

Mesures en champ de la température de limbes d'ananas par radiométrie infrarouge

B. AUBERT* et D. BARTHOLOMEW**

MESURES EN CHAMP DE LA TEMPERATURE DE LIMBES D'ANANAS PAR RADIOMETRIE INFRAROUGE

B. AUBERT et D. BARTHOLOMEW

Fruits, sep. 1973, vol. 28, n°9, p. 623-629.

RESUME - Présentation des résultats d'une expérimentation réalisée à Oahu (Hawaii).

Mesures des températures par radiométrie infrarouge sur deux cultivars d'ananas, dans le coeur, sur et sous les feuilles, à la base et au milieu de celles-ci. On a constaté des températures de surfaces élevées, jusqu'à 48°C, et des gradients importants entre base et milieu (Δt atteignant 18°C) qui pourraient avoir une influence sur la photosynthèse et les réactions enzymatiques.

Les études entreprises ces dernières années sur les plantes succulentes ont permis de préciser les modalités de l'absorption nocturne de CO₂ et de l'inversion concomitante de la régulation stomatique. Le marquage asymétrique de la molécule de malate indique que la fixation du gaz carbonique se déroule en deux temps (RANSON et THOMAS 1960, TING 1971) à savoir :

- une carboxylation sur le RuDP donnant le phosphoenolpyruvate : PEP
- une carboxylation sur le PEP donnant l'oxaloacétate puis le malate.

La première de ces réactions se déroule dans les chloroplastes alors que la seconde leur est extérieure : cytosol ou mitochondries.

La vitesse des réactions enzymatiques impliquées dans ce mécanisme, dépend en grande partie des conditions thermiques ambiantes. BRANDON, 1967 a montré sur des extraits de mitochondries de *Bryophyllum tubiflorum* que la synthèse de malate devient importante pour des températures voisines de 15°C.

Le métabolisme de l'ananas obéirait dans une certaine mesure à ce schéma. Il est par exemple possible, sur cette plante, de bloquer la synthèse d'acide dans les feuilles et

d'empêcher l'ouverture nocturne des stomates, laquelle dépend des pressions partielles en CO₂ au niveau des cellules de garde, par un chauffage artificiel de nuit : AUBERT 1971, CONNELLY 1972 a récemment mis en évidence l'importance de la thermopériode dans le déclenchement du métabolisme acide crassulacéen d'un clone de 'Cayenne lisse' : les taux de fixation nocturne de CO₂ les plus élevés, sont atteints par nuits fraîches succédant à des périodes lumineuses chaudes (température diurne de 30°C et température nocturne de 15°C).

Les études de laboratoire conduites *in vitro* sur des fragments de tissu, ou en chambre d'assimilation sur des feuilles attenantes, ne peuvent être valablement interprétées sur le plan agronomique, que si l'on connaît avec suffisamment de précision la température des végétaux *in situ*.

Dans ce but, des mesures de température par radiométrie infrarouge ont été entreprises en champ, sur deux clones d'ananas : 'hybride', et un clone de 'Cayenne lisse' : 'Cham-paka 153'.

MATERIEL ET METHODE

L'appareil utilisé, de marque BARNES Ing. Co., permettait de mesurer la température radiative. La précision obtenue dans ces conditions est assez médiocre : $\pm 1,5^\circ\text{C}$. Ceci pour plusieurs raisons :

- la surface à étudier est assimilée à un corps noir
- l'énergie radiative reçue dépend des conditions ambiantes (notamment de l'insolation), lesquelles varient au cours de la journée. Suivant ces conditions, la température radiative peut représenter à $\pm 1^\circ\text{C}$ près la température de

* - Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC) B.P. 13, NYOMBE (République du Cameroun).

** - Université des Hawaï.



Photo 1 - Carrés d'ananas utilisés pour les mesures de température par radiométrie infrarouge.
A gauche : «Hybride».
A Droite : «Champaka 153».



