

LE DÉGAGEMENT D'ÉTHYLÈNE PAR LES FRUITS

par **R. ULRICH**

PROFESSEUR

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CAEN.

On sait depuis longtemps que les fruits émettent en quantité très sensible du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Il s'en dégage aussi, mais à très faible dose, divers gaz de nature organique, notamment de l'éthylène et des essences auxquelles les fruits doivent leur odeur. Plusieurs chercheurs ont apprécié en bloc ces émissions gazeuses organiques des fruits en dosant

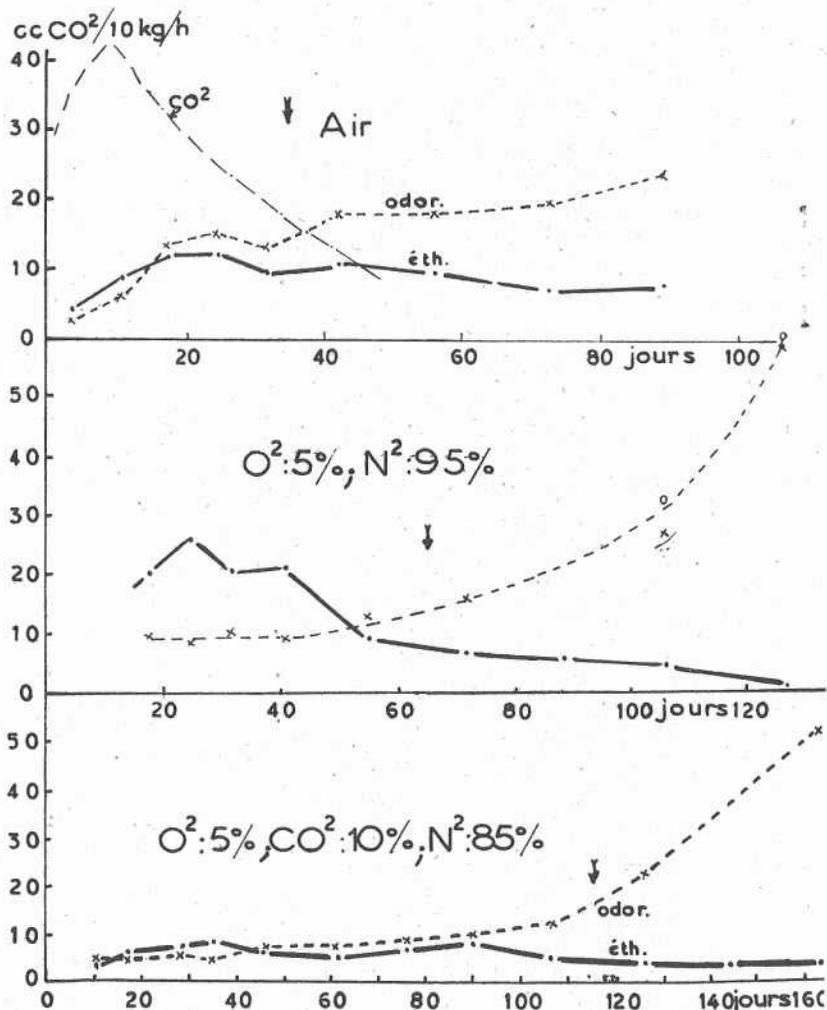
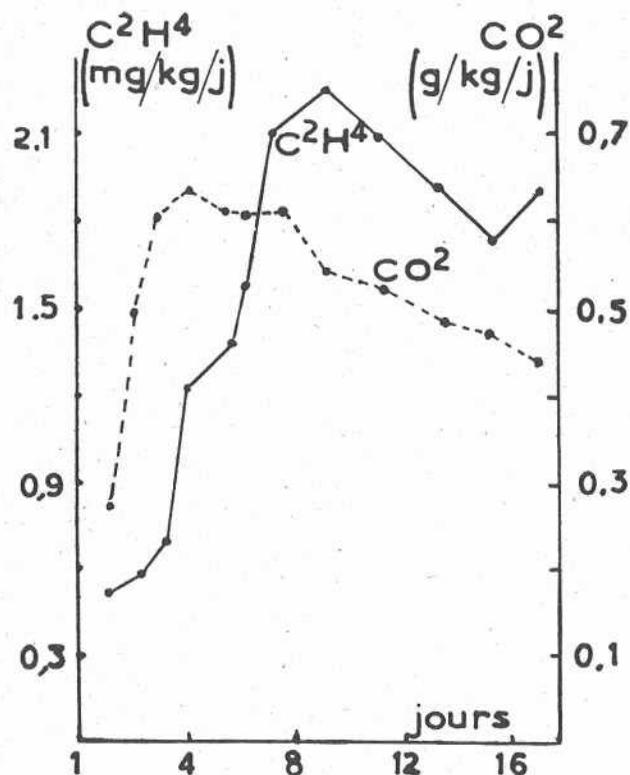
le gaz carbonique provenant de leur oxydation totale. De plus en plus on tend cependant à séparer ces corps en deux fractions : l'éthylène d'une part, les autres substances d'autre part, celles-ci formées essentiellement de la fraction des essences passée à l'état de vapeur. Nous ne retiendrons dans cet article que les travaux consacrés à l'éthylène.

