

CITRONS ET LIMES ACIDES.

Les limes à gros fruits.

Production d'avenir pour les DOM-TOM.

R. HUET, J. CASSIN et Renée TISSEAU*
avec la collaboration technique de **R. DALNIC et A. TERRIEN**

ORIGINE BOTANIQUE

LINNE, qui ne connaissait que les Citrus acclimatés aux régions européennes, avait groupé le cédrat, le citron et la lime dans la même espèce : *Citrus medica*. Actuellement, on a recours à la classification de SWINGLE et REECE (1967) basée sur ces concepts biologiques plus élaborés (10). Ce système distingue :

- *C. medica* L. : le cédrat probablement originaire de l'Inde
- *C. limon* (L.) BURM. f. : le citron
- *C. aurantifolia* CHRISM. : la lime commune, originaire de Malaisie, appelée, suivant les lieux, citron Galet en Afrique, limon mexicano, limao galego au Brésil, Key lime aux Etats Unis, West Indian lime dans les pays anglo-saxons, citron vert des Antilles, Kaghzi nimbu (Inde) limûn baladi (Egypte), lime doc (Maroc).
- *C. latifolia* TAN. : lime acide à gros fruits, appelée également Bears, Persian ou Tahiti.

En réalité, il semble bien que *Citrus limon* et *Citrus latifolia* n'appartiennent pas à des espèces clairement définies.

Les Citrus ont la faculté de s'hybrider avec facilité. SWINGLE écrivait en 1943 (4) «Le citron doit être considéré comme une espèce satellite du cédrat. Il est probable qu'il soit d'origine hybride». SCORA et MALIK, 1974, (25) ont trouvé des arguments taxonomiques, la composition des huiles essentielles de feuilles, et morphologiques pour appuyer cette hypothèse. Ils en concluent que le citron est un hybride dont le cédrat serait un des parents et qu'une sour-

ce génétique extérieure au groupe cédrat-lime pourrait avoir également contribué à son origine. Cependant SWINGLE ajoutait (1943) «il est difficile d'expliquer l'origine hybride du citron même si on peut le croiser aisément avec d'autres espèces de Citrus ; en effet s'il est auto-pollinisé, il se reproduit lui-même par graine avec de très petites variations».

L'origine hybride de *Citrus latifolia* se démontre plus aisément. Le fruit est pratiquement asperme, mais parmi les quelques graines poly-embryonnées à majorité d'embryons nucellaires, isolées de centaines de fruits, il s'en trouve qui contiennent des embryons asexués, appelés nucellaires, qui par la suite donnent naissance à une plante identique à la plante-mère. «L'embryonnie nucellaire conduit à la production d'hybrides stables qui, sans elle, n'auraient pas survécu au processus évolutif de l'origine des espèces (10)».

Pour illustrer ces considérations, nous citons l'expérience réalisée par CHILD et LONG en Floride (1952) (8). A vrai dire, l'objectif de ces deux agronomes n'obéissait pas à des préoccupations d'ordre génétique mais d'ordre sanitaire. Les vieilles lignées de *C. latifolia* sont pour la plupart atteintes d'une ou plusieurs maladies à virus : xyloporose, psorose, gommose, lime leaf blotch ... Or les plants provenant de la germination d'une graine sont, en principe, indemnes de ces maladies. De plus, si l'embryon est de type nucellaire, il reproduit intégralement les caractères de la plante-mère. La difficulté avec la lime à gros fruits, c'est qu'elle est pratiquement sans pépin, avec un degré élevé de mono-embryonnie parmi les rares pépins existant. Aussi les expérimentateurs durent-ils manipuler plusieurs tonnes de pulpes provenant de la fabrication de jus de lime pour recueillir 250 graines. Quand elles eurent germé, la moitié seulement donna naissance à des plants à feuilles de lime.

* - IRFA, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cédex.

Les autres avaient des feuilles de type oranger doux, mandarinier, pamplemousse ou cédrat. Vingt-deux de ces plants furent mis en observation. En 1957, la plupart fructifièrent, mais les fruits ressemblaient très rarement à des limes Tahiti. De nombreux fruits ressemblaient au cédrat, à l'orange douce, au pomélo ou à la petite lime acide. Seuls deux plants possédaient les caractères vrais de *C. latifolia*.

L'ARBRE

Introduit en Californie entre 1850 et 1880 (27) et provenant de Tahiti ou d'îles non spécifiées de l'océan Pacifique, inconnu en Perse malgré la dénomination de Persian lime, le limettier Tahiti est un petit arbre de 5 m de haut, en forme de boule que l'on taille aisément. Les feuilles, d'un vert sombre, ovales, de 9 à 13 cm de long, peuvent persister 3 ans sur la branche (21).

Les fleurs blanches odorantes, d'un diamètre de 2,5 cm, sont groupées en bouquets de 5 à 10 sur les nouvelles pousses. Des boutons apparaissent toute l'année, mais la floraison la plus massive survient en février-avril en Floride, en avril-mai en Corse. En Afrique tropicale, on peut déclencher la floraison par une irrigation en saison sèche ou bien la floraison survient naturellement au début de la saison des pluies.

LE FRUIT

Le fruit est ovale, de 5,5 à 7 cm de long et de 4,7 à 6,3 cm de diamètre; vert à vert sombre à maturité commerciale, il devient jaune avant de se détacher de l'arbre. L'intervalle de temps entre véraison et maturité est de 100 à 120 jours en Floride, de 150 jours en Corse. L'écorce est fine, la pulpe sans pépin. Le rendement en jus se situe entre 45 et 55 p. cent (21).

- Extrait sec soluble : 8 - 10 p. 100
- Teneur en acides : : 5 - 6 p. 100
- sauf dans certains cas particuliers, la teneur en sucre du jus ne dépasse pas 2 p. 100 (21).

Comme pour le citron, le goût de la pulpe est à dominante acide et la composition du jus offre de grandes ressemblances avec celles du jus de citron ou de lime mexicaine. Ces fruits étaient très recherchés par les marins de la marine à voile, car le jus acide et peu riche en sucre apportait une longue conservation et son acide ascorbique les protégeait du scorbut. C'est aussi la raison pour laquelle ces fruits furent introduits en Californie à l'époque de la ruée vers l'or (27).

L'odeur du jus provient des constituants volatils particuliers au jus, mais aussi des constituants de l'huile essentielle du zeste qui s'y est incorporée lors de l'extraction. Ces composants se retrouvent en solution ou en émulsion, mais

la majeure partie est absorbée par les substances lipophiles de la pulpe en suspension. L'analyse chimique et l'analyse instrumentale font apparaître des différences très nettes entre lime Tahiti, lime mexicaine et citron, malgré leur ressemblance évidente.

En 1972, MOSHONAS et SHAW, analysant des essences aqueuses de lime et de citron, ont mis en évidence des différences d'ordre qualitatif ; un certain nombre de constituants se trouvent uniquement dans l'essence de citron et d'autres constituants se trouvent seulement dans l'essence de lime (22). Cependant, certaines singularités notées par ces auteurs peuvent prêter à critique : par exemple, l'absence de géraniol, de p-cymène, d'oxydes de linalol, de 1-8 cinéole dans l'essence de citron et l'absence de terpinène 4 ol. et d'alphaterpinéol dans l'essence de lime, la plupart de ces composés étant des artefacts dus à l'instabilité de l'huile essentielle de zeste au contact du jus acide. A propos, signalons que les jus de lime doivent être déshuilés avant conservation pour éviter la formation d'odeurs terpéniques désagréables.

