

Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol., n° 7 - avril 1969.

## ABSORPTION DE L'EAU PAR LES NOIX DE PALME (*Elaeis guineensis* Jacq. var. *Dura* Becc.)

### III. — VITESSE DE PÉNÉTRATION DE L'EAU

PAR

**H. RABÉCHAULT, G. GUÉNIN et J. AHÉE\***

#### RÉSUMÉ

*L'absorption de l'eau par les différentes parties de la noix de palme, varie dans le temps. L'absorption a lieu en trois phases pour la noix entière, la coque et l'embryon : une phase exponentielle, une phase de stabilité et une phase linéaire pour lesquelles des relations mathématiques ont été calculées.*

*Pour la phase exponentielle, le meilleur ajustement était obtenu avec une courbe de la forme  $E = Ae^{-\frac{k}{t}}$  pour l'embryon et  $E = Ae^{-\frac{k}{\sqrt{t}}}$  pour la noix entière et la coque.*

*L'albumen ne présente pas les deux premières phases ; l'absorption de l'eau s'effectue selon une relation linéaire dès le départ.*

#### SUMMARY

*The absorption of water by the different parts of the oil palm nut is variable in the time. Three phases have been observed for the complet nut, the shell and the embryo : an exponential phase, a phase of stability and a linear phase. For the exponential phase the best mathematical ajustement were obtained with the relations  $E = Ae^{-\frac{k}{t}}$  for the embryo and  $E = Ae^{-\frac{k}{\sqrt{t}}}$  for the complet nut and the shell.*

*The albumen is effected by the phase only.*

---

(\*) Nous sommes infiniment reconnaissants à M. le Professeur P. CHAMPAGNAT pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à notre travail. MM. BACHY, DE BERCHOUX et BENARD, spécialistes du Palmier à huile à l'I.R.H.O., nous ont procuré le matériel nécessaire à nos expériences, nous les en remercions vivement. Enfin notre gratitude va également à notre collègue et ami DÉJARDIN, chef du Service de Biométrie de l'O.R.S.T.O.M., ainsi qu'à ses collaboratrices, M<sup>me</sup> ANDRÉ, M<sup>me</sup> SCHWARTZ et M<sup>lle</sup> CHAUME. Leur aide efficace, et leurs précieux conseils ont permis l'interprétation mathématique de nos observations.

L'état d'hydratation des différentes parties de noix de palme amenées par trempage à des teneurs en eau globale de 14, 17 et 21,5 % par rapport à la matière sèche a été étudié précédemment (RABÉCHAULT et al, 1967). Pour atteindre ces trois hydratations, un trempage de 3, 18 et 118 heures à 27° C et à l'obscurité était nécessaire pour les graines utilisées. Les quantités d'eau absorbées par la coque et l'amande pour les temps de trempage considérés étaient voisines de celles de la noix entière (teneur globale), tandis que celles de l'embryon pour le temps de trempage le plus long atteignaient 134 à 135 %.

Ces résultats nous indiquaient non seulement que la teneur en eau augmentait rapidement avec le temps de trempage, mais aussi que la vitesse d'absorption était différente selon les différentes parties de la graine. Ainsi, après avoir examiné comment l'eau pénètre et chemine dans la graine (RABÉCHAULT, 1969), il nous a semblé intéressant de connaître comment et à quelle vitesse s'effectuait l'hydratation en fonction du temps de trempage.

Il existe de nombreux travaux sur l'absorption de l'eau par les graines mais, parce que les auteurs ne se sont pas toujours placés dans les mêmes conditions, leurs conclusions ont été souvent contradictoires.

On peut distinguer trois catégories de recherches dans ce domaine :

1) La plus importante concerne celles relatives au stockage. Ces travaux sont surtout l'œuvre des technologistes qui ont considéré les graines comme un matériau hygroscopique qu'il faut préserver de la détérioration des qualités alimentaires (ACKER 1958, AYERST 1965, HENDERSON 1952, NATRAJAN et al 1961, SMITH 1947, WILBAUX et HAHN 1966). Mais parfois il s'agissait aussi de rechercher la meilleure teneur en eau des graines ou hygrométrie optima permettant de conserver le plus longtemps possible la faculté germinative (ROBERTS 1960, REES 1957, 1962, 1965).

2) Une autre catégorie réunit les travaux relatifs à la radiosensibilité des semences en fonction de leur teneur en eau. Il existe en effet des teneurs optima caractéristiques de chaque espèce ou variété pour lesquelles la graine est très ou peu sensible aux radiations (rayons X ou radiations atomiques). Une importante bibliographie a été réunie sur ce sujet par HOUBEN (1966).

3) Enfin des études moins nombreuses ont été consacrées à la détermination de la teneur minima en eau du sol et des graines qui permet la germination ou de la vitesse de l'absorption de l'eau qui précède ce phénomène biologique (BARTON 1941 a et b, DONEEN et Mc GILLIVRAY 1943, DUPRIEZ 1962, LINKO 1960, OWEN 1952, PETERS 1920, STILES 1948, 1949, etc.).

Entre ces trois orientations, il n'y a pas eu de cloisonnement absolu, les technologistes ont pu bénéficier des travaux mathématiques sur la dynamique de l'absorption de l'eau et du gonflement des substances inertes comme les hauts polymères (FAN et al 1961, IRANY 1941, KÜHNE et KAUSCH 1961, 1964, 1965, REHAGE et ERNST 1964), tandis que les biologistes ont tenté souvent d'adapter à leurs résultats les relations découvertes par les technologistes. De telles extrapolations n'ont pas toujours cependant été heureuses parce que les résultats ont été obtenus dans un but, un état d'esprit et avec des matériaux (ou des graines) et des techniques différentes.

#### PHASES DE L'ABSORPTION DE L'EAU.

L'absorption de l'eau par les graines n'est pas un phénomène continu. C'est un botaniste, ATKINS (1909), qui s'en est aperçu le premier. Goo (1951) chez les graines d'arbres forestiers a décrit deux phases successives : une phase d'imbibition rapide et

une phase métabolique. Cette observation a été confirmée plus tard par plusieurs auteurs (MONTANEZ 1957 chez l'arachide, DUPRIEZ 1962 chez le caféier).