FIG. 1. — Epinastie. Pied de Tomate normal (à gauche), et placé pendant 5 h. 30 dans un courant d'air renfermant environ 1/1.000 d'éthylène (à droite). (Dessin et expérience de Marcellin et Paulin).



FIG. 2 (A gauche). — L'émission d'éthylène et de gaz carbonique au cours de la maturation de pommes McIntosh, à 20°. D'après Nelson.

FIG. 3 (A droite). — Variations de l'émission de substances volatiles odorantes (odor.) et d'éthylène (éth.) en fonction de la composition de l'atmosphère ambiante. Pommes King Edward à 15°. Les quantités de gaz carbonique correspondant aux produits odorants ont été multipliées par 10. Les flèches correspondent au moment du virage de la couleur des fruits. D'après Potter et Griffiths, modifié.



Mise en évidence et tests biologiques.

L'historique de cette question offrant un intérêt particulier, nous nous y arrêtons quelques instants. ELMER découvre en 1932 que des pommes ou des poires mûres émettent une substance capable de retarder la « germination » des tubercules de Pomme de terre ; les germes qui se forment dans ces conditions sont courts et trapus. Dès 1933, HUELIN constate que l'éthylène agit de la même manière sur les bourgeons des pommes de terre. Ces deux observations conduisent à l'hypothèse d'une émission d'éthylène par les fruits.

SMITH et GANE (1933) observent de leur côté que la croissance des germinations de Pois est affectée par des substances issues de pommes mûres et que l'éthylène a le même effet ; dans les deux cas, l'épicotyle reste court et trapu.

GANE (1934) réussit enfin, en utilisant le brome

comme réactif, à montrer que les fruits dégagent de l'éthylène. ELMER (1936) observe que le gaz qui gêne le développement des bourgeons des pommes de terre est détruit par oxydation, fixé par le brome et par l'acide sulfurique avec formation d'un ester d'alcool primaire ; c'est donc bien de l'éthylène.

Des données biologiques d'une autre nature viennent confirmer les faits précédents. BORJES plaçant sous une même cloche une pomme et un plant de Tomate constate que les pétioles se courbent vers le bas, par suite d'une plus grande croissance de leur face supérieure (Épinastie ; fig. 1) ; or, plusieurs auteurs ont antérieurement remarqué la même réaction en présence d'éthylène (1). HANSEN et HARTMANN ont retrouvé ce dégagement d'éthylène dans le cas des poires

(1) CROCKER et ses collaborateurs ont montré que seuls provoquent l'épinastie de la Tomate : l'éthylène, l'acétylène, le propylène, le butylène et l'oxyde de carbone.