Davantage peut-être que les différences qualitatives, les différences quantitatives exercent une influence marquée sur l'intensité de l'odeur. La lime Tahiti est beaucoup plus riche en citral que le citron et un peu moins riche que la lime mexicaine (20).

Les huiles essentielles de zeste de lime et de citron se différencient également par leur teneur en composés non volatils, coumarines et psoralènes, principalement sur le plan quantitatif (9). Ces composés non odorants jouent un rôle important sur l'arôme en tant que fixateurs. ZIEGLER (1971) (28) a estimé que le goût et l'odeur plus forts de la lime peuvent être attribués en partie à la plus haute teneur en citral, mais aussi à son plus haut pourcentage en coumarines qui contribuent à la note douce et lourde de l'huile essentielle de lime.

UTILISATION DU JUS DE LIME

Comme le jus de citron, le jus de lime est utilisé dans de nombreuses préparations. Cependant, par l'intensité de son odeur, il s'adresse à d'autres groupes de consommateurs. En effet, d'une façon générale, il est plus largement accepté par les adultes que par les enfants.

Jus acide et parfumé, il sert à préparer des boissons rafraîchissantes. Sucré à 45 p. 100 et congelé, il constitue une base pour boisson, très appréciée aux Etats-Unis (27). Son acidité est également mise à profit dans l'industrie alimentaire : pour l'abaissement du pH des conserves qui permet de réduire de façon appréciable leur temps de pasteurisation et donc de mieux préserver leurs qualités organoleptiques. Par ailleurs, l'action anti-oxydante de l'acide citrique qu'il contient inhibe le brunissement enzymatique des artichauts, champignons.

TABLEAU 1 - Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles de citron, lime mexicaine et lime Tahiti, exprimées à froid.

Caractéristiques	citron (Italie) (2)	Lime mexicaine (20)	Lime Tahiti (20)
•densité relative 20°/20°	0,852 - 0,886	0,878 - 0,886 (15°)	0,8533 - 0,8947
•indice de réfraction 20°	1,4740 - 1,4760	1,4800 - 1,4860	1,4740 - 1,4907
•déviations polarimétriques à 20° sous 1 dm	57-65°	35-40°	38,60-49,01°
•constituants carbonylés exprimés en citral p. 100	3,0-5,0	4,5-8,5	3,66-6,66
•teneur en esters	—	—	4,95-8,08
•résidu d'évaporation p. 100	1,5-3,5	10,0-13,5	11,01-16,67

Tableau 2 - Composition quantitative des huiles essentielles de citron, de lime mexicaine et de lime Tahiti (exprimée en p. 100 de surface de pic).

composés	citron femineo comune (12)	lime mexicaine		lime Tahiti (26)
		(23)	(15)	
α-tuyène		0,54		0,41
α-pinène	2,03	2,37	3,42	1,52
camphène	trace		0,13	11,4
β-pinène	13,29	24,23	21,80	11,4
sabinène	—	—	—	—
myrcène	—	1,40	1,74	—
d-limonène	64,76	44,17	49,20	47,5
γ-terpinène	9,15	11,88	8,64	14,3
p-cymène	—	—	1,04	—
terpinolène	—	0,83		1,22
octanal	0,21		0,57	
methyl heptenone	0,09			
nonanal	0,23			
acétate d'octyle	0,05			
citronellal	0,14			
decanal		0,48	0,27	
linalol	0,15	0,31	0,21	0,09
acétate de linalyle	0,03			
bergamottène	0,29	1,34	1,67	
caryophyllène	0,30	0,70	1,17	2,46
néral	1,25	1,13	0,50	4,63
α-terpinéol	0,16		0,60	1,05
acétate de néryle		0,07		2,49
bisabolène	0,39	3,18		4,02
géraniol	3,10	1,70	3,98	6,81
acétate de géranyle	0,29	0,16		0,55

Utilisé comme condiment, son action est de deux sortes. Il réduit la sensation grasse provoquée par les sauces et les mets tels que les avocats. Ne fait-on pas des détergents pour vaisselle «au citron vert»? Par ailleurs, il tonifie les régimes sans sel et améliore le goût des poissons, crustacés ou fruits

de mer, bien que cela soit souvent discuté. En réalité, nous pensons que le jus de lime est surtout utile à masquer le manque de fraîcheur de ces mets, en détruisant les odeurs aminées. Dans le même ordre d'idée, on utilise l'huile essentielle de citron ou de lime dans les produits déodorants.



Photo 1. Citronniers (SRA, San Giuliano, Corse).

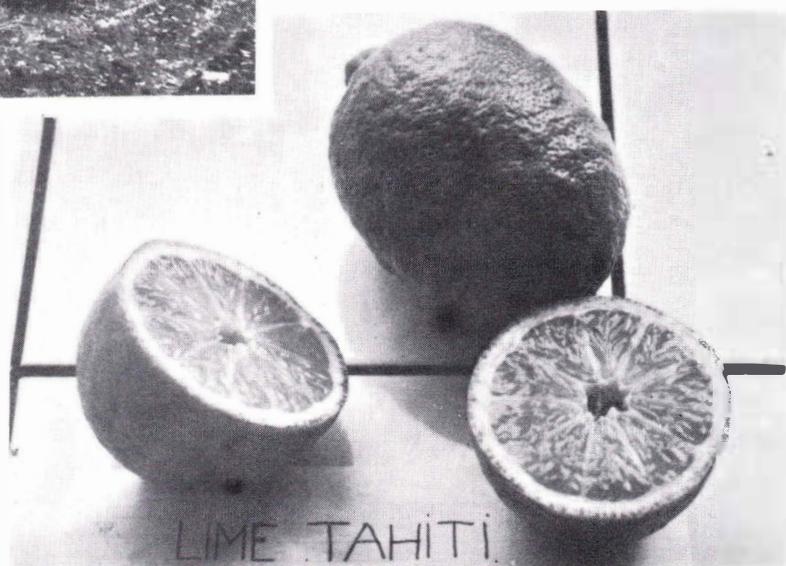


Photo 2.

Photo 3



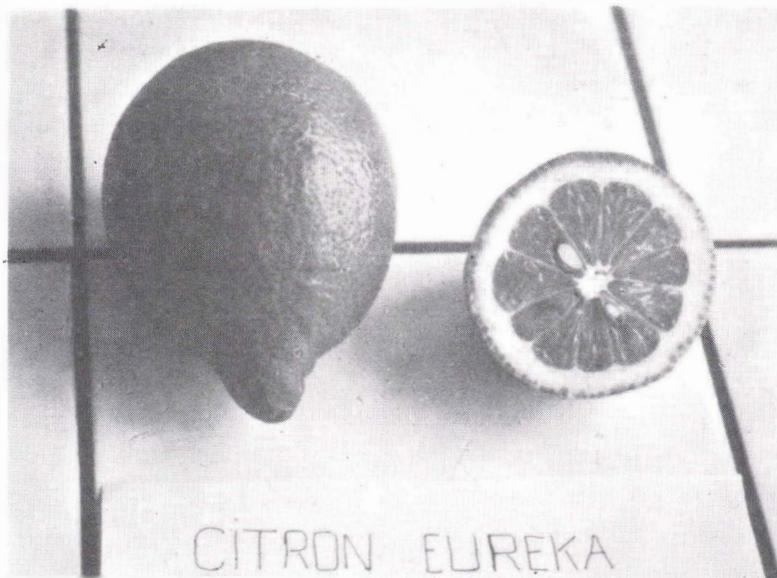


Photo 4

Photo 5



Photo 6.



