

CT 80007

Relations observées au Mali entre le rendement en coton-graine, la nutrition azotée du cotonnier (mesurée par le diagnostic pétioleaire) et certains facteurs climatiques

M. CRETENET (1)

RÉSUMÉ

Divers facteurs climatiques (températures, pluies) et culturaux (date de semis, apport d'une fertilisation azotée) permettent d'expliquer une partie de la variabilité observée sur les teneurs en azote nitrique de pétioles de cotonniers.

La variable « nutrition azotée » considérée comme variable explicative permet à son tour d'expliquer avec la durée du cycle des pluies utiles, une grande partie (86 %) de la variabilité observée sur les rendements d'essais menés en 1973 et 1979 sur 4 points d'expérimentation au Mali.

Mots clé : facteurs climatiques, facteurs culturaux, diagnostic pétioleaire, azote, nutrition azotée, rendements du cotonnier.

Nous nous proposons de mettre en évidence, dans un premier temps, l'incidence de quelques facteurs climatiques et culturaux sur la nutrition azotée du

cotonnier, et de montrer dans un second temps l'importance de ces facteurs sur les rendements.

Incidence de divers facteurs climatiques et culturaux sur la nutrition azotée du cotonnier

Observations effectuées en 1978

(Rapport d'agronomie 1978-1979)

Nous avons observé en 1978 une forte décroissance des teneurs en azote nitrique des pétioles de cotonniers âgés de 30/35 jours sur des semis échelonnés au cours du mois de juin. Cette décroissance des disponibilités en azote durant le mois de juillet a été mise en évidence sur des parcelles N = 0 d'essais implantés à N'Tarla en 1976-77 et 1978. Cette diminution sensible est illustrée par la régression simple

$$\hat{Y}_{ppm} = 2350 + \frac{153150}{x} \quad (R^2 \approx 0,97; t_0 = 19,7; 13 \text{ d.l.})$$

où x représente la date de prélèvement (nième jour à compter du 30/6; $x \geq 8$) et \hat{Y} la teneur en NO_3 exprimée en ppm des pétioles à 30/35 jours après levée.

Par ailleurs, nous avons constaté une évolution parallèle des températures moyennes de l'air durant le mois de juillet, illustrée par la figure 1.

Résultats de 1979

Un essai en dispositif split-plot a été mis en place en 1979, avec comme traitements principaux 6 dates

de semis pour lesquelles les levées ont été échelonnées du 5/6 au 25/7 et, en traitements secondaires, une fumure SPKB (10 S + 46 P_2O_5 + 28 K_2O + 1,8 B_2O_3), d'une part, avec adjonction de 51 N, d'autre part. Des prélèvements pétioleaires sont effectués à 30-35-40-50 jours après la levée, les teneurs moyennes enregistrées sur les 8 répétitions de l'essai figurent au tableau 1.

RELATIONS ENTRE TENEURS ENREGISTRÉES A 30/35 j (PARCELLES N = 0) ET DIVERS FACTEURS CLIMATIQUES (fig. 2) (VALEURS OBSERVÉES EN ANNEXE)

Les variables x_1 , x_2 (respectivement températures moyennes de l'air du jour $j - 12$ au jour $j - 2$ et du jour $j - 23$ au jour $j - 1$) et x_3 (pluviométrie en mm du jour $j - 16$ au jour $j - 1$) sont assez étroitement liées : $r_{12} = 0,84$; $r_{13} = 0,64$; $r_{23} = 0,67$.

Prises individuellement, elles expliquent respectivement 61 %, 15 %, 21 % de la variabilité des teneurs en NO_3 au jour j de cotonniers âgés de 30/35 jours.