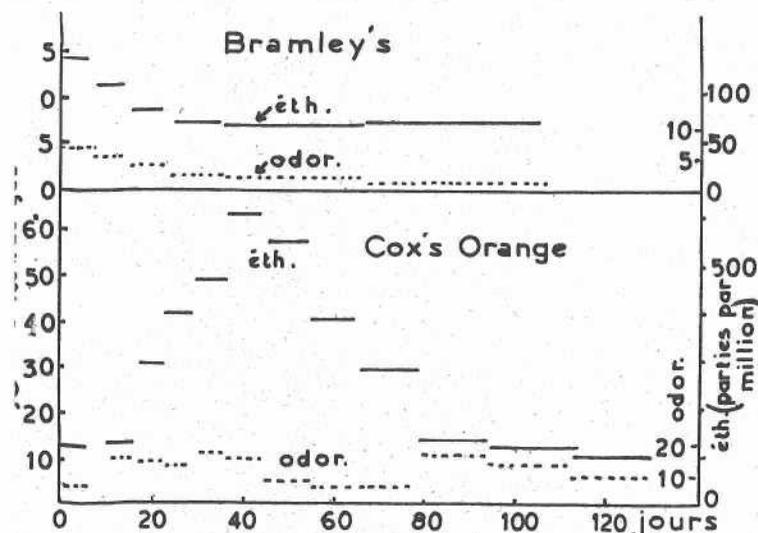


FIG. 4. — Concentration des produits odorants (odor.) et de l'éthylène (éth.) dans l'atmosphère de chambres à fruits étanches (gas stores). Pommes emballées dans du papier huilé. D'après Fidler (1948).

d'Anjou en utilisant comme test l'épinastie de la Tomate. Les jeunes pieds de Tomate peuvent d'ailleurs être remplacés par des pousses de Pomme de terre sensibles, selon DENNY et MILLER, à une concentration d'éthylène de l'ordre d'une partie pour un million.

Rappelons quelques autres effets de l'émission d'éthylène des fruits. KIDD et WEST, GANE ont montré que les pommes et les bananes mûres, les pommes et les poires vertes émettent des vapeurs qui font mûrir les bananes vertes ; or, l'éthylène possède aussi cette propriété. GANE a également observé que les pommes mûres provoquent, tout comme l'éthylène, le sommeil et même la chute des feuilles de la Sensitive, ainsi que la courbure des feuilles de Ricin. Tous ces effets sont liés à la vie du fruit ; ils ne s'observent plus avec des pommes congelées. Enfin, des œillets épanouis, conservés en chambre froide avec des pommes, ne tardent pas à se fermer (CROCKER). BORGSTRÖM a fait récemment une bonne étude d'ensemble de ces effets physiologiques de l'éthylène et des émanations des pommes.

Il est intéressant de noter que les fruits (pommes, poires, tomates, bananes, melons, aubergines, avocats, pêches, prunes (1) ne sont pas les seuls organes végétaux capables de libérer de l'éthylène ; ainsi, les fleurs de Pissenlit, les graines de Haricot de Lima non mûres, les feuilles de Pivoine (DENNY et MILLER), la levure en aérobiose, et de très nombreux autres végétaux en dégagent également.

(1) On remarquera que les agrumes ne figurent pas sur cette liste.

Ce sont donc des observations biologiques diverses qui ont conduit à la découverte de l'émission d'éthylène par les fruits, mais les méthodes chimiques paraissent actuellement plus indiquées pour apprécier quantitativement l'importance du phénomène.

Dosage.

On sait que le brome fixe l'éthylène. Certains auteurs ont utilisé ce fait avec succès. NIEDERL, BRENNER et KELLEY convertissent l'éthylène après bromuration en acétylène et font réagir ce gaz avec un sel d'argent (formation d'acétylure). CHRISTENSEN, HANSEN et CHELDELIN ajoutent au milieu renfermant le brome d'éthylène et le brome résiduel de l'iodure de potassium ; le dosage d'éthylène se ramène alors à un dosage d'iode.

WALLS constate que l'acide sulfurique activé par addition de sulfate d'argent arrête l'éthylène ; le sulfate acide d'éthyle formé peut être hydrolysé et l'alcool titré par oxydation chromique. FIDLER a modifié la méthode en oxydant totalement en gaz carbonique le radical éthyle, grâce à un mélange oxydant très énergétique.

Enfin, une appréciation volumétrique à l'état gazeux de l'éthylène produit par les fruits a été proposée par YOUNG, PRATT et BIALE.

Résultats numériques.

