



Effets d'une courte période d'excès d'eau sur la croissance et la production du maïs

Claude Duthion, Christine Devroe, Josiane Mortier

► To cite this version:

Claude Duthion, Christine Devroe, Josiane Mortier. Effets d'une courte période d'excès d'eau sur la croissance et la production du maïs. *Agronomie*, 1982, 2 (2), pp.125-132. <hal-00884362>

HAL Id: hal-00884362

<https://hal.science/hal-00884362v1>

Submitted on 11 May 2020

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

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



HAL Authorization

Effets d'une courte période d'excès d'eau sur la croissance et la production du maïs

Claude DUTHION

avec la collaboration technique de Christine DEVROE & Josiane MORTIER

I.N.R.A., Station de Science du Sol, F 21034 Dijon Cedex.

RÉSUMÉ

*Maïs,
Excès d'eau,
Croissance et production,
Facteurs climatiques.*

Le maïs, cv « I.N.R.A. 240 », a été soumis à différents traitements excès d'eau, dans plusieurs séries expérimentales :

- au stade 4 feuilles, durée 6 et 12 j.
- au stade 8 feuilles, durée 6 et 12 j.
- au stade sortie de la panicule mâle, durée 6 j.

Les conséquences à long terme de ces ennoyages ont été évaluées.

On a pu mettre en évidence un effet moyen excès d'eau marqué. Par contre l'effet stade d'application n'est pas significatif (sauf pour la formation des parties aériennes entre le stade le plus tardif et les stades précoces). L'augmentation de sa durée tend à en accroître les conséquences.

Un essai d'interprétation des différences de comportement du maïs dans les 5 séries expérimentales met en lumière l'influence vraisemblable des facteurs du climat au cours de la période d'ennoyage sur l'extériorisation de la sensibilité de la plante. Il est possible que les conditions générales réalisées au cours de toute la période de croissance de la plante aient également une certaine incidence, cependant les données présentées ne permettent pas de l'établir.

SUMMARY

*Maize,
Water excess,
Growth and yield,
Climatic conditions.*

Effects of a short period of excess water on growth and yield of maize

In a series of experiments, maize, cv « I.N.R.A. 240 », was subjected to excess water :

- at the fourth leaf stage, for 6 or 12 days.
- at the eighth leaf stage, for 6 or 12 days.
- at appearance of male inflorescence, for 6 days.

Long-term effects of these treatments were evaluated.

The average effect of excess water is considerable. But treatment stage is not significant (except for the formation of aerial parts, between the latest stage and the early stages). The longer the treatment, the greater are the effects.

The different behaviour of maize in the various experiments suggests that climatic factors probably influence the effects of the treatments. General conditions throughout the growth period of maize may possibly also have an influence.

I. INTRODUCTION

Dans nombre de régions, notamment dans ses régions traditionnelles de culture comme la Bresse, les Dombes ou le Sud-Ouest, le maïs peut être soumis à des périodes plus ou moins longues d'excès d'eau. En début de végétation, certains sols, par suite de leurs caractéristiques physiques ou de leur position topographique, sont encore engorgés ; plus tardivement, des irrigations conduites dans des sols de faible perméabilité peuvent en être la cause. Il en résulte une réduction de la taille des plantes, un jaunissement, qui est parfois persistant, des feuilles. De façon générale, ces symptômes s'observent aisément dans les parties basses des planches, partout où ces modelés du terrain sont encore utilisés.

Quelles sont les conséquences agricoles d'une telle situation ? De nombreuses données bibliographiques existent. Sont par exemple citées des réductions de production en grains de 6 à 30 p. 100 après 4 j d'ennoyage d'un maïs au stade 15 cm (RITTER & BEER, 1969) jusqu'à 40-50 p. 100 pour la même durée d'ennoyage et un maïs de 2 semaines (CHAUDARY *et al.*, 1975) ; PALVADI & LAL (1976) les considèrent égales à au moins 30 p. 100 après un ennoyage de 2 j seulement, quel que soit le stade végétatif de la plante au moment où il survient.