Les composantes principales des 3 variables explicatives initiales sont :

$$\begin{aligned} z_1 &= -0,59 x_1 - 0,60 x_2 + 0,54 x_3 \text{ avec } l_1 = 2,44, \\ z_2 &= -0,43 x_1 - 0,33 x_2 - 0,84 x_3 \text{ avec } l_2 = 0,40, \\ z_3 &= -0,68 x_1 - 0,73 x_2 + 0,06 x_3 \text{ avec } l_3 = 0,16. \end{aligned}$$

Les valeurs réduites des variables initiales sont définies par les relations :

1. Agronome, Section de Recherches cotonnières et fibres jutières, Station de N'Tarla-M'Pesoba, Mali.

$$x^{\circ}_1 = \frac{x_1 - 28,05}{0,55};$$

$$x^{\circ}_2 = \frac{x_2 - 28,08}{0,47};$$

$$x^{\circ}_3 = \frac{x_3 - 35,00}{34,54}.$$

Interprétation des composantes principales

Les 3 variables initiales x_1, x_2, x_3 sont remplacées par 3 variables indépendantes Z_1, Z_2, Z_3 . La première composante Z_1 exprime 81% de la variation totale l_1 ($\frac{1}{3}$), ce qui géométriquement se traduit sur le diagramme de dispersion des variables initiales (dans