La phase initiale dite d'*Imbibition* est celle qui a fait l'objet des plus nombreuses recherches. Les technologistes ont étudié l'absorption de l'eau (sorption) ou la perte d'eau (désorption) des graines (stockées) en atmosphères plus ou moins humides (humidité relative) en vue du stockage des graines. Ils ont en général constaté que, dans ce cas, les courbes de sorption et de désorption étaient des sigmoïdes et que celles de désorption présentaient toujours un certain hysteresis.

Les technologistes ont souvent oublié l'aspect biologique du problème en considérant la graine comme un matériau hygroscopique mort auquel ils ont appliqué des modèles mathématiques obtenus grâce à des observations effectuées sur l'absorption de l'eau ou le gonflement de hauts polymères, comme les matières plastiques (IRANY 1941, FAN et al 1961, KÜHNE 1964, 1965, KÜHNE et KAUSCH 1961, 1965, REHAGE et ERNST 1964, 1964 a et b.). HOUBEN (1966) a donné une bonne mise au point sur ces travaux.

L'énergie cinétique de la pénétration de l'eau est proportionnelle à la température absolue, tandis que la vitesse moléculaire varie comme la racine carrée de la température absolue (MAYER et POLJAKOFF-MAYBER 1963).

Les études sur la dynamique de l'absorption de l'eau ont amené la plupart du temps les auteurs à la découverte de formules inutilisables parce que trop complexes comme celle de la quantité d'eau absorbée par l'unité de temps citée par HOUBEN (1966).

$$d_t m = \pi^2 \cdot d^{-2} \cdot D_0 (m_g m) e^{-E_a (m)/RT}$$

où  $\pi^2 \cdot d^{-2}$  représente le diamètre des particules,  $m_g$  la quantité d'eau maximum absorbable,  $D_0$  le coefficient de diffusion à température infinie,  $R$  la constante des gaz parfaits,  $E_a$  l'énergie d'activation,  $T$  la température absolue.

HOUBEN (*loc. cit.*) remarque en effet que des facteurs comme la teneur moyenne des graines utilisée par des théoriciens comme KÜHNE et KAUSCH (1961, 1964, 1965) sont eux-mêmes complexes. L'eau dans des graines homogènes ne se porte pas en même temps dans toutes les parties. Ainsi, il a observé chez le petit pois une imbibition par zones.

Les auteurs sont d'accord pour dire que la phase d'imbibition est régie par des lois purement physiques mais ils sont loin d'être d'accord sur l'importance de l'effet produit. BROWN et WORLEY (1912) ont trouvé que la vitesse d'absorption de l'eau était une *fonction exponentielle de la température*. Mais pour SHULL (1920) la quantité d'eau absorbée à un moment donné serait une *fonction exponentielle inverse* qui dépend surtout de la quantité déjà absorbée.

SMITH (1947) a proposé la formule :

$$W = a + b \ln (1 - a_w)$$

dans laquelle  $W$  est le poids d'eau absorbée par un matériau en *atmosphère humide par rapport à son poids frais*,  $a$  et  $b$  des constantes qui dépendent de chaque matériau,  $a_w$  l'énergie de pénétration de l'eau (water activity). Il a pu appliquer cette formule à divers polymères.

HENDERSON (1952) a conçu une autre relation :

$$1 - a_w = \exp.(-k t M^n)$$

où  $t$  représente la température absolue,  $M$  le pourcentage d'eau par *rapport au poids sec*,  $k$  et  $n$  des constantes caractéristiques de chaque matériau.

AYERST (1965) a pu adopter la formule de SMITH pour le blé en atmosphère humide, mais il a observé pour d'autres graines des déviations systématiques bien plus impor-

tantes que l'erreur expérimentale. La formule de HENDERSON ne convenait à aucune des graines examinées par cet auteur (arachide, café, piment, poivre, etc.). Selon WILBAUX et HAHN (1966), les formules de SMITH et de HENDERSON peuvent être appliquées dans certaines limites au café vert.

En fait, aucun modèle mathématique n'a pu encore rendre parfaitement compte de l'évolution de l'absorption de l'eau pendant toute la durée du phénomène.

Remarquons aussi que ces résultats ont trait pour la plupart à des graines considérées comme un matériau homogène. Or les enveloppes imperméables peuvent empêcher ou ralentir la pénétration de l'eau chez certaines graines. Les membranes semi-perméables joueraient un rôle davantage sur la pénétration des ions que sur celle de l'eau selon SHULL (1920). Cet auteur ayant comparé l'absorption de l'eau des graines de Xanthium, à membrane semi-perméable, à celle du pois cassé qui n'en a pas, a obtenu des résultats peu différents.

Chez le Palmier à huile, la membrane semi-perméable qui obture le pore germinatif ne freine pas longtemps la pénétration de l'eau qui d'ailleurs peut passer plus librement par la mèche et les canalicules de la coque (RABÉCHAULT 1969).

Il est bien difficile aussi de comparer l'absorption de graines placées en atmosphère humide à celle de graines immergées dans l'eau. Selon la teneur, l'eau a d'ailleurs dans la graine des propriétés tout à fait différentes. Pour les faibles hydratations, l'eau serait fixée selon une forme rigide et ne prendrait une phase plus libre qu'à partir d'une teneur de 14 % (farine de petits pois) selon HOUBEN (1965). Pour des fortes teneurs (WILBAUX et HAHN 1966) l'eau manifeste des propriétés solvantes qui permettent la mise en place de l'appareil cytologique.

La technique de réhydratation peut donc avoir une réelle influence sur l'évolution de l'absorption de l'eau. Notre projet était ici d'étudier les caractéristiques de l'absorption de l'eau par les noix de palme dans les conditions habituelles de leur mise à germination et de comparer à cette occasion les vitesses d'absorption des diverses parties (coque, amande et embryon). La réhydratation a donc été étudiée au cours du trempage à 27° C qui précède habituellement la mise à germination.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les noix utilisées provenaient de deux régimes récoltés respectivement le 22 mars 1965 et le 22 juin 1965 sur les palmiers D × D. Dum 5 1-00-10-12 D et D × D Dum 5 10-11-4 D.

Après un stockage à l'obscurité et à 22° C (humidité relative 30-40 %) ces graines à l'équilibre avec l'atmosphère renfermaient 8,82 % d'eau par rapport à la matière sèche (la coque renfermait alors 10,91 %, l'amande 5,71 % et l'embryon 5,00 % d'eau).