Habitué de longue date au jus de lime, les Anglo-Saxons apprécient les jus décantés, filtrés et sulfités préparés dans les îles Caraïbes. En Floride, on confectionne le «lime cream chiffon pie» ou le «Key lime pie». Mais il faut avoir une longue tradition derrière soi pour goûter à sa juste valeur le «Old Sour», jus de lime fermenté, assaisonné avec du sel (27). Un palais moins averti sera plus immédiatement séduit par les punches ou daquiris de nos Antilles.

CARACTERES BIOCHIMIQUES DES CITRONS ET DES LIMES ACIDES

(S.R.A. San Giuliano - Corse)

Echantillonnage

Ont été cueillis en décembre 1977 les fruits provenant de la floraison de juin et appartenant aux espèces et variétés suivantes :

- Citron Eureka, greffé sur Bigaradier
Citrus limon (L) BURM. f.
- Lime mexicaine (ou Key, ou citron Calet, ou West Indian ...)
Citrus aurantifolia SWINGLE
- Lime Bears (ou Persian ...) sans pépin
- Lime Tahiti
Citrus latifolia TANAKA

Analyse

Les fruits ont été pesés, le jus extrait manuellement sur extracteur rotatif et le rendement en jus mesuré. Le jus mis en flacon a été congelé à -25° C puis dégelé pour les besoins de l'analyse chimique.

L'huile essentielle a été extraite de l'écorce au touret, extracteur à aiguille IFAC-Rozé, décantée, centrifugée et séchée sur sulfate de soude. Pendant l'entreposage à +20° C, un abondant précipité blanchâtre, coumarines et furanocoumarines, s'est produit dans les extraits de limes. Après filtration, l'huile essentielle a été soumise à l'analyse.

Les résultats sont donnés dans les tableaux 4, 5 et 6.

Composition du jus

Les données correspondant à Bears et à Tahiti sont très proches les unes des autres. Effectivement, Bears et Tahiti appartiennent à la même espèce *Citrus latifolia* TAN. On se trouve donc en présence de trois groupes : citron, lime mexicaine et lime Tahiti.

Poids des fruits

Les poids des fruits analysés correspondent pour les limes à des poids maximum. Par contre, les citrons peuvent atteindre un poids très supérieur si on les laisse sur l'arbre.

Rendement en jus

Le rendement en jus des citrons obtenu dans cet échantillonnage est relativement élevé. On sait en effet que les normes AFNOR se contentent d'un rendement de 25 p. 100 et les normes US de 30 p. 100 ... Les limes mexicaines n'ont pas un rendement supérieur malgré la finesse de leur écorce et l'absence pratique d'albédo. Cependant nombre de ces fruits présentent des parois capillaires volumineuses et fibreuses. Les limes Tahiti, à peau fine, sans pépin, ont un rendement notablement supérieur.

Solides solubles

La majeure partie des solides solubles est représentée par les acides - à peu près 70 p. 100 - le pH et la teneur en acide des jus de citrons et des jus de limes sont très voisins. La teneur en acide ascorbique par contre est notablement plus élevée dans les jus de citrons qui en contiennent deux à trois fois plus que les jus de limes. D'une façon générale, il y a 8 à 10 fois plus d'acide citrique que d'acide malique.

La teneur en sucres totaux est faible : 2 p. 100 pour les citrons, 1,3 p. 100 pour les limes à gros fruits et 0,8 p. 100 pour les limes mexicaines.

Par suite de la forte acidité des jus, ces différences ne sont pas perceptibles au goût.

La teneur en acides aminés libres, mesurée par l'indice formol ne présente pas de différences significatives, sauf dans le cas de la lime mexicaine dont l'indice est plus élevé. La mesure des différents acides aminés ne confirme pas la signification de cette donnée et ne permet pas de différencier limes et citrons.

Les huiles essentielles

L'analyse physico-chimique des huiles essentielles donne des résultats sans surprise et en accord avec les données fournies par les normes AFNOR (citron et lime mexicaine) et la littérature (limes à gros fruits). Les limes se caractérisent par une teneur en carbonyles plus élevée que les citrons. Ce fait est ici vérifié. On reviendra sur un essai ancien de systématique des Citrus en relation avec leur composition chimique. CHAPOT et SCHWOB (7) ont différencié les limes mexicaines d'une part et les Persian d'autre part, par leur teneur en aldéhydes, supérieure à 5 p. 100 pour les premières, inférieure à 5 p. 100 pour les secondes. Nos résultats et diverses données de la littérature n'ont pas confirmé cette frontière.

L'analyse chromatographique, tableau 3, fournit de nombreux détails. La somme des hydrocarbures monoterpéniques représente :

- Citron	95,25 p. 100 de l'huile essentielle
- Lime mexicaine	86,32 p. 100
- Lime Bears	82,73 p. 100
- Lime Tahiti	78,29 p. 100

TABLEAU 3 - Composition qualitative de la fraction non volatile des huiles essentielles de citron, de lime mexicaine et de lime Tahiti (9).

Composant	citron	lime mexicaine	lime Tahiti
résidu non volatil	3,34	11,2	8,14
bergaptol	trace	0,06	0,1
bergaptène	-	0,18	0,17
citroptène (limettine)	0,07	0,89	0,81
isopimpinelline	-	0,03	0,1
7-methoxy-5 geranoxy-courarine	0,03	3,9	2,2
bergamottine	0,12	2,2	2,5
indice CD	0,450-0,950 (14) sous 10 mm	0,708-0,728 (19) sous 1 mm	0,408-0,680 (19) sous 1 mm

TABLEAU 4 - Composition des jus de citron et de limes acides - SRA San Giuliano, Corse - Floraison juin - Cueillette décembre 1977.

	citron Eureka	lime mexicaine	lime Tahiti clone Bears	lime Tahiti
nombre de fruits	30	34	30	30
poids moyen en g	112	51	97	97
rendement en jus p. 100	37,9	35	44,1	45,1
extrait sec soluble p. 100	8,5	7,8	7,6	7,3
pH	2,3	2,2	2,3	2,1
acidité libre en acide				
citrique p. 100	6,13	6,45	6,10	5,90
acide citrique p. 100	5,50	5,90	5,42	5,26
acide malique p. 100	0,46	0,71	0,83	0,58
acide ascorbique mg p. 100	44	17	20	15
glucose p. 100	0,75	0,19	0,60	0,54
fructose p. 100	0,62	0,15	0,51	0,47
saccharose p. 100	0,63	0,42	0,20	0,34
indice formol/100 ml	17,8	24,3	14,4	15,3
azote g/100 ml	0,060	0,082	0,076	0,057
phosphore g/100 ml	0,008	0,015	0,011	0,010
potassium g/100 ml	0,088	0,052	0,057	0,076
calcium g/100 ml	0,011	0,014	0,014	0,010
magnésium g/100 ml	0,008	0,007	0,008	0,007

Teneur en acides aminés libres des jus de citron Eureka, lime mexicaine et lime Tahiti