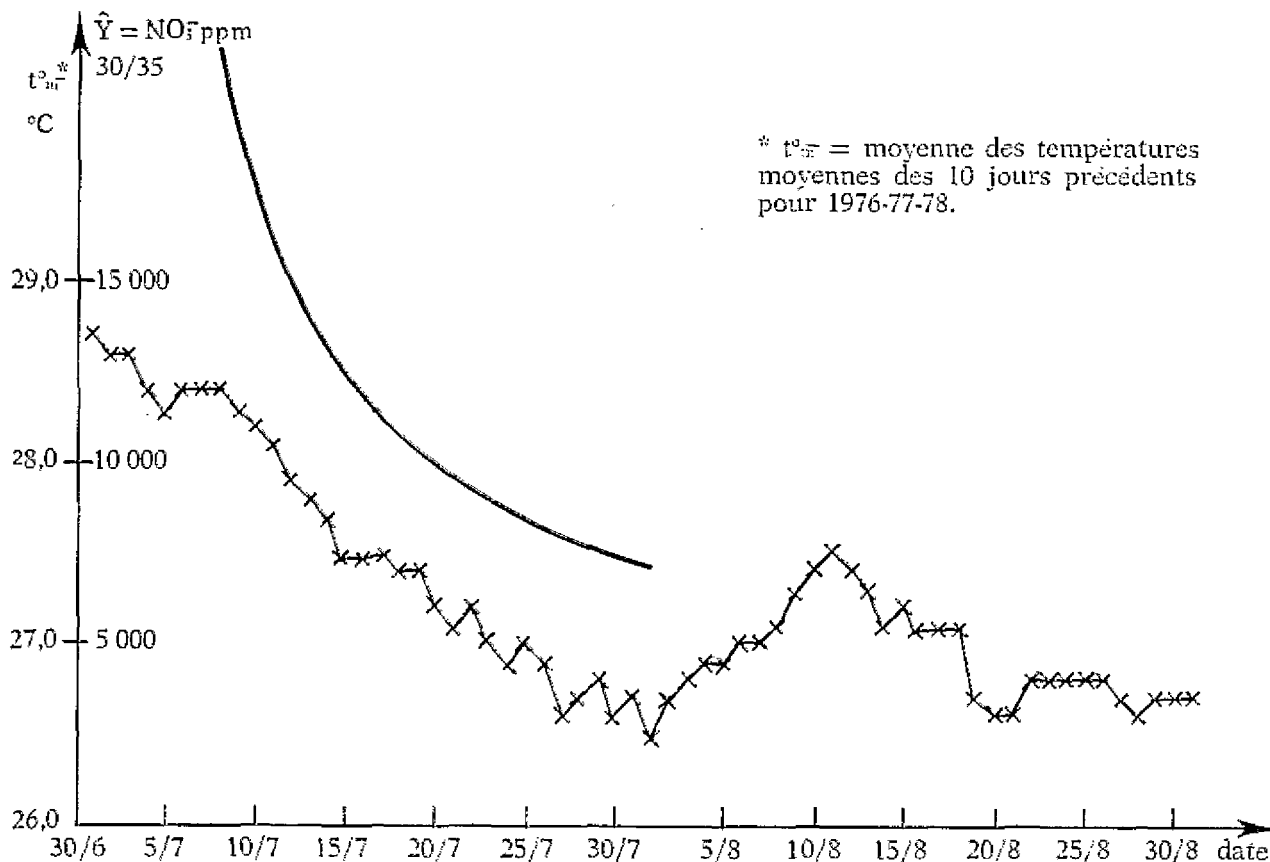


Fig. 1. — Evolution au cours du mois de juillet de la température de l'air et des teneurs en azote nitrique des pétioles de cotonniers âgés de 30/35 jours.

Tableau 1. — Teneurs NO_3 ppm des pétioles (première feuille mature à partir du sommet du plant)

Semis	Levée	N = 0				N = 51			
		30 j	35 j	40 j	50 j	30 j	35 j	40 j	50 j
30/5	5/6	15 175	10 155	7 905	4 925	24 230	17 945	16 000	9 090
9/6	15/6	10 205	5 295	5 995	5 155	16 665	9 340	9 450	13 045
18/6	25/6	5 025	4 820	6 135	4 540	16 965	12 315	10 720	5 865
28/6	5/7	5 805	7 595	8 465	3 980	23 910	32 510	16 315	5 690
9/7	18/7	6 380	4 645	6 830	2 790	19 805	15 840	14 145	5 355
18/7	25/7	10 770	8 205	6 330	2 290	30 315	26 100	10 415	3 915

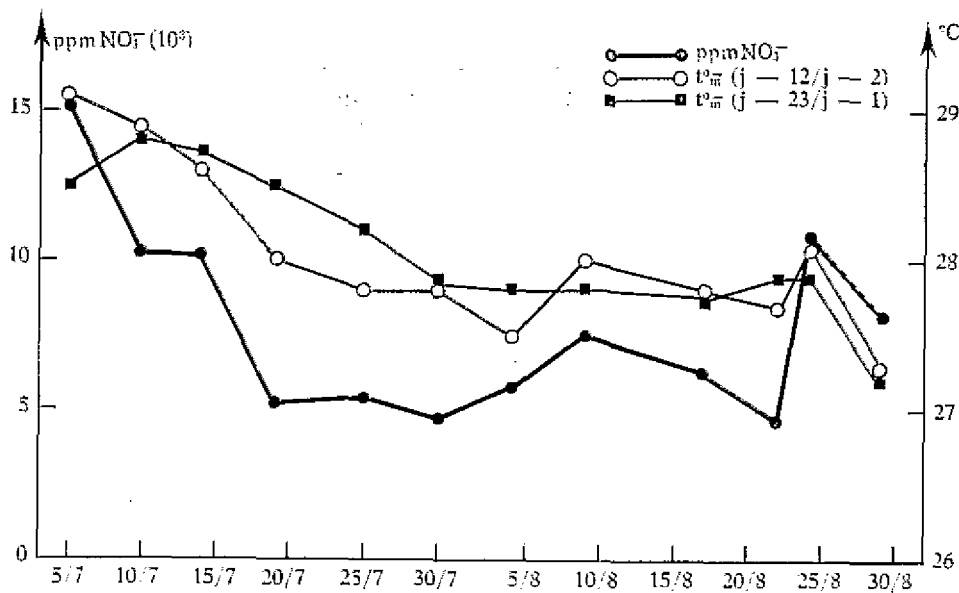


Fig. 2. — Relations entre teneurs enregistrées à 30/35 j (parcelles N = 0) et divers facteurs climatiques.

un espace à 3 dimensions) par un regroupement sur une droite d'une grande partie (81 %) des points observés.

