-</sup>).

Pour cela on a utilisé le mélange de deux sels, en l'occurrence NaCl et CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O.

Nous avons choisi trois concentrations globales : 2, 6 et 10 g de mélange par litre à l'intérieur desquelles les proportions des deux sels sont les suivantes :

75 % NaCl et 25 % CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O

50 % NaCl et 50 % CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O

25 % NaCl et 75 % CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O

ce qui donne 9 traitements répétés 4 fois soit : 36 objets.

La numérotation suivante a été adoptée pour les traitements :

2 g par litre

1,5 g NaCl + 0,5 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O            Ia

1 g NaCl + 1 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O            Ib

0,5 g NaCl + 1,5 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O        Ic

6 g par litre

4,5 g NaCl + 1,5 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O        IIa

3 g NaCl + 3 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O            IIb

1,5 g NaCl + 4,5 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O        IIc

10 g par litre

7,5 g NaCl + 2,5 g CaCl<sub>2</sub>      IIIa

5 g NaCl + 5 g CaCl<sub>2</sub>      IIIb

2,5 g NaCl + 7,5 g CaCl<sub>2</sub>      IIIc

### 8.1. pH et conductivité des solutions.

La solution nutritive de base reste la même en ce qui concerne la composition et la proportion des éléments. Pour chaque nouvel essai, une nouvelle solution nutritive a été préparée.

<u>Traitement</u>	<u>pH</u>	<u>Conductivité à 25°C</u> <u>en mmho/cm</u>
Ia	6,6	4,29
Ib	6,6	4,08
Ic	6,5	4,08
IIa	6,6	9,39
IIb	6,2	8,68
IIc	6,3	8,17
IIIa	6,3	14,29
IIIb	6,1	13,27
IIIc	6,0	12,25

### 8.2. Résultats de l'essai.

Tableau 6 : Nombre de graines levées sur un total de 20 par traitement.

Traitement	Temps en jours					
	2e j	4e j	6e j	8e j	10e j	12e j
NaCl+CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O						
Ia	6	18	18	19	19	19
Ib	7	18	19	19	19	19
Ic	5	17	19	19	19	19
IIa	2	18	18	19	19	19
IIb	3	20	20	20	20	20
IIc	3	20	20	20	20	20
IIIa	1	16	18	18	18	18
IIIb	5	15	18	18	18	18
IIIc	7	20	20	20	20	20

Tableau 7 : Pourcentage de la levée.

Traitement	Temps en jours					
	2e j	4e j	6e j	8e j	10e j	12e j
Nacl+Cacl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O						
Ia	30	90	90	95	95	95
Ib	35	90	95	95	95	95
Ic	25	85	95	95	95	95
IIa	10	90	90	95	95	95
IIb	15	100	100	100	100	100
IIc	15	100	100	100	100	100
IIIa	5	80	90	90	90	90
IIIb	25	75	90	90	90	90
IIIc	35	100	100	100	100	100

Tableau 8 : Dimensions moyennes des feuilles.

Traitement	Feuilles cotylédonaire		Ière feuille	
	longueur	largeur	longueur	largeur
Nacl+Cacl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O				
Ia	3,98	2,36	5,44	6,34
Ib	3,92	2,29	5,41	6,30
Ic	4,01	2,27	5,75	6,96
IIa	3,45	1,99	3,85	4,23
IIb	3,78	2,12	4,83	5,52
IIc	3,57	2,10	4,76	5,37
IIIa	3,24	1,98	2,80	2,92
IIIb	2,92	1,77	2,66	2,81
IIIc	3,72	2,03	4,21	4,68

Les valeurs sont exprimées en cm.

Tableau 9 : Poids de IO plants en g.

Traitement	Poids sec	Poids frais
Nacl+Cacl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O		
Ia	5,116	55,08
Ib	3,557	52,41
Ic	4,787	59,02
IIa	2,273	32,43
IIb	2,546	43,75
IIc	2,831	43,72
IIIa	1,290	20,35
IIIb	1,028	16,72
IIIc	2,554	32,10

### 8.3. Commentaires.

#### 8.3.1. La levée.

La levée a été assez bonne. Au 4ème jour, tous les traitements avaient un pourcentage de levée supérieur à 70.

Au sein des traitements I et II, les pourcentages au 12ème jour sont quasi identiques tandis que dans les traitements III, la différence de 20 % qui existait au départ entre IIIa et IIIb s'est réduite à 10 %.

De façon générale, les traitements issus des mélanges de Nacl et de Cacl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O accusent un léger retard dans la levée, lorsque nous les comparons, au 2ème jour, aux traitements ne contenant que du Nacl aux mêmes concentrations. Ce retard est cependant très rapidement rattrapé au 4ème jour.

8.3.2. Le rendement en poids sec.

Les traitements Ia, Ib et Ic ont tous un poids sec supérieur en chlorure de sodium.

Au niveau des traitements IIa, IIb et IIc également, les poids secs sont supérieurs à celui du correspondant en chlorure de sodium. Nous pensons que l'ion calcium est responsable de cet effet bénéfique.

Au niveau des traitements III, seul IIIc à dominance de calcium donne un poids sec supérieur à celui de son correspondant en chlorure de sodium. Le fait que les variations de la conductivité électrique se font en sens inverse de celles du poids de matière sèche mérite d'être signalé. Le poids sec en fonction de la conductivité donne le tableau suivant :

Tableau IO : Poids sec en fonction de la conductivité électrique.

Traitement	Conductivité à 25°C en mmho/cm	Poids sec
Ic	4,08	4,787
Ib	4,08	3,557
Ia	4,29	5,116
IIc	8,17	2,831
IIb	8,68	2,546
IIa	9,39	2,273
IIIc	12,25	2,554
IIIb	13,27	1,028
IIIa	14,29	1,290

8.3.3. Les dimensions des feuilles.

Les dimensions moyennes des feuilles sont supérieures à celles des traitements correspondants ne contenant que du chlorure de sodium.

La comparaison, à titre d'exemple, des dimensions de la Ière feuille donne le tableau suivant :

Tableau II : Comparaison des dimensions de la Ière feuille.

Traitement	Ière feuille	
	longueur	largeur
Nacl à 2 g/l	4,96	5,6I
Ia	5,44	6,34
Ib	5,4I	6,30
Ic	5,75	6,96
Nacl à 6g/l	3,48	3,57
IIa	3,85	4,23
IIb	4,83	5,52
IIc	4,76	5,37
Nacl à IO g/l	2,I4	2,08
IIIa	2,80	2,92
IIIb	2,66	2,8I
IIIc	4,2I	4,68

8.3.4. Autres caractères phénotypiques.

Les feuilles cotylédonaires recroquevillées que nous signalions dans l'essai précédent ne se sont manifestées ici que dans les traitements IIIa et IIIb.

La première feuille est apparue le 6ème jour dans tous les pots, avec un développement inégal.

Des signes de chlorose ont été notés dans les traitements IIIa, IIIa et IIIb.

Le développement de la partie racinaire a été conforme au développement de la partie aérienne.

#### 8.3.5. Conclusion.

Dans cet essai comme dans l'essai précédent, la diminution des rendements, en fonction de la teneur globale en sels, est une première chose à signaler.

Le déséquilibre cationique introduit dans la solution nutritive montre qu'aux faibles concentrations (2 g par litre) la proportion entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  a peu joué.

Par contre, aux fortes concentrations (6 et 10 g par litre), l'effet bénéfique d'une grande proportion de calcium devient plus probant. Aucun signe de chlorose n'est apparu dans les traitements à dominance de calcium. Ceci confirme le rôle antitoxique attribué à  $\text{Ca}^{++}$ .



CHAP. IX : Essai NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Le but poursuivi dans cet essai a été d'observer l'influence d'une proportion variable de deux anions essentiels (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>--</sup>) dans la solution nutritive, la fraction cationique (Na<sup>+</sup>) restant commune. On a utilisé le mélange de deux sels, NaCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, en gardant des concentrations globales de 2 g, 6 g et 10 g de mélange par litre. Les proportions des deux sels étaient les suivantes :

75 % NaCl et 25 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

50 % NaCl et 50 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

25 % NaCl et 75 % de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Numérotation des traitements.

2 g par litre

1,5 g NaCl + 0,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> I'a

1 g NaCl + 1 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> I'b

0,5 g NaCl + 1,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> I'c

6 g par litre

4,5 g NaCl + 1,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> II'a

3 g NaCl + 3 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> II'b

1,5 g NaCl + 4,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> II'c

10 g par litre

7,5 g NaCl + 2,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> III'a

5 g NaCl + 5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> III'b

2,5 g NaCl + 7,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> III'c

9.I. pH et conductivité des solutions.

<u>Traitement</u>	<u>pH</u>	<u>Conductivité à 25°C</u> <u>en mmho/cm</u>
I'a	6,7	4,8
I'b	6,9	4,7
I'c	6,8	5,3
II'a	6,8	9,8
II'b	6,7	9,3
II'c	6,6	8,3
III'a	6,7	15,2
III'b	6,7	13,7
III'c	6,7	12,7

9.2. Résultats de l'essai.

Tableau I2 : Nombre de graines levées sur un total de 20 par traitement.

Traitement	Temps en jours					
	2e j	4e j	6e j	8e j	10e j	12e j
Nacl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>						
I'a	10	14	15	15	15	15
I'b	7	17	19	19	19	19
I'c	5	16	19	19	19	19
II'a	7	18	18	18	18	18
II'b	7	19	19	19	19	19
II'c	3	12	16	16	16	16
III'a	6	19	20	20	20	20
III'b	4	10	14	14	14	14
III'c	7	14	14	14	14	14

Tableau I3 : Pourcentage de la levée.