(acides aminés en mg/100 ml)				
ac. aspartique	41,7	36,2	75,7	67,1
thréonine	0,9	2,0	1,1	1,2
ac. glutamique	22,2	35,9	35,2	39,6
proline	21,0	19,3	45,2	32,7
glycine	1,1	0,9	1,1	1,2
alanine	14,2	29,6	24,3	29,5
valine	1,5	1,7	1,9	2,1
isoleucine	0,5	0,8	0,7	0,8
leucine	0,5	0,9	0,9	0,9
phenylalanine	1,4	2,2	2,3	2,1
histidine	-	1,1	0,4	-
lysine	0,5	2,2	0,9	1,0
arginine	3,1	7,6	6,3	4,9
ethanolamine	5,2	1,8	6,6	4,6
ac. amino butyrique	12,7	8,1	11,2	12,5

TABLEAU 5 - Composition de l'huile essentielle de zeste des citrons et limes de Corse -
Floraison juin - Cueillette décembre 1977 - S.R.A. San Giuliano.

espèce ou variété	citron Eureka	lime mexicaine	lime Tahiti	lime Bears
indice de réfraction n_D^{20}	1,4750	1,4847	1,4830	1,4847
AFNOR	1,474-1,476	1,482-1,4860		1,4837-1,4849 (20)
pouvoir rotatoire α_D^{20}	66,6°	43,6°		43,3°
AFNOR	57-65°	35-40°		39,8-44,1° (20)
densité D_{20}^{20}	0,8519	0,8768		0,8782
AFNOR	0,852-0,858			0,8779-0,8823 (20)
indice C.D. 10 mm	0,78	6,55	7,15	8,40
carbonylés en citral p. 100	4,00	8,30		5,10
AFNOR	3-5	4,5-9	8,70	4,74-6,14 (20)
esters p. 100	3,4	10,1		11,0

TABLEAU 6 - Composition qualitative et quantitative des huiles essentielles de limes acides et de citrons par CPG

constituant (présumé)	p. 100 de surface de pic			
	citron Eureka	lime mexicaine	lime Bears	lime Tahiti
1 alpha pinène	2,02	2,45	2,91	2,07
2 camphène	-	0,09	-	-
3 beta pinène	12,88	20,22	11,76	12,50
4 sabinène	2,35	3,07	2,23	2,22
5 myrcène	1,52	1,33	1,54	1,39
6 non identifié	-	-	-	-
7 limonène	66,52	48,43	48,80	46,08
8 non identifié	-	-	-	-
9 gamma terpinène	9,95	10,10	20,17	19,71
10 paracymène	-	-	0,66	1,39
11 terpinolène	0,70	0,63	1,13	0,99
12 non identifié	-	-	-	-
13 non identifié	-	-	-	-
14 nonanal	0,07	-	-	-
15 non identifié	0,06	0,08	0,09	0,09
16 citronellal	0,07	0,25	0,08	0,10
17 décanal	-	0,15	-	-
18 non identifié	-	-	-	-
19 linalol	0,24	0,31	0,41	0,45
20 non identifié	-	-	0,08	-
21 non identifié	-	-	0,08	-
22 bergamotène + terp. 4 ol.	0,49	0,95	1,54	1,44
23 non identifié	-	-	-	-
24 non identifié	-	-	-	-
25 néral	0,89	2,33	1,39	0,04
26 alpha terpinéol	0,23	0,39	0,47	0,49
27 non identifié	-	0,45	0,09	-
28 non identifié	-	-	-	0,10
29 géranial	2,43	5,06	4,69	5,75
30 non identifié	0,24	2,82	1,32	1,61
31 non identifié	-	2,82	-	-
32 nérol	-	-	0,12	0,16
33 non identifié	-	0,84	0,27	0,25
34 géraniol	-	0,03	0,10	0,15
35 non identifié	-	-	0,06	0,05
36 non identifié	-	-	0,04	-
37 non identifié	-	-	-	0,02

Ces chiffres qui représentent un pourcentage de surface de pic ne sont pas exacts si on les transpose en pourcentage pondéral, car il faudrait tenir compte du coefficient de réponse du détecteur. Cependant, ils sont comparables entre eux.

Suivant qu'il s'agisse du citron, de la lime mexicaine ou de la Tahiti, trois composés : le beta-pinène, le limonène et le gamma-terpinène accusent des différences importantes.

- le beta-pinène particulièrement important dans la lime mexicaine.

. Lime mexicaine	20,22 p. 100
. Citron	12,88 p. 100
. Lime Bears	11,76 p. 100
. Lime Tahiti	12,50 p. 100

- le limonène : plus important dans le citron.

. Citron	66,52 p. 100
. Lime mexicaine	48,43 p. 100
. Lime Bears	48,80 p. 100
. Lime Tahiti	46,08 p. 100

- le gamma-terpinène : plus important dans la lime Persian.

. Citron	9,95 p. 100
. Lime mexicaine	10,10 p. 100
. Lime Bears	20,17 p. 100
. Lime Tahiti	19,71 p. 100

- Somme totale des autres composés

. Citron	4,72 p. 100 dont 3,32 p. 100 néral + géraniol (citral)
. Lime mexicaine	13,66 p. 100 dont 7,39 p. 100
. Lime Bears	10,75 p. 100 dont 6,08 p. 100
. Lime Tahiti	12,67 p. 100 dont 7,79 p. 100

- *L'indice C.D.*

L'indice C.D. est une mesure spectrophotométrique en relation avec la richesse des huiles essentielles de Citrus en coumarines et furanocoumarines. On remarque que les huiles essentielles de limes se caractérisent par une teneur élevée en ces éléments, par rapport à l'huile essentielle de citron, et l'on peut se demander si ce fait ne pose pas un problème sur le plan diététique. En fait, si l'on tient compte de la très grande dilution de l'huile essentielle dans le jus après extraction, de l'ordre de 0,2 pour mille au plus, l'effet biologique des coumarines et furanocoumarines peut être considéré comme négligeable.

Conclusion

Citrons et limes peuvent, à première vue, apparaître interchangeables dans l'alimentation comme source d'acidité et déodorant efficace contre les odeurs aminées. Cependant ces fruits présentent entre eux de nombreuses différences.

En faveur des limes, et particulièrement des limes à gros fruits, on relève ... une teneur en jus plus élevée et un arôme plus intense. En faveur du citron, une plus grande richesse en acide ascorbique. Apparemment pour le consommateur, la balance penchera en faveur des limes, si ce n'est une question de prix.

COMPOSITION DU CITRON EUREKA, DE LA LIME TAHITI ET DE LA LIME MEXICAINE EN FONCTION DU POIDS DU FRUIT

Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé sur des sélections clonales : citron Eureka, lime mexicaine, lime Tahiti et lime Bears, de la Station de Recherches Agronomiques de Corse. Au prélèvement des fruits sur l'arbre dans un ordre chronologique, c'est-à-dire en fonction de l'âge du fruit - réalisé au cours d'une précédente expérimentation sur le citron - a été substitué un prélèvement à une même date de fruits de tailles différentes. On gagne en rapidité, on élimine le facteur de variation apporté par les conditions météorologiques au moment de la cueillette, mais on opère sur une population plus hétérogène, correspondant à des périodes de floraison différentes et à des conditions de croissance différentes. C'est pourquoi les deux modes de prélèvements nous conduisent à des conclusions qui ne correspondent que partiellement.

Les fruits ont été classés en lots, six au maximum, d'après leur poids et nous avons retenu le poids moyen de chaque lot.

Analyse

Le jus des fruits a été extrait sur une toupie tournante à grande vitesse - Colin - et le rendement en jus a été exprimé par le rapport du volume de jus tamisé au poids des fruits mis en oeuvre.

