

II - Méthodes de mesure de la couleur ; modifications physiologiques et colorimétriques en cours de conservation.

P. ESTANOVE et Marie-Noëlle COLLIN*

ETUDE DE LA COLORATION DES LIMES

II.- Méthodes de mesure de la couleur : modifications physiologiques et colorimétriques en cours de conservation.

P. ESTANOVE et Marie-Noëlle COLLIN (IRFA).

Fruits, Sep. 1985, vol. 40, n° 9, p. 570-582.

RESUME - Les auteurs ont cherché une méthode simple et sûre pour caractériser la couleur d'un fruit à un moment donné et définir des repères invariables et reproductibles permettant de reconnaître avec suffisamment de précision les principaux stades de coloration au cours de l'évolution de la lime. Les résultats des essais effectués avec un analyseur Digicolor et analysés statistiquement sont présentés.

POINT DE DEPART DE LA RECHERCHE

L'appellation «citron vert» pour les limes (lime Bearss, lime Tahiti, Persian lime) et toute la publicité faite sur ce thème ont énormément contribué à la vulgarisation de ces fruits et au développement de leur commercialisation.

Toutefois on s'aperçoit maintenant que cette appellation de «citron vert» peut avoir des inconvénients car dès que les limes commencent à «tourner», c'est-à-dire à jaunir, les acheteurs assimilant ce changement de couleur à une baisse de qualité, alors qu'il n'en est rien, refusent les fruits, ce qui cause de grosses pertes aux importateurs.

En attendant que les acheteurs deviennent plus raisonnables et se basent dans leur choix sur la qualité gustative et non sur l'apparence, il s'avérerait utile de connaître le seuil à

partir duquel un «citron vert» n'est plus considéré comme vraiment vert, combien de temps s'écoule entre la cueillette et le passage de ce seuil (et les facteurs qui influent sur cette durée) et, enfin, s'il y a des moyens de reculer ce seuil pour augmenter la durée de conservation et de commercialisation.

Pour cela il devenait indispensable de trouver un moyen non destructif d'appréciation de l'état physiologique du fruit au cours de sa conservation et la couleur paraissait devoir être un bon moyen d'appréciation.

Encore fallait-il savoir mesurer et définir la couleur d'un fruit à certains stades de son évolution pouvant servir de points de repère sur son état physiologique.

BUTS DE LA RECHERCHE

Les objectifs que nous nous étions fixés au début de cette recherche étaient au nombre de quatre :

* - IRFA - Domaine de Saint Paul - 84140 MONTFAVET

- trouver une méthode simple et sûre pour caractériser la couleur d'un fruit à un moment donné,
- définir des repères invariables et reproductibles permettant de reconnaître avec suffisamment de précision les principaux stades de coloration au cours de l'évolution du fruit,
- essayer de comprendre et, si possible, de trouver les mécanismes de l'évolution de la couleur des fruits au cours de la conservation,
- rechercher des moyens de retarder l'évolution de la couleur des fruits tout en préservant leurs qualités organoleptiques.

METHODES D'APPRECIATION ET DE MESURE DE LA COULEUR

Lorsqu'il s'agit de juger d'une couleur, plusieurs démarches sont possibles, chacune d'elle présentant à la fois des avantages et des inconvénients.

Pour guider notre choix nous avons envisagé trois possibilités :

- La comparaison : il s'agit de mettre en regard le fruit que l'on étudie avec un nuancier, sorte de palette comportant des échantillons de couleurs ou de nuances de couleurs, et de choisir la teinte du nuancier se rapprochant le plus de la couleur du fruit examiné.

Il existe de nombreux nuanciers selon les différents usages auxquels ils sont destinés.

On connaît le nuancier IRFA (DEULLIN) qui permet d'apprécier la couleur de la pulpe de banane.

Pour les limes, il existe également un nuancier mexicain mais qui ne définit que trois stades de coloration, vert-tournant-jaune, ce qui est tout de même un peu rudimentaire.

A l'opposé, on trouve les nuanciers des fabricants de peintures qui reproduisent des centaines de teintes différentes.

L'avantage du nuancier est d'être facilement transportable pour faire des observations aux champs ou sur les marchés.

Par contre, un gros inconvénient réside dans le fait qu'il est bien rare de trouver une concordance exacte entre le fruit observé et une teinte du nuancier. Il est quelquefois difficile de dire si la couleur du fruit se rapproche plus de la teinte plus foncée ou de la teinte plus claire du nuancier entre lesquelles il paraît se situer.

Ajoutons à cela les difficultés apportées par des éclairages différents.

Dans les nuanciers des fabricants le nombre de teintes très voisines rend toute comparaison très longue et difficile et, finalement, dépend énormément de l'oeil de l'observateur.

Dans ces conditions, et toujours dans l'optique de disposer d'un moyen simple et pratique d'appréciation de la couleur des limes, il faudrait disposer d'un nuancier fixant environ cinq stades de coloration avec cinq teintes aussi proches de la réalité que possible et parfaitement définies pour être reproductibles. Il ne nous semble pas utile de multiplier le nombre des couleurs de référence, car le choix sur le nuancier deviendrait difficile pour l'observateur et les différences de coloration ne seraient pas assez importantes. Les cinq teintes correspondraient alors aux références suivantes : vert - moyen vert - moyen - moyen jaune - jaune.

Cela suppose au préalable que l'on puisse disposer d'un moyen indépendant de la sensibilité de l'expérimentateur pour choisir les stades de coloration des fruits et leur concordance exacte avec un nuancier.

- La synthèse : on sait que les couleurs en général sont dues à la combinaison en différentes proportions des trois couleurs fondamentales : bleu, rouge, jaune.

On a donc pensé à reproduire les couleurs grâce à des appareils comportant des disques colorés, présentant des secteurs variables en dimensions et en couleur, et tournant à grande vitesse.

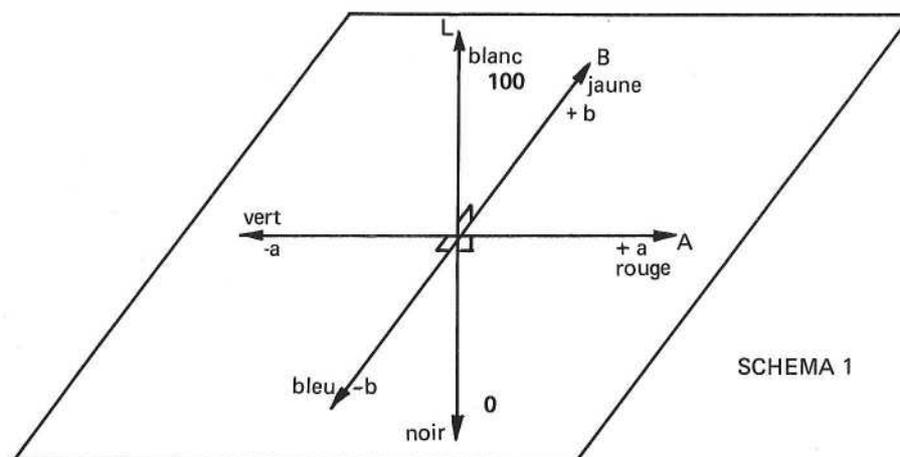
Citons par exemple l'appareil de P. DUPAIGNE (IRFA) et plus récemment l'appareil Polyton dont nous nous sommes servi pour nos premiers essais.

L'avantage de ces appareils synthétiseurs est d'être portatifs mais les comparaisons qu'ils permettent de faire sont somme toute très subjectives et donc pas assez rigoureuses pour servir, par exemple, de références irréfutables dans des transactions commerciales.

- L'analyse : il s'agit ici de mesurer les proportions des différents constituants de la couleur à analyser ce qui permettra ensuite de la situer très exactement par rapport à une couleur de référence dont on connaîtra également les caractéristiques avec une grande précision.

Le principe optique de l'appareil dit tristimuli consiste à recueillir derrière trois filtres sélectifs et à mesurer par des cellules la lumière qui est diffusée par une plage de l'objet à étudier éclairée dans des conditions standard.