Études d'abord l'ordre de grandeur des quantités émises. HANSEN et CHRISTENSEN ont mesuré sur di-

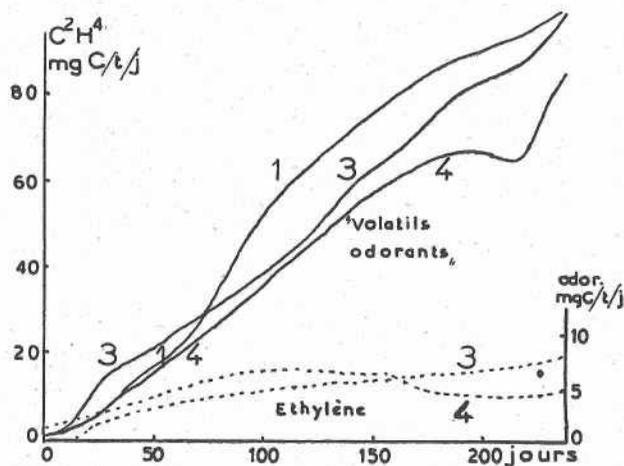


FIG. 5. — Production d'éthylène et de substances volatiles odorantes par des pommes King Edward VII, en atmosphère contrôlée (CO_2 : $8\frac{1}{2}\%$; O_2 : 13%), vers $+4^\circ$. La courbe 1 correspond à une cellule à fruits comportant un filtre à charbon actif ; les courbes 3 concernent des fruits emballés dans du papier huilé, les courbes 4, des fruits non emballés. D'après Fidler (1950).

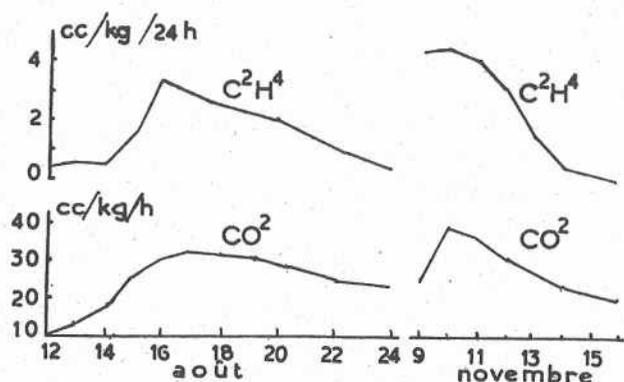


FIG. 6. — Variations de l'émission d'éthylène et de gaz carbonique au cours de la maturation des poires Williams, sans entreposage préalable à 0° (à gauche) ou après trois mois de conservation à 0° (à droite). D'après Hansen.

verses variétés de pommes et de poires des dégagements d'éthylène de l'ordre de 0,001 à 0,280 cc par kg et par heure. Au cours de la maturation, des valeurs croissant de 0,003 à 0,030 ont été trouvées dans le cas des poires d'Anjou à 18°, de 0,113 à 0,135 pour les Williams à 5°, de 0,100 à 0,280 pour les pommes Gravensteiner à 18°. D'une manière générale, on observe des valeurs croissantes au cours de la maturation ; avant la montée climatérique, le fruit élabore peu d'éthylène.

NELSON a constaté que dans le cas de la pomme McIntosh, la production d'éthylène croît d'abord, puis décroît, tout comme l'intensité respiratoire, pendant la période climatérique (Fig. 2). L'auteur pense que l'éthylène est utilisé dans la respiration. Après neuf mois d'entreposage, les pommes McIntosh contiendraient 0,12 mg d'éthylène par kg. Les variétés de pommes les plus capables de supporter une longue conservation seraient celles qui produisent le moins d'éthylène.

POTTER et GRIFFITHS ont comparé la production de substances odorantes et d'éthylène par les pommes King Edward à +5° et +15° ; la quantité d'éthylène émise prédomine jusqu'au moment du maximum respiratoire, après quoi le dégagement de ce carbure diminue tandis que celui des constituants volatils augmente.

L'intensité de la production d'éthylène par les pommes dépend notamment de la variété considérée, de la température et de la composition de l'atmosphère.

HANSEN a observé que les variétés précoces produisent plus de gaz que les variétés tardives. Ainsi, à 20°, Astrakan libérerait 11,38 cc d'éthylène par kg et par jour, Gravensteiner 5,16, Newton 1,78 ; à 0°,

Delicious dégagerait 0,211 cc, Newton 0,071 et Jonathan 0,185.