Nous avons après 13 mois de conservation fait des lots de 100 graines qui ont été mis à tremper dans l'eau distillée à 27° C et à l'obscurité pendant des temps échelonnés de 0 à 240 h (Tableau I) soit 25 traitements.

TABEAU I

N° traitement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Heures.....	1	2	3	4	5	6	7	8	15	18	21	24	32	40
ou														
jours.....												1		

N° traitement (suite)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Heures.....	48	72	88	96	112	120	144	168	192	216	240	
ou												
jours.....	2	3		4		5	6	7	8	9	10	

Les graines de chaque lot ont été pesées avant puis après trempage et ressuyage effectués toujours dans les mêmes conditions. La teneur en eau ainsi que le poids sec ont été calculés selon la technique décrite précédemment (RABÉCHAULT et al 1967). Les graphiques représentent l'augmentation de la teneur en eau ou la diminution du poids sec par rapport au poids des graines utilisées au départ.

Après ressuyage, il reste à la surface de la noix un film d'eau qui n'a pas été pris en considération pour les calculs parce qu'il est à peu près toujours le même pour tous les lots traités ; *c'est l'eau d'imprégnation*.

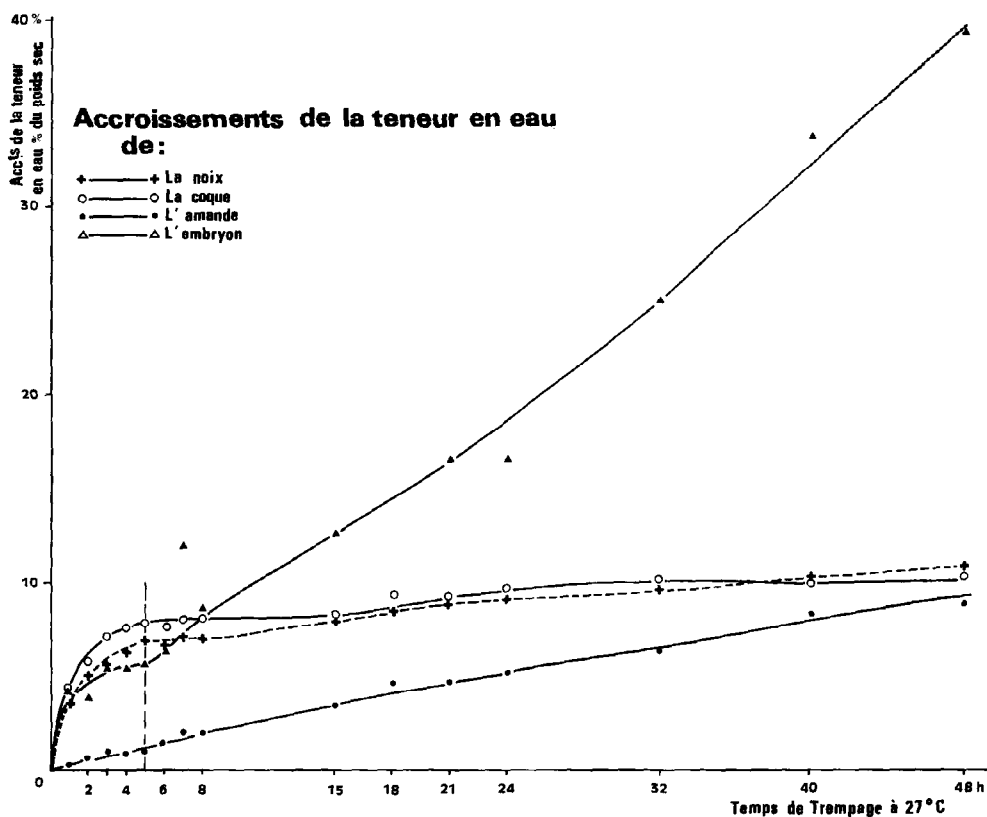
Pour apprécier la valeur de cette eau d'imprégnation, nous avons pris cinq lots témoins qui ont été plongés dans l'eau distillée pendant 30 secondes, puis les graines ont été essuyées de la même manière avec des chiffons secs. La pesée effectuée avant et après trempage ont permis de calculer la quantité d'eau pelliculaire ainsi retenue en pourcentage du poids initial. Les valeurs obtenues variaient non significativement entre 0,45 et 0,53 %. Il n'a donc pas été tenu compte de ce facteur dont la valeur n'est pas supérieure à l'erreur expérimentale.

Pour déterminer la quantité d'eau réellement absorbée, l'idéal aurait été de prélever des parties aliquotes (échantillons de 100 graines) d'un échantillon global après les temps de trempage choisis mais évidemment de cette manière il ne nous était pas possible de connaître le poids initial de chaque prélèvement. Ce sont donc des lots différents qui ont été utilisés ainsi qu'il est dit ci-dessus. Cependant, comme les graines provenaient de régimes prélevés sur le même arbre, l'analyse statistique effectuée sur les répétitions (5) de chaque traitement n'a pas montré de différences significatives.

Comme le gonflement de l'embryon « in vivo » était important à connaître pour nos expériences de culture « in vitro », nous avons profité de ces expériences pour l'évaluer par la mesure de l'augmentation de la longueur et du diamètre en fonction du temps de trempage (Graphique VI).

### RÉSULTATS

Nous avons porté sur le Graphique I l'augmentation de la teneur en eau de la noix entière et de ses différentes parties pendant les premières 48 heures de trempage. Nous remarquons immédiatement que les courbes ne sont pas identiques. L'hydratation la



Graphique I

plus simple est celle de l'amande qui semble depuis l'origine proportionnelle au temps de trempage ; celles de la noix entière de la coque et de l'embryon présentent des tracés qui se ressemblent. Ainsi, ces trois courbes peuvent être divisées en trois parties qui traduisent trois allures différentes de l'hydratation en fonction du temps de trempage à 27° C.\*