Les couleurs peuvent se définir ensuite en utilisant des axes de coordonnées rectangulaires A et B situés dans un même plan tandis que leur luminosité peut être portée sur un axe L perpendiculaire à ce plan (Système L.A.B.) (schéma 1).



L'axe A va du vert (-a) au rouge (+a)
 L'axe B va du bleu (-b) au jaune (+b)
 L'axe L va du noir (0) au blanc (100)

L'appareil utilisé pour caractériser la couleur des échantillons analysés est un Digicolor de Neotec connecté à un ordinateur Apple II et à une imprimante.

Le programme élaboré pour notre étude, pour les mesures de couleurs avec ce dispositif, a été créé par le service de Biométrie de l'IRFA-Montpellier (PERRIER et MUNSCH) et adapté ensuite par VALENTE (IRFA-Montfavet).

Les mesures permettent d'obtenir les coordonnées L, A, B, pour chaque échantillon, puis, pour chaque lot analysé, et pour chaque type de mesure L, A, et B :

- les moyennes
- les variances
- les écarts-types
- les coefficients de variation.

Tous les fruits de chaque lot sont identifiés par un numéro et sur chaque fruit la plage sur laquelle sont effectuées les mesures est entourée d'un cercle de façon à ce que les mesures successives soient toujours faites en un même point, car la couleur du fruit n'est souvent pas homogène d'un point à un autre de sa surface.

Par ailleurs on a cherché une relation entre la couleur mesurée avec le Néotec et les teneurs en composants colorés (chlorophylles, caroténoïdes) du péricarpe des fruits.

Pour cela on a découpé à l'emporte-pièce des rondelles de peau (après mesure au Néotec et de façon à pouvoir rapporter les mesures à l'unité de surface et non au poids des rondelles dont l'épaisseur peut être très variable).

Différentes techniques de dosage des chlorophylles ont été testées, extraction à l'acétone pure, ou à 80 p. 100, ou extraction à l'alcool à 96°.

Les résultats étant tous identiques, nous avons choisi la technique la plus simple qui nous permettait de réaliser le plus grand nombre possible d'extractions, mais qui nous permettait surtout de réaliser à la fois le dosage des chlorophylles et par la suite celui des caroténoïdes.

L'extraction des chlorophylles est effectuée dans de l'acétone pure qui est ramenée à 80 p. 100 en fin d'extraction (BRUISMA).

La chlorophylle *a* a son maximum d'absorption à 645 nm et la *b* à 663 nm. Les coefficients d'extinction des molécules sont calculés dans l'acétone à 80 p. 100. Il suffit donc d'effectuer deux mesures au spectrophotomètre, l'appareil utilisé pour nos mesures est un Lambda 3 de PERKIN ELMER.

Cette technique permet ensuite d'extraire les caroténoïdes à l'éther de pétrole et de les doser à 450 nm.

LES ESSAIS

Au début de cette étude on a opéré sur des échantillons de différentes provenances (CECODIF, Importateur de Saint-Andiol dans le Vaucluse, et IRFA, Martinique et Corse) en essayant de reproduire leurs différentes teintes à l'aide de l'appareil Polyton.

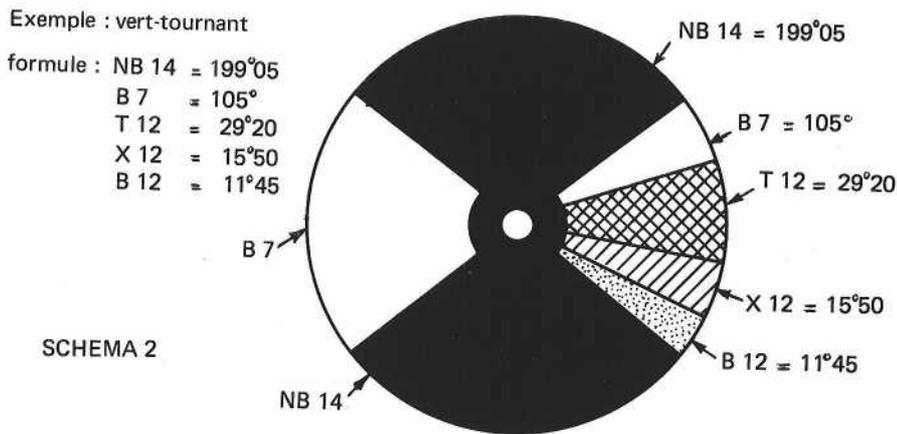
Pour cela nous avons utilisé seulement quatre disques dont on faisait varier le secteur visible :

Deux verts (référence T 12 et X12)

Deux jaunes (référence B 7 et B 12)

et sept doubles secteurs noir brillant (référence NB 8, 10, 12, 14, 16, 18 et 20).

Les disques sont fendus selon un rayon, ce qui permet de les imbriquer les uns dans les autres et de faire varier les angles de recouvrement. Les doubles secteurs noirs ont une forme de papillon et reposent sur l'ensemble des



disques colorés (schéma 2).

Ainsi, par tâtonnements successifs, on a pu définir une formule donnant la couleur de limes vert très foncé, une formule pour la couleur jaune très prononcée et des formules intermédiaires.

A partir de ces mesures, on a établi un abaque (figure 1) définissant 7 stades de coloration mais susceptible de donner également une infinité de stades intermédiaires.

On a constaté néanmoins que la perception des nuances était assez subjective, peu précise, différente d'un observateur à l'autre, variable selon les éclairages, la rugosité et la brillance de la peau, en un mot, pas assez précise et pas assez rigoureuse pour qu'une mesure fiable puisse être obtenue.

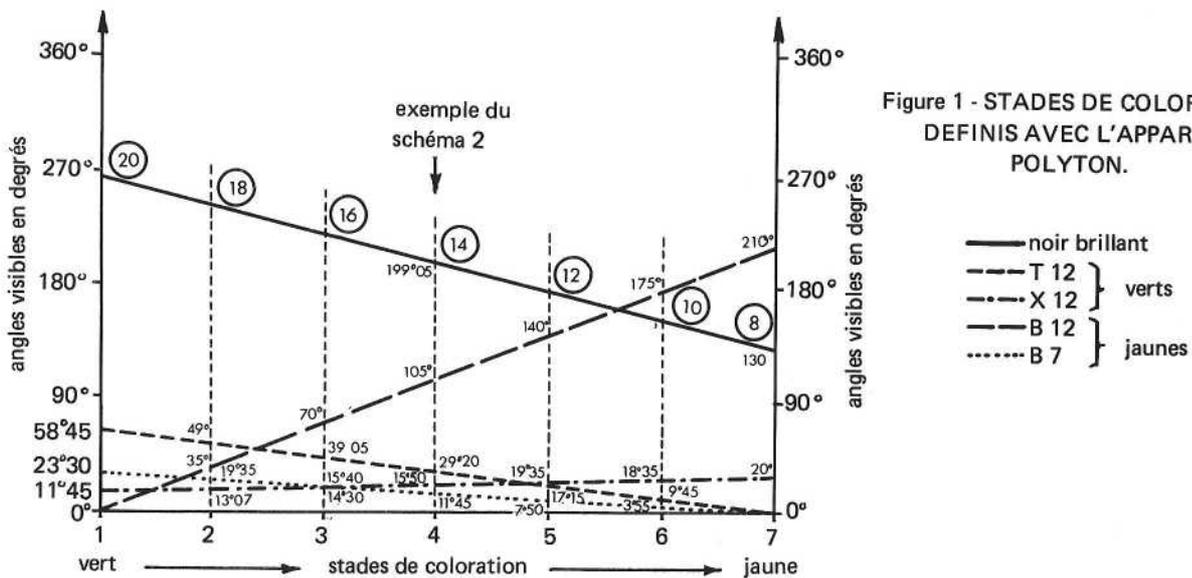
On s'est donc orienté vers une autre méthode d'appréciation de la couleur en utilisant le Digicolor dont on a

déjà exposé le principe et l'on a entrepris une seconde série d'essais.