Selon POTTER et GRIFFITHS, la réduction de la concentration d'oxygène dans l'air de 20 à 5 % à 15° entraîne une augmentation marquée de l'émission d'éthylène pendant 40 jours, suivie d'une chute (pommes King Edward). Lorsque la concentration du gaz carbonique de l'atmosphère est portée à 10 % et celle de l'oxygène ramenée à 5 %, l'émission d'éthylène s'abaisse très fortement au départ et augmente tardivement d'une manière continue. Le virage de la couleur des pommes du vert au jaune a lieu pendant la diminution du dégagement d'éthylène (Fig. 3).

FIDLER a dosé l'éthylène dans les chambres étanches où l'on conserve industriellement des pommes en atmosphère de composition différente de celle de l'air ; on trouvera plus haut des graphiques exprimant les variations de la teneur en éthylène de l'atmosphère de ces locaux pendant toute la durée de l'entreposage ; les teneurs en éthylène correspondent, en carbone, à des valeurs de l'ordre de 10 à 60 mg pour 100 litres de

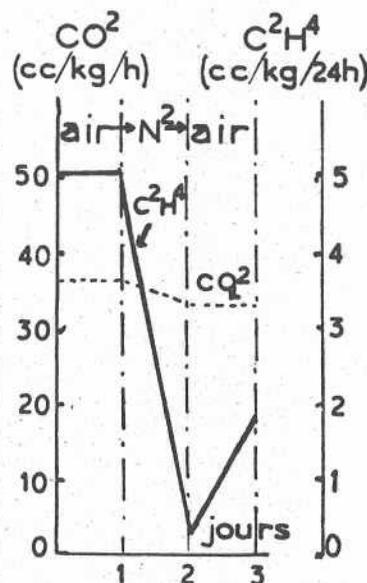
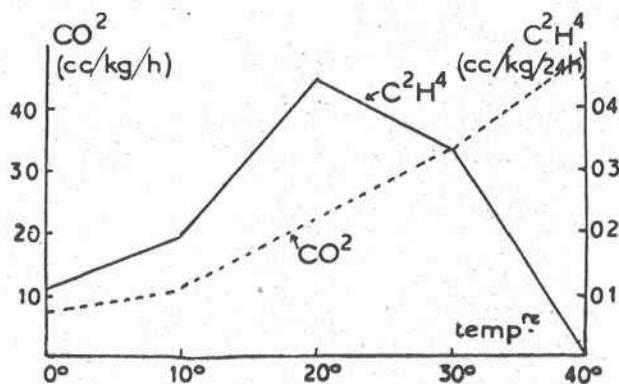


FIG. 7. — L'émission d'éthylène et de gaz carbonique, en aérobiose et en anaérobiose (dans l'azote). Poires Williams. D'après Hansen.

FIG. 8. — Influence de la température sur l'émission d'éthylène et la respiration des poires Comice. D'après Hansen.



gaz ; cette concentration peut être vingt fois plus grande que celle des autres produits volatils oxydables (Fig. 4).

Dans un mémoire plus récent (1950), FIDLER a montré que vers + 4°, dans une atmosphère comportant 8,5 % de gaz carbonique et 13 % d'oxygène, les pommes King Edward VII dégagent de plus en plus d'éthylène au cours de la conservation (Fig. 5), mais moins toutefois que lorsqu'elles sont placées dans l'air.

Rapportons maintenant quelques données relatives aux poires. HANSEN a comparé la production d'éthylène au dégagement de gaz carbonique respiratoire :

Ex. : Poires Williams (Bartlett). Mesures à 20°.

	CO ₂ (en cc/kg/h)		Éthylène (en cc/kg/j)	
	initialement	maximum	initialement	maximum
Sans traitement par le froid . . .	11,61	33,03	0,49	3,25
Après 3 mois à 0°.	25,90	39,89	4,39	4,48

Les diverses variétés de poires dégagent plus ou moins d'éthylène ; l'émission est six à sept fois plus importante avec les Williams qu'avec la variété d'Anjou. Le maximum d'émission d'éthylène se produit à peu près en même temps que le maximum respiratoire (Fig. 6). En l'absence d'air, le dégagement d'éthylène est fortement diminué (Fig. 7) ; il s'arrête aussi à 40° tandis que l'activité respiratoire continue encore à croître (Fig. 8). A 40°, les gaz internes des poires sont dépourvus d'éthylène. A cette température, l'apport extérieur d'éthylène ne fait plus mûrir les fruits. Peut-être la production de ce gaz est-elle liée à un système oxydant inhibé aux températures élevées. Dans l'ensemble, selon HANSEN, il n'y a pas de relation directe entre le dégagement de gaz carbonique et l'émission d'éthylène.