Traitement	Temps en jours					
	2e j	4e j	6e j	8e j	10e j	12e j
NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>						
I'a	50	70	75	75	75	75
I'b	35	85	95	95	95	95
I'c	25	80	95	95	95	95
II'a	35	90	90	90	90	90
II'b	35	95	95	95	95	95
II'c	15	60	80	80	80	80
III'a	30	95	100	100	100	100
III'b	20	50	70	70	70	70
III'c	35	70	70	70	70	70

Tableau I4 : Dimensions moyennes des feuilles.

Traitement	Feuilles cotylédonaire		1ère feuille	
	longueur	largeur	longueur	largeur
NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				
I'a	3,95	2,24	5,36	6,03
I'b	3,93	2,24	5,74	6,66
I'c	3,54	2,15	4,92	5,54
II'a	3,42	2,07	3,70	4,15
II'b	4,10	2,02	4,52	5,09
II'c	3,62	2,06	4,24	4,74
III'a	3,33	1,81	3,51	3,81
III'b	3,28	1,93	3,92	4,05
III'c	3,32	1,92	3,52	4,08

Les valeurs sont exprimées en cm.

Tableau I5 : Poids de IO plants en g.

Traitement Nacl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Poids sec	Poids frais
I'a	5,777	102,68
I'b	5,690	112,20
I'c	2,700	64,75
II'a	2,160	38,05
II'b	2,521	58,15
II'c	2,671	52,72
III'a	1,925	33,21
III'b	2,058	37,61
III'c	1,734	33,80

### 9.3. Commentaires.

#### 9.3.1. La levée.

La levée a été plus rapide dans les faibles concentrations, à l'intérieur de ces dernières, le pourcentage de la levée augmente à mesure que la proportion de sulfate dans la solution nutritive augmente, 95 % dans I'b et I'c contre 75 % dans I'a.

Dans les traitements III', c'est la tendance inverse qui s'exprime, le pourcentage passant de 70 pour III'b et III'c à 100 pour III'a.

Au 120 jour, les pourcentages obtenus sont supérieurs à ceux des traitements correspondants en Nacl (exceptés III'b et III'c) mais inférieurs à ceux des traitements issus du mélange de Nacl et de Cacl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O.

9.3.2. Le rendement en poids sec.

Les poids secs subissent dans cet essai la règle de la décroissance en fonction de l'augmentation de la teneur globale en sels, mentionnée antérieurement.

Dans les faibles concentrations (2 g par litre), l'excès de sulfate entraîne une diminution sensible des poids secs. Nous obtenons, en effet, 2,700 g pour le traitement I'c contre 4,787 g pour le traitement Ic et 3,273 g pour le traitement correspondant en chlorure de sodium.

Tous les poids secs du mélange chlorure de sodium, sulfate de sodium sont supérieurs aux poids secs des traitements correspondants ne contenant que du chlorure de sodium. Par rapport au mélange chlorure de sodium, chlorure de calcium, les poids secs dans l'ensemble sont du même ordre de grandeur; par contre tous les poids frais sont supérieurs. Cette supériorité se manifeste très nettement dans les traitements I.

Tableau I6 : Comparaison des poids frais.

Traitement	Poids frais en g
I a	55,08
I'a	102,68
I b	52,41
I'b	112,20
I c	59,02
I'c	64,75

9.3.3. Les dimensions des feuilles.

Les moyennes les plus élevées se situent dans les traitements I' c'est-à-dire dans les faibles concentrations. Les valeurs les plus élevées sont 5,74 cm et 6,66 cm pour respectivement la longueur et la largeur de la Ière feuille dans le traitement I'b contre 3,51 cm et 3,81 cm dans le traitement III'a.

Dans cet essai, les dimensions moyennes de la Ière feuille sont dans l'ensemble plus élevées que celles de la Ière feuille des traitements correspondants en chlorure de sodium.

Par rapport au mélange chlorure de sodium, chlorure de calcium, les différences deviennent sensibles dans les fortes concentrations (10 g par litre).

Tableau I7 : Comparaison des dimensions de la Ière feuille.

Traitement	Ière feuille	
	longueur (cm)	largeur (cm)
III'a	3,51	3,81
III a	2,80	2,92
III'b	3,92	4,05
III b	2,66	2,81
III'c	3,52	4,08
III c	4,21	4,68

#### 9.3.4. Autres caractères phénotypiques.

Contrairement aux essais précédents, nous n'avons pas noté la présence de feuilles cotylédonaire recroquevillées.

Des signes de chlorose sont apparus dans tous les pots ayant reçu le traitement III'a et chez 50 % des plantes ayant reçu le traitement III'b. Dans ces cas précités, les plantes restaient petites, les feuilles gaufrées, les nervures blanches et saillantes.

Le développement de la partie racinaire fut conforme au développement de la partie aérienne.

#### 9.3.5. Conclusion.

Cet essai nous permet d'avancer que :

- lorsqu'on a affaire à de faibles concentrations, l'excès de sulfate se répercute de façon significative sur la chute des rendements en poids de matière sèche ;
- dans NaCl, l'anion  $\text{Cl}^-$  est plus à craindre que le cation  $\text{Na}^+$ , sur le plan physiologique ;
- le sulfate s'est révélé moins toxique que les chlorures, dans l'ensemble ;
- aux fortes concentrations, l'effet bénéfique de  $\text{SO}_4^{--}$  sur l'augmentation des poids secs est plus probant ;
- aux faibles concentrations  $\text{Ca}^{++}$  a un effet bénéfique plus marqué.

CHAP. X : Essai NaCl + CaSO<sub>4</sub>.

Cet essai a été mis en route par Madame MARLIER-GEETS. Nous l'avons poursuivi en ce qui concerne les mesures et les pesées.

L'objectif dans cet essai était d'observer l'influence d'un déséquilibre à la fois cationique et anionique dans la solution nutritive. Pour cela un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de calcium a été utilisé.

La faible solubilité du sulfate de calcium (2,5 g par litre) n'a pas permis de travailler à toutes les concentrations utilisées antérieurement. Nous n'avons pu opérer qu'avec 5 solutions.

Numérotation des solutions.

Solution A : 1,5 g NaCl + 0,5 g CaSO<sub>4</sub>

Solution B : 1 g NaCl + 1 g CaSO<sub>4</sub>

Solution C : 0,5 g NaCl + 1,5 g CaSO<sub>4</sub>

Solution D : 4,5 g NaCl + 1,5 g CaSO<sub>4</sub>

Solution E : 7,5 g NaCl + 2,5 g CaSO<sub>4</sub>

La solution nutritive de base reste la même que celle des essais précédents quant à sa composition.



10.1. pH et conductivité des solutions.

<u>Traitement</u>	<u>pH</u>	<u>Conductivité électrique</u> <u>à 25°C en mmho/cm</u>
sol. A	6,3	3,42
sol. B	6,1	3,31
sol. C	6,4	3,08
sol. D	6,3	6,39
sol. E	6,4	9,04

10.2. Résultats de l'essai.

Tableau 18 : Dimensions moyennes des feuilles.

Traitement	Feuilles cotylédonaire		Ière feuille	
	longueur	largeur	longueur	largeur
NaCl + CaSO <sub>4</sub>				
A	3,98	2,29	5,93	6,58
B	3,50	2,02	5,36	5,71
C	4,06	2,28	5,38	6,18
D	3,62	1,98	4,69	4,80
E	3,49	1,96	4,29	4,79

Tableau I9 : Poids de IO plants en g.

Traitement Nacl + CaSO <sub>4</sub>	Poids sec	Poids frais
A	8,696	81,11
B	7,912	72,42
C	5,720	56,58
D	3,265	43,87
E	2,421	39,16

10.3. Commentaires.

Nous n'avons pas pu obtenir de données relatives à la levée.

10.3.1. Le rendement en poids sec.

Les poids secs et frais décroissent en fonction de la teneur globale en sels. Dans les traitements à 2 g par litre (A, B et C); les poids secs et frais chutent à mesure que la proportion de sulfate de calcium dans la solution nutritive augmente. Une différence de l'ordre de 30 % est enregistrée entre les traitements A et C.

L'effet dépressif que nous attribuons à l'anion SO<sub>4</sub><sup>--</sup>, dans les faibles concentrations, se confirme dans cet essai.

Cet effet dépressif est cependant très relatif. Lorsque nous comparons cet essai aux essais précédents, nous constatons une supériorité pondérale absolue de tous les traitements issus du mélange chlorure de sodium, sulfate de calcium. Les différences de poids secs sont de l'ordre de 100 % dans le 1er essai où les traitements ne contenaient que du chlorure de sodium.

#### 10.3.2. Les dimensions des feuilles.

Les dimensions moyennes des feuilles cotylédonaire et de la première feuille expriment dans l'ensemble les différences de poids constatées.

#### 10.3.3. Autres caractères phénotypiques.

Les feuilles cotylédonaire se sont toutes bien étalées. La chlorose accompagnée de feuilles gaufrées n'a été noté que dans le dernier traitement (E, 7,5 g NaCl + 2,5 g CaSO<sub>4</sub>).

