

Recherche d'une méthode d'estimation de la date de récolte du bananier à partir de données climatiques dans les conditions des Antilles.

J. GANRY*

avec la collaboration technique de **D. SIOUSSARAM**

RECHERCHE D'UNE METHODE D'ESTIMATION DE LA DATE DE RECOLTE DU BANANIER A PARTIR DE DONNEES CLIMATIQUES, DANS LES CONDITIONS DES ANTILLES.

J. GANRY (IRFA)

Fruits, oct. 1978, vol. 33, n° 10, p. 669-680.

RESUME - Par deux approches différentes, analyse des courbes de croissance d'une part, analyse des intervalles floraison-récolte d'autre part, on montre que la somme de températures requise entre la jetée et la récolte du régime est de 900 degrés-jour (le seuil de température étant de 14° C).

A partir de cette base on propose une méthode de prévision de la date de récolte du bananier, comportant d'une part une prévision à long terme basée exclusivement sur les normales de températures, d'autre part une prévision à court terme, basée au maximum sur les températures réelles et permettant d'effectuer une estimation de la date de récolte cinq semaines à l'avance.

Dans une précédente publication (GANRY J., MEYER J.P., 1975) (2) on a montré que la température avait une action prépondérante sur la vitesse de croissance en épaisseur des fruits du bananier, et que, dans les conditions des Antilles, la loi d'action de la température sur la vitesse de croissance pouvait être traduite par une fonction linéaire, dans la mesure où d'autres facteurs, tel le facteur hydrique, ne sont pas limitants.

On a déjà signalé les travaux de divers auteurs qui ont montré l'action prépondérante de la température sur l'intervalle fleur-coupe : KUHNE et KRUGER (5) en Afrique du Sud, HORD et SPELL (4) au Honduras.

Plus récemment, GREEN et KUHNE (1975) (3) ont essayé de simuler l'intervalle fleur-coupe en supposant que le «degré de maturation» hebdomadaire répond à la température moyenne hebdomadaire suivant une relation sigmoïde.

Dans la présente étude, on se propose d'accéder à une méthode de prévision de la date de récolte d'une part en

analysant les courbes de croissance des fruits en relation avec la température et d'autre part en compilant une série d'intervalles fleur-coupe correspondant à diverses zones et époques.

ANALYSE DES COURBES DE VITESSE DE CROISSANCE EN EPAISSEUR DES FRUITS.

Technique expérimentale.

Dans diverses zones écologiques de la Guadeloupe, on effectue des mesures de vitesse de croissance en épaisseur des fruits du bananier.

Pour chacune des zones, les observations sont réalisées dans une parcelle de un à deux hectares en premier cycle. Dans chacune des parcelles, on repère de 50 à 100 bananiers au même stade de jetée de l'inflorescence (à deux ou trois jours près), et ayant le même nombre de mains. Les régimes sont gainés et il n'y a pas d'ablation de la dernière main.

Parmi ces bananiers, on en sélectionne de 10 à 30 qui

* - IRFA - Station de Neufchâteau - 97135 Sainte-Marie (Guadeloupe).

seront destinés aux mesures. Le choix est basé sur la hauteur (H) et la circonférence (C) du pseudo-tronc, sur le nombre de mains (NM) et le nombre de doigts (ND) du régime. On retient les bananiers qui, pour une classe de nombre de mains, ont des valeurs de H, C, et ND situées à l'intérieur de la gamme «moyenne plus ou moins écart type».

Sur un bananier on mesure l'épaisseur des deux doigts médians externes de chaque main, à raison d'une observation tous les 14 jours. On calcule ensuite les moyennes de grade pour un bananier, puis pour l'ensemble des 10 à 30 bananiers mesurés par parcelle. Les mesures débutent une semaine après le stade fleurs découvertes (FD).

On relève les températures journalières (maximum et minimum) dans la station climatologique la plus proche, afin de pouvoir calculer les sommes de températures qui seront reliées à la croissance des fruits.

Mode de calcul de la somme de températures :

On a déjà montré (2) que le seuil de température pour la croissance des fruits du bananier était, en extrapolant l'ajustement linéaire, de 13°7 soit, en arrondissant, de 14° C. La somme de température à prendre en compte au jour J

$$\text{est : } S T_j = \sum_{t=0}^j T - 14$$

ST_j : somme de températures depuis la jetée de la fleur (t = 0) jusqu'au jour J.

(ST₀ = 0)

T̄ : températures moyennes journalières de chaque jour entre t₀ et t_j calculées selon la méthode indiquée par GANRY (1978) (1).

- de novembre à février HIVER : T̄ = m + 0,378 (M-m)
- mars, avril, septembre, octobre INTER : T̄ = m + 0,407 (M-m)
- de mai à août ETE : T̄ = m + 0,423 (M-m).

Remarque. La somme de températures ainsi calculée diffère quelque peu de celle que l'on avait utilisée dans la précédente publication (2). On avait en effet calculé une somme de températures en comptant le nombre d'heures par classe de température sur le thermogramme, et en utilisant un seuil de 14°5. On exprimait ainsi des sommes de températures horaires avec seuil de 14°5, alors que présentement on exprime des sommes de températures journalières avec seuil de 14°C (plus proche de la réalité).

Résultats et interprétations.

Le tableau 1 donne les principaux renseignements sur les parcelles observées dans les divers sites écologiques.

Remarque. Les séries N1 et N2 sont tirées de parcelles d'un essai de taille réduite. Il n'a pas été possible d'utiliser les critères de choix indiqués précédemment, vu le nombre plus restreint de bananiers. Il en résulte que les bananiers retenus dans ces séries sont plus hétérogènes entre eux que dans les autres séries.

Les sommes de températures ST_j sont calculées pour chaque série à partir du stade FD (Fleurs découvertes), c'est-à-dire une semaine avant la date de la première mesure. On étudie la relation entre les sommes de tempéra-

tures ainsi calculées et les valeurs d'épaisseur du fruit correspondantes (G_j).

Le tableau 2, où figurent les résultats d'analyse en régression linéaire, série par série, confirme la validité de l'ajustement linéaire comme expression de la courbe de croissance en épaisseur des fruits en fonction des sommes de températures.

Dans le tableau 3 on a fait figurer les résultats d'analyse globale des couples «ST_j, G_j» :

- régression linéaire, d'une part en distinguant le cultivar Poyo du 901 (clone de Cavendish mi-géant), ainsi que les séries 8 mains des séries 7 mains et, d'autre part en regroupant l'ensemble des valeurs,
- régression quadratique pour l'ensemble des valeurs.