La diversité des protocoles expérimentaux utilisés est sans doute pour une part responsable de ces différences de résultats ; mais l'aspect variétal (JAT *et al.*, 1975 ; BHAN, 1977), les conditions de milieu, en particulier la richesse du sol (RITTER & BEER, 1969 ; SHALHEVET & ZWERMAN,

1962) et la nature de l'eau, les conditions d'environnement, parmi lesquelles la température (CROS *et al.*, 1972 ; ERICKSON & VAN DOREN, 1960), interviennent également.

Pour notre part, nous avons cherché, au cours de 2 essais conduits selon le même protocole, avec la même variété, à cerner l'influence de l'excès d'eau sur le maïs, selon sa durée et sa période d'intervention dans le cycle de végétation. Devant l'instabilité des réponses obtenues, nous avons multiplié ces essais, selon un schéma analogue mais simplifié, de façon à apprécier l'influence de paramètres non maîtrisés sur la variabilité des réactions du maïs. Nous présentons ici l'ensemble des résultats obtenus.

II. MÉTHODES ET TECHNIQUES

Les cultures ont été faites sous serre à toit ouvrant, dans des bacs de 15 l remplis de sable quartzeux de 1 à 4 mm de diamètre. Chaque bac contient 6 plantes du cultivar « I.N.R.A. 240 » (8 semences prégermées mises en place, plantules ramenées ultérieurement à 6).

L'alimentation hydrique et minérale est assurée par irrigation automatique à l'aide d'une solution nutritive équilibrée complète (15,3 meq/l de cations et anions dont 10 meq d'N. NO_3^- et 2 meq de N. NH_4^+).

L'ennoyage est réalisé par apport de solution nutritive diluée (environnement ionique comparable à celui qui serait dû à une « solution du sol » et alimentation minérale globalement identique à celle des bacs non ennoyés) renouvelée tous les 3 j.

L'ennoyage est appliqué une seule fois à l'un des 3 stades suivants :

- stade 4 feuilles, pendant 6 et 12 j (traitements 2 et 3),
- stade 8 feuilles, pendant 6 et 12 j (traitements 4 et 5),
- stade sortie de la panicule mâle, pendant 6 j (traitement 6).

Témoin (traitement 1) et traitements 2 à 6 sont répétés 4 fois ; les bacs sont répartis par randomisation totale.

Des notations sont faites tout au long de la végétation, concernant la croissance et le développement, l'apparition et l'extension de symptômes de souffrance sur les organes aériens. A maturité, les plantes entières sont récoltées, les différents organes séparés et pesés en sec. Les grains sont analysés.

L'évolution de poids de matière sèche a pu être suivie jusqu'à la récolte par prélèvements des plantes de bacs supplémentaires : 9 prélèvements ont été faits comprenant 1 bac témoin et 1 bac de l'un ou de la totalité des traitements 2 à 6.

Durant l'expérimentation, la température, l'hygrométrie et l'évaporation dans la serre ont été relevées grâce à un thermohygrographe et à un piche installés selon les normes du Service technique d'étude des facteurs climatiques de l'environnement (S.T.E.F.C.E.). Les autres données météorologiques sont recueillies dans une station voisine d'une centaine de m environ.

Deux séries successives de bacs ont été installées, respectivement les 1^{er} avril et 3 mai 1977 (dates de mises en place des semences prégermées), dénommées, ci-dessous, expérimentations 1 et 2.