L'extrait sec soluble du jus a été mesuré au réfractomètre à 20° C et l'acidité par neutralisation du jus à pH 8,1, avec de la soude N/2. La correction d'acidité a été apportée à l'extrait sec soluble (16).

La teneur en acide ascorbique a été mesurée par la réduction du 2-7 dichloro-phénol-indophénol, et les teneurs en glucose, fructose, saccharose, acide citrique et acide malique, par les méthodes enzymatiques Boehringer. L'huile essentielle de zeste a été extraite à froid, au touret. Après décantation et séchage sur sulfate de soude, elle a été soumise à l'analyse chromatographique : en colonne en verre SCOT de 50 m, phase stationnaire carbowax 20 M, température programmée de 65° C à 185° C, 4° C/mn, détecteur 1 F, intégrateur électronique des pics.

Les résultats sont donnés sur les figures 1 à 8 et les tableaux 7 à 10.

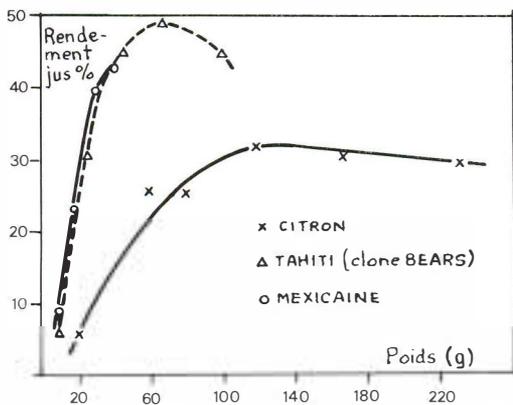


FIG. 1 • RENDEMENT EN JUS EN FONCTION DU POIDS DU FRUIT.

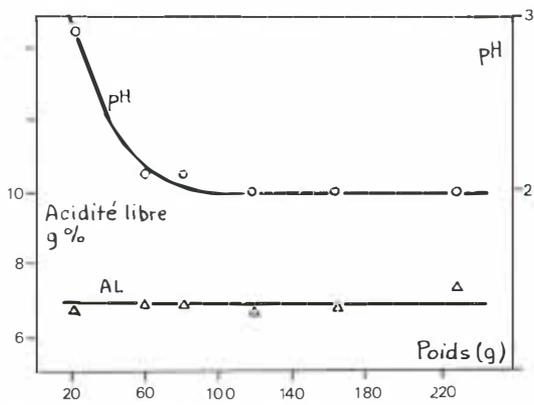


FIG. 2 • VARIATIONS DE L'ACIDITE LIBRE ET DU pH DU JUS DE CITRON EUREKA EN FONCTION DU POIDS DU FRUIT.

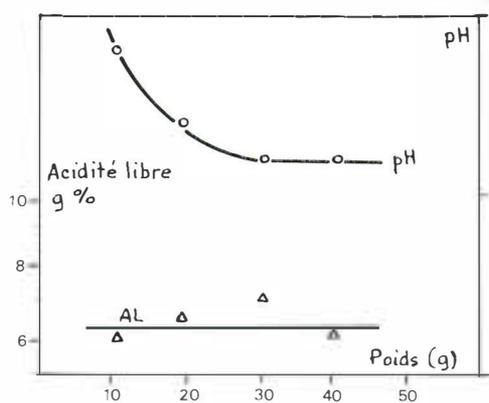


FIG. 3 • VARIATIONS DE L'ACIDITE LIBRE ET DU pH DU JUS DE LIME MEXICAINE EN FONCTION DU POIDS DU FRUIT.

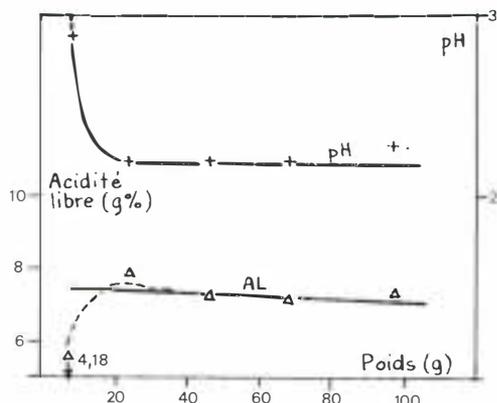


FIG. 4 • VARIATIONS DE L'ACIDITE LIBRE ET DU pH DU JUS DE LIME TAHITI (CLONE BEARS) EN FONCTION DU POIDS DU FRUIT.

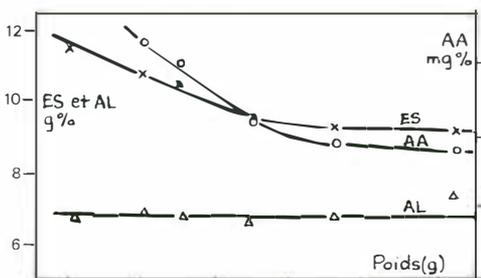


FIG. 5 • VARIATIONS DE L'EXTRAIT SEC SOLUBLE, DE L'ACIDITE LIBRE ET DE L'ACIDE ASCORBIQUE DU CITRON EUREKA EN FONCTION DE SON POIDS.

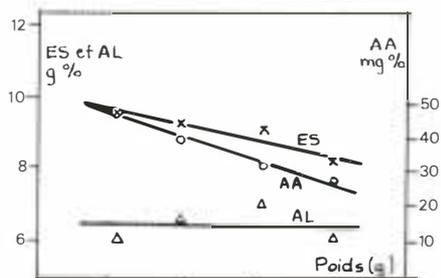


FIG. 6 • VARIATIONS DE L'EXTRAIT SEC SOLUBLE, DE L'ACIDITE LIBRE ET DE L'ACIDE ASCORBIQUE DE LA LIME MEXICAINE EN FONCTION DE SON POIDS.

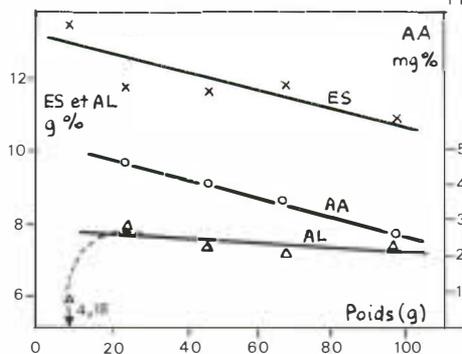


FIG. 7 • VARIATIONS DE L'EXTRAIT SEC SOLUBLE, DE L'ACIDITE LIBRE ET DE L'ACIDE ASCORBIQUE DE LA LIME TAHITI (CLONE BEARS) EN FONCTION DE SON POIDS.

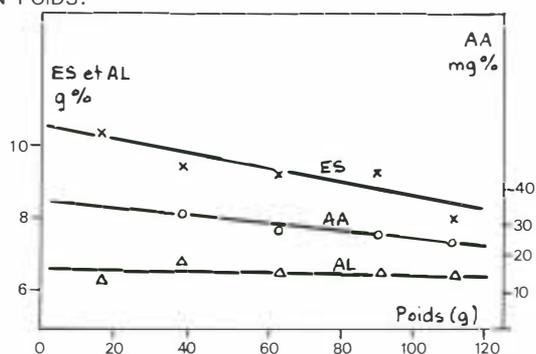


FIG. 8 • VARIATIONS DE L'EXTRAIT SEC, DE L'ACIDITE LIBRE ET DE L'ACIDE ASCORBIQUE DE LA LIME TAHITI EN FONCTION DE SON POIDS.