On montre que les différences entre cultivars ne sont pas significatives et que le nombre de mains (7 ou 8 mains) n'influe pas significativement sur la vitesse de croissance, tout au moins dans les conditions de l'expérimentation.

On est donc en droit d'analyser l'ensemble des données sans distinction de cultivar ou de nombre de mains.

On remarque que l'ajustement quadratique n'est pas significativement meilleur que l'ajustement linéaire. On pourra donc utiliser ce dernier à des fins de prévisions en remarquant cependant qu'il risque de sous estimer faiblement une prévision de grade à partir de ST_j, par rapport au grade réel.

Somme de température requise pour atteindre le stade récolte.

Le stade récolte est défini par une appréciation de la plénitude du fruit, la norme commerciale étant le calibre «trois quart plein standard». Ce calibre correspond théoriquement à un grade de 34 mm mesuré sur les doigts médians externes (le grade est une expression chiffrée simple du degré de remplissage du fruit, correspondant à l'épaisseur maximum de la banane mesurée entre faces latérales et à mi-longueur du fruit).

Le grade 34 mm est obtenu pour une somme de température de 902 d'après la relation 4.

Cette première analyse montre donc que l'intervalle fleur-coupe correspond à une somme de températures de 900, étant entendu que cet intervalle se situe entre le stade fleurs découvertes et le stade coupe «trois quart plein standard» (grade 34).

Remarque. A titre de comparaison avec les résultats obtenus en 1975 (2), on a réanalysé un certain nombre de données d'observation, concernant des régimes non gainés avec ablation de la dernière main (séries N 1 à 7, CH 4, D1 à 5, V 1 à 5).

Pour ces séries, l'analyse a porté sur les couples de valeurs «Somme de températures» - «Accroissement en épaisseur», chacune de ces valeurs étant calculées à partir de la date de la première mesure pour chacune des séries (c'est-à-dire une semaine après le stade fleurs découvertes).

Les séries du tableau 1 ont également été réanalysées selon ce principe.

TABLEAU 1 - Principales caractéristiques des séries observées.

Zone écologique	Alt.	Cultivar	Date FTD	Durée des mesures	Séries	NM	N	H	ET _H	\bar{C}	ET _C	ND	ET _{ND}
Neufchâteau	250	901	4.12.74	12.12.74 - 3.4.75	N 1	7	18	262	9,4	58,9	2,7	126	9,0
	250	901	11.12.74	18.12.74 - 10.4.75	N 2	7	17	256	16,0	57,3	4,3	126	7,2
	250	Poyo	16.5.75	23.5.75 - 1.8.75	N 3	7	31	270	8,2	54,6	2,0	118	3,7
	250	901	16.5.75	23.5.75 - 1.8.75	N 4	7	32	226	11,1	53,2	1,4	120	3,0
Moulin à eau	50	Poyo	24.3.75	31.3.75 - 26.5.75	ME 1	7	12	237	7,2	51,5	1,7	127	5,5
	50	Poyo	24.3.75	31.3.75 - 26.5.75	ME 2	8	32	239	7,3	51,7	1,2	144	5,2
Bois Debout	90	Poyo	3.2.75	10.2.75 - 5.5.75	BD 1	7	10	261	5,3	50,0	1,5	119	5,2
	90	Poyo	3.2.75	" "	BD 2	8	19	263	6,2	49,1	2,2	131	5,1
Manceau	200	Poyo	12.3.75	19.3.75 - 11.6.75	MAN	7	26	242	8,3	52,2	2,3	120	5,7
Bois Debout	90	Poyo	7.1.76	12.1.76 - 26.4.76	BD 3	7	18	250	6,2	55,6	1,4	119	3,6
	90	Poyo	7.1.76	" "	BD 4	8	18	249	12,9	56,2	1,7	136	6,9
Neufchâteau	250	Poyo	7.10.76	14.10.76 - 6.1.77	N 5	7	31	267	8,7	53,3	1,7	115	4,0
	250	Poyo	7.10.76	" "	N 6	8	31	267	9,9	54,0	1,5	133	4,4

ET : écart type FTD : Fleurs totalement découvertes NM : nombre de mains N : nombre de bananiers mesurés
H et C : hauteur et circonférence à 1 m ND : nombre de doigts.

TABLEAU 2 - Analyse des valeurs série par série.

Série	NM	Cultivar	Expression de la régression linéaire	N	r	ET _b
N 1	7	901	$y = 14,36 + 0,0210 x$	9	0,996	0,00074
N 2	7	901	$y = 14,87 + 0,0205 x$	8	0,997	0,00061
N 3	7	Poyo	$y = 15,94 + 0,0215 x$	6	0,998	0,00071
N 4	7	901	$y = 15,85 + 0,0208 x$	6	0,998	0,00072
N 5	7	Poyo	$y = 16,07 + 0,0188 x$	7	0,999	0,00044
N 6	8	Poyo	$y = 16,09 + 0,0183 x$	7	0,998	0,00049
ME 1	7	Poyo	$y = 15,92 + 0,0220 x$	5	0,999	0,00066
ME 2	8	Poyo	$y = 15,59 + 0,0211 x$	5	0,999	0,00024
MAN	7	Poyo	$y = 16,78 + 0,0213 x$	7	0,999	0,00032
BD 1	7	Poyo	$y = 15,69 + 0,0208 x$	7	0,998	0,00054
BD 2	8	Poyo	$y = 15,79 + 0,0200 x$	7	0,999	0,00045
BD 3	7	Poyo	$y = 15,15 + 0,0216 x$	7	0,999	0,00044
BD 4	8	Poyo	$y = 15,02 + 0,0211 x$	7	0,999	0,00048

NM : nombre de mains N : nombre de valeurs r : coefficient de corrélation
ET_b : écart type de la pente
Pente moyenne : 0,0207 Ecart type : 0.0011.

TABLEAU 3 - Analyse globale des valeurs.