Dans les mêmes conditions générales, 3 autres séries expérimentales ont été réalisées en 1979. L'expérimentation 3, mise en place le 3 avril, comprend l'ensemble des traitements ; les expérimentations 4 et 5, mises en place les 13 mars et 23 avril, ne comportent que les traitements 1, 4 et 5. Chaque traitement est répété 5 fois. Aucune notation

ni prélèvement n'a été effectué en cours de végétation ; à la récolte, les différents organes, à l'exclusion des racines, sont pesés en sec.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Effets des facteurs contrôlés (localisation et durée de l'ennoyage)

1. Expérimentations 1 et 2

— Effets d'une courte période d'excès d'eau sur la morphologie du maïs

Aux stades les plus jeunes (3 à 5 feuilles), on observe une diminution de la turgescence et un jaunissement de la plante ; les limbes des dernières feuilles apparues se décolorent ensuite formant des stries longitudinales, enfin les feuilles les plus âgées se dessèchent.

A un stade plus tardif, on observe le même manque de turgescence du système aérien ; les premières feuilles jaunissent, marquées sur leur pourtour d'un liséré violet, puis se dessèchent. Ces symptômes s'étendent du bas vers le haut de la plante.

Il y a, de façon générale, raccourcissement de la plante, diminution du diamètre des tiges.

Des racines nouvelles, superficielles, s'étendant même parfois à la surface du sol, prennent naissance à partir du bas de la tige et des racines d'ancrage.

Les symptômes ne sont parfois que passagers ; il y a, en effet, reverdissement des feuilles lorsque la contrainte n'a pas été trop sévère.

Ces symptômes ne se sont pas manifestés avec la même intensité dans l'une et l'autre expérimentation. Ainsi, par exemple, les effets des traitements 2 et 3 ont été moins apparents lors de la 1^{re} série que de la seconde ; il en a été inversement pour les traitements 4 et 5 qui, dans le 1^{er} cas, ont coïncidé avec une période de beau temps chaud. En outre, les plantes qui ont subi 6 j d'ennoyage au stade 8 feuilles dans l'expérimentation 1, ayant émis beaucoup moins de racines nouvelles que celles qui ont été soumises à une contrainte plus longue, ont moins bien récupéré lors de leur retour à des conditions normales.

— Croissance et développement de la plante

Quel que soit le stade auquel il survient, l'excès d'eau entraîne une diminution de la croissance et un retard dans le développement des plantes. Il se traduit notamment par une

TABLEAU 1

Expérimentation 1. Surface en cm² du limbe des 9^e, 10^e et 11^e feuilles : moyenne de 8 mesures (le traitement 6 est appliqué postérieurement à la formation des feuilles). Les nombres de la même ligne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil 5 p. 100.

Experiment 1. Area (cm²) of the 9th, 10th and 11th leaves : mean of 8 measurements. Numbers in the same line followed by the same letter are not significantly different at the 5 % level.

	Traitements					
	1	2	3	4	5	6
9 ^e feuille	692 a	669 ab	549 b	316 c	360 c	719 a
10 ^e feuille	625 a	625 a	461 b	236 c	294 c	649 a
11 ^e feuille	456 a	503 b	376 a	159 c	219 c	465 a

réduction de la taille ; à maturité, les écarts ont atteint 20 à 60 cm par rapport aux témoins dont la taille était alors de 240 cm. On a observé, durant les 3 à 4 semaines qui ont suivi les traitements 2 à 5, que le nombre de feuilles portées par la plante est significativement inférieur à celui des témoins, pour redevenir égal par la suite.

L'ennoyage influence aussi la taille des feuilles formées et donc la capacité photosynthétique des plantes. Un exemple en est donné dans le tableau 1 ; il concerne la surface du limbe des 9^e (feuille de l'épi), 10 et 11^e feuilles, lors de l'expérimentation 1.

Globalement, les effets de l'excès d'eau peuvent s'évaluer par l'évolution de la matière sèche formée. L'exemple des traitements 2 et 3 est donné dans les figures 1 a et 1 b.

A la suite de quelques-uns des traitements, on a observé un retard dans l'apparition des panicules, la floraison mâle et la sortie des soies (repérées lorsqu'elles sont visibles sur

50 p. 100 des plantes) qui varie de 1 à 2 j (traitements 2, 3, 5 de l'expérimentation 1, traitements 2, 3, 4 de l'expérimentation 2) jusqu'à 3 à 4 j (traitement 4, expérimentation 1).