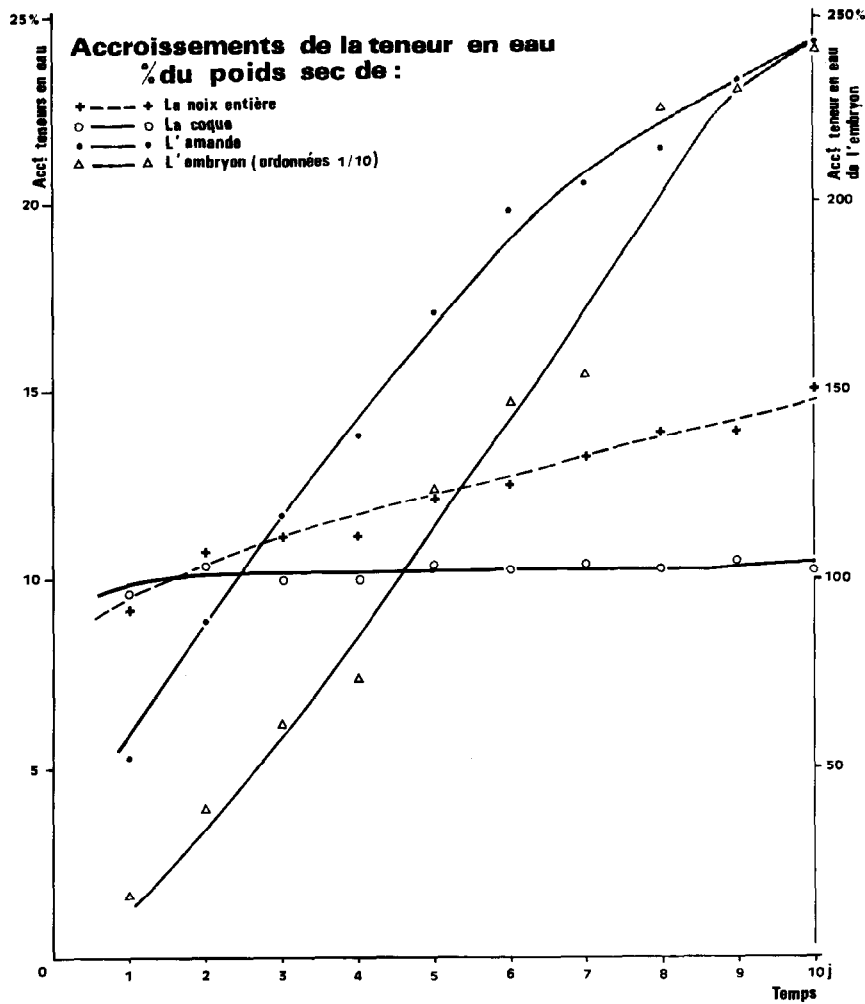
a) Une phase d'augmentation très rapide : c'est la phase d'*imbibition* qui dure environ 4 à 5 heures.

b) Une phase de *stabilisation* plus ou moins longue (½ heure à 10 heures) et

c) Une phase *linéaire* proportionnelle au temps et qui rappelle l'hydratation de l'amande.

L'extrapolation des courbes de ce Graphique permet d'imaginer comment l'absorption de l'eau peut évoluer après 48 heures et jusqu'à 240 h. (10 jours). Le Graphique II représente en effet les accroissements de la teneur en eau observée pour les temps de trempage de 24 à 240 heures. Cependant nous avons dû représenter l'absorption de

(\*) L'existence de ces trois phases a déjà été signalée chez les graines de *Vigna sesquipedalis* par OOTA, de *Pinus* et autres *Conifères* par Goo (1956) et par STANLEY (1958) et plus récemment chez les embryons décotylés de *Raphanus sativus* par FUJISAWA (1965) ce qui montre que ce phénomène doit être assez répandu chez les végétaux.



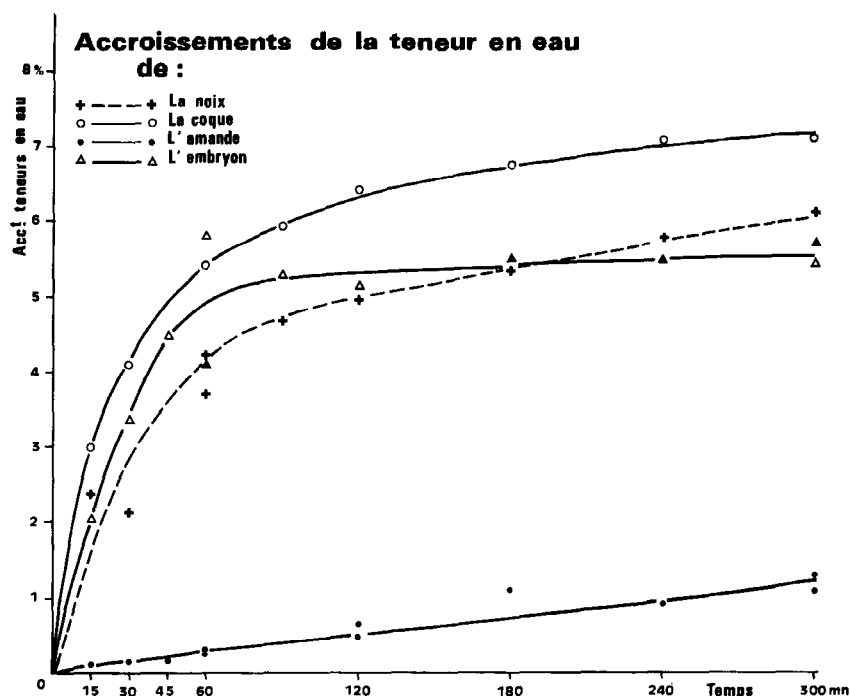
Graphique II

l'eau des embryons afin de la faire figurer sur le même graphique en réduisant les augmentations portées en ordonnée de 10 fois leur valeur.

Nous voyons que la reprise de l'absorption par la coque n'a pas été importante et s'est stabilisée ; le maximum de l'accroissement de la teneur en eau a été de 10,23 % d'eau par rapport à la matière sèche.

Par contre, après la phase de stabilisation, la noix entière a continué graduellement son absorption. Au dixième jour de trempage la progression est toujours linéaire ; l'absorption de l'eau se poursuivra sans doute jusqu'à la germination.

L'amande et l'embryon ont eu l'absorption la plus importante. En dix jours, l'accroissement de la teneur en eau de l'amande était environ le double de celui de la coque 10,23 % et de la noix entière 15,00 %, soit 24,37 %. L'accroissement de la teneur en eau de l'embryon par rapport au Témoin a été encore plus spectaculaire 242,83 %. Pour faire figurer l'évolution d'absorption de l'eau par l'embryon sur le même graphique II que les autres parties de la noix, il a fallu utiliser des ordonnées réduites de dix fois. L'absorption de l'eau par l'embryon est donc dix fois plus importante que celle de l'amande pendant la phase linéaire (métabolique).