Série	Ajustement	Expression de l'ajustement $x = ST$ $y = G$	N	r	ET _y	ET _b
Poyo 8 mains	R.L.	$y = 15,70 + 0,0198 x$ (1)	26	0,996	0,48	0,00037
Poyo 7 mains	R.L.	$y = 16,01 + 0,0207 x$ (2)	39	0,990	0,76	0,00048
901 7 mains	R.L.	$y = 15,02 + 0,0206 x$ (3)	23	0,991	0,76	0,00060
Ensemble des valeurs	R.L.	$y = 15,69 + 0,0203 x$ (4)	88	0,988	0,82	0,00034
Ensemble des valeurs	R.Q.	$y = 15,87 + 0,0195 x - 0,93 \cdot 10^{-6} x^2$ (5)	88		0,82	

N : nombre de valeurs r : coefficient de corrélation ET_y : écart type résiduel
ET_b, écart type de la pente R.L. : régression linéaire R.Q. : régression quadratique
ST : somme de températures calculée depuis le stade FD G : épaisseur des fruits

Comparaison entre (1) et (2) : différence non significative entre pentes
Comparaison entre (1) et (3) : différence non significative entre pentes
Comparaison entre (2) et (3) : différence non significative entre pentes.

Les résultats d'analyse figurent dans le tableau 4.

Les différences entre pentes des relations (6) et (7) peuvent s'expliquer par l'action combinée du gainage et du nombre de mains. Pris conjointement, ces deux facteurs ont, dans le cas particulier de cette étude, une action significative sur la vitesse de croissance des fruits (comparaison des relations 6 et 7) alors que :

- la différence des pentes entre (6) et (8) n'est pas significative : l'influence du gainage dans un cas (II) serait en partie compensée par l'influence de l'ablation de la dernière main dans l'autre cas (I).

- on a montré précédemment qu'il n'y avait pas de différence significative entre régimes de 7 mains et régimes de 8 mains.

TABLEAU 4 - Comparaison des données de 1975 (I) [Publication (2)] et des données du tableau 1 (II) (présent article).

$y = \Delta G$ = accroissement en épaisseur depuis la première mesure
 $x = ST$ = somme de températures depuis la première mesure.

Série	Expression de la régression	N	r	ET _y	ET _b
I { données 1975 8 mains non gainées Cultivar 901	$y = 0,113 + 0,0191 x$ (6)	240	0,990	0,727	0,00017
II { données présent article ensemble valeurs (7 mains et 8 mains)	$y = -0,011 + 0,0204 x$ (7)	88	0,993	0,615	0,00026
{ Poyo 8 mains	$y = -0,001 + 0,0198 x$ (8)	26	0,993	0,599	0,00047

Comparaison entre (6) et (8) : différence non significative entre pentes
 Comparaison entre (6) et (7) : différence significative entre pentes.

ANALYSE DES INTERVALLES FLEUR COUPE EN RELATION AVEC LA TEMPÉRATURE

Technique expérimentale.

On dispose depuis 1974 d'un certain nombre de données d'intervalles fleur coupe (IFC) obtenues dans les essais de comportement du bananier réalisés en divers sites écologiques, en plantations échelonnées dans le temps et pour lesquels il a été possible de bien contrôler la récolte.

On a ainsi retenu 40 données d'intervalle fleur-coupe obtenues dans les zones suivantes :

- Neufchâteau altitude 250 m
- Bois Debout altitude 90 m
- Vernou altitude 400 m.

Aux différences d'altitude entre chacune des zones correspondent des différences climatiques importantes (gradient thermique de l'ordre de 0,8°C par 100 mètres et gradient pluviométrique de l'ordre de 800 mm par 100 mètres).

Détermination de l'intervalle fleur-coupe.

Pour une parcelle donnée, on note la date de jetée de l'inflorescence et la date de récolte du régime de chaque bananier (hormis les bordures de parcelle).

Comme stade de jetée de l'inflorescence on prend le stade fleurs découvertes, les observations étant réalisées une fois par semaine. La date notée pour la jetée est celle de l'observation. Le stade récolte est déterminé par une appréciation visuelle de la plénitude des fruits et correspond à un grade des doigts externes de la quatrième main variant de 34 à 36 mm.

Ce stade récolte est donc défini avec assez peu de précision (l'erreur commise est supérieure à la semaine). On ne peut guère espérer une meilleure précision en coupant à un grade bien déterminé, car un grade donné ne correspond pas toujours à un même stade de remplissage du fruit.

La jetée et la récolte dans chaque parcelle s'étalent sur un certain temps. Dans chaque cas on détermine une date moyenne de jetée et une date moyenne de récolte, chaque date étant affectée d'un écart type reflétant l'étalement de la jetée ou de la récolte.

A la floraison, chaque bananier est caractérisé par son âge «d» par rapport à la date de plantation.

On peut donc calculer un âge moyen de floraison pour l'ensemble des bananiers observés, soit d_M ainsi que l'écart type ET_d correspondant.

La date moyenne de jetée est la date calendaire t_M correspondant à d_M , affectée de l'écart type ET_d -

On fait de même pour calculer la date moyenne de récolte, affectée également de son écart-type.

L'intervalle fleur coupe est défini par

$$IFC = d_M \text{ coupe} - d_M \text{ jetée.}$$

Calcul des sommes de températures.

On calcule les sommes de températures comme précédemment, entre les dates t_M jetée et t_M coupe.

Résultats et interprétations.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 5.

Les parcelles affectées d'un * concernent des séries de régimes non gainés, le gainage étant de règle dans tous les autres cas.

Pour l'ensemble des valeurs, cultivars 901 et Poyo confondus, on note une nette variation de l'IFC au cours de l'année et d'une station à l'autre.

TABLEAU 5 - Tableau récapitulatif de l'analyse des intervalles fleur-coupe en relation avec la somme des températures.