Dans un premier temps nous avons travaillé sur les échantillons déjà utilisés avec l'appareil Polyton ce qui nous a permis de relier les deux séries d'observations et de constater que les teintes obtenues avec le Polyton étaient «découlées» à la fois vers le vert et vers le jaune, par rapport aux teintes correspondantes des fruits, et que les différents stades de coloration se plaçaient sur une courbe très particulière lorsqu'on les situait par rapport aux coordonnées rectangulaires (axes A et B, vert et jaune) (figure 2).

La méthode s'avéra donc à la fois plus précise et plus rigoureuse et l'on entreprit un véritable essai dans les conditions suivantes :

On divisa les limes en provenance de Martinique (ar-



rivage du 30.11.82) en trois lots égaux et en groupant ensemble les fruits les plus verts, les fruits les plus jaunes et les fruits de teintes intermédiaires.

Les trois lots furent conservés à la température du laboratoire et 5 mesures furent effectuées entre le 30 novembre et le 23 décembre sur chaque fruit.

Les résultats furent portés sur une figure que nous reproduisons schématiquement (figure 3) sur laquelle on a porté également les résultats des mesures effectuées précédemment (provenance CECODIF).

On observa alors que pour certains fruits l'évolution de la couleur suivait parfaitement la courbe figurant sur la figure 2 pour la lime, mais que d'autres fruits, par contre, avaient un comportement différent, ce que l'on représente toujours schématiquement sur la figure 3.

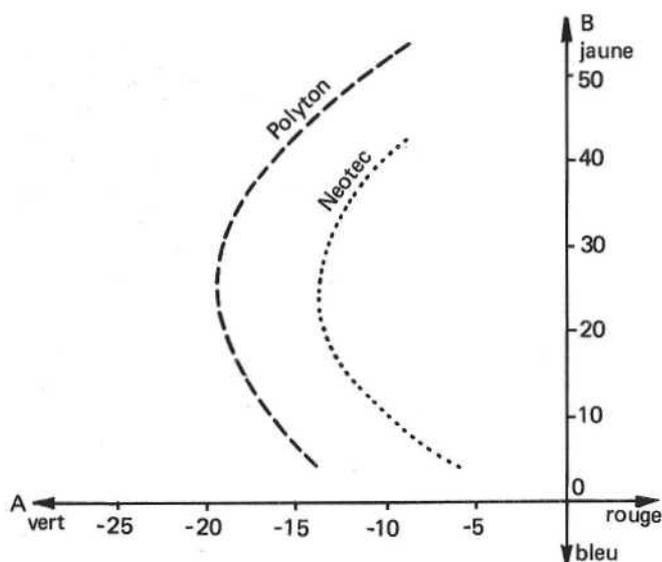
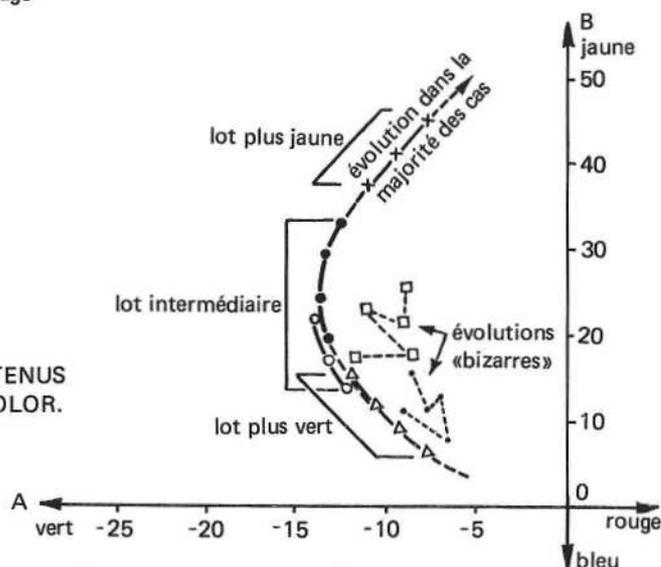


Figure 2 - COMPARAISON DES RESULTATS POLYTON-DIGICOLOR.

Figure 3 - RESULTATS OBTENUS AVEC L'APPAREIL DIGICOLOR.



En essayant de trouver une explication à ces différences de comportement, on s'aperçut que les fruits dont l'évolution semblait «bizarre» provenaient de la CECODIF, alors que les autres provenaient directement de Martinique, et l'on pensa que les différences de comportement pourraient être attribuées à la durée d'entreposage et aux conditions de conservation qui distinguaient les lots d'origine différente.

D'où l'idée de continuer l'expérimentation avec des fruits dont non seulement l'origine serait connue mais également le passé : date de récolte, traitement de conservation, durée et conditions de transport, éventuellement conditions et durée d'entreposage.

C'est ce qui fait l'objet d'une nouvelle série d'essais avec des limes en provenance de Martinique et expédiées par avion le 8 juin 1983.

Les fruits avaient reçu trois traitements de conservation :

1. fruits cirés
2. fruits non cirés
3. fruits non cirés frottés

et furent soumis à des conditions d'entreposage :

- a) à l'air libre et température ambiante du laboratoire,
- b) en chambre froide à 8°C.

A cela s'ajoute pour les lots 1 et 2 (cirés et non cirés) un entreposage en atmosphère enrichie en oxygène à température ambiante et à 8°C (8 p. 100 d'oxygène).

Soient 10 lots observés entre le 8 juin et le 29 juillet (pour les échantillons les mieux conservés).

Les résultats des mesures figurent au tableau 1.

On a noté parallèlement la date à laquelle un lot de fruits pouvait être considéré, dans son ensemble, c'est-à-dire en moyenne et visuellement, comme ayant atteint la «période tournante».

Or il apparaît que cette période correspond à la date à laquelle le rapport b/a devient franchement et définitivement supérieur à |1,20| sans revenir à une valeur inférieure (tableau 2).

Ceci apparaît clairement dans les tableaux 1 et 2.

Par contre, les fluctuations du vert et du jaune toujours liées jusqu'à ce que le rapport b/a atteigne et dépasse la valeur de |1,20|, paraissaient toujours très surprenantes.

On décida donc de refaire un autre essai mais en limitant le nombre de traitements et en augmentant si possible le nombre de fruits de chaque lot.

L'essai se déroule dans les conditions ci-après :

Fruits en provenance de Martinique, récoltés 15 semaines après floraison, expédiés par avion immédiatement et reçus sept jours après, le 7 février 1984.

ESSAIS : Les fruits sont divisés en 4 lots pour étudier quatre modes de conservation :

- lot 1 : à l'air libre et à température ambiante
- lot 2 : à l'air libre et à 8°C (chambre froide)
- lot 3 : en sachet polyéthylène et à température ambiante
- lot 4 : en sachet polyéthylène et à 8°C.

Les échantillons sont analysés, fruit par fruit, en principe deux fois par semaine (11 fruits par lot).

Les mesures donnent pour chaque lot :

TABLEAU 1 - Moyennes des mesures pour chaque traitement.

Réf.	Traitements	Mesures	8 juin	20 juin	29 juillet
1 a	ciré θ° amb.	L	62,4	64,6	
		A	-23,1	-18,7	
		B	22,9	22,6	
1 b	ciré 8°C	L	61,2	59,7	64,58
		A	-23,1	-16,1	-22,69
		B	21,5	15,9	25,94
2 a	non ciré θ° amb.	L	60,9	64,6	
		A	-18,1	-16,6	
		B	18,8	22,1	
2 b	non ciré 8°C	L	60,2	59,1	65,38
		A	-20,2	-14,8	-26,62
		B	19,0	15,0	28,40
3 a	ciré - O ₂ θ° amb.	L	61,7	65,0	
		A	-21,3	-18,4	
		B	21,4	23,5	
3 b	ciré - O ₂ 8°C	L	61,6	60,0	69,14
		A	-21,3	-11,6	-25,44
		B	21,2	14,3	33,09
4 a	non ciré - O ₂ θ° amb.	L	63,0	64,9	
		A	-22,9	-19,6	
		B	24,3	24,6	
4 b	non ciré - O ₂ 8°C	L	61,7	60,0	66,22
		A	-22,1	-13,0	-24,48
		B	21,3	15,0	28,64
5 a	non ciré - frotté θ° amb.	L	58,6	62,4	
		A	-16,1	-16,8	
		B	16,3	19,4	
5 b	non ciré - frotté 8°C	L	60,4	60,4	67,31
		A	-19,9	-14,6	-24,51
		B	20,1	17,1	30,22

- valeurs l, a, b de L, A et B pour chaque fruit
- moyenne, variance, écart-type, et coefficient de variation pour L, A et B.