### Interprétation des faits.

#### a) Analyse de la phase d'imbibition :

L'accroissement de l'absorption pendant cette première phase a été reportée pour la noix et ses différentes parties sur le Graphique III. On voit que l'allure des différentes courbes est à peu près identique et que le maximum atteint est voisin, s'échelonnant entre 5 et 7 %.

Aucun des modèles mathématiques trouvés dans la littérature n'a pu rendre compte de l'évolution de l'eau par les noix de palme sans doute parce qu'ils se réfèrent à des graines à structure plus homogène comme le blé, le petit pois ou le haricot, et que l'hydratation était effectuée ici par immersion.

La meilleure approximation était obtenue à l'aide des relations :

$$E = Ae^{-\frac{k}{t}} \text{ pour les embryons}$$

$$E = Ae^{\frac{-k}{\sqrt{t}}} \text{ pour les coques et les noix entières ; } A \text{ et } k \text{ sont des constantes.}$$

Pour éviter le facteur  $k$ , nous avons condensé ces deux formules sous la forme :

$$E = A\rho \frac{1}{t} \quad \text{et} \quad E = A\rho \frac{1}{\sqrt{t}}$$

Les valeurs respectives de  $k$  peuvent d'ailleurs être aisément calculées. Elles sont égales à -1,10 pour les embryons, -1,06 pour les coques et -1,22 pour les noix entières.



Finalement :  $E = 6,2603 (0,33406) \frac{1}{t}$  pour les embryons

$E = 9,1336 (0,34751) \frac{1}{\sqrt{t}}$  pour les coques

et  $E = 7,7107 (0,29486) \frac{1}{\sqrt{t}}$  pour les noix entières

Le fait que les coques aient un modèle d'absorption identique aux noix entières à la valeur près des coefficients indique bien que la pénétration de l'eau dans les noix est conditionnée par la présence de la coque et il est logique de penser en conséquence que l'absorption chez les autres parties de la noix dépend aussi de celle de la coque. La coque ne sert donc que de véhicule à l'eau au-delà d'une certaine teneur. Si l'on considère à présent les différentes parties de la noix nous remarquons que la quantité d'eau maximum absorbable diminue progressivement ainsi que l'indiquent les graphiques 1 et 2 et la valeur du coefficient A dans le sens coque-noix entière-embryon.

#### b) *La phase de stabilisation :*

Lorsque l'imbibition est terminée, l'appareil cytologique, les enzymes, les protéines, se mettent en place. Il semble donc que, dans le cas de la noix de palme, il y a un temps plus ou moins long pendant lequel les tissus sont saturés physiquement d'eau et où la pénétration métabolique de l'eau n'a pas commencé. La technique expérimentale ne nous a pas permis d'observer si la pénétration de l'eau était absolument annulée pendant cette période. L'accélération (ou dérivée de la vitesse par rapport au temps) tend à s'annuler mais la vie n'est pas suspendue pour autant. Il est vraisemblable que la période de stabilisation indique que les processus de l'imbibition sont terminés et que la pénétration de l'eau va devoir s'effectuer selon d'autres processus tout à fait différents (métaboliques) dont les éléments ne sont pas encore en place ou en activité.

La durée de la stabilisation semble inversement proportionnelle à la faculté de reviviscence des cellules. Pour la *coque* par exemple, constituée en grande partie de cellules sclérifiées mortes et à parois épaisses, la période de stabilisation est la plus longue (10 à 12 h). La reprise de l'absorption doit être due surtout à des fermentations qui dégradent les constituants du tissu et en particulier la lignine et la cellulose des parois, l'eau viendrait prendre peu à peu la place de ces composés.

La *noix entière* a un temps de stabilisation bien plus court : 1,30 h. Tandis que celle de l'*embryon*, chez lequel les cellules sont très actives, dure moins d'une demi-heure.

#### c) *La phase d'absorption linéaire.*

Nous avons vu que la noix entière et ses différentes parties (coque, amande et embryon) présentent toutes cette dernière phase pendant laquelle la vitesse de l'absorption de l'eau est proportionnelle au temps.

Chez l'*amande*, on ne distingue que cette seule proportionnalité depuis le début de l'hydratation. La structure compacte et homogène de l'albumen, de même que la présence dans ses cellules d'abondantes réserves lipidiques, empêchent l'eau de pénétrer librement comme dans une éponge (imbibition).

L'absorption de l'eau n'est gouvernée que par des processus physiologiques. La pénétration de l'eau est régularisée par le catabolisme des lipides hydrophobes et par

la présence de lécithines. La dégradation des lipides et leur transformation en unités glucidiques plus simples, hydrophiles, permet une augmentation graduelle de la pression osmotique et l'absorption de l'eau. Le phénomène, ainsi que nous l'avons vu précédemment, n'a pas lieu d'emblée dans tout l'albumen. Il commence par les couches de cellules les plus externes et gagne, par zones concentriques, très lentement, l'intérieur de l'amande (RABÉCHAULT 1969).

Chez l'*embryon* cette phase linéaire ressemble à celle de l'albumen, mais elle est 10 fois plus importante. Cette observation nous permet de confirmer que la phase linéaire de l'absorption est réglée par les processus du métabolisme. En effet, bien que l'*embryon* comporte une partie spécialement adaptée à l'absorption des métabolites, des examens cytochimiques, effectués pendant les premiers jours de l'hydratation, permettent de constater, chez l'*embryon*, une destruction rapide des réserves lipidiques. Les cellules semblent se vider de leur contenu en quelques jours et l'eau pénètre activement tandis que les divers organites cellulaires se mettent en place ; on observe rapidement une certaine turgescence parallèlement à l'augmentation du volume général de l'*embryon*.

La teneur en eau de la *noix entière* augmente moins rapidement que celle de l'amande et de l'*embryon*, mais cette augmentation il est vrai s'échelonne pendant plus longtemps. Elle est en fait la résultante de l'accroissement de la teneur en eau de ses différentes parties qui participent selon leurs proportions respectives ; ainsi, l'absorption de l'eau de l'*embryon*, pourtant très rapide, n'en représente environ que la millième partie.