Ajoutons que les bananes, les pêches, les avocats et les prunes dégagent aussi de l'éthylène.

En ce qui concerne les bananes, NIEDERL et ses collaborateurs ont fixé à 0,1 à 0,2 cc la quantité d'éthylène émise par 100 livres de bananes pendant toute la période de maturation ; ces fruits dégagent donc très peu d'éthylène.

Au sujet des avocats, PRATT et ses collaborateurs ont observé que la montée climactérique est accompagnée d'un dégagement d'éthylène et que le maximum respiratoire coïncide dans le temps avec le maximum d'éthylène.

CHRISTENSEN, HANSEN et CHELDELIN ont étudié non seulement l'émission d'éthylène des fruits, mais aussi la concentration de cet hydrocarbure dans les tissus. Le tableau ci-dessous est emprunté à leur travail :

Teneurs exprimées
en cc dans 100 g de fruits mûrs.

Pomme Gravensteiner entière. . .	0,038 (moyenne)
Pomme Red June — ..	0,012 —
Poire Bartlett — ..	0,015 —
Pêche Hale — ..	0,037 —
Tomate — ..	0,010
Pomme de terre.	< 0,001
Banane	< 0,001

Intérêt de l'émission d'éthylène.

Les faits que nous venons d'étudier offrent un grand intérêt théorique et pratique. La formation d'éthylène au sein des tissus vivants est un phénomène surprenant qu'on peut rapprocher de la naissance des carbures terpéniques et des carbures caroténoïdes également non saturés, et engendrés pendant la maturation tout comme l'éthylène. Cet hydrocarbure pourrait prendre naissance à partir de certains corps en C² nés du métabolisme des glucides.

L'étude de l'émission d'éthylène par les fruits offre aussi un intérêt pratique, car ce corps est un énergétique stimulant de la maturation ou au moins de certains phénomènes caractéristiques de la maturation, le changement de couleur principalement. Lorsqu'on entrepose des fruits dans un local peu aéré, l'éthylène tend à s'y accumuler ; les fruits vont donc évoluer vite et leur durée de conservation sera courte. Il est possible en outre que l'éthylène issu de pommes mûres provoque l'apparition de taches sur des fruits moins évolués. Pour éviter tous ces inconvénients, deux remèdes peuvent être envisagés :

— Réduire l'émission d'éthylène le plus possible en éliminant de l'entrepôt les fruits les plus mûrs.

— Absorber l'éthylène qui subsiste à faible dose dans l'atmosphère en utilisant des substances convenables. Les charbons actifs souvent préconisés sont malheureusement sans effet, et le brome qui fixe l'éthylène reste d'un emploi fort peu pratique malgré les tentatives d'utilisation industrielle de SOUTHWICK et de SMOCK. Le problème de l'absorption de l'éthylène n'est donc pas encore résolu en dépit de travaux déjà très nombreux.