Cette composante, en corrélation étroite négative avec les 2 facteurs température ($r_{z_1, x^{\circ 1}} = -0,92$ et $r_{z_1, x^{\circ 2}} = -0,93$) et en corrélation positive avec le facteur pluie ($r_{z_1, x^{\circ 3}} = 0,85$), constitue un bon indice de l'alternative période à « temps chaud et sec »-période à « temps froid et humide ». Elle exprime la tendance générale de l'évolution des températures en fonction de la pluviométrie : abaissement de la température durant les périodes pluvieuses.

La seconde composante z_2 ne représente que 13 % de la variation totale ; elle est en corrélation négative avec les 3 variables initiales, les coefficients de corrélation sont plus faibles ($r_{z_2, x^{\circ 1}} = -0,27$, $r_{z_2, x^{\circ 2}} = -0,21$, $r_{z_2, x^{\circ 3}} = -0,53$). Relativement plus liée à la pluviométrie, cette composante pourrait indiquer la non proportionnalité entre volume d'eau tombé et abaissement de température.

Quant à la troisième composante, peu représentative de la variation totale (6 %), elle est très peu liée à la pluviométrie ($r_{z_3, x^{\circ 3}} = 0,02$) ; par contre, également corrélée avec $x^{\circ 1}$ et $x^{\circ 2}$, négativement avec la première ($r_{z_3, x^{\circ 1}} = -0,28$) et positivement avec la seconde ($r_{z_3, x^{\circ 2}} = +0,29$). Elle indiquerait de relativement brusques variations de températures moyennes sans liaison avec la pluviométrie.

Régression orthogonalisée

$$Y^{\circ} = a + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3.$$

$b_1 = -0,39$ ($t_{b_1} = 4,26$) ; $b_2 = -0,19$ ($t_{b_2} = 0,84$) ; $b_3 = -1,67$ ($t_{b_3} = 4,75$).
 $a = 1,6 \times 10^{-2}$; $R^2 = 0,84$; 9 d.l.

Seul le coefficient b_2 ne diffère pas significativement de 0 à $P < 0,01$.

En se limitant à 2 variables explicatives, Z_1 et Z_3 , la régression devient :

$$Y^{\circ} = -0,39 Z_1 - 1,67 Z_3 + 1,7 \times 10^{-3} \quad R^2 = 0,82$$

avec $t_{b_1} = -4,33$ et $t_{b_3} = 4,84$ (10 d.l.).

Interprétation de la régression

Les variations de teneurs en NO_3^- pétiolaire de cotonniers âgés de 30 à 35 jours (sur 1 essai) sont relativement bien expliquées par les composantes climatiques Z_1 et Z_3 , précédemment définies (82 % de la variation observée).

Le passage d'une période chaude et sèche à une période à temps froid et humide ($\nearrow Z_1$) tend à faire diminuer l'assimilation de l'azote par la plante : c'est l'évolution générale que l'on observe au cours du mois de juillet. Pour une échelle de temps plus courte, un brusque réchauffement (faible valeur de Z_3) entraînera une augmentation sensible des teneurs en azote dans les pétioles : phénomène observé fin août cette année (fig. 2).

Après retour aux variables initiales, cette régression s'écrit :

$$\widehat{Y}_{\text{ppm}} = 7978 t_{19} - 6734 t_{22} - 28,9 P_{15} - 24392.$$

RELATIONS ENTRE TENEURS ENREGISTRÉES, AGE, FERTILISATION AZOTÉE, TEMPÉRATURE

Parcelles N = 0

$$\widehat{Y}_{\text{ppm}} = \frac{220.400}{A} + 2366 t_m - 65062 \quad (R^2 = 0,60 ;$$

$$t_{b_1} = 2,52 ; t_{b_2} = 3,54 ; 22 \text{ d.l.})$$

A : âge du cotonnier ($30 \leq A \leq 50$).

t_m : température moyenne de la période $j - 12/ j - 2$ précédant le prélèvement.