#### 10.3.4. Conclusion.

Cet essai confirme de façon nette les conclusions tirées précédemment sur le rôle bénéfique du cation Ca<sup>++</sup>. Il montre également qu'il y a un effet synergique bénéfique de Ca<sup>++</sup> et de SO<sub>4</sub><sup>--</sup> lorsque ces deux ions se trouvent en présence de chlorure de sodium dans la solution nutritive. Les rendements, aussi bien en poids de matière sèche qu'en poids de matière fraîche et les dimensions moyennes des feuilles expriment de façon évidente cet effet synergique de Ca<sup>++</sup> et de SO<sub>4</sub><sup>--</sup>.

CHAP. XI : Tests de germination.

Après avoir suivi le développement des plantes en vases de végétation pendant plus de 25 jours, nous avons voulu utiliser une méthode permettant de se faire une idée, assez rapide, sur la germination des graines de melon en milieu artificiellement salé. Notre objectif restant toujours de pouvoir se servir de la réaction des graines testées pour apprécier la salinité lorsqu'on ne dispose pas d'autres moyens plus sophistiqués.

Les tests ont été menés dans des boîtes de Pétri à raison de 20 graines par boîte et par traitement. Les solutions employées sont les mêmes que celles des essais précédents. Dans la première série il s'agit de la solution nutritive avec des concentrations de 2, 4, 6, 8 et 10 g par litre de chlorure de sodium. Dans la deuxième série, nous avons la solution nutritive avec un mélange de chlorure de sodium et de chlorure de calcium aux concentrations totales de 2, 6 et 10 g par litre accompagné d'une proportion variable des deux sels (75, 50 et 25 %).

Dans la troisième série la composition des solutions est identique à celle de la deuxième série à la différence que le chlorure de calcium est remplacé par du sulfate de sodium.

Dans la dernière série où nous avons la solution nutritive accompagnée d'un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de calcium, seulement 5 traitements ont été réalisés (3 traitements à 2 g, 1 traitement à 6 g et 1 traitement à 10 g).

Chaque série est accompagnée d'un témoin n'ayant reçu que de l'eau distillée.

Le papier filtre tapissant le fond de la boîte de Pétri est saturé par la solution adéquate. Les boîtes sont ensuite placées à l'étuve à une température de 27°C.

Des observations ont été faites toutes les 24 heures à partir du moment où les graines ont été mises dans les boîtes. Pendant les observations, les boîtes qui se dessèchaient étaient réhumectées par la solution adéquate.

Nos observations se sont limitées à 96 heures en considérant qu'une graine a germé lorsque la radicelle avait une longueur supérieure ou égale à 2 cm.

Afin de faciliter les comparaisons nous avons dressé des tableaux indiquant le nombre de graines germées. Nous avons ensuite tracé des graphiques permettant de comparer toutes les solutions de même concentration.

Les graphiques n'ont pas été tracés pour le 4e essai (NaCl + CaSO<sub>4</sub>), à cause d'impératifs de rédaction.

La numérotation reste celle qui a été utilisée auparavant, les chiffres sans lettre étant attribués aux traitements de chlorure de sodium seul.

Ainsi, nous avons avec S.N. signifiant solution nutritive :

- I : S.N. + NaCl à 2 g/l
- II : S.N. + NaCl à 6 g/l
- III : S.N. + NaCl à 10 g/l

Ia : S.N. + 1,5 g NaCl + 0,5 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O

Ib : S.N. + 1 g NaCl + 1 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O

Ic : S.N. + 0,5 g NaCl + 1,5 g CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O

IIa : S.N. + 4,5 g Nacl + 1,5 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

IIb : S.N. + 3 g Nacl + 3 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

IIc : S.N. + 1,5 g Nacl + 4,5 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

IIIa : S.N. + 7,5 g Nacl + 2,5 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

IIIb : S.N. + 5 g Nacl + 5 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

IIIc : S.N. + 2,5 g Nacl + 7,5 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

I'a : S.N. + 1,5 g Nacl + 0,5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

I'b : S.N. + 1 g Nacl + 1 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

I'c : S.N. + 0,5 g Nacl + 1,5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

II'a : S.N. + 4,5 g Nacl + 1,5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

II'b : S.N. + 3 g Nacl + 3 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

II'c : S.N. + 1,5 g Nacl + 4,5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

III'a : S.N. + 7,5 g Nacl + 2,5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

III'b : S.N. + 5 g Nacl + 5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

III'c : S.N. + 2,5 g Nacl + 7,5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

A : S.N. + 1,5 g Nacl + 0,5 g  $\text{CaSO}_4$

B : S.N. + 1 g Nacl + 1 g  $\text{CaSO}_4$

C : S.N. + 0,5 g Nacl + 1,5 g  $\text{CaSO}_4$

D : S.N. + 4,5 g Nacl + 1,5 g  $\text{CaSO}_4$

E : S.N. + 7,5 g Nacl + 2,5 g  $\text{CaSO}_4$

II.I. Résultats des tests.

Tableau 20 : Nombre de graines germées sur un total de 20.

Traitement	Temps en heures			
	24 h	48 h	72 h	96 h
Nacl				
0 g/l	0	10	15	16
2 g/l	0	7	13	17
4 g/l	0	14	16	16
6 g/l	0	10	15	15
8 g/l	0	4	10	12
10 g/l	0	2	4	6
eau distillée	0	18	20	20

Figure 1 : Test de germination  
NaCl

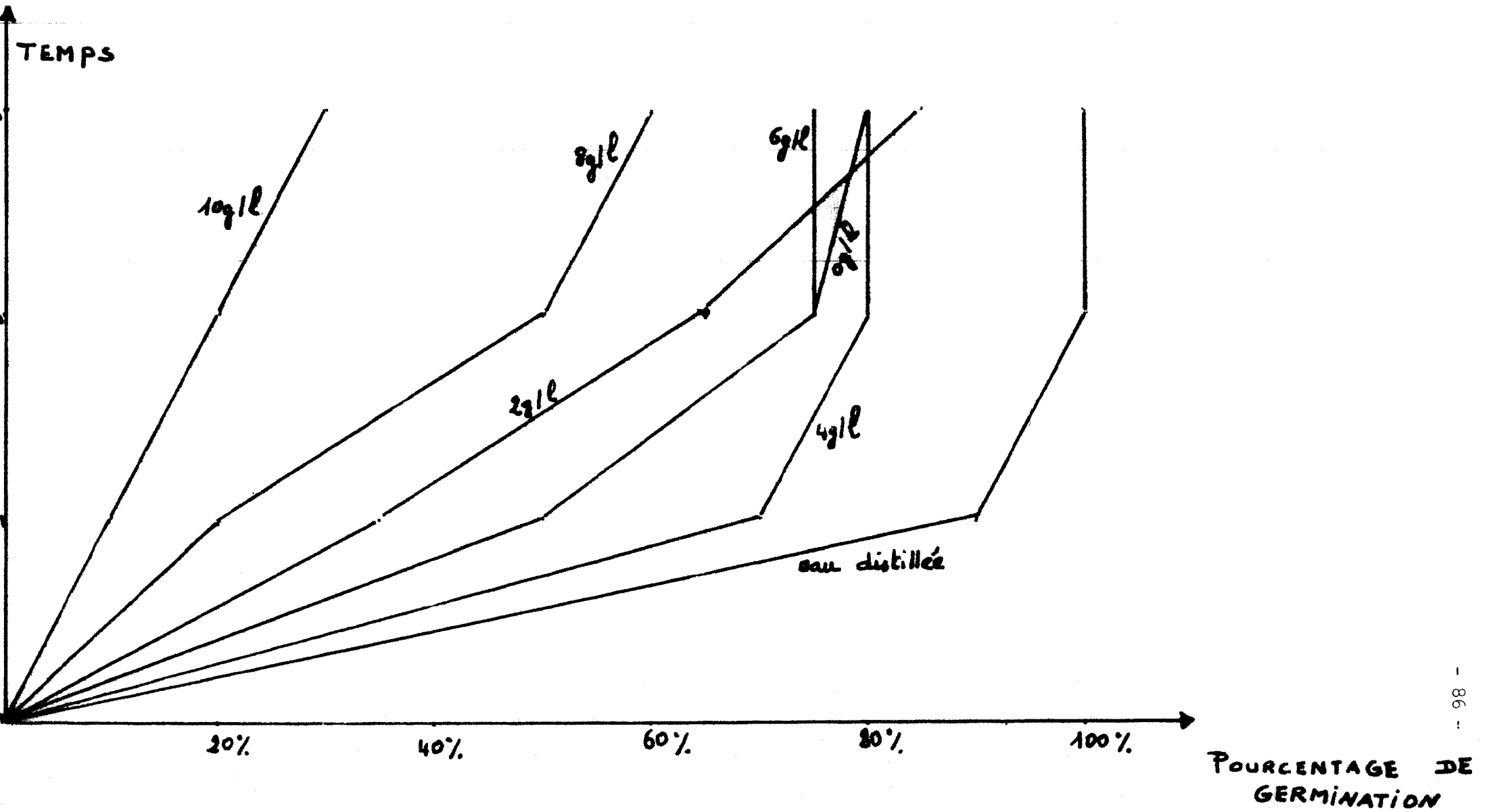




Tableau 21 : Nombre de graines germées sur un total de 20.

Traitement	Temps en heures			
	24 h	48 h	72 h	96 h
Nacl + Cacl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O				
Ia	0	16	19	20
Ib	0	18	18	20
Ic	0	16	18	20
IIa	0	10	17	18
IIb	0	15	17	19
IIc	0	13	16	17
IIIa	0	0	4	8
IIIb	0	7	11	14
IIIc	0	10	13	16
eau distillée	0	20	20	20

Tableau 22 : Nombre de graines germées sur un total de 20.