TABLEAU 7 - Evolution quantitative de quelques constituants de l'huile essentielle de zeste de citron en fonction du poids du fruit. Teneurs exprimées en p. 100 de surface de pic.

poids du fruit en g	22	60,4	80,1	119	165	227
beta-pinène	8,9	10,4	8,7	19,9	21,4	21,7
d-limonène	71,0	73,7	77,1	62,1	63,2	62,0
gamma-terpinène	9,3	7,2	7,6	8,8	8,1	10,1
néral	1,2	1,4	1,2	0,8	0,9	0,8
gèranial	2,5	3,1	2,8	2,0	2,3	2,0
total	93,0	95,8	97,4	93,6	96,0	96,6

TABLEAU 8 - Evolution quantitative de quelques constituants de l'huile essentielle de zeste de lime mexicaine en fonction du poids du fruit. Teneurs exprimées en p. 100 de surface de pic.

poids du fruit en g	10,7	19,6	30,2	40,0
beta-pinène	11,0	15,8	15,4	11,5
d-limonène	52,6	54,1	49,1	46,8
gamma-terpinène	3,2	5,6	7,3	8,3
néral	4,7	3,9	3,3	5,0
gèranial	13,8	7,3	6,4	8,4
total	85,3	86,7	81,4	80,0

TABLEAU 9 - Evolution quantitative de quelques constituants de l'huile essentielle de zeste de lime Tahiti en fonction du poids du fruit. Teneurs exprimées en p. 100 de surface de pic.

poids du fruit en g	16,6	38,4	64,5	91,2	11,0
beta-pinène	11,6	13,7	16,2	12,9	11,8
d-limonène	53,4	55,0	44,3	49,8	52,0
gamma-terpinène	16,8	18,3	17,4	17,3	16,8
néral	2,8	2,0	2,9	2,9	2,7
gèranial	5,0	3,6	5,7	6,5	7,5
total	89,6	92,6	86,5	89,3	90,8

TABLEAU 10 - Evolution quantitative de quelques constituants de l'huile essentielle de zeste de lime Tahiti (clone Bears) en fonction du poids du fruit. Teneurs exprimées en p. 100 de surface de pic.

poids du fruit en g	9	24	46	67	97
beta-pinène	10,9	13,3	11,5	11,0	13,5
d-limonène	65,4	39,5	42,3	40,9	49,4
gamma-terpinène	11,7	23,7	21,0	16,3	20,0
néral	1,7	3,6	3,5	3,7	1,7
gèranial	3,3	7,3	6,9	8,5	4,1
total	93,0	87,4	85,2	80,3	88,7

Commentaires

Le rendement en jus est le seul critère de maturité retenu par les normes officielles. Le minimum admis en France est de 25 p. 100 pour le citron. On constate que ce minimum est atteint quand le poids du fruit arrive à 60 g. Il parvient

à 32,8 p. 100 à 119 g, puis a tendance à décroître légèrement à mesure que les fruits sont plus gros. Le rendement du clone Tahiti ne dépasse pas 39,6 p. 100 et demeure pratiquement inchangé pour un poids de fruit variant de 65 à 110 g. Le rendement en jus du clone Bears atteint 49,3

p. 100 pour un poids de fruit de 67 g. Il décroît au dessus de ce poids. Le rendement en jus de la lime mexicaine augmente de façon continue en fonction du poids du fruit. Il atteint 42,6 p. 100 pour un poids de 40 g. D'une façon générale, le rendement en jus des limes est inférieur à ceux qui sont donnés par la littérature.

L'extrait sec soluble : alors que pour les oranges et les mandarines l'extrait sec soluble est corrélé avec les teneurs en sucres, il n'en est pas de même avec les limes et les citrons, chez lesquels la richesse en acides est prépondérante. Dans ce cas, une correction de mesure est rendue nécessaire car le réfractomètre est gradué en grammes de saccharose pour 100 g de solution. Pour toutes les espèces, citron, lime mexicaine, Tahiti ou Bears, l'extrait sec diminue régulièrement à mesure que le fruit grossit. Cependant, l'augmentation du produit du poids du fruit par le rendement en jus est plus rapide que la diminution de la concentration en extrait sec soluble. Le fruit continue donc à s'enrichir en matières sèches solubles pendant tout son développement.

Le pH et l'acidité libre : l'acidité libre varie peu, quel que soit le poids du fruit dans les trois espèces étudiées. Dans une étude précédente sur le développement des citrons (document interne non publié, figure 9), en pratiquant un

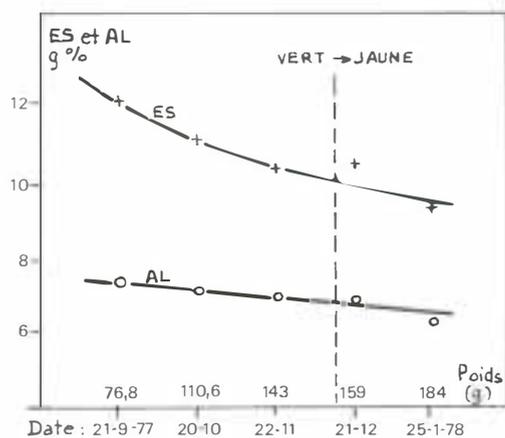


FIG. 9 • EXTRAIT SEC SOLUBLE ET ACIDITE LIBRE DU CITRON EUREKA EN FONCTION DE LA DATE DE CUEILLETTE DU FRUIT.

échantillonnage étalé sur sept mois à partir de la véraison, nous avons observé une diminution constante de l'acidité au cours du développement du fruit, moins importante cependant que celle de l'extrait sec. Les taux d'acidité des trois espèces sont très semblables, variant de part et d'autre de 6,5 g p. 100 en acide citrique. De même que l'acidité le pH varie peu : 2,1 en moyenne. Les petits fruits, au début de leur existence font exception. Ils ont encore très peu de jus, 5 à 9 p. 100, mais le pH de ce jus est notablement plus élevé : 2,7 à 2,9, malgré une acidité libre peu différente de celle des fruits plus gros, à une exception près (figure 4). On a supposé qu'une teneur plus élevée en acides salifiés aug-

mentait le pouvoir tampon du jus. La mesure de la teneur en cendre des jus fortifie cette hypothèse.

L'acide ascorbique : pour les trois espèces, la teneur en acide ascorbique diminue régulièrement quand le poids du fruit s'élève. Mais la concentration en acide ascorbique du jus de citron demeure plus élevée de 40 p. 100 que celle des limes.

L'indice formol : l'indice formol est en relation avec la teneur en acides aminés du jus. L'indice formol du citron et de la lime mexicaine diminue avec le poids du fruit. Les limes Tahiti et Bears ne suivent pas ce schéma. Pour cette espèce, l'indice formol ne varie pratiquement pas quel que soit le poids du fruit.

Composition de l'huile essentielle : on vérifie que la lime Bears ou Tahiti se distingue de la lime mexicaine ou du citron par une teneur plus élevée en gamma terpinène. On ne peut déduire des chiffres obtenus une évolution quelconque en fonction du poids du fruit. La teneur en limonène de l'essence de lime mexicaine diminue progressivement quand le poids du fruit s'élève au profit du gamma terpinène. Mais on n'a pas vérifié que cette essence soit particulièrement riche en beta pinène. L'huile essentielle de citron est plus riche en d-limonène, mais cette teneur diminue brusquement quand le fruit dépasse 119 g au profit de la teneur en beta pinène.