Photo 2 - Radiothermomètre.
Viseur et appareil de mesure.

surface du corps observé : PERRIER, 1970.

Cet inconvénient est contrebalancé par quelques avantages :

- la technique de mesure n'introduit aucune perturbation au niveau des surfaces analysées
- il est possible de prospecter instantanément par balayage l'ensemble d'une feuille ou les diverses feuilles d'un même plant, ce qui permet de dresser une véritable carte thermique.
- en mesure différentielle (pointage de deux surfaces voisines) on ne commet qu'une faible erreur en confondant température de surface et température radiative. Le gradient thermique d'une même face est alors estimé avec une précision de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

La température dans le coeur de la rosette foliaire de plusieurs plantes était donnée par des thermomètres à mercure sensibles au $1/2$ degré. A 50 cm au-dessus du couvert végétal des mesures étaient faites à intervalles réguliers à l'aide d'un psychromètre à fronde.

Les deux clones d'ananas étudiés se différenciaient par la couleur extérieure (teneur en anthocyanes, trichome), le port et la largeur des feuilles : fig. 1. L'hybride présentait une couleur plus pâle. Ses feuilles étaient moins cintrées et plus larges.

Les mesures se sont poursuivies pendant deux journées consécutives, sous un ciel dégagé, au cours de la deuxième quinzaine d'août à Wahiawa, île d'Oahu, Hawaii. Pour les deux variétés on mesurait la température dans un carré d'un quart d'hectare sur des plants âgés de six mois.

La dimension du viseur dont était équipé le radiothermomètre imposait un champ de vue d'une surface minimum de 2 cm^2 . Il n'a pas été possible, pour cette raison, de prospecter systématiquement la température des limbes au niveau de la pointe.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats sont groupés sur les tableaux 1 et 2. Dans la partie supérieure, on trouvera les températures relevées à la base et au milieu du limbe, pour différentes inclinaisons de feuilles. Sous ces données figurent la température des feuilles ombrées, puis celle du sol, du mulch plastique et enfin de l'air. A chaque heure de la journée on retenait, pour les mesures, les feuilles dont au moins les parties médianes et distales étaient exposées aux rayons solaires.

En début de matinée, ce sont les limbes présentant un angle d'inclinaison inférieur à 45 degrés qui reçoivent le plus de lumière incidente (sur la face supérieure côté ouest, et sur la face inférieure côté est).

La température dans le coeur de la rosette foliaire encore ombrée, est d'environ 5°C en-dessous de la température de l'air, ceci en raison de l'inertie thermique créée par l'accumulation de rosée au fond de la rosette, et par la compacité de la masse foliaire. Le gradient thermique entre le milieu et la base du limbe donné par le radiothermomètre, peut dépasser 8°C sur les feuilles verticales bien dégagées, cas de l'hybride, et $4-5^{\circ}\text{C}$ sur la variété 'Champaka' dont le port est plus fourni. Ce gradient diminue lorsqu'augmente l'angle d'inclinaison : fig. 2.

A 10 heures du matin, le soleil commence à pénétrer dans le coeur de la rosette foliaire, alors que l'incidence moyenne des rayons lumineux sur l'ensemble des limbes, reste faible : inférieure ou peu supérieure à 45 degrés.

C'est à cette heure de la matinée qu'est enregistré le meilleur équilibre thermique entre les parties aériennes de la

plante et la température de l'air. Les gradients thermiques entre milieu et base du limbe sont à leur niveau le plus bas fig. 2.

Lorsque le soleil est au zénith, le coeur de la rosette foliaire s'échauffe d'autant plus qu'il est plus ouvert : cas de l'hybride. Sa température tend alors à dépasser légèrement celle de l'air. On observe même une inversion temporaire de gradient thermique sur les feuilles verticales : la base du limbe (la température est prise juste au-dessus du tissu non chlorophyllien) est plus chaude que sa partie médiane. Ce phénomène n'apparaît pas sur 'Champaka'.