N°	Parcelle	Cycle	Année	Cultivar	Date de jetée	ET	Date de récolte	ET	IFC (jours)	ST	N	Nombre mains
1	NA1 *	1	74	901	21.3	22	30.6	13	101	916	56	7-8
2	NA2 *	1	74	901	4.5	10	4.8	13	92	927	50	8
3	NA3 *	1	74	901	23.7	10	21.10	13	90	926	58	7-8
4	NA4 *	1	74	901	6.9	14	14.12	13	99	969	52	7-8
5	NA5	1	74/75	901	12.11	11	27.2	14	107	883	83	7-8
6	NA6	1	74/75	901	14.12	9	8.4	8	115	898	88	7-8
7	NA7	2	75	901	10.1	15	29.4	12	109	871	61	9-10
8	NA8	2	75	901	1.4	18	5.7	13	95	899	50	8-9
9	NA9	2	75	901	16.6	14	13.9	13	89	934	53	9-10
10	NA10	2	75	901	16.7	11	15.10	10	94	951	40	8-9
11	NA11	2	75	901	6.9	11	12.12	12	98	931	75	8-9
12	NA12	2	75/76	901	21.10	17	12.2	17	114	910	73	8-9
13	NB1	1	76	901	12.1	15	8.5	11	115	854	37	8
14	NB2	1	76	901	6.5	8	4.8	3	90	878	19	8-9**
15	NB3	1	76	901	27.7	29	12.10	22	77	833	56	8-9
16	NB4	1	76	901	28.8	10	17.11	7	81	842	40	8-9
17	NC1	1	75	Poyo	10.9	8	13.12	6	94	877	99	8
18	NC2	1	75/76	Poyo	23.10	11	16.2	8	116	920	72	7-8
19	NC3	1	75/76	Poyo	20.12	12	27.4	6	129	936	58	7-8
20	NC4	1	76	Poyo	31.3	15	11.7	13	102	927	54	7-8
21	NC5	1	76	Poyo	14.7	15	2.10	15	80	863	64	8-9
22	NC6	1	76	Poyo	31.8	9	21.11	8	82	841	52	8
23	NC7	2	76	Poyo	9.6	12	2.9	0,5	85	882	19	9-10**
24	NC8	2	76	Poyo	8.8	28	30.10	33	83	891	62	9-10
25	NC9	2	76	Poyo	22.9	24	29.12	31	98	927	53	9-10
26	NC10	2	77	Poyo	7.6	14	2.9	13	87	934	40	8-9
27	ND1	1	76	Poyo	19.9	13	17.12	17	89	882	116	7-8
28	V1 *	1	74	Poyo	30.7	11	1.11	13	94	944	80	7-8
29	V2 *	1	74	Poyo	10.10	18	22.1	15	104	897	55	7-8
30	V3 *	1	74/75	Poyo	19.12	7	20.4	4	122	942	21	7-8**
31	V4 *	1	75	Poyo	24.8	14	29.11	16	97	917	83	7-8
32	V5 *	2	75	Poyo	15.7	22	15.10	25	92	944	83	7-8
33	B1	1	75	Poyo	23.7	7	6.10	4	75	906	97	7-8
34	B2	1	75	Poyo	15.9	11	7.12	11	83	865	84	8
35	B3	1	75/76	Poyo	18.10	11	17.1	12	91	861	74	7-8
36	B4	1	75/76	Poyo	30.11	10	13.3	12	104	858	82	7-8
37	B5	1	76	Poyo	29.2	16	24.5	11	85	798	71	7-8
38	B6	1	76	Poyo	15.5	8	5.8	8	82	929	14	7-8**
39	B7	2	76	Poyo	16.3	21	20.6	17	96	957	87	9-10
40	B8	2	76	Poyo	22.5	8	7.8	5	77	891	17	10-11**

N : Neufchâteau NA : Essai 78 NB : Essai 92 NC : Essai 87 ND : Essai 93 V : Vernou B : Bois Debout
 N̄ : Nombre de mains ET : Ecart type IFC : Intervalle fleur-coupe ST : Somme des températures depuis la jetée de l'inflorescence

** - seulement une partie des bananiers ont été observés dans la parcelle en raison de perturbations apportées aux observations

* - régimes non gainés.

Corrélation entre STR et IFC : $r = 0,31$ (seuil de signification à 5 p. 100 : 0,30)
 N = 40

Le tableau 6 donne les résultats d'analyse des données : soit STR la somme de températures entre la jetée et la récolte.

On note que la STR des régimes gagnés est inférieure à la STR des régimes non gagnés, cette différence étant significative au seuil 0,5 p. 100 (différence égale à 4 jours moyens).

On note également qu'aucune différence significative n'apparaît nettement entre cultivars Poyo et 901, confirmant ainsi les résultats obtenus antérieurement.

Si l'on considère l'ensemble des valeurs des régimes gagnés on voit qu'à un IFC moyen de 94 jours avec un coefficient de variation de 15 p. 100, correspond une somme de température STR de 891 degrés-jours avec un coefficient de variation de 4 p. 100. Ce résultat montre tout l'intérêt que

peut présenter l'utilisation de la somme des températures dans la prévision de la date de récolte. De plus il est remarquable de noter que le coefficient de corrélation entre STR et IFC est de 0,30, c'est-à-dire tout juste significatif au seuil de 5 p. 100 ce qui montre bien l'indépendance de STR.

L'estimation de la somme de températures est donnée à ± 76 degrés-jours près au seuil 5 p. 100, valeur que l'on peut exprimer en jours moyens, un jour moyen correspondant à une somme de températures de 9,5 (891 : 94). Donc l'estimation de STR est donnée à ± 8 jours moyens près, alors que l'IFC est estimé à ± 28 jours près.

Les résultats du tableau 6 peuvent être rapprochés de ceux des tableaux 3 et 4.

TABLEAU 6 - Résultats d'analyse des séries du tableau 5.

Série	N	IFC			STR		
		moy.	C.V. p. 100	I.C. 5 p. 100	moy.	C.V. p. 100	I.C. 5 p. 100
Cultivar 901 gagné	12				890	4,2	81
Cultivar Poyo gagné	19				892	4,5	84
Cultivar Poyo et 901 gagné	31	94	14,7	28	891	4,4	76
Cultivar Poyo et 901 non gagné	9				931	2,3	48
Ensemble des valeurs	40	95	13,6	25	900	4,3	77

CV : coefficient de variation

IC : demi-étendue de l'intervalle de confiance à 5 p. 100 (intervalle de confiance : moyenne \pm IC).

D'après les relations (6) et (7), en admettant un grade initial de 17 mm, on trouve que pour atteindre un grade de 34 mm il faut respectivement ST = 890 et 833 degrés-jours. En ajoutant 64 à ces valeurs [64 étant la valeur de ST pour $y = 17$ mm d'après la relation (4)], on obtient des sommes de températures voisines de celles du tableau 6.

	tableau 4	tableau 6
régimes gagnés	897	891
régimes non gagnés	954	931

En conclusion, on peut, en vue de la prévision se baser sur une valeur de STR de 900 et espérer une précision d'estimation de l'ordre de la semaine.

Remarque. A titre de confirmation des résultats obtenus en Guadeloupe on a analysé un certain nombre de valeurs tirées d'observations réalisées en Martinique sur la Station IRFA de Rivière Lézarde.