BIBLIOGRAPHIE

- BORGSTRÖM (G.). Theoretical suggestions regarding the ethylene responses of plants and observations on the influence of apple emanations. *Kungl. fysiographiska sällskapet I. Lund. Förhandlingar*. 1939, **9**.
- BOTJES (O.). Aethyleen als vermoedelijke oorzaak van de groeiremmede werking van rijpe appels. *Tijdschr. Plantenziek.*, 1933, **39**, 207-11.
- CHRISTENSEN (B. E.), HANSEN (E.) et CHELDELIN (V. H.). Determination of ethylene in the internal atmosphere of plant tissues. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 1939, **11**, 114-6.
- CROCKER (W.), ZIMMERMAN (P. W.) et HITCHCOCK (A. E.). Ethylene induced epinasty of leaves and the relation of gravity to it. *Contrib. Boyce Thompson Inst.*, 1932, **4**, 177-218.
- DENNY (F. E.) et MILLER (L. P.). Production of ethylene by plant tissues as indicated by the epinastic response of leaves. *Contrib. Boyce Thompson Inst.*, 1935, **7**, 97.
- ELMER (O. H.). Growth inhibition of potato sprouts by the volatile products of apples. *Science*, 1932, **75**, 193.
- ELMER (O. H.). Growth inhibition in the potato caused by a gas emanating from apples. *J. agric. Res.*, 1936, **52**, 609.
- FIDLER (J. C.). Studies of the physiologically active volatile organic compounds produced by fruits. *Journ. of hort. Sci.*, 1948, **24**, 178.
- FIDLER (J. C.). Studies of the physiologically active volatile organic compounds produced by fruits. II. *Journ. of hort. Sci.*, 1950, **25**, 81-110.
- GANE. Production of ethylene by some ripening fruits. *Nature*, 1934, **134**, 1008.
- GANE (R.). Identification of ethylene among the volatile products of ripe apples. *Rep. Food Inv. Board f.* 1934, p. 122.
- GANE (R.). The production of a physiologically active vapour by unripe pears. *Rep. Food Inv. Board f.* 1938, p. 142.
- HANSEN (E.). Quantitative study of ethylene production in relation to respiration of pears. *Bot. Gaz.*, 1941-42, **103**, 543-58.
- HANSEN (E.). Quantitative study of ethylene production in apple varieties. *Plant Physiol.*, 1945, **20**, 631.
- HANSEN (E.) et HARTMAN (H.). The occurrence in pears of metabolic gases other than carbon dioxide. *Oreg. Agric. Exp. Sta.*, 1935, Bull. 342, 10 p.
- HANSEN (E.) et CHRISTENSEN (B. E.). Chemical determination of ethylene in the emanations from apples and pears. *Bot. Gaz.*, 1939-40, **101**, 403.
- HUELIN (F. E.). Effect of ethylene and of apple vapors on the sprouting of potatoes. *Rep. Food Inv. Board f.* 1932, 51-3.
- KIDD (F.) et WEST (C.). Effects of ethylene and of apples vapours on the ripening of fruits. *Rep. Food Inv. Board f.* 1932, p. 55.
- KIDD (F.) et WEST (C.). The effect of ethylene on apples at low temperatures : evidence for the production of ethylene by unripe immature fruit. *Report Food Inv. Board f.* 1934, p. 119-22.
- NELSON (R. C.). The quantity of ethylene present in apples. *Plant Physiol.*, 1937, **12**, 1004.
- NELSON (R. C.). Production and consumption of ethylene by ethylene treated bananas. *Plant Physiol.*, 1939, **14**, 817.
- NELSON (R. C.). Quantitative study of the production of ethylene by ripening apples. *Plant Physiol.*, 1940, **15**, 149.
- NIEDERL (J. B.), BRENNER (M. W.) et KELLEY (J. N.). The identification and estimation of ethylene in the volatile products of ripening bananas. *Amer. J. Bot.*, 1938, **25**, 357-61.
- POTTER (N. A.) et GRIFFITHS (D. G.). The effects of temperature and gas mixtures on the production of volatile substances by apples during storage. *Journ. Pomol. hort. Sci.*, 1947, **23**, 171-7.
- PRATT (H. K.), YOUNG (R. E.) et BIALE (J. B.). Identification of ethylene as a volatile product of ripening avocados. *Plant Physiol.*, 1948, **23**, 526-37.
- SMITH (A. J. M.) et GANE (R.). Influence of a gaseous product from apples on the germination of seeds. *Rep. Food Inv. Board for* 1932, p. 156.
- SOUTHWICK (F. W.) et SMOCK (R. M.). Lengthening the storage life of apples by removal of volatile materials from the storage atmosphere. *Plant Physiol.*, 1943, **18**, 716-7.
- WALLS (L. P.). The nature of the volatile products from apples. *Journ. Pomol. and hort. Sci.*, 1942, **20**, 59-67.
- YOUNG (R. E.), PRATT (H. K.) et BIALE (J. B.). Manometric estimation of ethylene in the emanation of ripening fruits. *Amer. Journ. Bot.*, 1948, **35**, 814.