L'échauffement des limbes atteint son paroxysme entre 13 et 15 heures. Il est particulièrement intense sur les feuilles dont la normale passe temporairement par le disque solaire (azimut et inclinaison adéquats). La température de surface la plus élevée a été notée sur la variété 'Champaka' de couleur plus foncée : 48°C . Il n'est pas rare de trouver sur cette variété des feuilles âgées complètement décolorées (couleur jaune pâle) par suite d'un excès d'insolation. Le gradient de température entre milieu et base du limbe est considérable : 18°C sur 'Champaka' et 15°C sur l'hybride.

A partir de 16 heures, l'élévation de température qui était surtout localisée vers le milieu du limbe, gagne la base, (échange par conduction et convection), ce qui entraîne une baisse subite des valeurs de Δt .

Les températures de surface maximales subies par les deux clones sont nettement plus élevées que celles enregistrées jusqu'ici dans d'autres conditions sur cette même plante. NOFFSINGER 1961 sous le même climat, mais à une époque différente (avril), n'avait obtenu qu'un maximum de 32°C . Au Cameroun, nous avons observé une température de surface de 40°C . Il convient de préciser que les gradients thermiques obtenus dans la présente étude ne sont atteints qu'au cours d'une durée limitée. Le radiothermomètre permettait d'identifier rapidement les feuilles les plus chaudes à un instant donné. Ce qui n'était pas le cas lors des mesures ci-dessus.

La différence maximale de température entre la feuille et l'air a été atteinte vers 13 h sur 'Champaka' : 18°C , contre 13°C sur l'hybride. Ces valeurs ne sont pas exceptionnelles. Les écologistes ont trouvé *in situ* des différences de 20°C sur certaines plantes tropicales : STOUTJESDIJK, 1970.

CONCLUSION

Un des éléments les plus inattendus de cette étude est l'importance du gradient de température entre le milieu et la base du limbe. Les Δt sont suffisamment élevés pour que l'on puisse s'attendre à des différences notables au niveau des réactions enzymatiques : synthèse, stabilité et activité des molécules du PEP et du malate. Des gradients de photosynthèse pourraient s'établir en fonction de la température à laquelle est obtenu le maximum d'enzyme de carboxylation : PHILLIPS et McWILLIAM 1971. Un tel mécanisme pourrait lui-même agir sur la régulation stomatique par l'intermédiaire des concentrations de CO_2 dans les tissus du limbe. Il serait intéressant de coupler les mesures de températures avec celles de la résistance stomatique sur un cycle de 24 heures à différents niveaux dans l'étage foliaire. De même un bilan complet de l'énergie solaire captée directement, bilan du type de celui réalisé par VARLET GRANCHER et BONHOMME 1972 sur *Vigna sinensis* permettrait d'extrapoler les lectures ponctuelles à l'échelle du couvert végétal.

TABLEAU 1 - Le 22 août 1972, température de surface de feuilles de deux clones d'ananas âgés de 6 mois Wahiawa Pri Hawaii (mesures effectuées par radiométrie infrarouge)