— Rendements

Les poids secs à la récolte des organes aériens végétatifs (spathes comprises), des épis et des grains sont donnés dans le tableau 2.

La composition en azote et éléments minéraux des grains récoltés n'est pas influencée par les traitements, lors de l'une ou l'autre expérimentation.

2. Expérimentations 3 à 5

Malgré des conditions culturales aussi proches que possible, le développement végétatif des plantes et la production de grains ont été en 1979 plus faibles qu'en 1977. Les poids secs à maturité sont donnés dans le tableau 3.

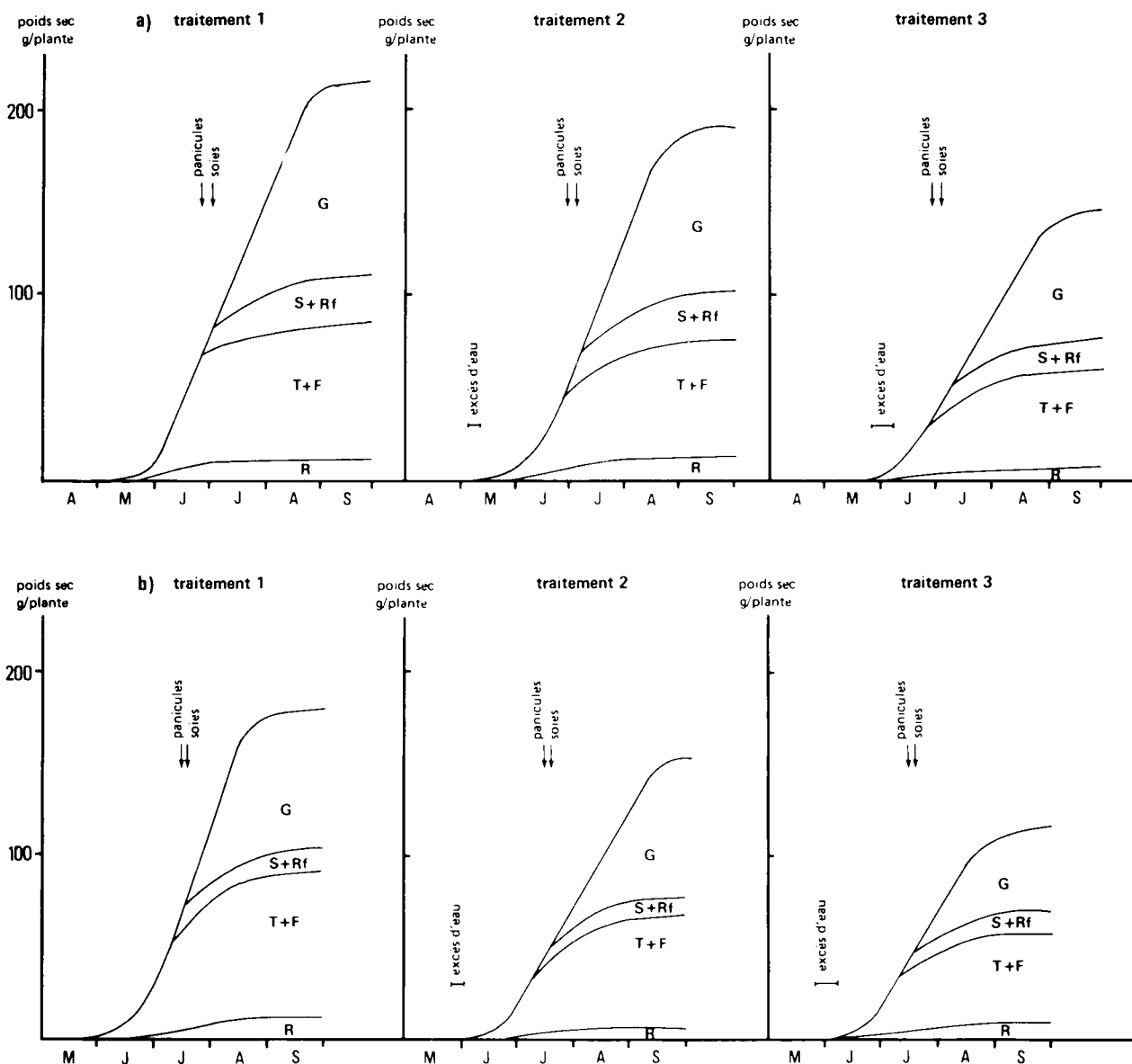


Figure 1

Croissance pondérale du maïs, cv « INRA 240 ».

a) expérimentation 1, b) expérimentation 2.

Traitements 1 à 3 : voir texte.

R = racines ; T + F = tige + feuilles ; S + Rf : spathes + rafle ; G = grains ; ← panicules = sortie des panicules mâles ; ← soies = sortie des soies.

Growth of maize, cv « INRA 240 », g dry matter/plant.

a) experiment 1, b) experiment 2.

Treatments 1, 2, 3 : see text.

R = roots ; T + F = stem + leaves ; S + Rf = spathes + cob ; G = grain ; ← panicules = appearance of male inflorescence ; ← soies : appearance of the silks of the ear.

TABLEAU 2

Poids secs en g/pot à la récolte : moyennes de 4 pots par traitement. Dans une même colonne, les nombres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil 5 p. 100.

Yields, g dry matter/pot : means of 4 pots per treatment. In the same column, numbers followed by the same letter are not significantly different at the 5 % level.

Traitements	Tiges + feuilles	Epis	Grains	Matière sèche totale