Le tableau 3 est présenté à titre d'exemple.

On suit également l'évolution du poids de chaque lot.

Résultats.

Les résultats obtenus ont été indiqués sur les figures 4 à 7. où les valeurs mesurées sont portées en fonction des dates d'observation.

On remarque tout d'abord que la mise en sachets a une grande influence sur la limitation de perte de poids des fruits.

La valeur de L est directement proportionnelle à celle de b.

TABLEAU 2 - Moyennes des rapports b/a pour chaque traitement ESSAI N° 20, du 7.2.84 - 11 échantillons analysés

Réf.	Traitements	Mesures	8 juin	20 juin	29 juillet
1a	ciré θ amb.	b/a	1,0	1,2	
1 b	ciré 8°C	b/a	1,0	1,0	1,1
2 a	non ciré θ amb.	b/a	1,0	1,3	
2 b	non ciré 8°C	b/a	1,0	1,0	1,1
3 a	ciré - O ₂ θ amb.	b/a	1,0	1,3	
3 b	ciré - O ₂ 8°C	b/a	1,0	1,2	1,3
4 a	non ciré - O ₂ θ amb.	b/a	1,1	1,3	
4 b	non ciré - O ₂ 8°C	b/a	1,0	1,1	1,2
5 a	non ciré - frotté θ amb.	b/a	1,0	1,2	
5 b	non ciré- frotté 8°C	b/a	1,0	1,2	1,2

Quant à la coloration des fruits, si l'on se base uniquement sur la mesure de la couleur verte et de la couleur jaune, on observe que les variations de ces deux couleurs semblent assez erratiques.

On note en effet, comme dans les essais précédents, que les deux couleurs passent successivement par des maxima et des minima et ceci quel que soit le traitement et quelquefois même simultanément pour chaque traitement.

On a donc essayé à nouveau de figurer les valeurs du rapport b/a, c'est-à-dire la proportion de jaune et de vert, en fonction de la durée de l'entreposage (figure 8).

Ces résultats confirment que les limes sont considérées comme tournantes lorsque le rapport b/a atteint la valeur [1,20].

Dans les cas observés, les limes conservées à l'air libre et à température ambiante avaient tourné trois jours après le début des essais, les limes à l'air et à 8°C et les limes en sachet et à température ambiante après 24 jours, tandis

TABLEAU 3 - Exemple de fiche d'expérimentation obtenue après passage des échantillons au Digicolor et informatisation.

	L	A	B
1	55.83	- 7.93	7.04
2	57.28	- 8.22	8.88
3	56.20	- 9.45	7.65
4	57.03	- 8.18	8.34
5	57.06	- 9.08	9.15
6	60.64	-11.73	14.85
7	56.37	- 8.80	7.48
8	57.13	- 7.61	8.43
9	56.88	-10.69	9.09
10	56.32	- 9.18	9.24
11	57.35	-10.63	9,86
Moyennes	57.07	- 9.23	9.09
Variances	1.67	1.70	4.37
Ecart-type	1.29	1.31	2.09
C.V.	2.27	-14.15	22.99

que les limes en sachets à 8°C n'avaient pas encore «tourné» à l'arrêt de l'essai au bout de 78 jours.

On voit déjà là qu'il y avait une bonne relation entre la couleur des fruits et leur état de conservation. Cependant, les variations relatives de «l'intensité» ou de la «densité» du vert et du jaune restaient toujours aussi surprenantes.

Pour confirmer les résultats obtenus, et essayer de mieux appréhender le problème de l'appréciation des couleurs de la lime et de ses relations avec son évolution physiologique au cours de la conservation, un dernier essai fut entrepris avec des limes en provenance de Martinique dans les mêmes conditions que l'envoi précédent et reçues à Montfavet le 5 avril 1984.

L'essai comportait 3 traitements :

1. un témoin non emballé
2. un échantillon emballé en sachet de polyéthylène de 50 μ d'épaisseur
3. un échantillon emballé en sachet de polyéthylène de 90 μ d'épaisseur

et deux modes de conservation :

- a) conservation à température ambiante du laboratoire
- b) conservation en chambre froide à 8°C

soit 6 lots observés dans toute la mesure du possible deux fois par semaine entre le 5 avril et le 5 juin 1984.

Dans ce dernier essai, nous avons travaillé sur les résultats obtenus fruit par fruit et non plus sur les moyennes des différents lots de fruits.

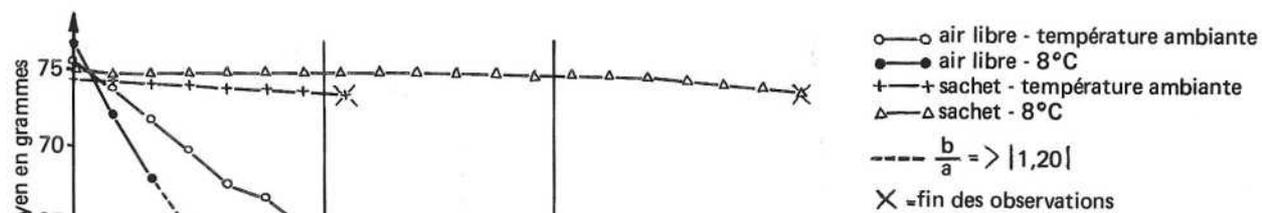


Figure 4 - EVOLUTION DU POIDS MOYEN D'UNE LIME POUR CHAQUE TRAITEMENT.

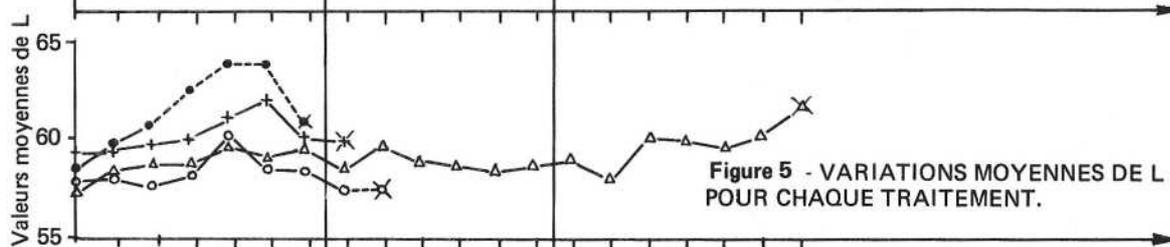


Figure 5 - VARIATIONS MOYENNES DE L POUR CHAQUE TRAITEMENT.