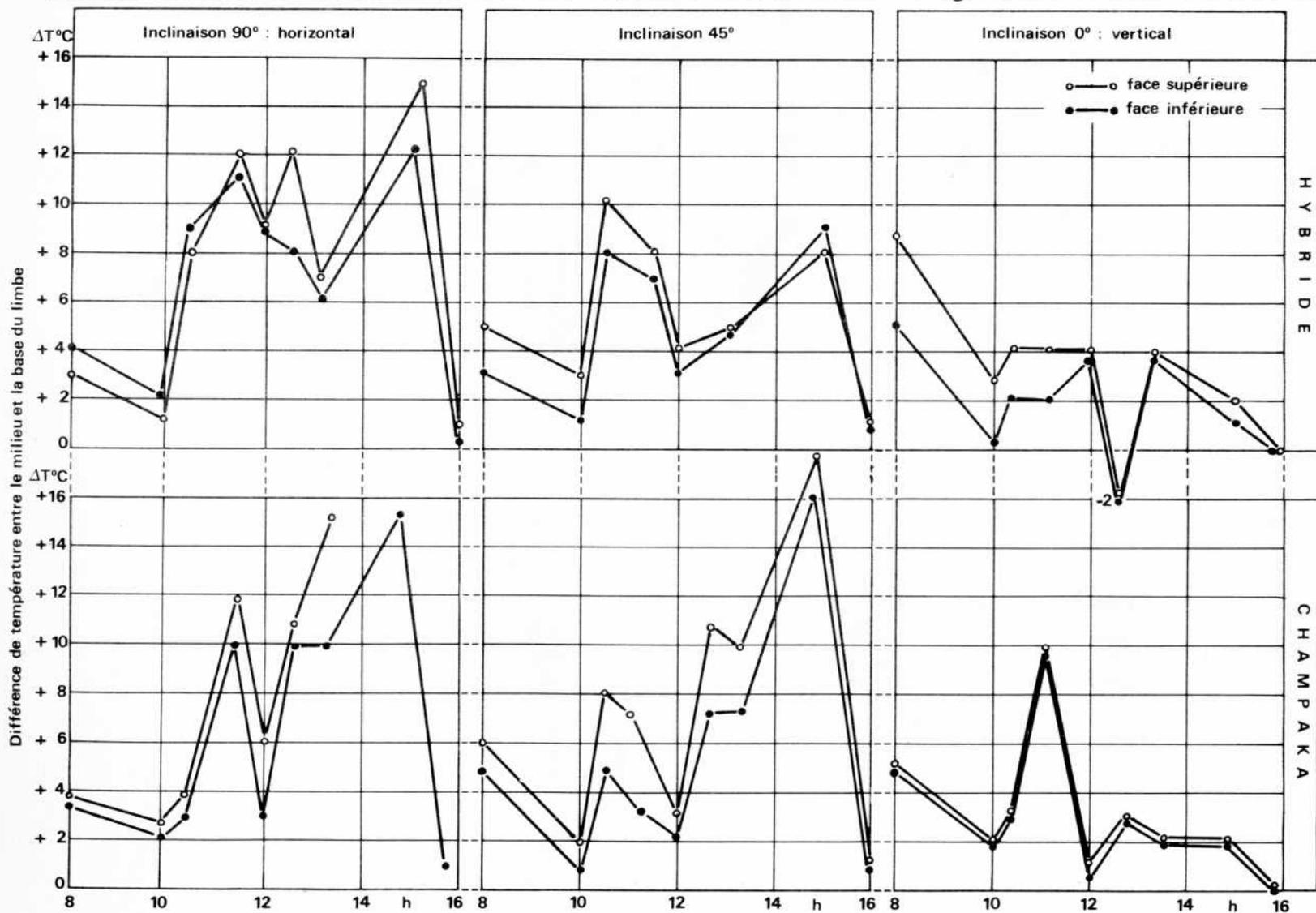
Instruments		Heure	10 h 30				12 h 00				13 h 00				16 h 30			
		Variété	Hybride		Champaka		Hybride		Champaka		Hybride		Champaka		Hybride		Champaka	
		Face	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m
Radiothermomètre	Inclinaison de la feuille	90° 45° 0°	34-43° 32-40° 31-33°	35-43° 32-42° 31-35°	36-39° 34-39° 35-38°	38-42° 31-39° 35-38°	33-42° 34-37° 38-34°	35-44° 35-39° 38-34°	40-43° 36-38° 35-36°	39-45° 39-42° 36-38°	35-41° 33-38° 38-34°	36-43° 33-38° 38-34°	34-44° 33-40° 36-34°	33-48° 34-44° 36-34°	32-32° 31-32° 30°	38-39° 35-36° 30°	33-34° 39-40° 30°	42-43° 40-41° 30°
	Vieilles feuilles ombrées		24°		27°		29°		30°		30°		28°		27°		26°	
	Sol ombré				27°		25°		25°		30°		25°		24°		25°	
	Sol sec				46°		35°		37°		48°		38°		44°		44°	
	Sol à 3 cm				32°		32°		35°		32°		33°		33°		33°	
	Mulch plastique				60°		59-62°		64°				64°		50-51°		50-51°	
	Couvert végétal														28-29°		28-30°	
Psychromètre	sec humide		30°5 25°5				31°1 22°7				29°4 21°8				26°5 22°2			