Les observations ont été réalisées sur une parcelle expérimentale (fumure intégrée en irrigation localisée) en premier cycle, cultivar Grande Naine dont la floraison est étalée du 12 août au 25 novembre 1976 et la récolte du 9 décembre 1976 au 4 mars 1977.

Sur l'ensemble des bananiers observés on retient quatre groupes correspondant chacun à une date de floraison plus ou moins trois jours. Les résultats figurent dans le tableau suivant :

Année	Date de jetée *	ET	Date de récolte	ET	IFC jours	ST	N	Nombre de mains	Écart à ST = 900 en jours moyens
1976	21.9	2	19.12	6	89	950	122	8 à 10	+ 4,7
1976	1.10	2	25.12	10	85	896	192	"	- 0,4
1976/77	21.10	2	19.1.77	10	90	896	174	"	- 0,4
1976/77	31.10	2	28.1.77	6	89	867	79	"	- 3,4

(voir légende tableau 5).

* - dans les observations réalisées, le stade jetée était repéré par le stade fleur pointante. Afin de se ramener au stade fleurs découvertes, on a systématiquement ajouté 14 jours aux dates d'apparition "fleur pointante" (l'intervalle fleur pointante - fleurs découvertes est en effet en général de 14 jours).

APPLICATION DES RÉSULTATS A L'ÉLABORATION D'UNE MÉTHODE DE PRÉVISION DE LA DATE DE RÉCOLTE.

Objectifs d'une méthode de prévision de la date de récolte

Étant donné qu'il n'est pas envisageable de faire une prévision correcte des températures, on ne peut espérer faire une prévision correcte de la date de récolte au moment de la jetée.

Cependant on peut avoir une idée de la date de récolte en se basant sur les normales de températures. Cette information apparaît déjà très utile pour indiquer les tendances de production au cours de l'année et organiser ainsi les circuits de commercialisation (prévision du frêt en particulier).

C'est donc un premier type d'information que nous essaierons d'obtenir.

En second lieu, il apparaît très utile de pouvoir affiner la prévision de la date de récolte en tenant compte des températures réelles de la période écoulée depuis la jetée. En

particulier il sera très intéressant de pouvoir faire une prévision de la date de récolte cinq semaines à l'avance, ce délai étant encore suffisant pour pouvoir modifier les réservations de fret.

Estimation des variations saisonnières d'intervalles fleur-coupe à partir des normales de températures.

Le principe d'estimation des variations saisonnières de l'IFC consiste à calculer les sommes de températures journalières ($T_j - 14$) à partir des températures normales caractérisant la zone donnée.

Par une méthode itérative on peut ainsi, sachant que la somme de températures requise pour l'intervalle fleur-coupe est de 900, calculer les IFC correspondant à chaque semaine de jetée.

A titre d'exemple on a fait ce travail pour la zone de Neufchâteau pour laquelle on possède des normales de températures sur 21 ans (1956 à 1976).

Les résultats sont portés dans le tableau 7.

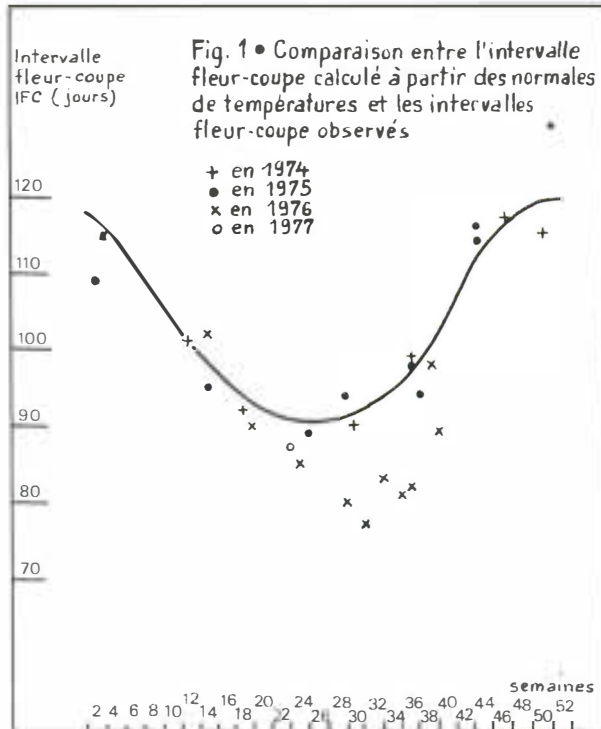
TABLEAU 7 - Simulation des durées d'intervalle fleur-coupe pour la zone de Neufchâteau.

N° semaine	Température minimale	Température maximale	SNH	IFC	SN5	N° semaine	Température minimale	Température maximale	SNH	IFC	SN5
1	18,7	26,2	52,7	118	253	27	21,1	27,9	69,8	91	349
2	18,5	26,0	51,3	117	252	28	21,0	27,9	69,4	91	350
3	18,4	25,9	50,6	116	252	29	21,0	27,9	69,4	91	351
4	18,4	25,9	50,6	114	253	30	21,0	28,0	69,7	91	352
5	18,3	25,9	50,2	113	256	31	21,0	28,1	70,0	92	351
6	18,3	26,0	50,5	111	260	32	21,1	28,2	70,3	93	349
7	18,3	26,0	50,5	110	264	33	21,0	28,3	70,6	94	347
8	18,3	26,0	50,5	108	269	34	20,9	28,4	70,5	95	345
9	18,4	26,1	51,2	106	275	45	20,8	28,4	79,1	96	343
10	18,5	26,2	53,4	104	279	36	20,7	28,5	69,1	97	341
11	18,6	26,3	54,1	102	284	37	20,6	28,6	69,0	98	340
12	18,7	26,4	54,8	101	289	38	20,6	28,5	68,7	100	337
13	18,8	26,5	55,5	99	294	39	20,5	28,5	68,3	102	334
14	19,0	26,7	56,9	98	301	40	20,5	28,4	68,0	104	328
15	19,1	26,8	57,6	97	308	41	20,4	28,3	67,3	107	323
16	19,3	26,9	58,7	96	314	42	20,4	28,3	67,3	109	316
17	19,5	27,1	60,1	95	321	43	20,3	28,1	66,3	112	308
18	19,6	27,2	60,8	94	328	44	20,1	27,9	64,9	113	301
19	19,8	27,5	63,4	93	334	45	20,0	27,8	62,6	114	295
20	20,0	27,6	64,5	92	339	46	19,9	27,6	61,7	116	289
21	20,2	27,7	65,6	91	343	47	19,7	27,3	60,0	117	283
22	20,5	27,7	66,8	91	346	48	19,6	27,1	59,0	118	276
23	20,7	27,8	67,9	91	347	49	19,4	26,9	57,6	119	270
24	21,0	27,8	69,1	90	348	50	19,3	26,7	56,7	119	264
25	21,1	27,8	69,5	90	348	51	19,1	26,5	55,3	119	259
26	21,1	27,8	69,5	90	348	52	18,9	26,3	53,9	119	255

Légende : SNH - somme de températures hebdomadaires. L'intervalle fleur-coupe (IFC) des bananiers est porté en regard de la semaine de jetée (stade fleurs découvertes).