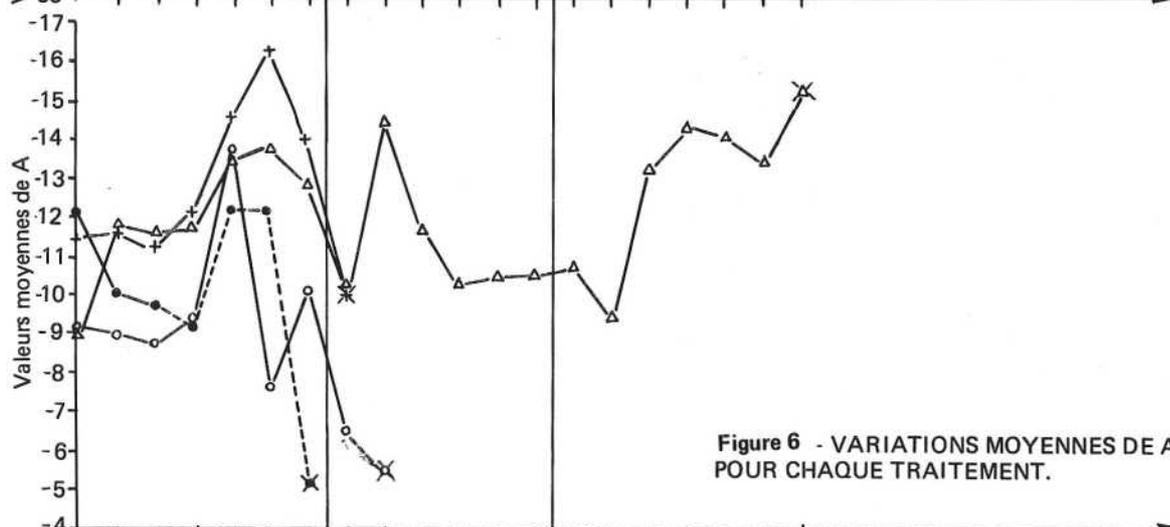


Figure 6 - VARIATIONS MOYENNES DE A POUR CHAQUE TRAITEMENT.

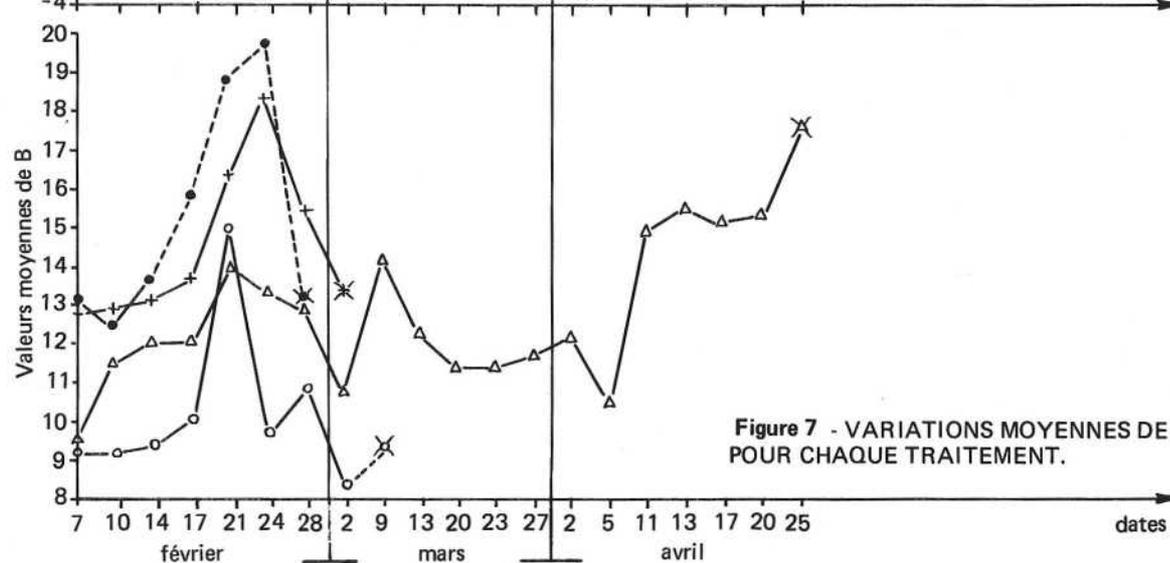
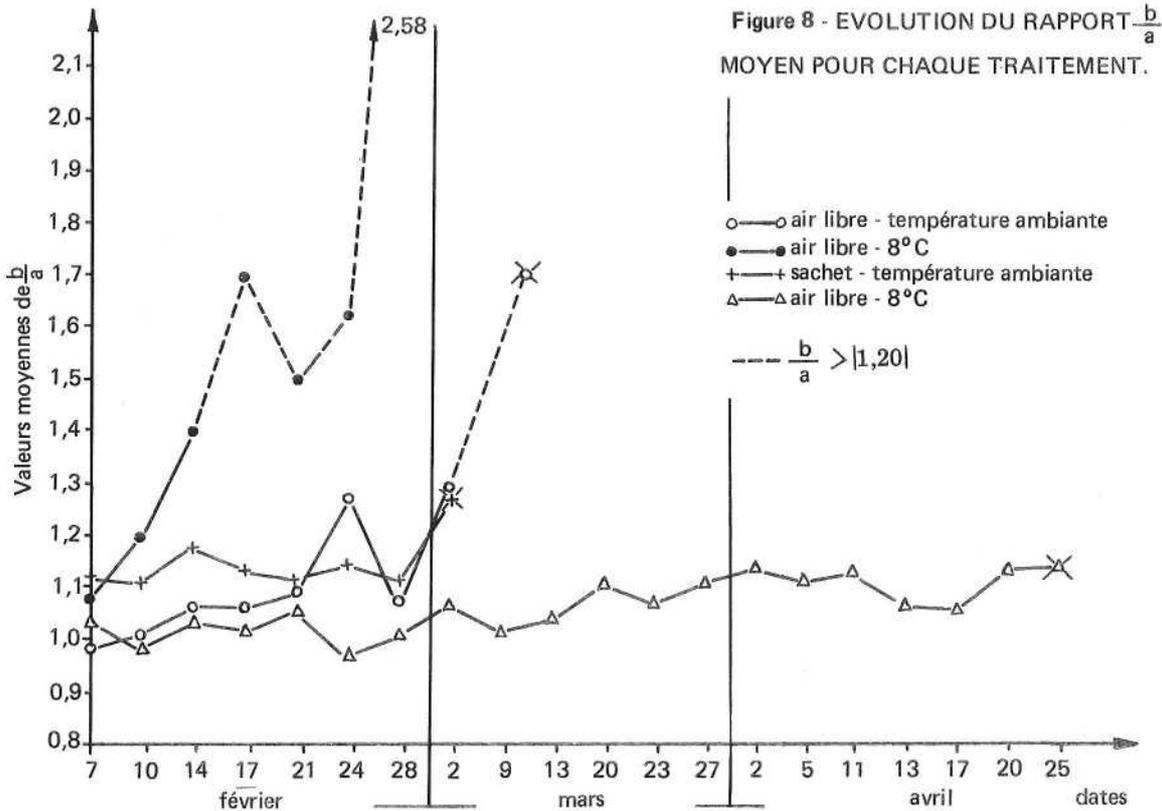


Figure 7 - VARIATIONS MOYENNES DE B POUR CHAQUE TRAITEMENT.



En traçant systématiquement toutes les valeurs obtenues avec le Digicolor et pour chaque lot de fruits, a en fonction de b, nous avons pu constater que les fluctuations que nous avons déjà observées lors des essais précédents étaient bien confirmées. Mais l'utilisation des résultats fruit par fruit permettait de mettre en évidence le fait que ces variations suivaient une droite de pente constante quel que soit le traitement pendant toute la durée de l'évolution jusqu'à ce que le rapport b/a soit sensiblement égal à $[1,20]$.

L'équation de la droite est la suivante :

$$b = -0,89 a + 1,874$$

Cette équation a été calculée et vérifiée sur 2 200 données, le coefficient de corrélation de la régression linéaire est compris entre -0,80 et -0,90 ce qui signifie que les résultats sont significatifs à plus de 0,01.

Ceci nous permet de vérifier que, quel que soit le traitement, les lots homogènes au départ, deviennent plus ou moins hétérogènes au cours de la conservation, ce qui tendrait à montrer que les fruits n'évoluent pas à la même vitesse et ce qui explique que les moyennes ne sont pas représentatives du phénomène d'évolution des lots.

Par contre, on vérifie parfaitement que les fruits sont considérés comme tournants lorsque pour chacun le rapport b/a devient supérieur à $[1,20]$.