Expérimentation 1				
1	509 ab	696 a	614 a	1 205 a
2	439 bc	622 ab	542 ab	1 061 ab
3	390 cd	462 bd	406 bd	852 b
4	261 e	286 d	250 d	547 c
5	326 de	351 cd	308 cd	677 c
6	558 a	547 abc	471 abc	1 105 ab
Ecart-type de l'erreur	53	118	104	164
Expérimentation 2				
1	475 ab	548 a	477 a	1 023 a
2	351 bc	521 a	459 a	872 a
3	301 c	323 a	280 a	624 a
4	372 bc	425 a	370 a	797 a
5	290 c	411 a	362 a	701 a
6	526 a	326 a	270 a	852 a
Ecart-type de l'erreur	88	138	132	194

TABLEAU 3

Poids secs en g/pot à la récolte : moyennes de 5 pots par traitement. Dans une même colonne, les nombres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil 5 p. 100.

Yields, g dry matter/pot : means of 5 pots per treatment. In the same column, numbers followed by the same letter are not significantly different at the 5 % level.

Traitements	Tiges + feuilles	Epis	Grains	Matière sèche totale
Expérimentation 3				
1	288 a	452 a	384 a	740 a
2	237 abc	359 a	306 a	596 a
3	226 bc	381 a	328 a	607 a
4	269 ab	400 a	341 a	669 a
5	201 c	278 a	235 a	479 a
6	279 ab	367 a	295 a	646 a
Ecart-type de l'erreur	39	123	114	156
Expérimentation 4				
1	300 a	450 a	397 a	750 a
4	243 b	451 a	396 a	694 a
5	226 b	392 a	351 a	618 a
Ecart-type de l'erreur	34	91	82	119
Expérimentation 5				
1	380 a	507 a	436 a	887 a
4	215 b	294 b	251 b	509 b
5	192 b	249 b	209 b	441 b
Ecart-type de l'erreur	23	97	87	112

3. Discussion

Le maïs, cv « I.N.R.A. 240 », a été soumis à une période d'excès d'eau à un moment précoce de son cycle (stade 4 ou stade 8 feuilles) ou, plus tardivement, lors de la sortie de la panicule mâle.