Traitement	Temps en heures			
	24 h	48 h	72 h	96 h
Nacl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				
I'a	0	18	19	19
I'b	0	18	19	20
I'c	0	10	15	15
II'a	0	18	20	20
II'b	0	17	19	19
II'c	0	17	19	19
III'a	0	6	14	15
III'b	0	16	17	17
III'c	0	18	19	20

Figure 2 : Test de germination  
NaCl + CaCl<sub>2</sub> : 2 g/l

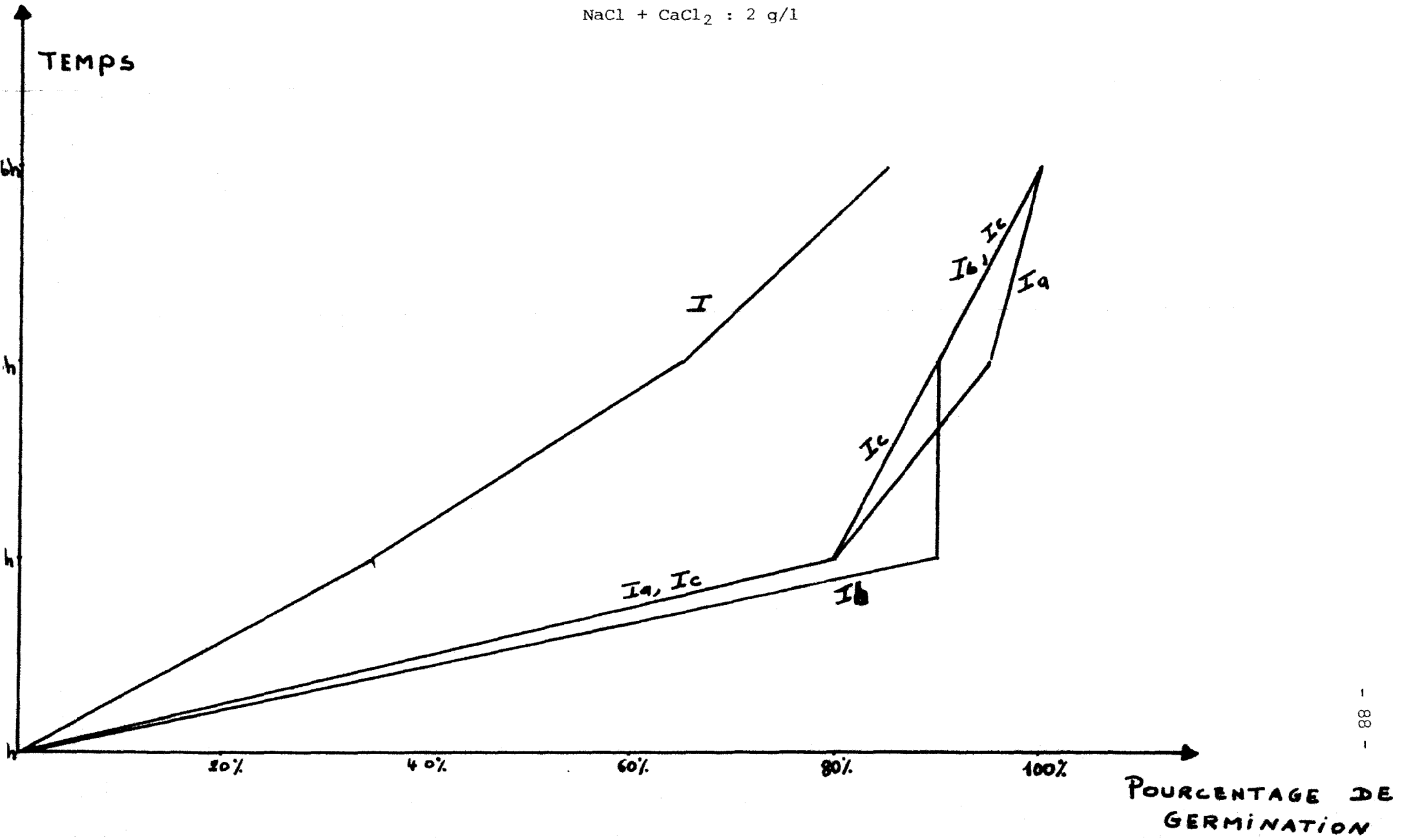


Figure 3 : Test de germination  
NaCl + CaCl<sub>2</sub> : 2 g/l

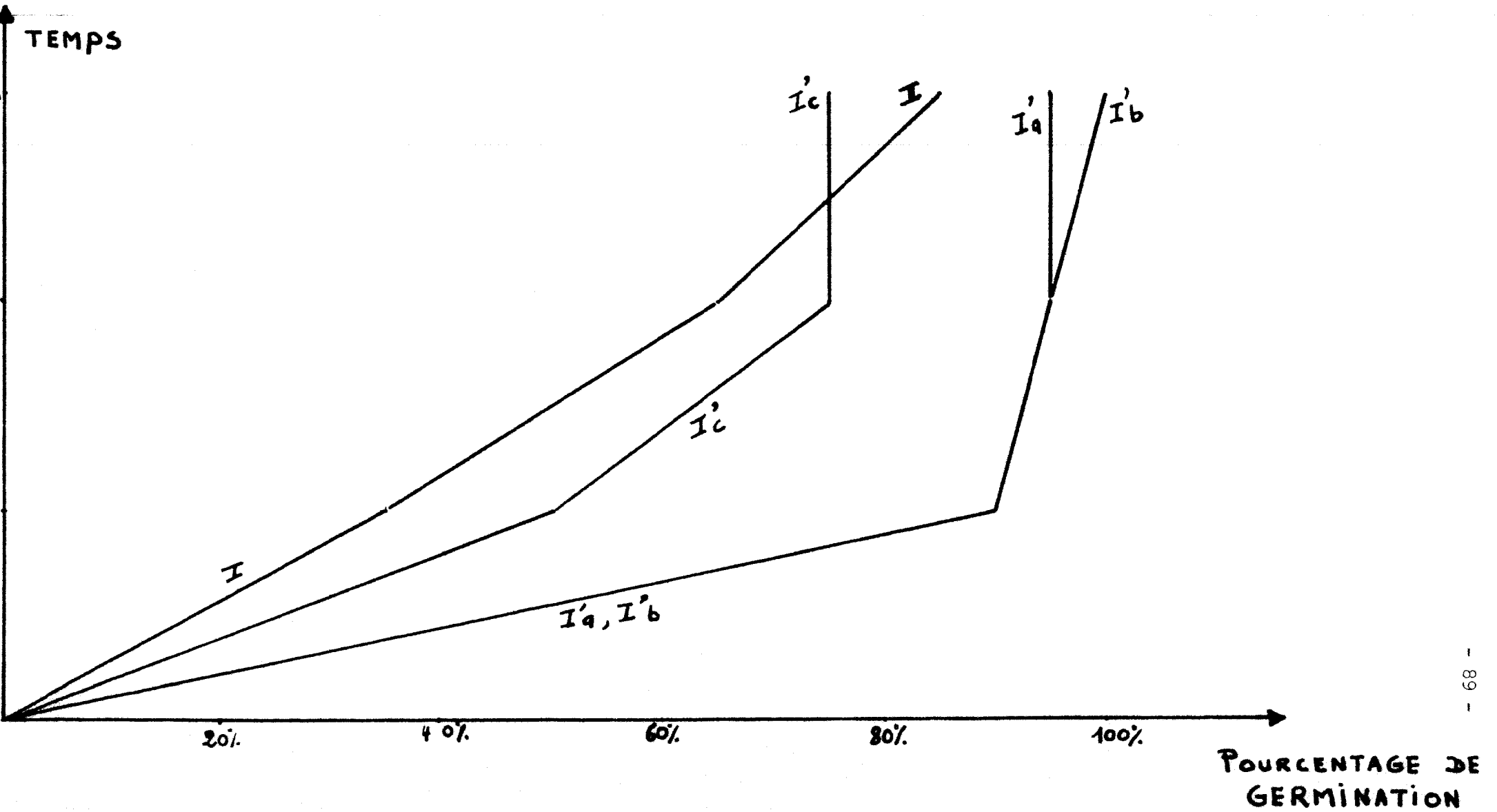