Dès ce moment l'évolution de la couleur suit une autre courbe qu'il a été possible de calculer théoriquement d'après les analyses statistiques et dont l'équation est alors :

$$a = 0,025 b^2 - 1,2 b + 0,5 \text{ (figure 13).}$$

Cependant on remarque que ce comportement n'est valable que jusqu'à une certaine valeur de b. Cette constatation nous a amené à penser que les recherches doivent être poursuivies afin de pouvoir réajuster la courbe dans les tout derniers stades de conservation (limes très jaunes).

L'état d'avancement de nos travaux ne nous permet pas encore de tirer de conclusions définitives sur ce dernier point.

Les figures 9 à 12 reproduisent une partie des données qui nous ont permis de tirer ces conclusions.

Sur ces graphiques figurent toutes les valeurs des mesures effectuées entre le 5.04 et le 5.06.1984.

C'est à partir des 2 200 données dont nous disposons qu'a été établie la figure 13 qui résume les conclusions de nos travaux.

Figure 9 - EVOLUTION DE LA COULEUR, COORDONNEES a et b AU COURS D'UNE CONSERVATION SOUS FILM 50 μ A TEMPERATURE AMBIANTE.

Droite de régression
 $y_0 = 1,0561$
 $p = -0,9504$
 $cc = -0,9070$

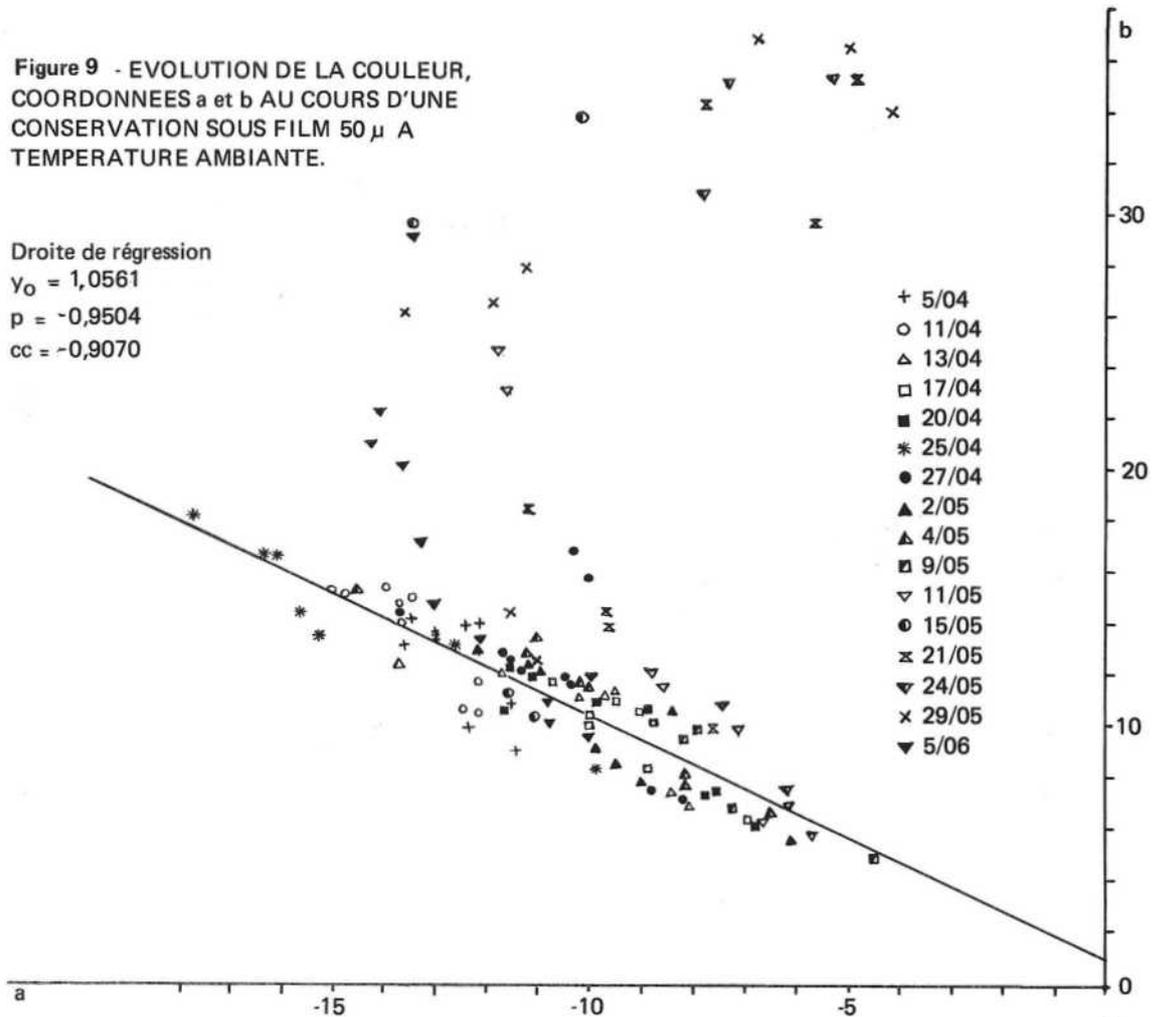
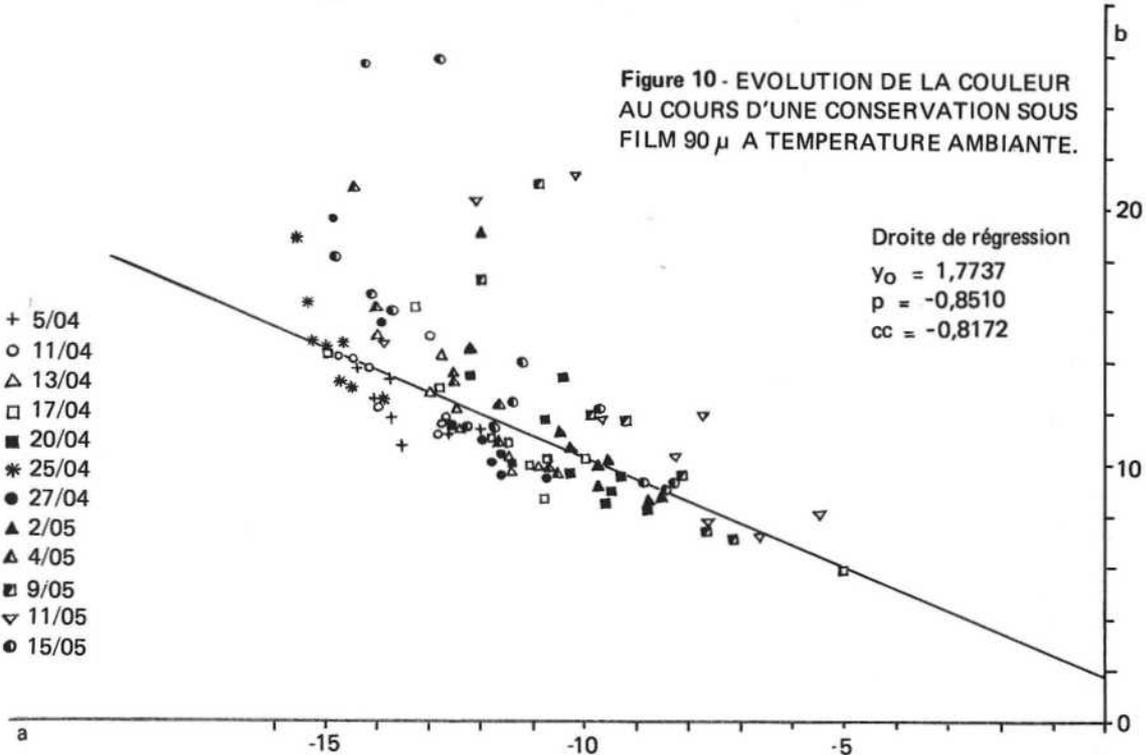
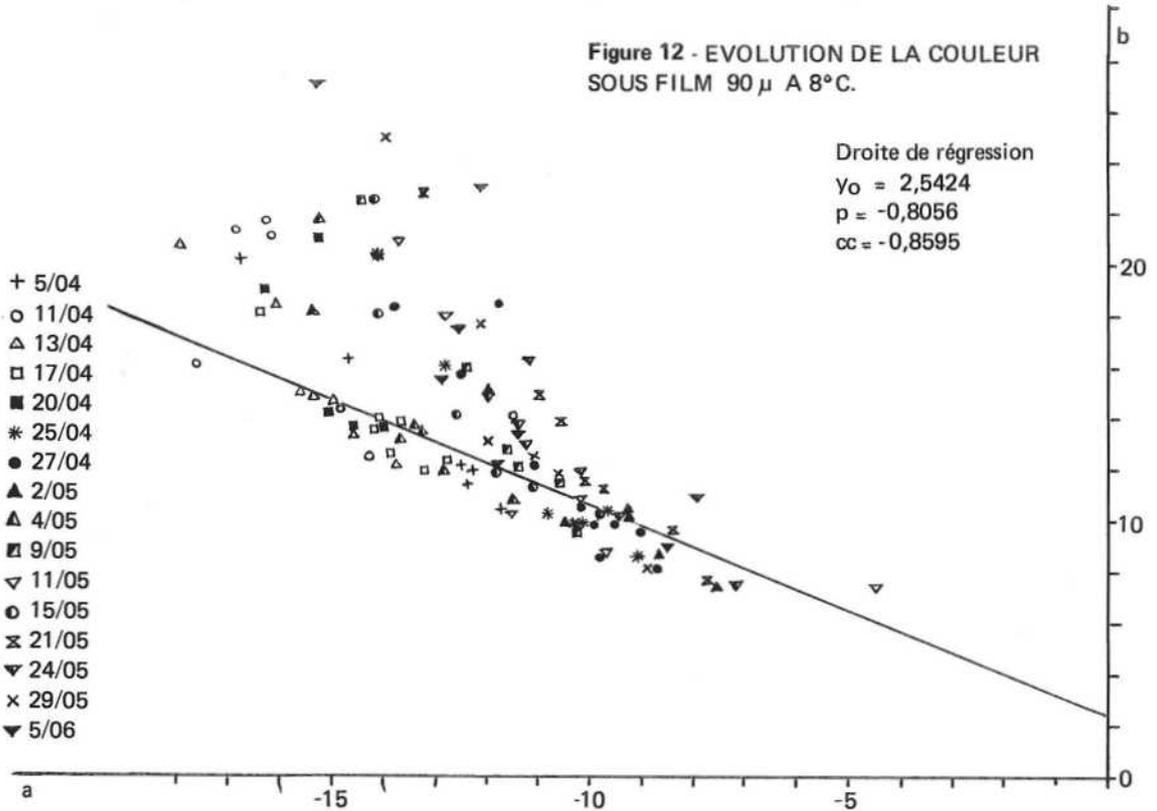
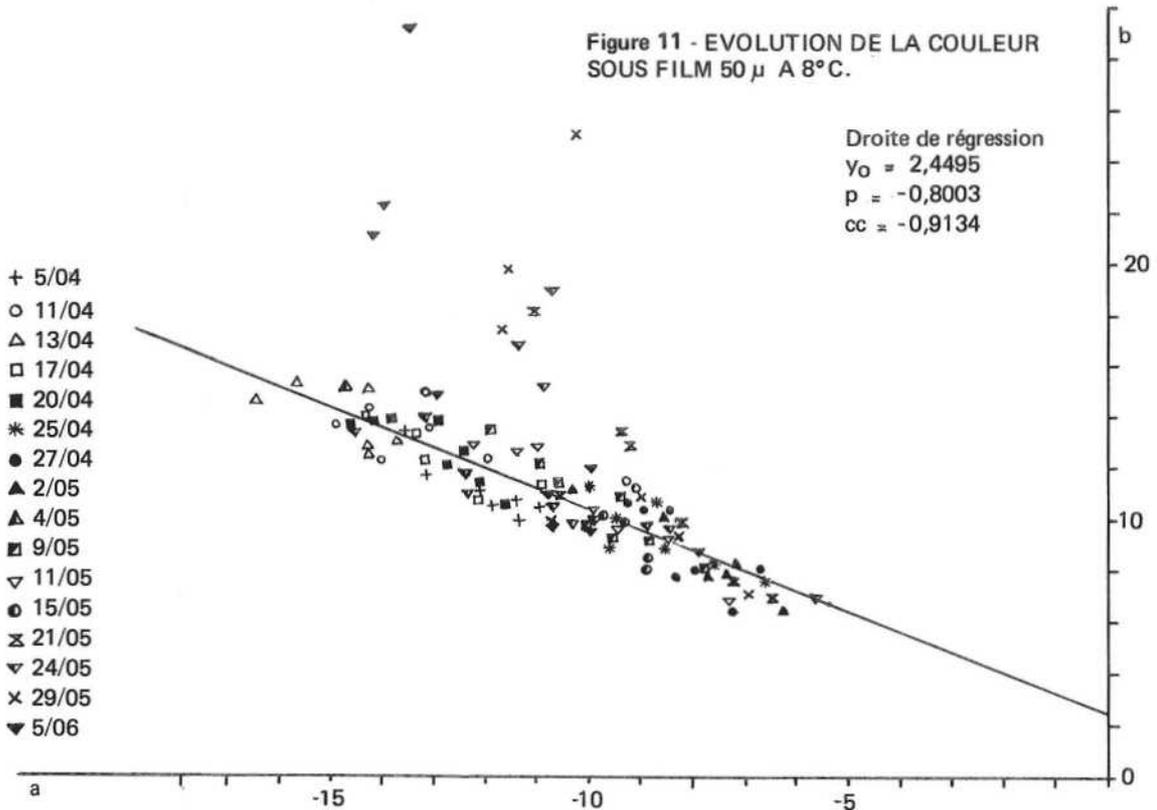