TABLEAU 2. Le 23 août 1972, mesure de la température de surface de feuilles d'ananas âgés de 6 mois Wahiawa Hawaii (mesures effectuées par radiométrie infrarouge).

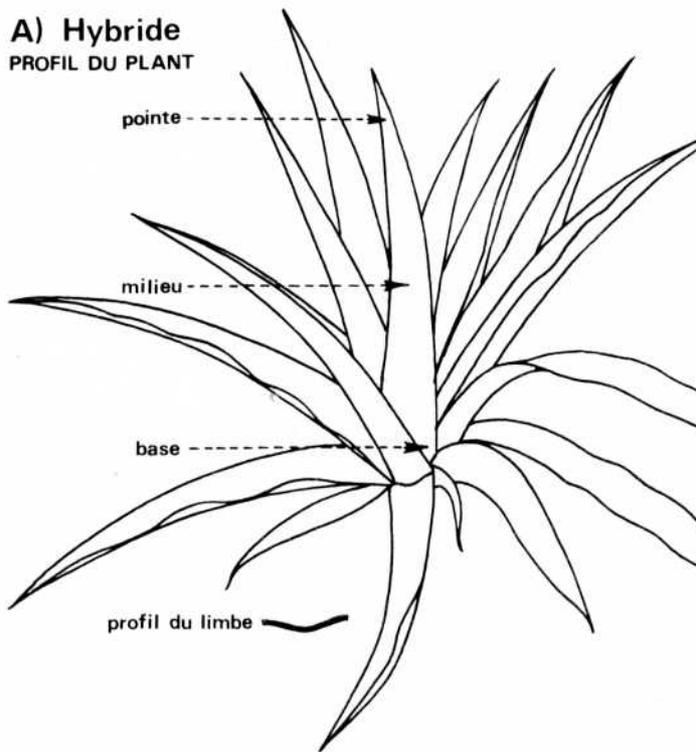
Instruments		Heure	8 h 00				10 h 00				11 h 00				12 h 15				15 h 00			
		Variété	Hybride		Champaka		Hybride		Champaka		Hybride		Champaka		Hybride		Champaka		Hybride		Champaka	
		Face	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	Face sup. b m	Face inf. b m	
Radiothermomètre	Inclinaison de la feuille	90° 45° 0°	20-24° 22-25° 19-24°	21-24° 19-24° 17-24°	21-25° 19-24° 17-23°	22-26° 17-23° (soleil face inférieure)	27-29° 27-28° 28-28°	26-27° 25-28° 25-28°	28-30° 27-28° 25-27°	27-30° 26-28° 24-26°	31-42° 30-37° 28-30°	32-44° 30-38° 28-32°	30-40° 34-37° 28-28°	30-42° 31-38° 29-29°	34-42° 38-38° 36-34°	33-35° 39-39° 36-34°	30-40° 31-38° 33-36°	31-42° 30-41° 32-38°	28-40° 28-27° 28-29°	28-43° 30-38° 31-32°	28-44° 28-30° 28-30°	29-44° 28-27° 27°
	Vieilles feuilles ombrées		19°		18°		23°		23°		28°		28°		30°		26°		29°		27°	
	Sol ombré		20°		19°		21°		22°		24°		28°		28°		28°		25°		25°	
	Sol sec		26°		25°		31°		34°		37°		36°		52°		52°		52°		52°	
	Sol à 3 cm		19°		19°		25°				31°											
	Mulch plastique																					
Thermomètre dans le cœur de la plante			21°6		20°6		28°7		28°6		31°2		29°2		31°6		31°					
Psychromètre	sec humide		25°1 22°0				28°4 22°2				31°2 23°0				30°8 22°8				30°2 22°0			

température en °C. b - base du limbe, m - milieu du limbe.