Figure 4 : Test de germination  
NaCl + CaCl<sub>2</sub> : 6 g/l

TEMPS

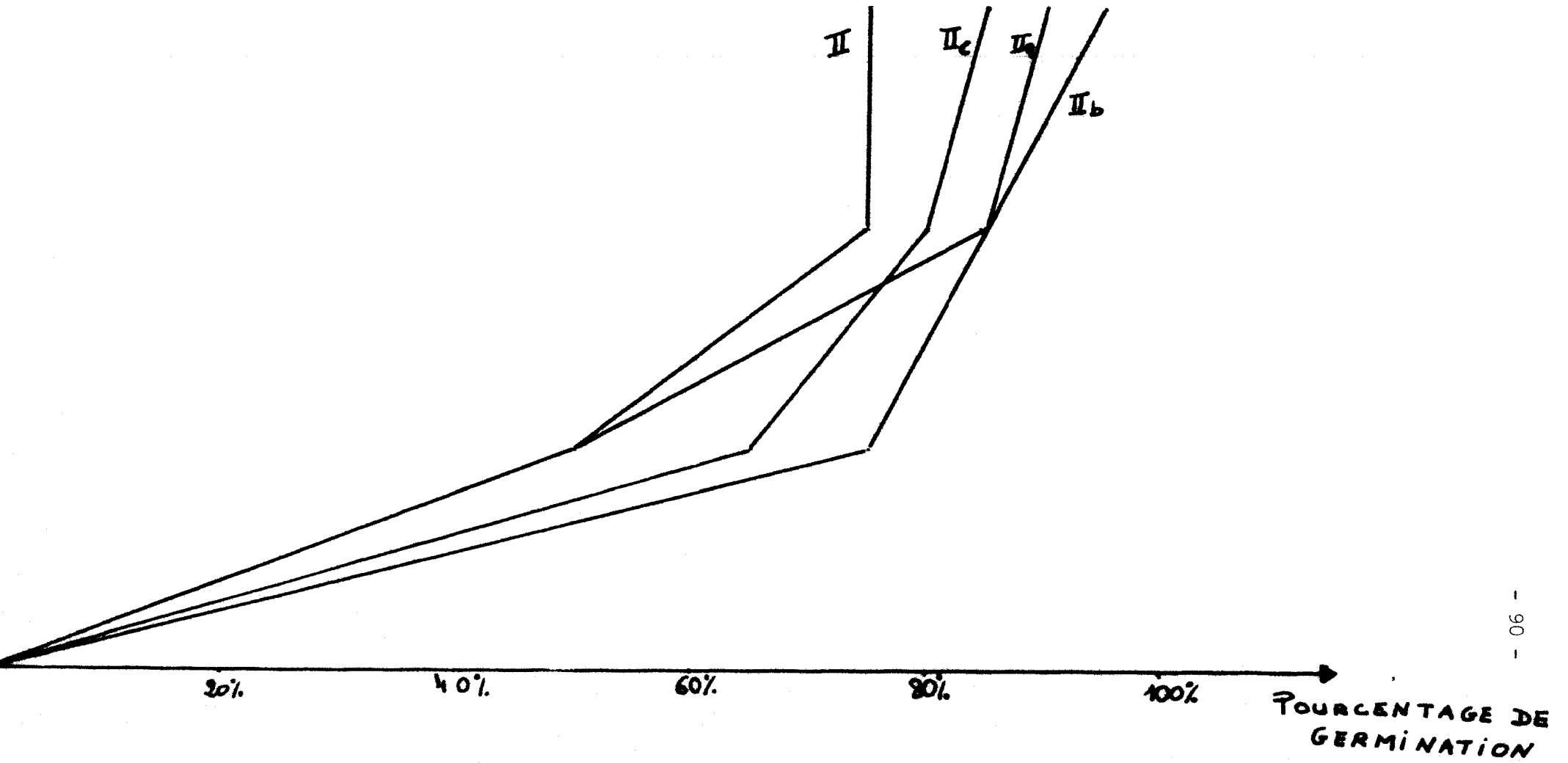


Figure 5 : Test de germination  
NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 6 g/l

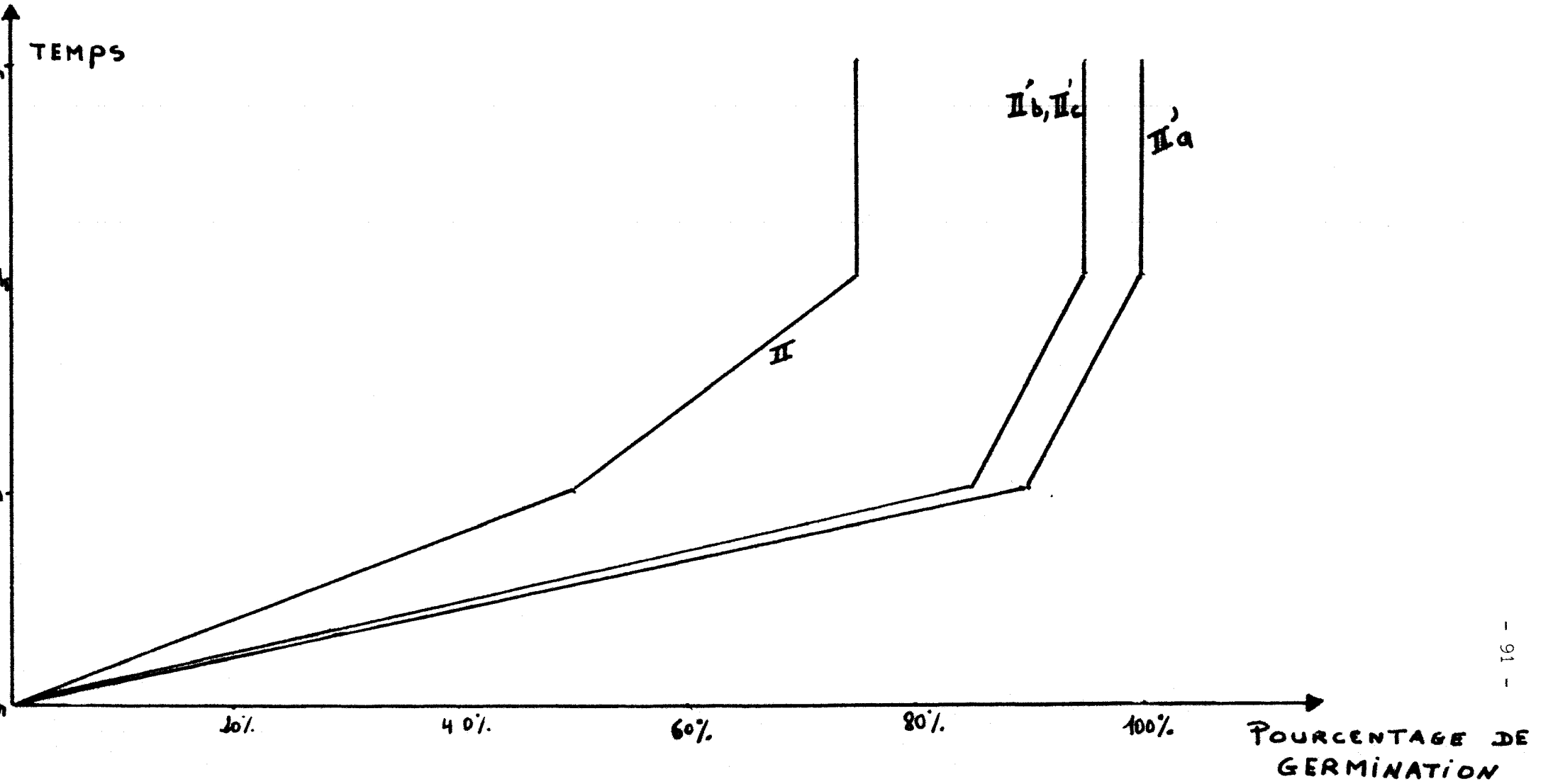


Figure 6 : Test de germination  
NaCl + CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O : 10 g/l

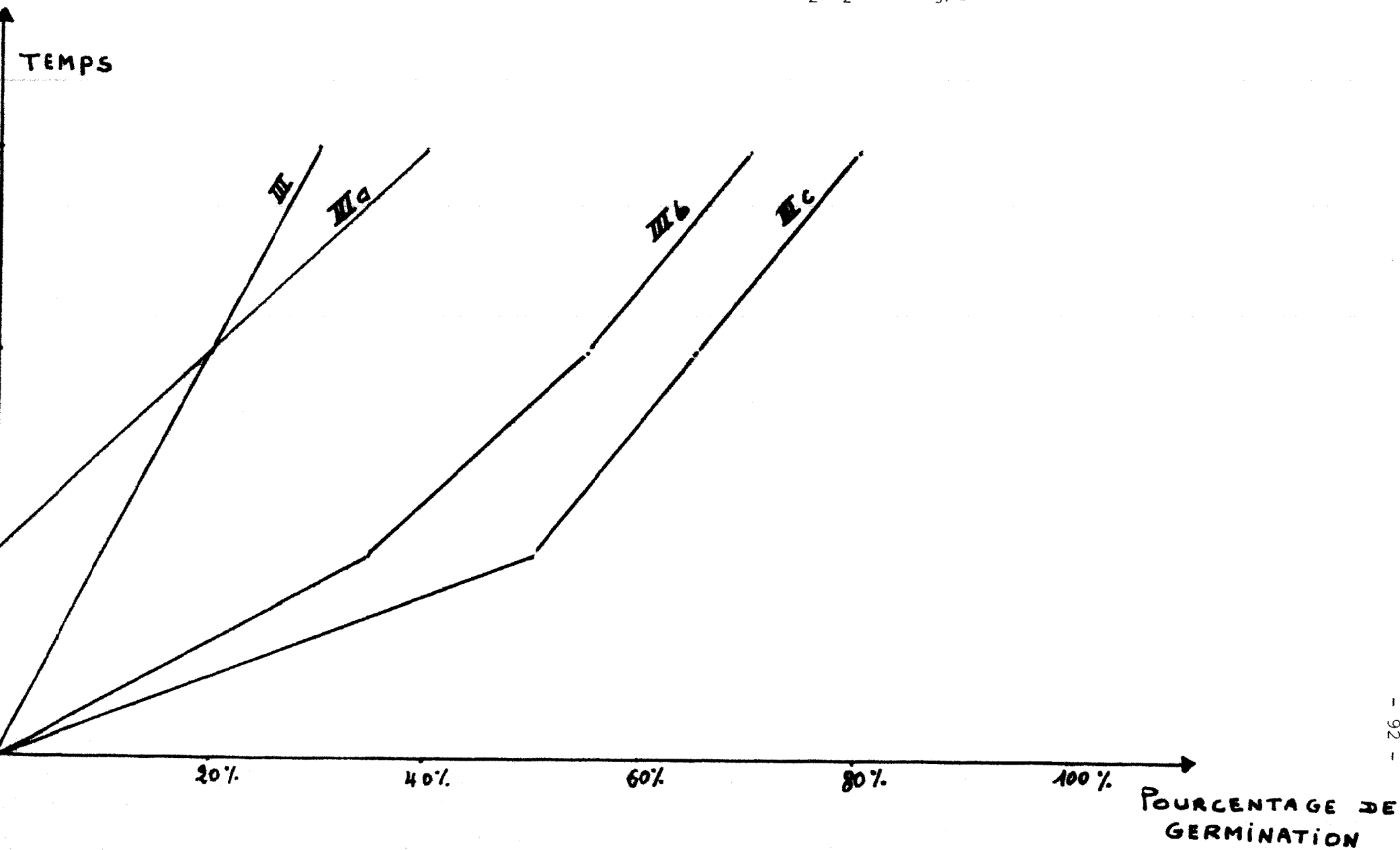


Figure 7 : Test de germination  
NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 10 g/l