Quant à la *coque*, ainsi que nous l'avons prévu, sa phase d'absorption linéaire est très peu accentuée. Il y a une saturation rapide des tissus, l'augmentation de la teneur en eau ne dépasse pas 10,2 % par rapport à la teneur initiale. Ce pourcentage représente la capacité maximum des espaces inter et intra-cellulaires.

La proportionnalité entre l'accroissement de la teneur en eau et le temps de trempage peut-être traduit par une fonction linéaire de la forme :

$$Y = a + bx$$

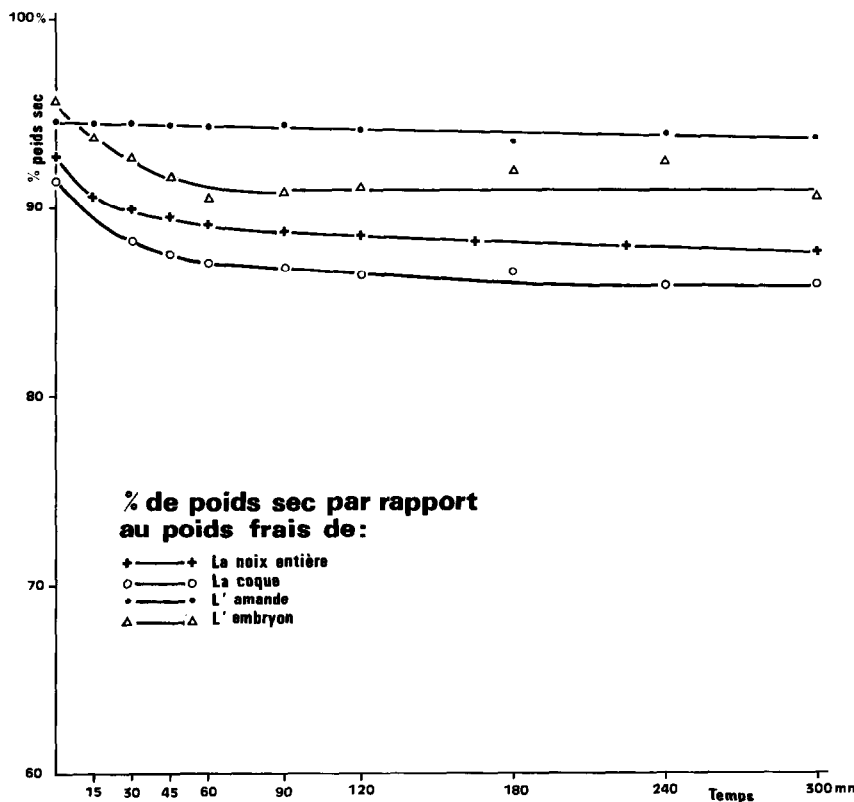
dont les coefficients sont donnés dans le tableau II. Nous avons été amenés cependant à calculer ces coefficients pour différentes périodes de réhydratation parce que nous avons constaté graphiquement que la pente (dérivée) des courbes d'absorption variait légèrement pendant la durée de cette phase linéaire de l'absorption.

TABLEAU II

Période de trempage	$Y = a + bx$
Noix entière	
6 à 48 h	$Y = 6,58245 + 0,09244 x$
24 à 240 h	$Y = 9,20333 + 0,56993 x$
Coque	
6 à 48 h	$Y = 7,68486 + 0,06498 x$
24 à 240 h	$Y = 9,91066 + 0,05551 x$
Amande	
15 à 300 mm	$Y = 0,01669 + 0,06266 x$
24 à 144 h	$Y = 2,99460 + 2,78057 x$
144 à 240 h	$Y = 11,7380 + 1,26210 x$
Embryon	
6 à 48 h	$Y = 2,33114 + 0,73880 x$
24 à 240 h	$Y = 16,97399 + 27,05436 x$

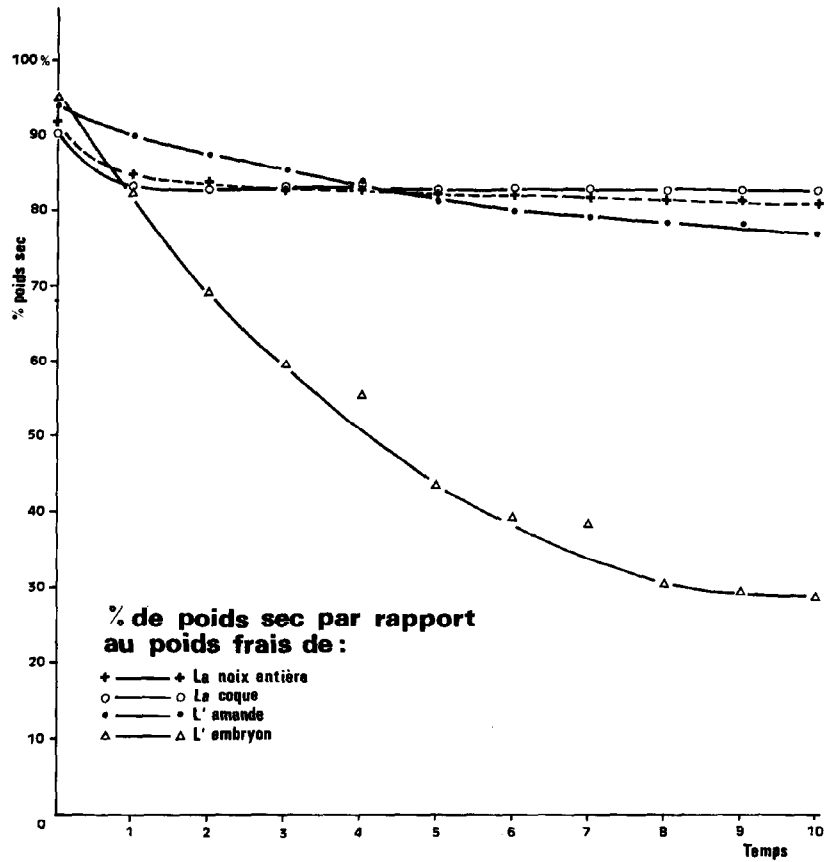
*La perte du poids sec :*

Les biochimistes ont abandonné depuis longtemps le principe qui consiste à rapporter les divers constituants en pourcentage de poids frais du matériel analysé, parce que l'hydratation des organismes vivants varie d'un instant à l'autre. Les chercheurs qui ont étudié l'évolution de la teneur en eau des graines ont, pour les mêmes raisons, préféré calculer la quantité d'eau absorbée par rapport au poids sec. Malheureusement, ainsi que le montrent le graphique IV, dès les premières heures de trempage, le poids sec des noix de palme et de leurs différentes parties diminue. Cette perte du poids sec est due en majeure partie à la dégradation enzymatique des substances de réserve. Pour la *coque*, la diminution du poids sec est peu importante et se stabilise très vite. Mais pour la noix entière, l'amande et l'embryon, la perte du poids sec est graduelle jusqu'à ce que la jeune plantule ait digéré tout l'albumen.