figure 1 • Gradients de température de feuilles d'ananas. Radiométrie infrarouge. Mesures *in situ* (22 et 23-8-73)



A) Hybride
PROFIL DU PLANT



TEMPERATURES ENREGISTREES SUR DEUX CLONES D'ANANAS A WAHIAWA, ILE D'OAHU, HAWAII, (deuxième quinzaine d'août).

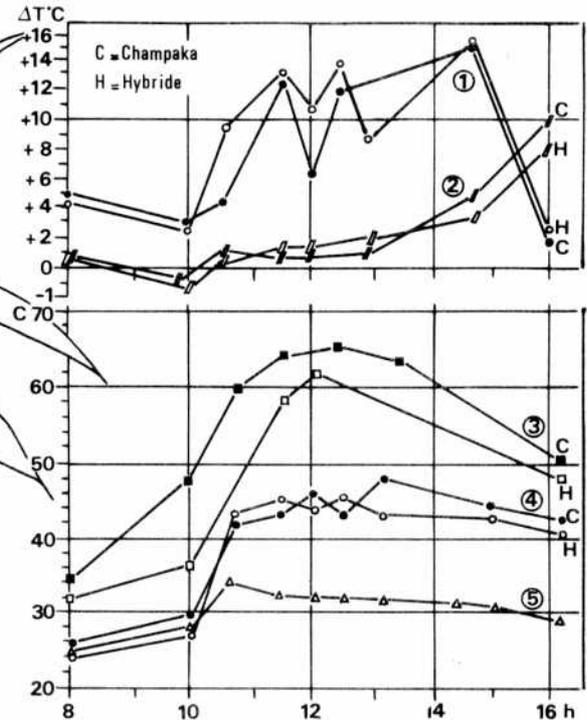
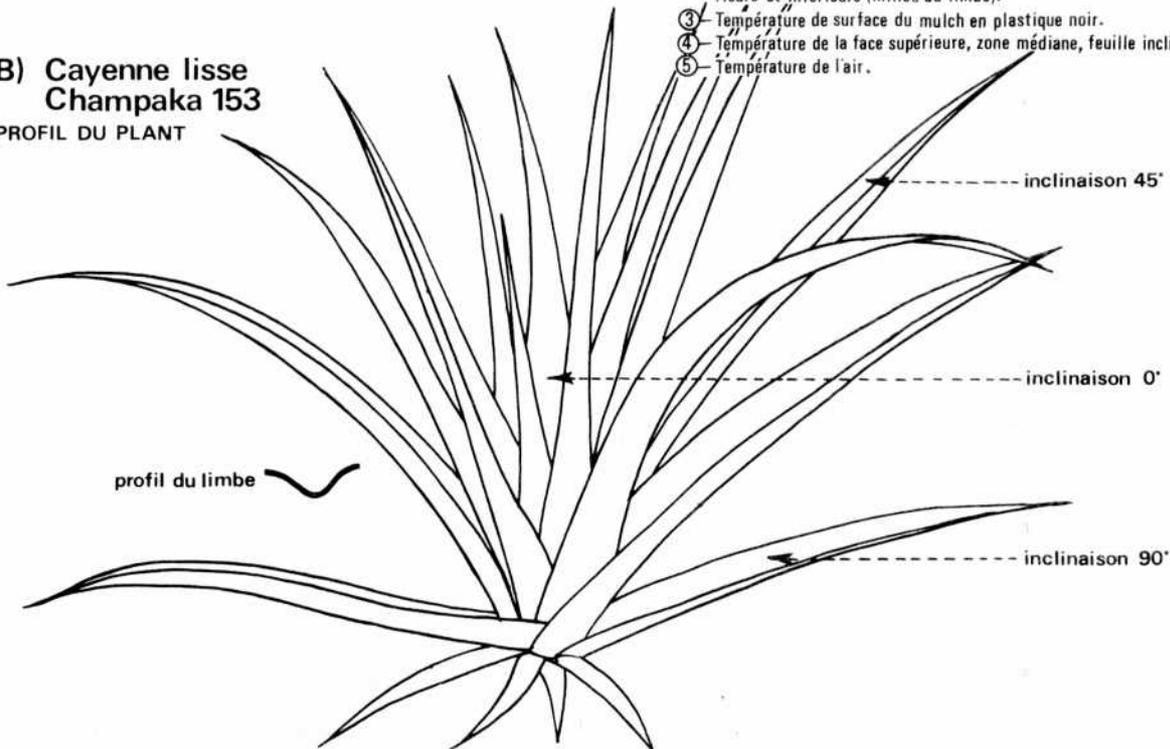