Parcelles $N = 51$

$\bar{Y}_{\text{ppm}} = 36\,351 - 765 (P-N)$ ($r = -0,76$; $t_0 = -5,49$; 23 d.l.)

P-N: délai en jours date de prélèvement, date d'apport de la fertilisation azotée ($15 \text{ j} \leq P-N \leq 40 \text{ j}$).

Rendement. Nutrition azotée et durée du cycle des pluies utiles

L. RICHARD* a défini des teneurs optimales en NO_3^- des pétioles en fonction de l'âge des plants (A) et de la durée du cycle des pluies (D):

$$N_{\text{ppm}} = 50\,200 - \frac{1}{D} - 1\,890\,000 - 12 A^2 + 0,097 A^3 \quad (1).$$

Cette approche qualitative au niveau des rendements peut être complétée par une approche quantitative de l'incidence de la nutrition azotée sur les rendements tenant compte de la durée du cycle des pluies utiles.

Les essais date de semis x fertilisation azotée mis en place en 1978 et 1979 sur la Station de N'Tarla nous ont permis d'établir la régression multiple:

$$\text{Rdt kg/ha} = -352 + 17,4 D + 40 \times 10^{-8} N_{45} \quad (2)$$

($R^2 = 0,81$; $t_{01} = 6,2$; $t_{02} = 2,7$; 14 d.l.)

N_{45} : teneurs des pétioles en NO_3^- à 45 jours.

Cette relation permet d'expliquer 81 % de la variation observée sur les rendements.

Les résultats obtenus à N'Kourala et Koula en 1978-79 et à Kolombada en 1979 sur le même type d'essai, après transformation des variables Rdt, N_{30} , N_{45} et N_{60} en variables normées réduites pour chaque point et de la variable D sur l'ensemble des résultats, conduisent à la régression orthogonalisée:

$$Y^* = 0,36 Z_1 + 0,49 D^* \quad (R^2 = 0,89; t_{01} = 4,15, t_{02} = 4,13; 18 \text{ d.l.})$$

avec Y^* variable normée réduite rendement, Z_1 : composante principale de variance maximum des variables N_{30} , N_{45} , N_{60} ($I_1 = 2,02$);

D^* : variable normée réduite durée du cycle des pluies utiles.

Après retour aux variables initiales, nous avons pour:

Kolombada

$$\text{Rdt kg/ha} = -1\,370 + 16,1 D + 12,9 \times 10^{-3} N_{30} + 56,1 \times 10^{-3} N_{45} + 65,2 \times 10^{-3} N_{60} \quad (3).$$

Conclusion

Ces considérations sur l'incidence de divers paramètres climatiques, températures pluviométrie et culturaux (date de semis, apport de la fertilisation azotée) sur les teneurs en NO_3^- des pétioles prennent toute leur importance dans la mesure où, comme nous le montrons dans le chapitre suivant, il existe d'étroites relations entre rendements et teneurs en azote nitrique des pétioles.

Koula

$$\text{Rdt kg/ha} = -803 + 15,4 D + 14,5 \times 10^{-3} N_{30} + 24,1 \times 10^{-3} N_{45} + 36,4 \times 10^{-3} N_{60} \quad (4).$$

N'Kourala

$$\text{Rdt kg/ha} = -1\,424 + 16,5 D + 14,6 \times 10^{-3} N_{30} + 35,6 \times 10^{-3} N_{45} + 117,2 \times 10^{-3} N_{60} \quad (5).$$

Pour N'Kourala, il nous paraît préférable de retenir la régression:

$$\text{Rdt kg/ha} = -1\,646 + 22,0 D + 73 \times 10^{-3} N_{45} \quad (6)$$

($R^2 = 0,83$; $t_{01} = 3,42$; $t_{02} = 2,32$; 6 d.l.)

qui permet d'expliquer 83 % de la variation des rendements observés, contre 71 % pour la précédente.