Les traitements aux stades précoces provoquent un retard de la croissance. Globalement, on observe des effets à long terme significatifs sur la formation de l'appareil végétatif, dans toutes les séries expérimentales ; ils se traduisent par des réductions en poids secs élaborés de tiges et feuilles,

voisines dans quelques cas (certains traitements 4 et 5) de 50 p. 100 du poids des témoins.

La production de grains est toujours affectée, mais les écarts de rendements entre traitements n'ont de signification statistique que dans les expérimentations 1 et 5 ; les coefficients de variation sont beaucoup plus élevés que pour les poids à maturité des organes végétatifs.

Les résultats des tableaux 2 et 3 permettent une analyse des effets moyens des contraintes imposées à la plante (un protocole factoriel eût donné davantage de précision surtout dans l'appréciation de l'effet durée de l'excès d'eau).

TABLEAU 4

Effet moyen de l'excès d'eau, influence du stade d'application et de sa durée : signification statistique dans chacune des séries expérimentales 1 à 3.
Average effect of excess water, influence of stage and duration of treatment : statistical significance in experiments 1 to 3.

	Expérimentation 1			Expérimentation 2			Expérimentation 3		
	vég.	gr.	total	vég.	gr.	total	vég.	gr.	total
Effet moyen excès d'eau	HS	HS	HS	S	10	S	S	NS	7
Influence du stade d'application									
1. différence stades végétatifs (4 et 8 feuilles) - stade reproducteur	HS	NS	HS	S	NS	NS	NS	NS	NS
2. différence stade 4 feuilles - stade 8 feuilles	HS	HS	HS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Influence de la durée de l'excès d'eau	S	NS	10	S	NS	8	HS	NS	NS

HS : effet significatif au seuil 1 p. 100 ; S : effet significatif au seuil 5 p. 100 ; NS : effet non significatif ; 8 : effet proche de la signification (au seuil 8 p. 100) ; vég. : organes végétatifs ; gr. : grains ; total : matière sèche totale.

HS : significant effect at 1 % level ; S : significant effect at 5 % level ; NS : non significant effect ; 8 : effect near significance (at 8 %) ; vég. : vegetative parts ; gr. : grains ; total : total dry matter.

Pour cela, nous avons considéré les expérimentations 1 à 3. Les effets moyens ont d'abord été testés dans chaque série expérimentale, séparément pour les organes végétatifs, tiges et feuilles, et les grains formés puis pour la matière sèche totale élaborée. Le tableau 4 donne les conclusions des comparaisons qui ont été faites.

L'analyse d'ensemble des 3 expérimentations (après transformation logarithmique des données concernant les organes végétatifs, par suite de l'hétérogénéité de leurs variances) conduit aux résultats du tableau 5. Une courte période d'excès d'eau influe donc très nettement sur la formation de matière sèche par le maïs. Par contre, on ne note pas d'effet significatif du stade d'application de l'ennoyage ; l'exception portant sur les organes végétatifs s'explique aisément puisque leur formation est presque achevée lorsque la contrainte survient au stade sortie de la panicule, alors qu'elle est très pénalisée après application à un stade beaucoup plus précoce. L'augmentation de la

durée de l'excès d'eau de 6 à 12 j tend à en aggraver les conséquences.

Cette analyse d'ensemble met également en évidence, outre un « effet série expérimentale » important, une interaction traitements \times séries expérimentales significative pour la formation des organes végétatifs, proche de la signification, aux seuils 15 et 8 p. 100 respectivement, dans le cas des grains et de la matière sèche totale (l'utilisation de la variance de cette interaction comme base de comparaison abaisse le degré de signification des effets moyens observés mais ne modifie pas le sens des conclusions qui en ont été tirées).