SN5- somme de températures des cinq semaines suivantes (calculée à partir des normales de températures).

La figure 1 permet de comparer les valeurs «normales» d'IFC aux valeurs réelles de 1974 à 1977. On voit que, malgré un accord dans un certain nombre de cas (70 p. 100 environ) entre valeurs normales et valeurs réelles, dans environ 30 p. 100 des cas il aurait été inexact donc dangereux de baser la prévision sur des normales saisonnières.



Il convient donc d'affiner la prévision en tenant compte au maximum des températures réelles.

Estimation de la date de récolte cinq semaines à l'avance.

Prévision à court terme.

Cette prévision permet d'estimer cinq semaines à l'avance le nombre de régimes récoltables sur une zone thermiquement homogène.

● Principe de la méthode.

Contrairement à la prévision à long terme, on essaye de se servir au minimum des températures normales en comptabilisant le plus longtemps possible les températures réelles après la jetée.

Le calcul des sommes de températures réelles depuis la jetée (soit ST_{ji}) permet d'estimer «le chemin parcouru» pour la croissance des fruits (l'indice j exprime le numéro de la semaine de jetée, W_j , et l'indice i l'indice de la semaine en cours W_i).

La différence entre le «chemin total à parcourir» ($ST = 900$) et le «chemin parcouru» (ST_{ji} calculé) permet d'estimer le «chemin qui reste à parcourir» (RST_{ji}).

On calcule pour chaque zone thermiquement homogène,

les sommes de températures, sur cinq semaines consécutives et ce tout au long de l'année par saut d'une semaine (valeurs $SN5_i$).

Lorsque pour une semaine donnée W_i ,

$RST_{ji} = SN5_i$ on estime que la récolte des régimes concernés aura lieu dans cinq semaines.

(On considère que RST_{ji} est voisin de $SN5_i$ lorsque $RST_{ji} - SN5_i$ est, en valeur absolue, inférieur à la moitié de la somme de températures hebdomadaires normales de la semaine $W_i + 5$, soit $SNH_i + 5$).

● Exemple pratique.

Soit une série de bananiers ayant jeté le 21 mars, c'est-à-dire au cours de la semaine n°12 ($W_j = 12$).

A la semaine n° 21 ($W_i = 21$) on a les valeurs suivantes :

$$ST_{ji} = 542 \quad \text{soit} \quad RST_{ji} = 900 - 542 = 358$$

$$\text{or} \quad SN5_i = 343; \quad RST_{ji} - SN5_i = 15$$

et la somme de températures hebdomadaires de la 26^{ème} semaine ($W_i + 5$) est égale à 70.

$RST_{ji} - SN5_i$ est inférieur à $\frac{SNH_i + 5}{2}$, on prévoit donc la récolte pour la 26^{ème} semaine.

Application de la méthode.

Aux données précédentes.

A titre d'exemple d'application de cette méthode, on a repris les dates de jetée figurant au tableau 5 pour Neufchâteau.

L'application de la méthode de prévision permet ainsi de calculer dans chaque cas l'IFC estimé que l'on compare à l'IFC mesuré, ainsi qu'à l'IFC calculé à partir des normales de température (tableau 8).

On voit que dans ce cas, l'application de la méthode de prévision aurait permis d'estimer la date de récolte à une semaine près dans 90 p. 100 des cas (demi-étendue de l'intervalle de confiance à 10 p. 100 = 7,7 jours).

Confrontation de la méthode avec des données d'observation nouvelles.

On applique la méthode de prévision à des données d'observation non encore utilisées. On compare l'IFC estimé à l'IFC observé, ainsi qu'à l'IFC calculé à partir des normales de températures (tableau 9).

L'écart entre l'IFC estimé et l'IFC observé est en moyenne de 1,5 jours (variant entre 1 et 3 jours), alors que l'écart entre IFC observé et IFC normal est de 7 jours (variant entre 1 et 11 jours).

La méthode de prévision proposée apparaît donc relativement fiable, tout au moins dans les conditions où elle a pu être testée. Il conviendrait de pouvoir la tester dans d'autres conditions.

TABLEAU 8 - Estimation de l'intervalle fleur-coupe
 - par la méthode de prévision de la date de récolte cinq semaines à l'avance (IFC estimé)
 - par l'emploi des normales de température (IFC normal).

N°	IFC mesuré	IFC estimé	IFC normal	
1	101	101	101	
2	92	91	94	
3	90	88	91	
4	99	95	97	
5	107	110	116	
6	115	116	119	
7	109	120	117	
8	95	97	98	
9	89	88	90	
10	94	94	91	
11	98	95	97	
12	114	111	112	
13	115	121	116	
14	90	83	93	
15	77	80	92	
16	81	89	96	
17	94	96	98	
18	116	111	112	
19	129	122	119	
20	102	99	98	
21	80	87	91	
22	82	92	97	
23	85	88	90	
24	83	87	94	
25	98	98	100	
26	87	86	91	
27	89	95	102	

intervalle de confiance à 5 p. 100 de l'écart moyen entre IFC mesuré et IFC estimé : 9,3 jours
 entre IFC mesuré et IFC normal : 13,4 jours

TABLEAU 9.

Lieu	Séries observées			Avertissement			Intervalle fleur-coupe		
	cultivar	N	date de jetée	W _i	ST _{ji}	SN5 _i	IFC estimé	IFC mesuré	IFC normal
Neufchâteau	Poyo	8	1.6.77	28	526	350	86	86	91
"	Poyo	9	23.6.77	31	530	351	85	83	90
"	Poyo	12	16.7.77	35	563	343	88	90	91
"	Poyo	6	16.8.77	39	524	334	89	87	94
"	Poyo	11	16.9.77	44	558	301	90	87	98
"	Poyo	19	7.10.77	48	599	276	96	95	104
"	901	21	13.10.77	50	663	264	101	98	107

N : nombre de valeurs

W_i : numéro de la semaine au cours de laquelle on déclenche l'avertissement récolte (qui devrait avoir lieu cinq semaines plus tard)

ST_{ji} : somme de températures calculée depuis la jetée (stade FD)

SN5_i : somme de températures (normales) des cinq semaines suivantes.