Discussion:

Le facteur D représente pour un lieu et une année donnés l'effet date de semis. C'est à N'Kourala et à N'Tarla qu'il semble le plus important.

— La nutrition azotée à 45 jours est un facteur essentiel du rendement.

— La nutrition azotée à N'Kourala a été un facteur limitant des rendements obtenus en 1978-79.

— Les teneurs optimales en NO_3^- des pétioles semblent être sous-estimées particulièrement pour des durées de cycle des pluies utiles inférieures à 100 j: N'Tarla 64 j, 68 j, 83 j, 99 j; Koula 74 j, 98 j, 101 j; Kolombada 74 j, 94 j. On note en effet pour ces 9 cas une supériorité du rendement observé par rapport au rendement « potentiel », supériorité liée à des teneurs en NO_3^- plus élevées que les « optima ».

— Pour des durées de cycle des pluies utiles supérieures à 105 j, le facteur nutrition azotée devient limitant lorsque $\text{Rdt obs.} \neq \text{Rdt calc.} < \text{Rdt pot.}$ (par ex. 109 j: N'Tarla) avec superposition d'un autre facteur limitant que l'azote lorsque $\text{Rdt obs.} < \text{Rdt calc.} < \text{Rdt pot.}$ (par ex. 119 j: N'Tarla).

Conclusion

Un certain nombre de facteurs climatiques (température, pluviométrie) et culturaux (date de semis,

apport de la fertilisation azotée) permettent d'expliquer dans une large mesure la variabilité observée sur les teneurs en azote nitrique des pétioles de cotonniers.

* L. RICHARD. — *Diagnostic pétioleaire du cotonnier*, mai 1977 (non publié).

L'intérêt de la démarche réside essentiellement

Tableau des valeurs des différentes variables (obs. = observée;
opt. = optimale; calc. = calculée; pot. = potentielle)

Lieu-année	D jours	Teneurs NO ₃ ⁻ en ppm						Rendements kg/ha		
		N ₃₀		N ₁₅		N ₆₀		obs.	calc. (2)	pot. (3)
		obs.	opt.	obs.	opt.	obs.	opt.			
Kolombada 79*(1)	115	21 990	25 584	16 535	18 304	4 905	11 517	1 635	2 013	
	115	30 575	25 584	16 675	18 304	5 295	11 517	2 225	2 157	2 589
	94	37 335	21 913	13 495	14 633	5 075	7 846	2 016	1 713	
	94	40 540	21 913	13 920	14 633	8 015	7 846	2 407	2 250	1 751
	74	21 000	16 478	13 605	9 199	3 315	2 411	1 138	1 072	
	74	20 025	16 478	14 315	9 199	3 815	2 411	1 124	1 132	707
	101	32 550	23 306	9 900	16 026	6 550	9 239	1 757	1 701	
	101	37 175	23 306	19 400	16 026	11 585	9 239	2 079	2 181	1 813
	116	34 150	25 726	16 555	18 446	4 515	11 659	1 811	2 042	
	116	41 200	25 726	18 385	18 446	6 955	11 659	2 298	2 277	2 225
Koula 78*(1)	98	34 560	22 733	6 315	15 453	3 565	8 666	1 761	1 489	
	98	42 340	22 733	11 755	15 453	5 070	8 666	2 035	1 788	1 724
	74	24 640	16 478	8 335	9 199	2 335	2 411	826	980	
	74	20 570	16 478	12 870	9 199	4 815	2 411	967	1 120	885
N'Kourala 78*(1)	85	7 825		3 955	12 504	3 105		684	513	
	85	22 770		8 215	12 504	3 370		936	824	1 137
N'Kourala 79*(1)	122	15 250		5 970	19 247	5 005		1 182	1 474	
	122	27 090		13 965	19 247	3 935		2 113	2 057	2 443
	102	8 140		5 150	16 210	2 200		1 048	974	
	102	25 320		9 905	16 210	2 120		1 663	1 321	1 781
	82	10 695		5 685	11 690	3 030		416	573	
	82	23 900		11 290	11 690	2 975		661	982	1 011
N'Tarla 78	100			7 425	15 839			1 565	1 680	
	100			13 385	15 839			1 949	1 943	2 022
	83			3 320	11 968			1 370	1 269	
	83			9 025	11 968			1 655	1 537	1 571
	83			5 250	11 968			1 238	1 315	
	83			17 755	11 968			1 620	1 776	1 571
	68			4 460	6 945			831	978	
	68			10 540	6 945			1 279	1 198	1 109
	64			4 125	5 208			717	995	
	64			7 175	5 208			1 008	1 208	970
N'Tarla 79	119			6 415	18 857			1 822	1 975	
	119			12 540	18 857			1 937	2 220	2 473
	109			5 575	17 400			1 770	1 768	
	109			11 250	17 400			1 991	1 995	2 241
	99			5 340	15 648			1 477	1 584	
	99			8 295 (?)	15 648			2 180	1 702	1 997