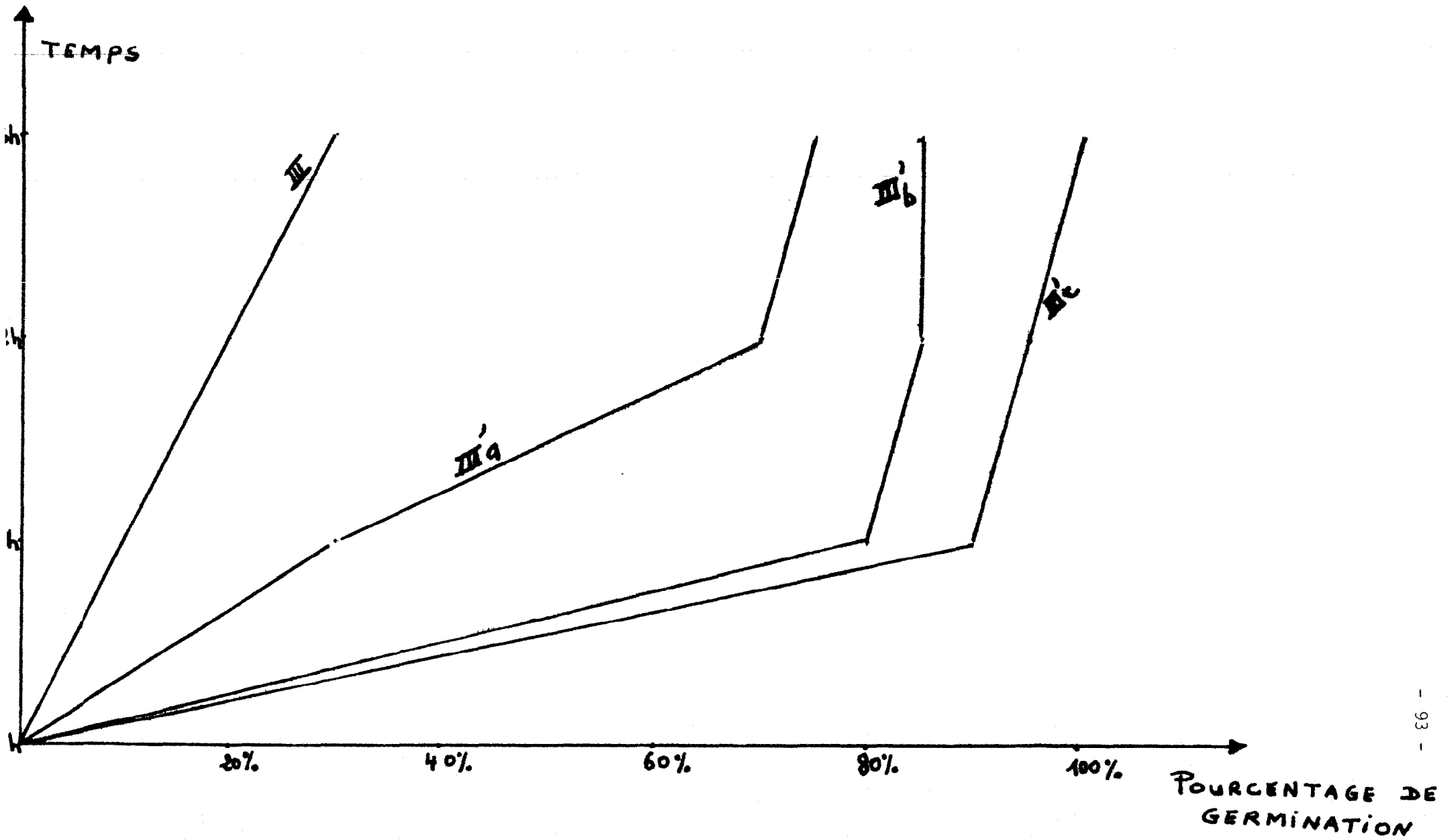


Tableau 23 : Nombre de graines germées sur un total de 20.

Traitement	Temps en heures			
	24 h	48 h	72 h	96 h
Nacl + CaSO <sub>4</sub>				
A	0	13	15	20
B	0	11	16	19
C	0	8	15	15
D	0	5	12	15
E	0	6	17	20

## II.2. Commentaires.

Dans le premier test (solution nutritive + Nacl), le pourcentage de la germination décroît avec l'augmentation de la concentration en chlorure de sodium. L'écart entre le témoin et le traitement à 10 g par litre est de 70 %.

Le deuxième test (Nacl + CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) manifeste également la tendance générale à la diminution du pourcentage de la germination à mesure que la concentration globale augmente dans la solution nutritive. La comparaison des traitements avec les traitements équivalents en chlorure de sodium montre une moins grande nocivité des mélanges. Une grande proportion de calcium dans les fortes concentrations se manifeste par un pourcentage de germination plus élevé : 40 % pour IIIa, 70 % pour IIIb contre 80 % pour IIIc.



Les résultats du troisième test ( $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) appellent aux mêmes commentaires avec toutefois le phénomène déjà signalé de la sensibilité à de fortes proportions de sulfate lorsqu'on est dans de faibles concentrations (2 g/l).

Dans le dernier test ( $\text{NaCl} + \text{CaSO}_4$ ), l'effet synergique de  $\text{Ca}^{++}$  et de  $\text{SO}_4^{--}$  s'est marqué de façon plus déterminante dans les traitements A, B et E. Les traitements C et D bien qu'atteignant un pourcentage de 75 n'ont guère un pourcentage supérieur à celui des traitements correspondants dans les tests précédents.

### II.3. Conclusion.

Les tests de germination, dans l'ensemble, confirment les observations antérieures sur les essais en vases de végétation.

- Le pourcentage de germination diminue avec l'augmentation des teneurs en sels.
- L'effet bénéfique de  $\text{Ca}^{++}$  se traduit dans l'augmentation du pourcentage de germination.
- L'action dépressive de  $\text{SO}_4^{--}$  dans les faibles concentrations s'est vérifiée.
- L'effet synergique de  $\text{Ca}^{++}$  et de  $\text{SO}_4^{--}$  s'est vérifié dans 3 traitements sur 5 testés.

CHAP. XII : Conclusions générales et perspectives.

## I2.I. Conclusions générales.

Dans la première partie de ce travail, nous avons rappelé les notions les plus utilisées dans les problèmes de salinité, en les commentant. Nous avons également donné un large aperçu de la gamme des sols salins rencontrés au SENEGAL, pour situer nos motivations. Notre objectif a été l'appréciation de la salinité par l'utilisation d'une plante-test.

Dans la deuxième partie du travail, nous avons mis sur pieds un dispositif qui nous a permis de suivre le comportement du melon cantaloup dans des milieux artificiellement salinisés et parfaitement contrôlés quant à la composition des solutions nutritives.

Les conclusions que nous tirons de ces essais sont les suivantes :

- 1° - La plante-test traduit assez bien l'augmentation de la concentration en chlorure de sodium, dans son comportement.  
Les rendements en poids sec sont un bon indice de cette salinité croissante.  
La concentration de 4 g par litre de chlorure de sodium nous paraît être la concentration limite de tolérance.
- 2° - Le mélange de chlorure de sodium et de chlorure de calcium, en introduisant un déséquilibre cationique dans la solution nutritive, s'est révélé moins nocif que le chlorure de sodium seul, toutes autres conditions étant égales par ailleurs. L'ion  $\text{Ca}^{++}$  est responsable de cet effet bénéfique.
- 3° - Le mélange chlorure de sodium, sulfate de sodium s'est également révélé moins nocif que le chlorure de sodium seul.

- 4° - A faible concentration, une importante proportion de sulfate par rapport au chlorure de sodium entraîne une chute des rendements.
- 5° - A forte concentration, le mélange de sulfate de sodium et de chlorure de sodium donne des rendements supérieurs à ceux du mélange chlorure de sodium - chlorure de calcium.
- 6° - Le mélange chlorure de sodium, sulfate de calcium a un effet synergique bénéfique sur les rendements de notre plante-test.
- 7° - Les tests de germination, bien que menés sur un nombre restreint de graines, confirment les observations antérieures.

## 12.2. Perspectives.

Cette contribution à l'appréciation de la salinité est loin d'avoir épuisé le sujet.