DISCUSSION

Étalement de la récolte pour une même date de jetée.

La méthode proposée permet d'estimer une date de récolte pour une date de jetée donnée.

Or l'observation montre que des bananiers jetant à la

même date ne sont généralement pas récoltés en même temps. La récolte est plus ou moins étalée autour d'une valeur moyenne.

A cela il peut y avoir plusieurs raisons :

- imprécision dans l'appréciation du stade de jetée,
- imprécision dans l'appréciation du stade de récolte

- variabilité propre de la plante (vigueur végétative, nombre de mains ou de doigts, variabilité génétique ...).

Aussi il conviendra de moduler la date de récolte estimée en prévoyant d'étaler la récolte sur environ trois semaines (une semaine avant et une semaine après la date prévue).

A titre d'exemple, on a fait figurer dans le tableau 10 la dispersion de récolte pour des bananiers ayant jeté en même temps. A partir des données du tableau 10 on peut

calculer, à titre indicatif, une dispersion moyenne de la récolte pour une même date de jetée, par rapport à la date de récolte moyenne estimée :

date moyenne de récolte estimée moins 2 semaines	3 %
date moyenne de récolte estimée moins 1 semaine	20 %
date moyenne de récolte estimée	44,5 %
date moyenne de récolte estimée, plus une semaine	24,5 %
date moyenne de récolte estimée, plus deux semaines	8 %

TABLEAU 10 - Dispersion de la récolte pour une même date de jetée.

Date jetée	N	IFC moyen	Écart type	Dispersion de la récolte			
				IFC	p. 100 récolte	NM	G
6.9.77	32	83,4	7,7	71	6,3	7,5	34,3
				77	34,4	7,2	34,5
				85	40,6	7,3	34,7
				92	9,4	7,0	35,5
				100	9,4	8,0	33,6
13.9.77	18	85,9	7,4	71	5,6	7,0	31,0
				78	16,7	7,3	34,0
				85	50,0	7,8	33,3
				93	22,2	8,0	34,1
				104	5,6	8,0	33,4
20.9.77	11	89,9	9,2	71	9,1	7,0	31,5
				78	9,1	8,0	33,7
				86	27,3	7,7	33,9
				97	54,5	7,5	34,1
29.9.77	26	86,8	7,0	77	27,0	7,6	32,2
				88	54,0	7,2	33,5
				97	19,0	7,8	34,2
6.9.77	19	85,6	4,9	77	15,8	7,0	33,2
				85	57,9	7,5	34,8
				92	26,3	7,4	34,6
13.9.77	21	87,8	9,4	78	28,6	7,2	33,1
				85	38,1	7,6	33,2
				93	14,3	8,3	33,8
				104	19,0	8,0	36,4
20.9.77	22	90,4	11,1	71	9,0	7,0	32,4
				78	9,1	7,0	32,3
				86	36,4	7,5	33,6
				97	36,4	7,4	33,5
				113	9,1	7,5	33,3
29.9.77	15	92,1	8,8	77	13,3	7,5	33,2
				88	40,0	7,7	34,2
				97	26,7	7,5	36,4
				104	20,0	7,7	35,0
7.10.77	19	95,4	6,4	88	26,3	7,5	37,7*
				95	52,6	7,8	37,8*
				102	10,5	7,9	38,4*
				109	10,5	7,8	39,0*
13.10.77	62	97,8	6,4	89	19,3	7,5	38,6*
				96	46,8	7,8	38,5*
				103	24,2	7,9	37,8*
				110	9,7	7,8	38,8*

N : nombre de bananiers IFC : intervalle fleur-coupe

G : grade moyen des deux doigts médians externes de la quatrième main

* : grade des doigts internes NM : nombre de mains moyen

On remarque que dans la plupart des cas les fruits récoltés le plus tardivement ont un grade plus fort et correspondent à un nombre de mains plus élevé (l'augmentation du nombre de mains tendant à augmenter l'intervalle fleur-coupe, à condition que les autres données de variation soient identiques).

Compte tenu de ces indications et du fait que l'estimation d'un IFC moyen devrait permettre de mieux cerner le stade récolte donc de réduire la dispersion, on peut se baser, pour la prévision de la date de récolte, sur un étalement des récoltes de trois semaines pour une même date de jetée, avec répartition suivante :

- 20 p. 100 de récolte à IFC moyen moins une semaine
- 50 p. 100 de récolte à IFC moyen
- 30 p. 100 de récolte à IFC moyen plus une semaine.

Adaptation du système de prévision.

La méthode de prévision à court terme proposée a été conçue pour permettre une estimation de la date de récolte cinq semaines à l'avance, correspondant au délai minimum accordé par le transporteur pour effectuer les modifications de fret, aux Antilles.

Il est bien entendu que si ce délai minimum était inférieur, il serait possible de faire une estimation encore plus précise de la date de récolte. De plus, dans les pays où le seul objectif est la prévision de la date de récolte et non pas les prévisions de fret (avec possibilité de modification) on pourra opter pour d'autres méthodes de prévision.

On pourra par exemple, plutôt que se fixer une durée à parcourir, se fixer une «somme de températures» à parcourir.

Donc au lieu de faire une prévision cinq semaines à l'avance, on pourra par exemple faire une prévision 300 degrés jours à l'avance.

La méthode consiste à calculer les sommes de températures après jetée (ST_{ji}). Lorsque la somme de températures ST_{ji} atteint 600 degrés jours, on peut estimer la date de récolte en transformant les 300 degrés jours qui reste à parcourir en nombre de jours, compte tenu des températures normales.

A titre d'exemple on a appliqué cette méthode au cas de la Station de Neufchâteau.

A partir des données du tableau 7 on a établi les graphiques de la figure 2 qui permettent d'effectuer deux types de prévision :

1. une prévision à long terme comme indiqué précédemment. Elle se fait à partir de la courbe A.

Par exemple les bananiers qui ont jeté le jour n° 100 de l'année en cours devraient être récoltés le 196^e jour de l'année en cours (IFC = 96 jours).