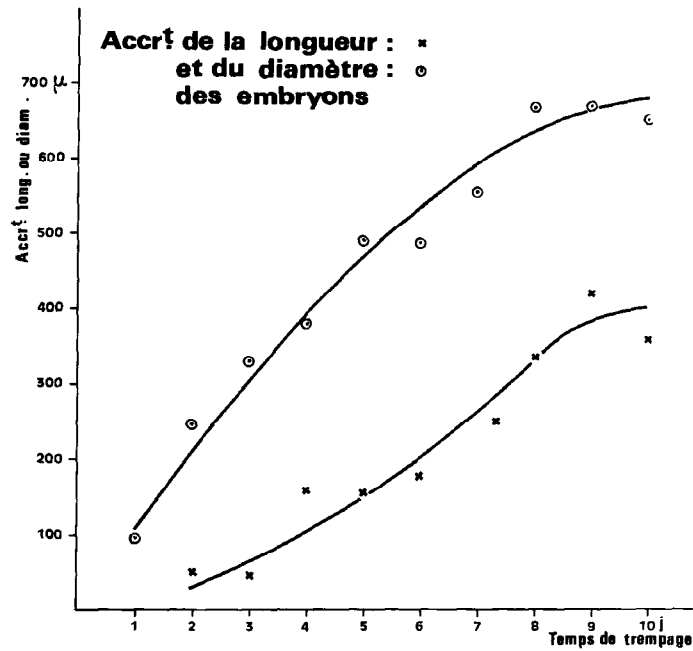


Graphique IV

C'est l'embryon qui présente au cours des 10 premiers jours la diminution la plus spectaculaire (Graphique V). Elle est très rapide au cours des 5 ou 6 premiers jours, puis ralentit peu à peu parce que les cellules sont presque entièrement débarrassées de leurs lipides. Un examen cytochimique des embryons à ce moment-là permet d'en avoir la preuve. On remarque en revanche que les organites cellulaires se sont mis en place pendant le même temps et que les cellules vivantes ont acquis une certaine turgescence qui est en rapport avec l'augmentation générale du volume de l'embryon.



Graphique V



Graphique VI

La perte du poids sec tend à s'annuler à partir des 9<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> jours. Cette période de stabilisation précède, ainsi que nous le verrons dans notre prochaine étude, un nouvel accroissement qui correspond au début de la germination ; l'embryon commencera à synthétiser de nouvelles substances à partir des éléments qu'il puisera dans l'albumen.

*Gonflement de l'embryon :*

Au fur et à mesure que l'eau est absorbée, l'embryon augmente de volume. Cependant, l'analyse statistique des longueurs et diamètres ne montre pas de différence significative pendant les premières 24 h. ni pour la longueur ni pour le diamètre. Les accroissements de ces deux dimensions portés sur le Graphique VI montre que l'augmentation de volume se traduit surtout par un accroissement du diamètre (courbe supérieure) plutôt que de la longueur. Pour le diamètre, les différences constatées deviennent très significatives à partir de 24 h. de trempage des graines, tandis que pour la longueur les premiers accroissements significatifs n'ont lieu qu'à partir des sixième et septième jours.

CONCLUSIONS

A 27° C, la vitesse d'hydratation des différentes parties de la noix de palme est variable dans le temps. La noix entière, la coque et l'embryon présentent trois phases de l'accroissement de leur teneur en eau : Une phase exponentielle ou *imbibition* contrôlée par des facteurs physiques et physicochimiques, une phase de *stabilisation* et une phase *linéaire* métabolique. L'amande n'a que la dernière phase. Pour la phase accroissement

exponentiel, le meilleur ajustement mathématique a été de la forme  $E = Ae^{-\frac{k}{t}}$  pour

l'embryon et  $E = Ae^{-\frac{k}{\sqrt{t}}}$  pour les noix entières et les coques.

La phase de stabilisation a été d'autant plus longue que la capacité d'absorption était faible : embryon ½ h, coque 10 à 12 h.

La phase d'absorption active linéaire est contrôlée par des processus physiologiques et la pénétration de l'eau bénéficie d'une perte de poids sec dont la vitesse décroît rapidement chez l'embryon jusqu'au neuvième et au dixième jour.

Les coefficients de régression linéaire de ces courbes ont été calculés. Ils sont significativement différents de zéro, excepté pour la coque pour laquelle l'accroissement par rapport au Témoin atteint très vite un maximum à 10,2 % (saturation).

La coque ne servirait que de véhicule à l'eau. Dans l'amande, l'eau pénètre dès le départ selon une fonction linéaire du temps et de façon régulière à partir des couches externes de cellules. L'absorption est d'emblée de nature métabolique.

Enfin, l'augmentation des dimensions de l'embryon n'est significative qu'à partir de 24 h. pour le diamètre et de 6 et 7 jours pour la longueur.