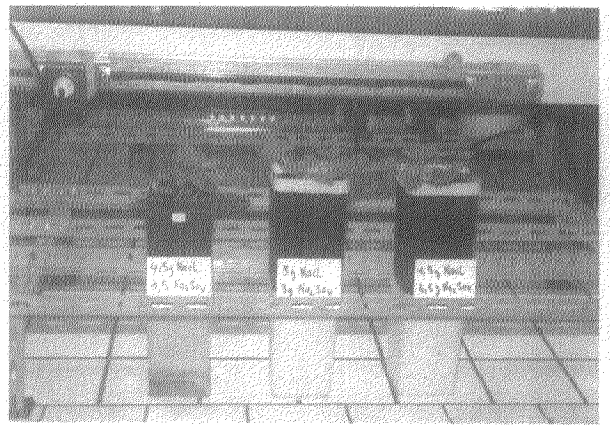
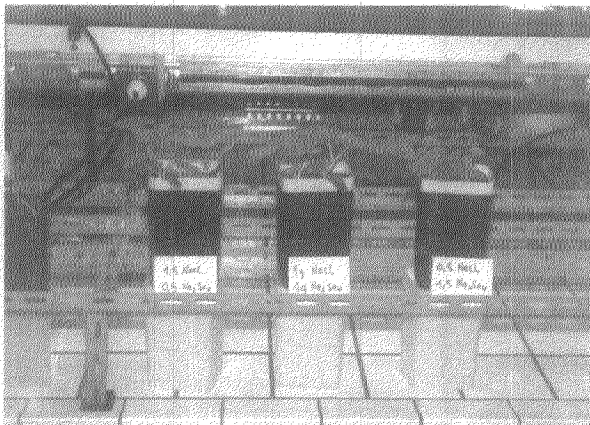
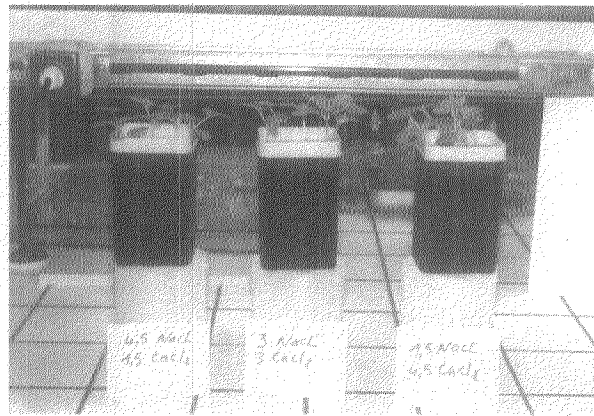
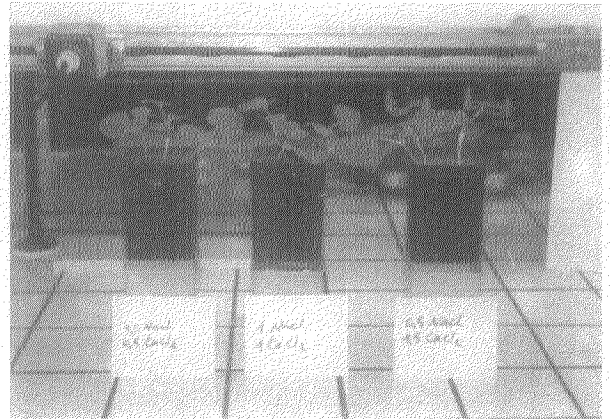
Nous regrettons de n'avoir pas pu atteindre des doses de sels léthales pour le melon car, cela nous aurait permis d'établir une échelle de salinité comprenant tous les niveaux. Sur base des renseignements trouvés dans la littérature, nous étions convaincu qu'aucune croissance n'aurait lieu dans des solutions de concentration égale à 10 grammes par litre. Toute notre expérimentation a prouvé le contraire. Les 10 grammes de sel par litre ne constituent pas une limite physiologique absolue. L'explication que nous donnons de ce phénomène se trouve sans doute dans le substrat. Lorsqu'on travaille avec un substrat relativement filtrant, avec une faible capacité de rétention, les plantes peuvent supporter des doses de sels très importantes. La perméabilité du substrat empêche toute accumulation excessive de sels dans la zone radiculaire tout en réduisant les risques d'asphyxie.

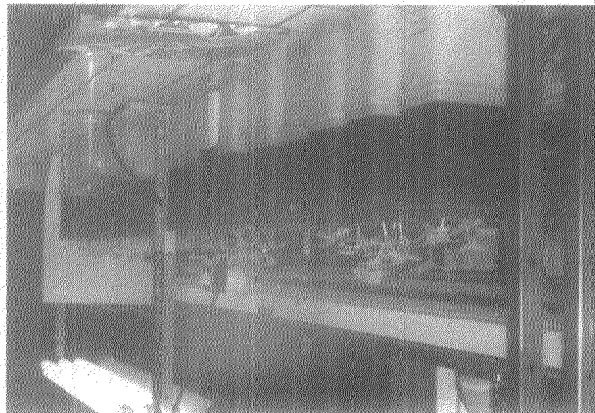
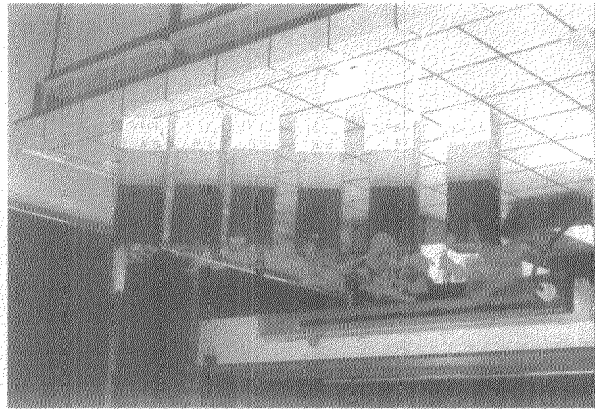
Nous pensions que pour des expériences ultérieures, il serait utile de travailler avec des concentrations supérieures à 10 grammes par litre. Il serait également nécessaire d'opérer avec du chlorure de magnésium, sel réputé très toxique, que nous n'avons pas pu tester.

A travers ce travail, nous pensons avoir apporté une modeste contribution à l'appréciation de la salinité lorsqu'on ne dispose pas d'une infrastructure de laboratoire et de moyens techniques permettant une appréciation plus poussée.

L'intérêt réside surtout dans la rapidité et dans la facilité d'exécution de ces essais avec une plante-test comme le melon.

De plus, il est apparu que lors de l'aménagement de sols salins, il existait un effet favorable du cation  $\text{Ca}^{++}$  et de l'anion  $\text{SO}_4^{--}$ . Mais il faut encore noter que l'addition de  $\text{CaSO}_4$  traduit une action synergique bénéfique remarquable qui sur le plan de la physiologie de la nutrition minérale des plantes est particulièrement significatif. Cette indication précieuse devrait guider le choix d'un amendement lorsqu'il est devenu nécessaire.





REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

AYERS, A.D. & HAYWARD, H.E. - 1948.

A method of measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants.-  
Soil Science Soc. Am. Proc. 13.

AUBREVILLE, A. - 1948.

La Casamance.-

L'Agronomie Tropicale - Vol. III, n° 1 - 2.

BERNSTEIN, L. & HAYWARD, H.E. - 1958.

Physiology of salt tolerance.-

American Rev. pl. physiology n° 9.

BERNSTEIN, L. - 1961, 1963.

Osmotic adjustments of plants to saline media.-

American J. Botany n° 48

n° 50.

BERNSTEIN, L. - 1964.

Tolérance des plantes au sel.-

U.S.D.A., Agriculture Information bulletin  
n° 283.



BEYE, G. - 1972.

Bilan de deux années d'études de l'évolution de la salinité dans la cuvette du Boundoum Ouest dans le delta du fleuve Sénégal.-

L'Agronomie Tropicale - Vol. XXVII, n° 3.

BEYE, G. - 1973.

Une méthode simple de dessalement des sols de tanne de Casamance : le paillage.-

L'Agronomie Tropicale - Vol. XXVIII, n° 5.

BINET, P. - 1960.

Culture sans sol de plantes halophyles.-

Bulletin Soc. Linn. normande -  
10e série (Vol. I).

BOLYN, J.H.L. - 1974.

Contribution à l'étude de la tolérance des plantes ligneuses à la salure.-

Thèse de doctorat, Faculté des Sciences  
Agronomiques de l'Etat, Gembloux (1974).

BOWER, C.A. - 1963.

Diagnosing soil salinity.-

U.S.D.A., Agriculture Information bulletin,  
n° 279.

BOYKO, H. - 1966.

Salinity and aridity - New approaches to old problem.-

DR. W. JUNK publishers, Den Haag.

BRYSSINE, G. - 1961.

La salinité du sol et ses problèmes.-

Cahier de la recherche agronomique, n° 12.

CHOUARD, P. - 1952.

Cultures sans sol.-

Maison rustique.

COUPIN, H. - 1898.

"Sur la toxicité du chlorure de sodium et de l'eau de mer à l'égard des végétaux".-

Revue générale de botanique, tome 10, Paris.

DAVIS, G.N. & WHITAKER, T.W. -

Cucurbitis.

Melons, Cucumbers, Squashes, Pumpkins, Gourds, etc...

Botany cultivation and utilization.-

World crops series.

Leonard Hill (Books) Limited London.