Pour toutes les espèces, les variations de la teneur en citral ne permettent pas de conclure à une évolution en fonction du poids du fruit.

CONCLUSION

Une analyse critique des résultats exposés s'avère nécessaire avant de tirer des conclusions générales.

Les rendements en jus des citrons et des limes mexicaines (tableau 1) paraissent anormaux, le premier par excès et le second par défaut, comparés aux données de la bibliographie et à de précédents résultats non publiés. Sur ce point, les données de la figure 1 paraissent plus crédibles.

Il semble que l'évolution de l'acidité au cours du développement du fruit soit très variable suivant la situation géographique de la culture. Les données de BARTHOLOMEW et SINCLAIR (4) sur les citrons Eureka et Lisbonne de Californie indiquent une augmentation de l'extrait sec et de l'acidité avec le diamètre du fruit quand il passe de 2 à 4 cm ; au-dessus, les quantités restent stationnaires. De même ROMOJARO étudiant l'évolution chimique des citrons Verna et Primofiore dans la région de Murcie (24) a observé que l'acidité de Primofiore augmente régulièrement depuis le 120^e jour de la vie du fruit jusqu'au 210^e jour et l'acidité

de Verna jusqu'au 285^e jour, puis elle décroît, le pH restant pratiquement stationnaire.

Ces résultats n'ont pas été confirmés en Corse où le taux de l'acidité en fonction du poids du fruit apparaît stationnaire, alors que des mesures faites sur citron pendant deux années consécutives en fonction du temps sur l'arbre ont montré une diminution constante de l'acidité à partir de 100 jours ; auparavant le fruit n'a pas de jus.

L'échantillonnage « composition en fonction du poids » confirme la richesse particulière de l'huile essentielle de lime Tahiti en gamma terpinène, la richesse de l'huile essentielle de citron en d-limonène, mais infirme les résultats de décembre 1977 (tableau 6) sur la richesse particulière de l'huile essentielle de lime mexicaine en beta pinène ; ces derniers étant cependant en accord avec les données bibliographiques (23) (15). On ne peut pas conclure sur une éventuelle évolution de la teneur en citral en fonction du poids du fruit.

Les divergences que nous avons relevées dans le domaine des huiles essentielles trouvent leur origine, au moins en partie, dans les variations des conditions météorologiques au moment de la cueillette, conditions auxquelles les huiles essentielles de zeste sont très sensibles : il est bien connu que les huiles essentielles de citron italien sont plus riches en citral durant l'hiver et nous avons montré, il y a quelques années, les modifications de la composition des huiles essentielles de bergamote au Mali (18) riches en hydrocarbures terpéniques pendant l'hivernage, accroissant leur teneur en linalol et en acétate de linalyle au cours de la saison sèche.

Le peu de changement que l'on observe dans la composition de l'huile essentielle en fonction du poids du fruit, aussi bien chez *C. limon* que chez *C. aurantifolia* ou *C. latifolia* contraste avec l'évolution profonde de la composition de l'huile essentielle de zeste d'orange, de clémentine ou de bergamote quand le fruit grossit. Chez ces espèces, l'huile essentielle des petits fruits est très riche en linalol ; puis à

mesure que le fruit grossit, le linalol fait place peu à peu au limonène. Seul le fruit de la bergamote contient encore des quantités importantes de linalol à l'âge adulte (3) (17).

On peut regretter un échantillonnage trop restreint sur limes mexicaines et sur limes Tahiti, le nombre d'arbres disponibles pour cette étude étant très faible.

Enfin, il faut convenir du fait que la Corse se situe à la limite nord de la zone de culture de la lime mexicaine et de la lime Tahiti et que les données que nous avons recueillies ne correspondent pas obligatoirement à celles que l'on peut obtenir en climat tropical. Cette remarque était surtout valable pour la lime mexicaine.

Avec toute la prudence que nous inspirent ces diverses considérations, nous pouvons conclure aux caractéristiques suivantes de la lime Tahiti :

- forte teneur en jus, supérieure de 40 p. 100 à celle du citron ;
- richesse en acides organiques totaux, identique à celle du citron ou de la lime mexicaine, mais teneur en acide ascorbique nettement inférieure à celle du citron ;
- arôme plus intense que celui du citron, en relation avec une teneur en citral de l'huile essentielle de zeste supérieure, mais variable suivant les clones ;
- richesse particulière de l'huile essentielle en gamma terpinène ; ce composé est dégradable préférentiellement en para-cymène, ce qui peut laisser supposer une instabilité accrue de l'huile essentielle ;
- teneur en cires et furanocoumarines trois fois plus élevée que celle de l'huile essentielle de citron. Ce dernier caractère peut être interprété favorablement, le rôle fixateur de ces composés non volatils étant reconnu en parfumerie.

L'évolution de ces différents caractères en fonction du poids du fruit montre qu'il n'est pas souhaitable d'attendre le développement ultime du fruit sur l'arbre pour le livrer à la consommation.