(1) Résultats obtenus sur le réseau d'Expérimentation régionale par C. MALCOIFFE.

(2) Rendements calculés à partir des teneurs observées par les régressions (2) (3) (4) et (6).

(3) Rendements potentiels calculés à partir des teneurs optimales définies par la relation (1) à l'aide des mêmes régressions que précédemment.

dans le fait que le facteur nutrition azotée considéré comme variable explicative permet, avec la variable durée du cycle des pluies utiles, d'expliquer 86 % de

la variabilité observée sur les rendements d'essais implantés sur 4 points d'expérimentation durant 2 années consécutives.

ANNEXE

Tableau des valeurs observées des diverses variables
(N'Tarla 1979 : essai date de semis \times fertilisation azotée)

Date (j)	x_1 (°c) $t^{\circ}\bar{m}$ (j-12/j-2)	x_2 (°c) $t^{\circ}\bar{m}$ (j-23/j-1)	x_3 Pmm (j-16/j-1)	Y ppm NO_2^- (j)
5/7	29,1	28,5	36	15 175
14/7	28,6	28,7	45	10 205
25/7	27,8	28,2	78	5 025
4/8	27,5	27,8	86	5 805
17/8	27,3	27,8	120	6 380
24/8	28,1	27,9	140	10 770
10/7	28,9	28,8	30	10 155
19/7	28,0	28,5	82	5 295
30/7	27,8	27,8	97	4 820
9/8	28,0	27,8	118	7 595
22/8	27,7	27,9	108	4 645
29/8	27,3	27,2	80	8 205

BIBLIOGRAPHIE

DAGNELIE P., 1975. — L'analyse statistique à plusieurs variables. Presses agron. Gembloux, Belgique. 362 p.

SUMMARY

Various climatic factors (temperatures, rainfall), cultural factors (sowing date, addition of nitrogenous fertiliser) enable part of the variability in the nitrogen content of the petioles of cotton plants to be explained.

The variable « nitrogen nutrition », considered as

the variable responsible, together with the duration of the effective rains cycle, in turn enables a large part (86 %) of the variability observed in the yields in the trials carried out in 1978 and 1979 by 4 experimental units to be explained.

RESUMEN

Diversos factores climáticos (temperaturas, lluvias) y de cultivo (fecha de siembra, fertilización nitrogenada), permiten explicar una parte de la variabilidad observada en los contenidos de nitrógeno nítrico de petiolo de algodoueros.

La variable « nutrición nitrogenada », considerada como variable explicativa, permite a su vez explicar, con la variación del ciclo de las lluvias útiles, una gran parte (86 %) de la variabilidad observada en los rendimientos obtenidos en los ensayos llevados a cabo en el 78 y en el 79, en cuatro localidades de Mali.