Figure 10 - EVOLUTION DE LA COULEUR AU COURS D'UNE CONSERVATION SOUS FILM 90 μ A TEMPERATURE AMBIANTE.

Droite de régression
 $y_0 = 1,7737$
 $p = -0,8510$
 $cc = -0,8172$

- + 5/04
- 11/04
- △ 13/04
- 17/04
- 20/04
- * 25/04
- 27/04
- ▲ 2/05
- ▲ 4/05
- ▣ 9/05
- ▽ 11/05
- 15/05





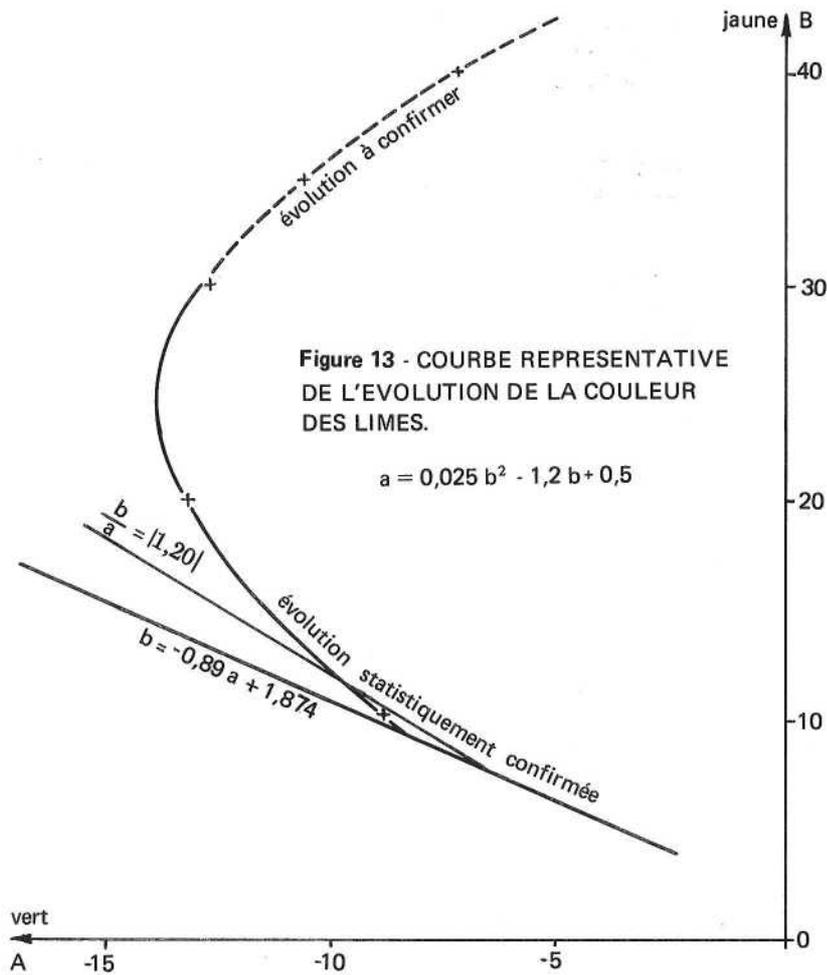


Figure 13 - COURBE REPRESENTATIVE DE L'EVOLUTION DE LA COULEUR DES LIMES.

$$a = 0,025 b^2 - 1,2 b + 0,5$$

Sur cette représentation ont été portées dans la limite des valeurs mesurées de a et de b :

1. la droite $b = -0,89 a + 1,874$ représentative des variations de couleur pendant la période où les fruits sont considérés comme VERTS.
- 2 la droite représentative du rapport $b/a = |1,20|$ marquant la période pendant laquelle les fruits sont considérés comme TOURNANTS.
3. la courbe représentative du jaunissement dont la partie terminale demandant encore quelques confirmations figure en pointillés.

RAPPORT APPRECIATION DE LA MESURE DE LA COULEUR AVEC LES PIGMENTS

Après avoir obtenu les courbes traduisant l'évolution de la couleur telle qu'elle est perçue au cours de l'entreposage, on a essayé de voir s'il existait une corrélation entre cette

appréciation et les teneurs en différents pigments du péricarpe des fruits.

Pour cela, nous avons procédé à l'extraction des chlorophylles et des caroténoïdes selon les techniques décrites au chapitre «Méthodes d'appréciation de la couleur».

On a alors constaté que, contrairement à ce que l'on pouvait supposer, les chlorophylles ne diminuaient pas au profit des caroténoïdes lorsque la couleur des limes passait du vert au jaune au cours de l'entreposage. En effet, on constate que les caroténoïdes comme les chlorophylles disparaissent progressivement durant cette période. Par contre, on observe que les chlorophylles qui, à l'origine, sont en plus grande proportion lorsque les limes sont vertes, disparaissent plus rapidement que les caroténoïdes, ce qui inverse le rapport chlorophylles/caroténoïdes qui prend alors une valeur sensiblement inférieure à 0,8.

C'est au point d'inversion de ce rapport que l'on pense pouvoir situer le stade tournant des fruits.

Cependant il est important de vérifier si ce point d'inversion du rapport correspond exactement au point où le stade tournant devient perceptible à l'oeil et où le rapport b/a devient supérieur à $|1,20|$.

Cette recherche fait l'objet des travaux que nous poursuivons sur ce sujet et dont les résultats seront communiqués ultérieurement.

Nous pouvons cependant penser d'ores et déjà que la relation escomptée existe réellement puisqu'elle est corroborée par les quelques mesures que nous avons pu effectuer.

CREATION D'UN NUANCIER

Revenant à notre idée première d'essayer de trouver un moyen simple, fiable, et facilement utilisable sur les points de production et de commercialisation, il nous est apparu nécessaire, dans la mesure du possible, de revenir au nuancier, mais par une nouvelle approche.

Les méthodes par comparaison ou par synthèse s'étant avérées inexploitable, comme nous l'avons vu précédemment, pour l'établissement d'un nuancier, nous avons adopté une troisième méthode.

Pour cela nous avons utilisé un nuancier très complet, d'un fabricant de peintures dont nous avons analysé un grand nombre de teintes dans les gammes de couleur allant du vert au jaune.

Possédant les valeurs L, a et b, des différents coloris retenus (100 échantillons), nous les avons reportés sur la figure 13 ce qui a permis de conserver les teintes dont les points représentatifs se situent sur la courbe.

Dans ces conditions il devient possible de créer un nuancier comportant au minimum 4 ou 5 teintes, repérées parfaitement par les références du fabricant, représentatives des différents stades de coloration des limes (ce qui paraît suffisant) et même de retenir des teintes intermédiaires si cela s'avérait utile.

CONCLUSION

Sans présumer des résultats que nous pensons pouvoir obtenir en poursuivant cette étude, il est dès maintenant possible d'en tirer quelques certitudes.

Nous ne reviendrons pas sur la confirmation des effets bénéfiques de l'ensachage sur la perte de poids des fruits et sur la conservation de la coloration, ni sur la température de 8°C qui est la mieux adaptée à la conservation de la lime à l'exclusion de tout autre traitement (tels que le cirage ou le lustrage).

Quant à l'appréciation de la coloration de la lime, nous pensons avoir montré qu'elle peut être caractérisée de façon très précise et peut ainsi donner des indications sur l'aptitude des fruits à une conservation plus ou moins longue.

Par ailleurs, tout en poursuivant nos recherches sur l'évolution des pigments au cours de la conservation, nous cherchons s'il est possible d'en comprendre les mécanismes et, cela étant acquis, s'il est possible d'influer sur ces mécanismes afin de conserver aussi longtemps que possible son label de qualité au «citron vert».

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la CECODIF en la personne de Monsieur PEYRAL ainsi que Monsieur CHAUPIN (IRFA Martinique) pour l'aide appréciable qu'ils nous ont apportée en mettant à notre disposition les fruits nécessaires à notre étude.

Nous remercions également la société Moulet à Avignon pour nous avoir aimablement communiqué leur nuancier.

Nous remercions enfin nos collègues de l'IRFA pour l'aide apportée dans l'établissement du programme informatique.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUISMA (J.).
The quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts. *Photochem. and Photobiol. (chlor. Metabol. Sym.)*, 1963, vol. 2, p. 241-249, Pergamon Press Ltd.
- BRUISMA (J.).
A comment on the spectrophotometric determination of chlorophylls. *Biochim. Biophys. Acta*, 52, 1971, p. 576-578.
- CZABAFFY (A.).
Attempts to elaborate a non-destructive optical method for measuring cherry ripeness. *Acta aliment. (Bp)*, ISSN 0139-3006, HUN, 1984, 13, (1), p.83-95.
- DEULLIN (R.).
Mesure de la couleur de la pulpe de la banane en phase préclimac-térique. *Fruits*, 1963, 18 (1), p. 23-26.
- DUPAIGNE (P.).
Un nouvel appareil de détermination de la couleur des produits de la tomate. *Fruits*, 1953, 8, (6), p. 260-265.
- MAURIZIO (S.) et LIVIO (F.).
Valuzione del colore nei vegetali : densitometro portatile e possibilità di applicazione. *Ind. aliment. (Pinerolo)*, ISSN 0019-901 X, ITA (1984), 23, (214), p. 210-214.
- STEWART (I.) et LEUENBERGER (U.B.).
Citrus color. *Alimenta*, 15, 1976, p. 33-36.
- STEWART (I.) et WHEATON (T.A.).
Effects of ethylene and temperature on carotenoid pigmentation of Citrus peel. *Florida State horticultural Society*, 1971, (84), p. 264-266.
- VERNON (Leo P.).
Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plants extracts. *Analytical Chemistry*, Aug. 1960, vol. 32 (9), p. 1144-1150.
- WAGNER (C.J. Jr.) et BRUSLIG (B.S.).
Instrument for color grading orange juices. *Citrus Technology Conference (1983), Lake Alfred, USA.*