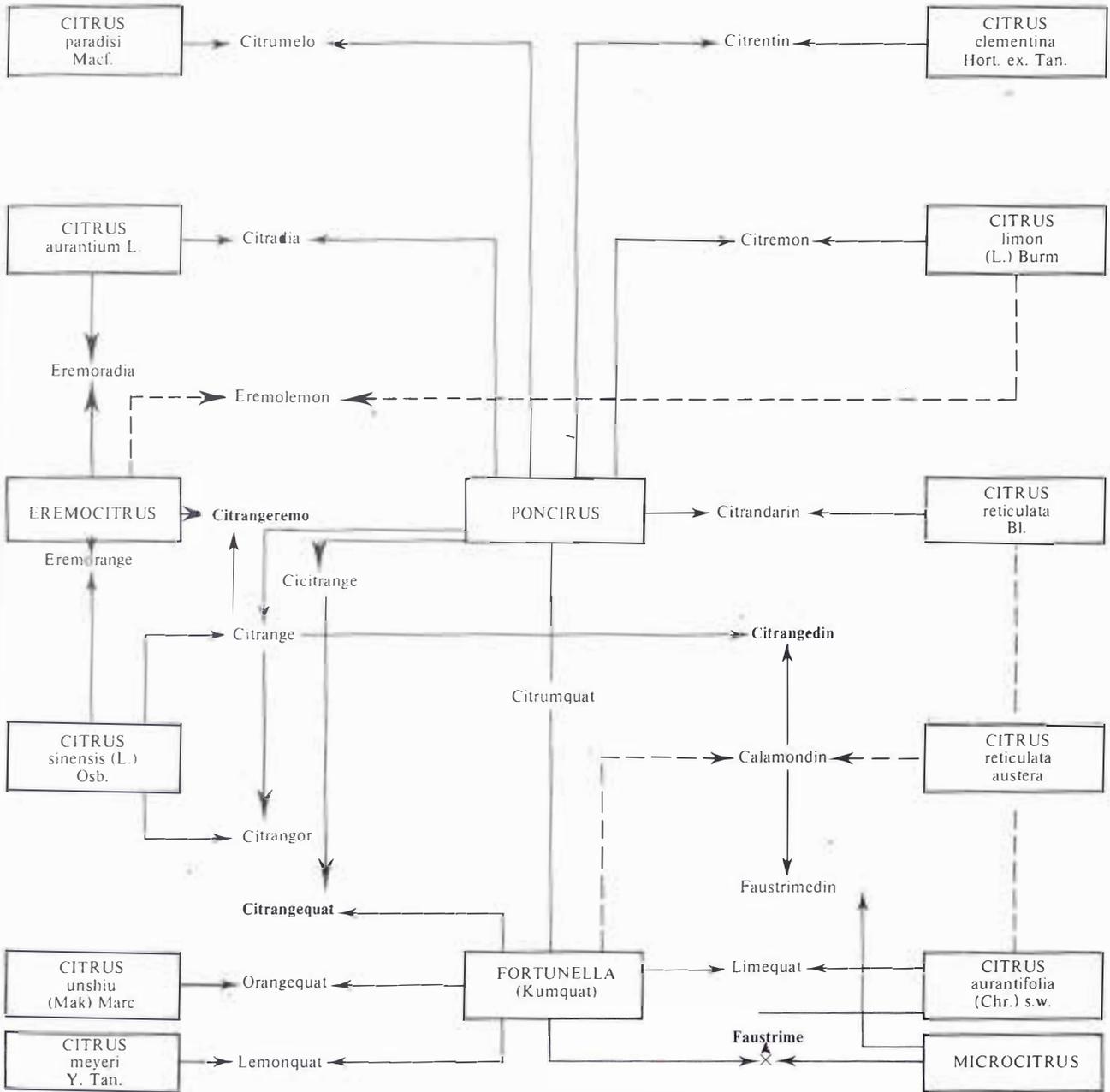
BIBLIOGRAPHIE

1. AFNOR.
Huile essentielle de lime obtenue par expression du fruit entier.
oct. 1976, NF-T 75.336.
2. AFNOR.
Huile essentielle de citron d'Italie.
dec. 1966, NF-T 75.335.
3. ATTAWAY (J.A.), PIERINGER (A.P.) et BARABAS (L.J.).
The origin of Citrus flavo components. III.
Phytochem., 1967, vol. 6, p. 25-32.
4. BARTHOLOMEW (E.T.) et SINCLAIR (W.B.).
The lemon fruit, 1951, p. 14.
5. CALVARANO (M.) et GALLINO (M.).
Contributo allo studio del limno Galego (*Citrus aurantifolia* SW.)
coltivato in Brasil.
Essenze derivati agrumari, 1975, XLV, n° 3-4, p. 279-291.
6. CALVARANO (I.) et CALVARANO (E.M.).
L'analisi cromatografica nella valutazione dell'essenza di limone.
Essenze derivati agrumari, oct.-dec. 1968, n° 4, p. 216-235
7. CHAPOT (H.) et SCHWOB (R.).
Systématique des Citrus en relation avec leur composition chimique.
Société des Sciences physiques et naturelles du Maroc, XXXV, 1er trim.
8. CHILDS (J.F.L.) et LONG (W.G.).
Two new seedling Persian lime.
Proceedings of the Florida State horticultural Society, 1960, vol. 73.

9. CIERI (U.R.).
Characterisation of the steam non volatile residue of Bergamot Oil and some other essential oils.
J. of the AOAC, 1969, vol. 52, n° 4.
10. COOPER (W.C.) et CHAPOT (H.).
Fruit production with special emphasis on fruit for processing.
In Citrus Science and Technology, 1977, vol. 2, chap. 1, p. 3-6.
11. COOPER (W.C.) et CHAPOT (H.).
id. pp. 71 et 72.
12. Di GIACOMO (A.).
Atherische Agrumenöle (19).
Riechstoffe, Aromen, Körperpflegemittel, 1968, n° 11, p. 462-466.
13. Di GIACOMO (A.) et CALVARANO (M.).
Componenti degli agrumi.
Essenze derivati agrumari, 1970, XL, n° 4, p. 344.
14. Di GIACOMO (A.) et CALVARANO (M.).
L'esame nell'UV dell'essenze di limoni e il controllo della genuinità.
Essenze, derivati agrumi, XLIII, n° 2, 1973, p. 143-147.
15. HARO GUZMAN (L.) et HUET (R.).
L'huile essentielle de lime au Mexique.
Fruits, 1970, vol. 25, n° 12, p. 887-899.
16. HENDRIX (C.M.) Jr., VIALE (E.), JOHNSON (J.D.) et VILECE (R.J.).
Quality control, assurance and evaluation in the Citrus Industry.
In Citrus Science and Technology, 1977, vol. 2, chap. 12, p. 498-499.
17. HUET (R.) et DUPUIS (C.).
Evolution de la composition chimique de l'huile essentielle de clémentine et de l'huile essentielle de bergamote au cours de la croissance du fruit.
La France et ses Parfums, n° 63, 1969, p. 123-130.
18. HUET (R.).
Essai d'introduction d'une industrie de la bergamote au Mali.
Fruits, 1970, vol. 25, n° 10, p. 709-715.
19. KESTERSON (J.W.), EDWARDS (G.J.) et HENDRICKSON (R.).
Confronti spettrofotofluorimetrici et ultravioletti delle essenze di agrumi della Florida, della California, dell'Arizona et del Messico.
Essenze derivati agrumari, XXXIX, n° 31969, p. 129-141.
20. KESTERSON (J.W.), HENDRICKSON (R.) et BRADDOCK (R.J.).
Florida Citrus Oils.
University of Florida, Gainesville, dec. 1971, bull. 749.
21. MALO (S.E.) et CAMPBELL (C.W.).
The Tahiti lime.
Fruit Crop. Fact. Sheet - F FC 8, University of Florida, Inst. of F. and Agric. Sci.
22. MOSHONAS (M.G.) et SHAW (P.E.).
Analysis of flavor constituents from lemon and lime essence.
J. Agr. Food Chem., 1972, vol. 20, n° 5, p. 1029-1030.
23. MUFTHA (A.), AZZOUZ, REINECCIUS (G.A.) et MOSHONAS (M.G.).
Comparison between cold pressed and distilled lime oils through the application of G.C. and M.S.J. of *Food Sci.*, 1976, vol. 41, p. 324-328.
24. ROMOJARO ALMELA (F.).
Aspectos agrobiológicos en la industrialización del limón.
Universidad de Murcia, Fac. des Sciences, Thèse de doctorat.
25. SCORA (R.W.) et MALIK (M.N.).
Chemical characterization of Citrus as a tool in Phylogeny.
Paper 513, XIe Internat. Bot. Congress, 27/8/69, Seattle, USA.
26. SHAW (P.E.) et WILSON (C.W.).
III.- Comparison of extracted peel oil composition and juice flavor for Rough lemon, Persian Lime and Lemon lime Cross.
J. Agric. Food Chem., 1976, vol. 24, n° 3, p. 664-666.
27. SWISHER (H.E.) et SWISHER (L.H.).
Lemon and lime juice processing.
In Citrus Science and Technology, 1977, vol. 2, chap. 5, p. 253-289.
28. ZIEGLER (E.).
Zur Beurteilung von Zitrusölen.
Deutsche Lebensmittel Rundschau, 1970, 66-290.



**HYBRIDES BI OU TRIGENERIQUES
ENTRE PONCIRUS, FORTUNELLA, CITRUS, EREMOCITRUS
ET MICROCITRUS**



LÉGENDE

- FORTUNELLA** = Géniteur
- Citrage = Hybride bigénérique
- Citrangedin** = Hybride trigénérique
- = Hybridation certaine
- = Hybridation présumée