B. Effets de paramètres non maîtrisés de l'environnement

Des facteurs, différents des facteurs expérimentaux, influencent donc le comportement des plantes. Doit-on invoquer, à titre explicatif, les conditions générales qui ont prévalu durant toute la période de croissance du maïs dans chaque série expérimentale ou plutôt des conditions particulières qui se sont établies pendant la période d'ennoyage de la plante ?

1. Conditions générales de croissance

Le niveau de production du traitement témoin en est le reflet. Si l'on considère les traitements 1, 4 et 5 qui permettent de disposer de 5 références différentes (tabl. 2 et 3), il y a tendance à l'augmentation des effets relatifs de l'excès d'eau quand la production du témoin croît ; mais la divergence entre les séries expérimentales 2 et 5 est évidente. Aucune corrélation ne peut donc être établie, seulement peut-être par insuffisance du nombre de données.

2. Conditions climatiques durant l'ennoyage

Parmi les variables non contrôlées susceptibles d'influer sur l'ampleur et le sens des réactions des plantes et leurs conséquences à long terme, figurent les conditions climati-

TABLEAU 5

Effet moyen de l'excès d'eau, influence du stade d'application et de la durée : analyse d'ensemble des trois expérimentations (pour les légendes, voir tableau 4).

Average effect of excess water, influence of stage and duration of treatment : comprehensive statistical analysis of the 3 experiments (for abbreviations, see table 4).

	Organes végétatifs	Grains	Matière sèche totale
Effet moyen de l'excès d'eau	HS	S	HS
Influence du stade d'application			
1. Différence stades végétatifs (4 et 8 feuilles) - stade reproducteur	HS	NS	NS
2. Différence stade 4 feuilles - stade 8 feuilles	NS	NS	NS
Influence de la durée de l'excès d'eau	S	NS	9

TABLEAU 6

Productions relatives et facteurs climatiques pendant la période d'ennoyage.
Relative yields and climatic conditions during excess water.

	Production % des témoins respectifs			Valeur moyenne journalière pendant l'ennoyage		
	Organes végétatifs	Grains	M. sèche totale	Température °C	Rayonnement global Mj/m ²	Evapotranspiration ⁽¹⁾ mm
Traitement 4						
Série 1	51,2	40,8	45,4	18,1	26,7	8,4
Série 2	78,3	77,7	77,9	17,8	19,9	4,8
Série 3	93,5	88,8	90,4	16,0	14,6	3,4
Série 4	80,9	99,2	92,5	15,0	20,3	4,6
Série 5	56,6	57,5	57,4	20,7	17,8	6,4
Traitement 5						
Série 1	64,1	50,2	56,2	17,6	24,0	8,4
Série 2	61,1	76,0	68,5	18,6	18,8	4,5
Série 3	69,9	61,1	64,6	17,0	16,1	4,1
Série 4	75,2	88,5	82,3	16,5	20,6	5,7
Série 5	50,6	47,9	49,7	20,0	20,6	6,4

⁽¹⁾ Evapotranspiration = E piche (1 + λθ), d'après BOUCHET (1963).

⁽¹⁾ E piche (1 + λθ), according to BOUCHET (1963).

ques durant l'ennoyage. Dans le tableau 6, sont mis en comparaison les productions, en pourcentage des témoins respectifs, des traitements 4 et 5 dans les 5 séries expérimentales et certains des facteurs du climat pendant cette période.

Les conséquences de l'excès d'eau paraissent donc devoir être d'autant plus prononcées que la température, le rayonnement global, l'évapotranspiration moyens pendant la contrainte sont plus élevés (d'autres facteurs, telle l'humidité relative, n'ont pas d'incidence nette). Des calculs de corrélation montrent que ce sont les corrélations multiples entre la production relative et les 2 facteurs température et évapotranspiration moyennes qui rendent le mieux compte des observations :

	Parties aériennes	Grains	Matière sèche totale
Traitement 4	r ² = 0,978 S	r ² = 0,916 S	r ² = 0,973 HS
Traitement 5	r ² = 0,985 HS	r ² = 0,486 NS	r ² = 0,657 NS

Il y a là accord avec des résultats connus. On sait en effet que les besoins respiratoires de la plante sont accrus lorsqu'augmentent la température et le niveau photosynthétique ; les besoins respiratoires évoluent de façon semblable, dans le même temps où l'anoxie diminue la capacité de transfert des racines (MORIZET, 1975 ; MORIZET & MIN-GEAU, 1976).