*Reçu pour publication le 9 avril 1968.*

## BIBLIOGRAPHIE DE LA TROISIÈME PARTIE

- ACKER L. (1958). — *Die Nahrung*, II, 11-12, pp. 1045-1061.
- ATKINS W.R.G. (1909). — *Sci. Proc. R. Dublin Soc.*, N.S., 12, p. 35.
- AYERST G. (1965). — *J. Sci. Food Agric.*, 16, 2, pp. 71-78.
- BARTON L.V. (1941 a). — *Contr. Boyce Thompson Inst.*, 12, p. 85.
- BARTON L.V. (1941 b). — *Contr. Boyce Thompson Inst.*, 13, p. 35.
- BARTON L.V., W. CROCKER (1948). — *Twenty years of seed research at Boyce Thompson Inst. Plant Res. Inc.*, 148 p. (Faber and Faber Edit.). London.
- BECKER H.A. (1960). — *Cereal Chem.*, 37, pp. 309-323.
- BROWN R. (1940). — *Ann. Bot. (n.s.)*, 4, p. 379-395.
- BROWN A.J., F.P. WORLEY (1912). — *Proc. Roy. Soc. London*, B, 85, pp. 546-553.
- CRAFT A.S., H.B. CARRIER, C.R. STOCKING (1949). — *Water in the physiology of plants*. Chronica Botanica Co — Waltham (Mass.). U.S.A.
- CROCKER W. (1906). — *Bot. Gaz.*, 42, p. 265-291.
- CROCKER W., L.V. BARTON (1953). — *Physiology of seeds*. Waltham Mass. USA.
- DAINTY J. (1963). — *Water relations of plant cells*. *Advances in Botanical Research*. Vol. I, pp. 279-326 (Acad. Press.) London.
- DONEEN L.D., J.H. Mc GILLIVRAY (1943). — *Plant. Physiol.*, 18, p. 524.
- DUPRIEZ H. (1962). — *Agriculture, Belg.*, 10, 1, pp. 151-168.
- FAN L., D.S. CHUNG, J.A. SCHELLENBERGER (1961). — *Cereal Chem.*, 38, pp. 540-548.
- FUJISAWA H. (1965). — *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto*, B, 32, 1, pp. 9-17.
- GOO M. (1951). — *Bull. Tokyo Univ. For.*, 39, pp. 55-60.
- GOO M. (1956). — *Bull. Tokyo Forest.*, 51, pp. 159-166.
- HELLER R. (1961). — *Scientia*, 55, n° 10, pp. 320-325.
- HENDERSON S.M. (1952). — *Agric. Engng St Joseph, Mich*, 33, p. 29.
- HOUBEN J. (1965). — *Bull. Acad. Roy. Méd., Belg.*, 5, LI, pp. 906-915.
- HOUBEN J. (1966). — *Planta*, 71, pp. 87-97.
- IRANY E.P. (1941). — *Ind. Eng. Chem.*, 33, pp. 1551-1554.
- KÜHNE L. (1964). — *Naturwissenschaften*, 51, pp. 641-642.
- KÜHNE L. (1965). — *Naturwissenschaften*, 52, pp. 1-2.
- KÜHNE L. (1965). — *Planta*, 65, pp. 27-41.
- KÜHNE L. (1965). — *Planta*, 67, 3, pp. 254-64.
- KÜHNE L., W. KAUSCH (1961). — *Naturwissenschaften*, 48, pp. 460-461.
- KÜHNE L., W. KAUSCH (1965). — *Naturwissenschaften*, 52, 11, pp. 309-310.
- LINKO P. (1960). — *Ann. Acad. Sci. fenn. A*, II, 98, pp. 7-69.
- MANOHAR M.S. (1966). — *Planta*, 71, pp. 81-86.
- MONTANEZ J. (1957). — *Recherches expérimentales sur l'écologie de la germination chez l'arachide* — Ministère des Colonies Édit., 124 p., Bruxelles.

- NATARAJAN C.P., S.K. MAJUMDER, K.S. SRINIVASAN, A. BALACHANDRAN, D.S. BHATIA, V. SUBRAHMANYAN (1961). — *Food Sci.*, 10, pp. 315-321.
- OOTA Y. (1957). — *Physiol. Plant.*, 10, pp. 910-921.
- OOTA Y. (1958). — *Physiol. Plant.*, 11, pp. 710-721.
- OWEN P.C. (1952). — *J. Exp. Bot.*, 3, 8, pp. 188-203.
- PETERS R. (1920). — *Kansas Univ. Sci. Bull.*, 13, 2, pp. 23-27.
- RABÉCHAULT H., G. GUÉNIN et J. AHÉE (1967). — Absorption de l'eau par les noix de palme (*Elaeis guineensis* Jacq. var. *Dura* Becc.). I Hydratation des différentes parties de graines amenées à des teneurs globales en eau déterminées. *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, sér. *Biol.*, n° 4, pp. 31-41.
- RABÉCHAULT H. (1968). — Absorption de l'eau par les noix de palme (*Elaeis guineensis* Jacq. var. *Dura* Becc.). II Voies de pénétration de l'eau. *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, sér. *Biol.* n° 7.
- REES A.R. (1957-1958). — Sixth Ann. Report W. Afric. Inst. Oil Palm Res. 1957-1958, pp. 117-119.
- REES A.R. (1962). — *J. W. Afric. Inst. Oil Palm Res.*, 3, pp. 329-338.
- REES A.R. (1965). — *J. niger. Inst. Oil Palm Res.*, IV, 15, pp. 317-324.
- REHAGE G. (1964). — *Kolloid-Z.*, 194, pp. 16-34.
- REHAGE G., O. ERNST (1964a). — *Z. Naturforschung 19a*, pp. 823-824.
- REHAGE G., O. ERNST (1964b). — *Kolloid-Z.*, 197, pp. 64-70.
- ROBERTS E.H. (1960). — *Ann. Bot.*, 24, p. 12.
- SCHRÖDER H. (1911). — *Flora*, 102, pp. 186-208.
- SHULL C.A. (1915). — *Trans. Kansas Acad. Sci.*, 27, pp. 65-70.
- SHULL C.A. (1920). — *Bot. Gaz.*, 62, pp. 361-390.
- SHULL C.A., S.P. SHULL (1924). — *Bot. Gaz.*, 77, pp. 262-279.
- SHULL C.A., S.P. SHULL (1932). — *Bot. Gaz.*, 93, pp. 376-399.
- SLATYER R.O. (1960). — *Bot. Rev.*, USA, 26, 3, pp. 331-392.
- SMITH S.E. (1947). — *J. Amer. Chem. Soc.*, 69, p. 646.
- STANLEY R. G. (1958). — *Physiol. Plant.*, 11, pp. 503-515.
- STILES I.E. (1948). — *Plant Physiol.*, 23, 2, pp. 201-222.
- STILES I.E. (1949). — *Plant Physiol.*, 24, 3, pp. 540-545.
- WANG JWU-SHI (1958). — *Sci. Rec.*, n.s., II, 3, pp. 104-109.
- WILBAUX R., D. HAHN (1966). — *Revue « Café, cacao, thé »*, X, 4, pp. 342-367.