Interscience publishers INC, New-York.

EATON, F.M. - 1942.

Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants.-

J. Agr. Res., n° 64.

GARRELS, R.M. & CHRIST, C.L. - 1967.

Equilibre des minéraux et de leur solution aqueuse.-  
Paris Gauthiers - Villars.

GAUCHER, G. - 1967.

Les conditions de pédogénèse dans la partie septentrionale  
du littoral sénégalais.-  
Pédologie, XVII 2, Gand.

GAUCHER, G. - BURDIN, S. - 1974.

Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés.-  
Collection "Techniques vivantes".  
Presses Universitaires de France.

GAUCHER, G. - 1974.

Rapport de mission d'appui à la société d'aménagement et  
d'exploitation des terres du delta (S.A.E.D.).-  
Ministère du développement rural, République  
du SENEGAL.

GHATH, A.A.M. - MIKHAIL, M.T. - 1964.

Conductivité électrique de l'extrait à saturation comme  
indice de la salinité du sol.-  
8ème Congrès international de la science du  
sol, Bucarest, Vol. 2.

GREENWAY, H. - 1973.

Salinity, plant growth and metabolism.-

J. Aust. Inst. agri. Sci. - Vol. (39 - I).

GRILLOT, G. - 1957.

Problèmes biologiques relatifs aux plantes tolérant l'eau salée ou saumâtre et l'utilisation d'une telle eau par l'irrigation.-

Publi. UNESCO IV (utilisation des eaux salines).

HANOTIAUX, G. -

Etude des sols salins.-

Techniques analytiques adaptées de

"Saline and Alkali soils"

U.S. dept. of Agricul.

Chaire de la science du sol

F.S.A. de l'Etat à Gembloux.

HAYWARD, H.E. & WADLEIGH - 1949.

Plant growth on saline and alkali soils.-

Advan. Agrom. I.

HOMES, M.V. - 1947.

Toxicité, antagonisme et perméabilité.-

Bull. Soc. Roy. Botanique, Belgique.

HOMES, M.V. - 1961.

Alimentation minérale équilibrée des végétaux.-

Universa I, II, III Wetteren, Belgique.

JOURNEE DU MELON - 1968.

organisée par le comité du développement du Caussadais avec  
le concours des organisations professionnelles de Tarn-et-  
Garonne.-

Caussade, Avril.

KOVDA, V.A. - 1965.

Alkaline soda - saline soils.-

Symp. Intern. sur les sols salés - Budapest.

MANIL, G. - HANOTIAUX, G. -

Cours de Pédologie générale.-

Chaire de la science du sol, F.S.A. de  
l'Etat à Gembloux.

MARTINE, P. - 1948.

"Premiers travaux de mise en valeur du delta du fleuve  
Sénégal".-

Agronomie Tropicale - n° I - 2.

MILLINGTON, A.J. - BURVILL, G.H. & MARSH, B. - 1951.

Soil salinity investigations - Salt tolerance germination and  
growth tests under controlled salinity conditions.-

J. Dep. Agric. W. Aust. - n° 28.

MONOGRAPHIES DE L'INVUFLEC - 1965.

Le melon.-

Institut National de Vulgarisation pour les  
fruits, légumes et champignons.

Octobre.

MONTEGUT - 1971.

Connaissances actuelles sur la croissance et la nutrition du melon.-

Revue Pépiniéristes Horticulteurs et  
Maraîchers - n° 113.  
Janvier.

OSTERHOUT, W.J. - 1906.

On the importance of physiologically balanced solutions for plants.-

Bot. Gaz. 42.

PRISCO, J.T. & OLEARY, J.W. - 1970.

Osmotic and toxic effects of salinity on germination of phaseolus vulgaris L. seeds.-

Turrialba 20 (2).

Avril - Juin.

RENARD, M. -

Cours de chimie générale.-

F.S.A. de l'Etat à Gembloux.

RICHARDS, L.A. - 1947.

The diagnosing and improvement of saline and alkali soils U.S.  
Dept. Agri., Regional salinity laboratory - Riverside -  
California.-

RICHARDS, M. - GOUNY, P. - 1965.

Contrôle de la salinité des sols.-

Annales agronomiques, Vol. 16 - n° 6.

SHIMOSE - 1973.

Salt Tolerance of crops.-

JARQ. - Vol. 7 - n° 3.

SHIMOYAMA, T. and OGO - 1956.

Studies on the salt injury of crops.-

OKAYAMA prefectural agro. expt. sta. spec.

Bull. n° 54.

SINE, L. -

Cours de sols salins.-

F.S.A. de l'Etat à Gembloux, Belgique.

STROGONOV, B.P. - 1962.

Physiological basis of the salt tolerance of plants.-

Publ. U.S.S.R., Moscou.

TRICART, J. - 1961.

Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du  
Sénégal.-

Mémoires du bureau des recherches géologiques  
et minières, n° 8.

UNGAR, I.A. - 1967.

Influence of salinity and temperature on seed germination.-  
OHIO Journal of science 67.

UPHOF, J.C.Th. - 1968.

Dictionary of economic plants.-  
330I Lehre.  
Verlag von J. CRAMER.

VIEILLEFON, J. - 1974.

Quelques conséquences des transformations du soufre sur la  
pédogénèse, dans une séquence de sols du domaine fluvio-  
marin tropical.-

Cahiers de l'O.R.S.T.O.M. - série Pédologie.  
Vol. XII - n° I.

WILCOX, J.C. - 1947.

Determination of electrical conductivity of soil solution.-  
Soil Science, Vol. 63.



T A B L E   D E S   M A T I E R E S

---

PREMIERE PARTIE : Rappel de certaines notions concernant la salinité.

	<u>pages</u>
<u>CHAP. I : Paramètres caractéristiques des sols salins.</u>	6
I.1. Conductivité électrique.	7
I.2. Pression osmotique.	8
I.3. Relation entre conductivité électrique et pression osmotique.	9
I.4. Pourcentage de sodium échangeable.	10
<u>CHAP. II : Origines de la salure.</u>	11
2.1. Salinisation marine.	12
2.2. Salinisation d'origine continentale ou géologique.	12
2.3. Salinisation d'origine volcanique.	13
2.4. Salinisation d'origine anthropique.	14
<u>CHAP. III : Classification des sols salins.</u>	15
3.1. Normes américaines.	16
3.2. Classification française.	16
3.3. Classification soviétique.	19

<u>CHAP. IV : Effets de la salinité.</u>	22
4.1. Effets directs.	23
4.2. Effets indirects.	23
4.3. Effets spécifiques des ions.	23
4.4. Problème de la toxicité.	25
4.5. Phénomènes toxiques attribués aux ions.	27
4.6. Influence de l'humidité atmosphérique sur les plantes en milieu salin.	28
4.7. Influence de la solution du sol sur les plantes en milieu salin.	28
4.8. Incidence de la salinité sur la microflore.	29
4.9. Bases physiologiques de la tolérance aux sels.	30
4.10. Causes de la réduction de croissance.	31
<u>CHAP. V : Aperçu sur quelques sols salins du SENEGAL.</u>	34
5.1. Sols de mangrove.	35
5.2. Sols du Delta.	37

DEUXIEME PARTIE : Travail expérimental.

	<u>pages</u>
<u>CHAP. VI : Matériel et conditions de travail.</u>	45
6.1. Solution nutritive.	46
6.2. Substrat.	47
6.3. Dispositif de culture.	48
6.4. Plante.	50
6.5. Paramètres de laboratoire.	53
6.6. Méthodologie.	53
<u>CHAP. VII : Essai NaCl.</u>	56
7.1. pH et conductivité des solutions.	57
7.2. Résultats de l'essai.	57
7.3. Commentaires.	60
7.3.1. Levée.	60
7.3.2. Rendement en poids sec.	61
7.3.3. Dimensions des feuilles	61
7.3.4. Autres caractères phénotypiques.	61
7.3.5. Conclusion.	62
<u>CHAP. VIII : Essai NaCl + CaCl<sub>2</sub> 2H<sub>2</sub>O.</u>	63
8.1. pH et conductivité des solutions.	65
8.2. Résultats de l'essai.	65
8.3. Commentaires.	67
8.3.1. Levée.	67
8.3.2. Rendement en poids sec.	68
8.3.3. Dimensions des feuilles.	69

8.3.4. Autres caractères phénotypiques.	69
8.3.5. Conclusion.	70
<u>CHAP. IX : Essai NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</u>	71
9.1. pH et conductivité des solutions.	72
9.2. Résultats de l'essai.	72
9.3. Commentaires.	74
9.3.1. Levée.	74
9.3.2. Rendement en poids sec.	75
9.3.3. Dimensions des feuilles.	76
9.3.4. Autres caractères phénotypiques.	77
9.3.5. Conclusion.	77
<u>CHAP. X : Essai NaCl + CaSO<sub>4</sub>.</u>	78
10.1. pH et conductivité des solutions.	79
10.2. Résultats de l'essai.	79
10.3. Commentaires.	80
10.3.1. Rendement en poids sec.	80
10.3.2. Dimensions des feuilles.	81
10.3.3. Autres caractères phénotypiques.	81
10.3.4. Conclusion.	81
<u>CHAP. XI : Tests de germination.</u>	82
11.1. Résultats des tests.	85
11.2. Commentaires.	94
11.3. Conclusion.	95

<u>CHAP. XII : Perspectives et conclusions générales.</u>	96
I2.1. Conclusions générales.	97
I2.2. Perspectives.	98
 Références bibliographiques.	 100