figure 2 • Cartographie thermique de deux clones d'ananas en champ par radiométrie infrarouge. (plants âgés de six mois).

- ① Différence de température entre la base et le milieu du limbe : face supérieure de feuilles inclinées à 90°.
- ② Sur les mêmes feuilles : différence de température entre faces supérieure et inférieure (milieu du limbe).
- ③ Température de surface du mulch en plastique noir.
- ④ Température de la face supérieure, zone médiane, feuille inclinée à 90°.
- ⑤ Température de l'air.

B) Cayenne lisse
Champaka 153
PROFIL DU PLANT



BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (B.). 1971.
Effet de la radiation globale sur la synthèse d'acides organiques et la régulation stomatique des plantes succulentes.
Exemple d'*Ananas comosus* (L) MERR.
Oecol. Plant., p. 25-34.
- BRANDON (P.C.). 1967.
Temperature features of enzymes affecting crassulacean acid metabolism.
Plant Physiol., 42, p. 977-984.
- CONNELLY (P.). 1972.
The effect of thermoperiod on the carbon dioxide uptake and compensation point of the pineapple plant.
Ananas comosus (L) MERR.
PhD University of Hawaii, 81 p.
- NOFFSINGER (T.L.). 1961.
Leaf and air temperature under Hawaii conditions.
Pacific Science, vol. XV, n 2, p. 304-306.
- PERRIER (A.). 1970.
Mesure des températures de surface par radiométrie infrarouge.
Techniques d'étude des facteurs physiques de la biosphère INRA, p. 169-178.
- PHILLIPS (P.T.) et Mc WILLIAM (J.R.). 1971.
Thermal responses of the primary carboxylating enzymes from C₃ and C₄ plants adapted to contrasting temperature environments.
in Photosynthesis and Photorespiration edited by Hatch Osmond et Slatyer, p. 97-104.
- RANSON (S.L.) et THOMAS (M.). 1960.
Crassulacean acid metabolism.
Ann. Rev. Plant Physiol., II, p. 81-110.
- STOUTJESDIJK (P.H.). 1970.
Some measurements of leaf temperatures of tropical and temperate plants and their interpretation.
Acta Bot. Neerl., 19 (3), p. 373-384.
- TING (I.P.). 1971.
Nonautotrophic CO₂ fixation and crassulacean acid metabolism.
in Photosynthesis and Photorespiration edited by Hatch Osmond et Slatyer, p. 169-185.
- VARLET GRANCHER (C.) et BONHOMME (R.). 1972.
Utilisation de l'influence de l'héliotropisme des feuilles sur l'interception des rayonnements.
Ann. Agron., 23 (4), p. 407-417.