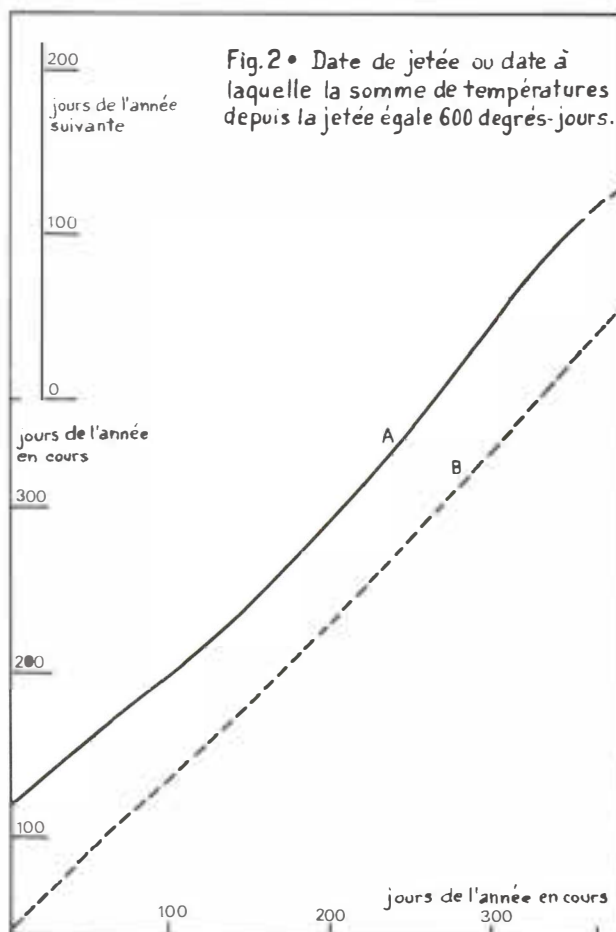
2. une prévision à court terme. Elle se fait à partir de la courbe B.

Les bananiers pour lesquels la somme de températures depuis la jetée est égale à 600 degrés jours à la date indiquée en abscisse (par exemple jour n° 100 de l'année en cours)

seront récoltés à la date figurant en ordonnée (jour n° 133 pour l'exemple choisi).

Autre exemple.

Les bananiers ayant jeté le 300^e jour de l'année en cours devraient être récoltés au cours du 45^e jour de l'année suivante (prévision à long terme) et ceux dont la somme de températures depuis la jetée est égale à 600 degrés jours à la même date, seront récoltés au cours du 333^e jour (prévision à court terme).



CONCLUSION

Par deux approches différentes, analyse des courbes de croissance d'une part, analyse des IFC d'autre part, on a pu montrer que la somme de températures requise entre la jetée et la récolte du régime est de 900 degrés-jours.

Partant sur ces bases, il est possible de passer à l'application pratique par la mise au point d'une méthode de prévision de la date de récolte.

A partir des normales de températures on pourra établir des normales d'intervalles fleur-coupe pour chaque zone, ces valeurs servant à fixer les idées sur les tendances de production au cours de l'année.

Pour passer à la prévision de la date de récolte on tiendra compte au maximum des températures réelles, les températures normales servant à prévoir la date de récolte cinq semaines à l'avance.

On perçoit dès à présent la nécessité de connaître le mieux possible les températures normales mensuelles pour chaque zone climatique, donc de caractériser au mieux le climat de chacune des zones.

On saisit mieux, par cet exemple, la nécessité d'études climatologiques préalables nécessaires à la mise en place d'un avertissement du type prévision de la date de récolte. En Guadeloupe, on a déjà pu, grâce à un réseau agroclimatique, caractériser un certain nombre de zones climatiques et on est à même de pouvoir établir des moyennes de températures sur cinq à six années.

Dans les zones pour lesquelles on ne possède pas de normales de températures, on devra procéder par extrapolation en se basant principalement sur les gradients de température avec l'altitude.

Moyennant cet acquis préalable pour chaque zone de production on est maintenant en mesure de faire, par zone, une estimation de la date de récolte par date de jetée, à condition qu'il n'y ait pas de facteurs limitants qui viennent perturber la croissance des plantes (sécheresse ou parasitisme trop important).

On devrait ainsi pouvoir mieux planifier la production à l'échelle de l'année et mieux ajuster les circuits de commercialisation (frêt maritime en particulier) aux variations saisonnières de la production.

BIBLIOGRAPHIE

1. GANRY (J.).
Calcul des sommes de vitesse de développement et des températures moyennes journalières à partir du minimum et du maximum journaliers de température, sous climat tropical et équatorial.
Fruits, 1978, vol. 33, n° 4, p. 221-236.
2. GANRY (J.) et MEYER (J.P.).
Recherche d'une loi d'action de la température sur la croissance des fruits du bananier.
Fruits, vol. 30, n°6, 1975, p. 375-392.
3. GREEN (G.C.) et KUHNE (F.A.).
Estimating the state of maturation of a banana bunch from meteorological and supporting data.
Agrochemophysica, 1975, vol. 7, n° 3, p. 26-32.
4. HORD (H.H.V.) et SPELL (D.P.).
Temperature as a basis for forecasting banana production.
Tropical Agriculture Trin., 1962, vol. 39, n° 3.
5. KUHNE (F.A.) et KRUGER (J.J.).
Phenological studies of the banana plant.
The Citrus and Subtropical Fruit Journal, Johannesburg, n° 472, p. 12-16.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier R. DURAND, Maître de Recherches à l'INRA pour tout l'intérêt qu'il a bien voulu porter à notre travail.



En mars 1980

Le prochain "IPACK-IMA"

Le prochain salon international de l'emballage et du conditionnement, de la manutention et des machines pour l'industrie alimentaire, IPACK-IMA, se déroulera du 18 au 23 mars 1980 au quartier de la Foire de Milan.

IPACK-IMA se situe parmi les grandes expositions européennes spécialisées consacrées aux machines, matériaux, produits pour l'emballage et le conditionnement, aux machines pour le traitement des produits alimentaires, aux machines et équipements pour les transports internes des entreprises. Unique dans son genre en Italie, son influence commerciale atteint toute l'Europe orientale, le Proche-Orient, l'Arabie, la Perse, l'Afrique et tous les pays méditerranéens.

La précédente édition de cette manifestation, en octobre 1977, avait regroupé 920 exposants dont 319 étrangers de 17 nationalités différentes. Le nombre des visiteurs s'est élevé à 80.843 venant de 86 pays.