IV. CONCLUSION

Une courte période d'excès d'eau, survenant dans les premiers stades de son cycle végétatif, entraîne une diminution de la croissance du maïs et de sa production de grains. Plus tardive, elle ne peut plus modifier la croissance végétative de la plante, mais influe toujours sur la formation de la récolte.

L'analyse des données met en évidence un effet moyen très significatif de l'excès d'eau mais ne permet pas de déceler une influence du stade d'application sur cet effet (à l'exception de la formation de l'appareil végétatif après contrainte précoce ou tardive). L'augmentation de la durée de l'excès d'eau tend à en accroître les conséquences.

L'extériorisation de ces effets est cependant très différente selon les séries expérimentales. Considérer les conditions générales de croissance de la plante ne permet pas, à partir du nombre limité de résultats présentés, d'interpréter ce fait. Les facteurs climatiques durant la période d'ennoyage paraissent avoir une influence davantage déterminante.

Ainsi, parmi les paramètres de l'action de l'ennoyage sur la croissance et la production de la plante, le contexte climatique dans lequel survient cet accident présenterait autant sinon plus d'importance que le moment auquel il se place dans le cycle de végétation. Il semble, en tout cas, irréaliste d'étudier l'influence de ce dernier paramètre sans s'affranchir du premier.

Reçu le 26 mai 1981.

Accepté le 16 octobre 1981.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bhan S., 1977. Effect of waterlogging on maize. *Indian J. agric. Res.*, **11**, 147-150.
 Bouchet R. J., 1963. Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. *Ann. agron.*, **14**, 743-824.
 Chaudary T. N., Bhatnagar V. K., Prihar S. S., 1975. Corn yield

and nutrient uptake as affected by water table depth and soil submergence. *Agron. J.*, **67**, 745-749.

Cros Ph., Guyon G., Rolland L., 1972. Drainage agricole en Hongrie. *CR. Mission. C.T.G.R.E.F.*, Dijon, 47 p. et annexes.

Erickson A. E., Van Doren D. M., 1960. The relation of plant growth and yield to soil oxygen availability. *7th intern. Congr. Soil Sci.*, Madison, IV, 428-434.

Jat R. L., Dravid M. S., Das D. K., Goswami N. N., 1975. Effect of flooding and high soil water condition on root porosity and growth of maize. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, **23**, 291-297.

Morizet J., 1975. Etude des transferts de l'eau dans la plante. Actions comparées d'une alimentation carencée en azote et d'une anoxie du milieu racinaire. Interaction entre ces deux facteurs. *C.R. Acad. Sci.*, **281**, 1833-1886.

Morizet J., Mingeau M., 1976. Influence des facteurs du milieu sur

l'absorption hydrique. Etude effectuée sur tomate décapitée en exsudation. II. Facteurs physiques et interactions avec la nutrition minérale. *Ann. agron.*, **27**, 333-342.

Palvadi H. K., Lal B., 1976. Note on susceptibility of maize to waterlogging at different growth stages. *Pantnagar. J. Res.*, **1**, 141-142 (In : *Soils and Fertilizers*, 1977, 3907).

Ritter W. F., Beer C. E., 1969. Yield reduction by controlled flooding of corn. *Trans. A.S.A.E.*, 46-50.

Shalhevet J., Zwerman P. J., 1962. Nitrogen response of corn under variable conditions of drainage. A lysimeter study. *Soil Sci.*, **93**, 172-182.