

Conséquences de l'ionisation sur la physiologie, les contaminations fongiques et la qualité de la framboise conservée au froid.

C. LARRIGAUDIÈRE, M. BACCAUNAUD, J. RAYMOND et J.C. PECH*

CONSEQUENCES DE L'IONISATION SUR LA PHYSIOLOGIE, LES CONTAMINATIONS FONGIQUES ET LA QUALITÉ DE LA FRAMBOISE CONSERVÉE AU FROID.

C. LARRIGAUDIÈRE, M. BACCAUNAUD, J. RAYMOND et J.C. PECH.

Fruits, Oct. 1987, vol. 42, n° 10, p. 597-602

RESUME - Des framboises de la variété Héritage, récoltées à l'état mûr et immature ont été soumises à des radiations gamma aux doses de 1, 2 et 3 kGy. Le traitement ionisant réduit très fortement la population microbienne et en particulier les levures. Cependant certaines espèces de champignons pathogènes sont moins affectées par l'ionisation ; il s'agit en particulier des *Penicillium* et *Cladosporium*. Le traitement à 1 kGy permet le maintien de la texture à un niveau comparable au témoin. La fermeté des fruits aussi bien mûrs qu'immatures est par contre très nettement affectée à partir de 2 kGy. Le traitement ionisant provoque une réduction de l'émission de gaz

carbonique et de la production d'éthylène d'autant plus forte que la dose appliquée est élevée. Cet effet physiologique est probablement en relation avec une action défavorable de l'ionisation sur l'intégrité cellulaire. Contrairement à ce que l'on observe chez de nombreux végétaux, les blessures et les contaminations fongiques ne stimulent pas la production d'éthylène. Un surplus d'émission de gaz carbonique est observé chez des fruits contaminés.

Sur un plan pratique, le traitement ionisant à 1 kGy permet de conserver, dans un état commercial convenable les fruits mûrs, pendant 6 jours à +4°C puis 2 jours à +20°C. et les fruits immatures pendant 9 jours à +4°C puis 2 à 3 jours à 20°C. Les framboises immatures et mûres non traitées ne peuvent se conserver respectivement au plus que 6 jours et 3 jours à +4°C. Dans ce cas les contaminations à la sortie du froid sont importantes surtout chez les fruits légèrement immatures.

Cette étude met donc en évidence l'effet favorable de l'ionisation à la dose de 1 kGy sur le développement de germes pathogènes tout en préservant la texture et l'aspect qualitatif global des fruits.

INTRODUCTION

Les recherches portant sur l'utilisation de traitements par rayonnements ionisants pour prolonger la durée de vie des fruits et légumes frais ont surtout été développées dans les années 1960. Une mise au point de DUPAIGNE (1964) recense et commente les résultats obtenus avant 1964. Plus tard, des revues en anglais consacrées aux aspects physiologiques, pathologiques et technologiques de l'irradiation des fruits et légumes ont été publiées (MAXIE et KADER, 1966 ; CLARKE, 1971).

Un nouvel élan a été donné récemment à cette technique comme l'indiquent, en particulier, des revues générales

(VIDAL, 1985 ; MOINET, 1985) et des articles fondamentaux publiés dans des revues internationales (SUN, 1984).

Le traitement par rayonnements ionisants de fruits ou légumes, a pour but de réduire la flore pathogène sans modifier de façon néfaste ou irréversible la qualité globale et la physiologie du végétal. Il est donc important de bien connaître la réponse physiologique du végétal à diverses doses d'irradiation et d'évaluer les risques de dégâts purement physiques (texture, couleur) ou de dérégulations métaboliques. Ces réponses dépendent en grande partie de la physiologie propre à chaque espèce. On sait par exemple que les perturbations du déroulement du processus de maturation des fruits peuvent être très importantes chez les organes climactériques en relation avec des modifications de la synthèse autocatalytique d'éthylène (MAXIE et KADER, 1966 ; CLARKE, 1971). Ces fruits se prêtent donc mal au traitement ionisant. Par contre, les organes non-climactériques dont la maturation n'est pas associée à une synthèse autocatalytique d'éthylène (MARCELLIN, 1982) sont a priori moins sensibles à ce type de per-

C. LARRIGAUDIÈRE et J.C. PECH - Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 145, avenue de Muret - 31076 TOULOUSE Cedex
M. BACCAUNAUD - CTIFL - 3, rue de la Corderie, Centra 319 - 94586 RUNGIS Cedex.
J. RAYMOND - Laboratoire de Biochimie et de Technologie des Aliments - Université de Bordeaux I, Allée des Facultés - 33405 TALENCE.

turbations (MAXIE et KADER, 1966). Ils peuvent toutefois subir des modifications de couleur, de texture et d'arômes (MAXIE et KADER, 1966).

Dans cette étude, un fruit de type non-climactérique a été retenu, la framboise. Son aptitude à l'irradiation est controversée, certains travaux indiquant qu'elle se prête mal à ce traitement (MAXIE et KADER, 1966 ; MERCIER et QUEEN, 1967), d'autres au contraire, montrant que la durée de survie peut être fortement allongée en association avec la réfrigération (VIDAL, 1963). Ces résultats contradictoires, sans doute dus à des problèmes de variétés, de conditions de culture ou de stade de maturité, démontrent l'intérêt d'une expérimentation spécifique pour chaque variété dans les conditions locales de culture, de récolte et de conditionnement.

L'objet de ce travail est précisément d'étudier le comportement d'une variété de framboise ayant une grande importance économique dans le sud-ouest de la France : Heritage. On recherchera les effets de rayons gamma sur la physiologie du fruit (respiration, émission d'éthylène), sur sa texture et sur les contaminations fongiques, afin de déterminer les conditions optimales du traitement permettant de prolonger la durée de survie, en association avec la réfrigération.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal.

Les framboises de la variété Heritage ont été produites et récoltées dans la région de Dax (Landes) à deux stades de maturité, rose immature et rouge mature (densité optique du jus à 505 nm respectivement égale à 0,8 et 1,5).

Conditionnement et conservation.

Les fruits ont été triés, calibrés visuellement et disposés, à raison de 125 g, dans des barquettes en PVC fermées par un couvercle perforé. Après avoir été traitées par rayonnements ionisants, les framboises ont été stockées en chambre froide à + 4°C pendant 3, 6 ou 9 jours, puis placées à + 20°C pendant 5 jours.

Traitement ionisant.

Le traitement ionisant a été appliqué dans les 24 heures suivant la récolte. Les fruits ont été soumis au rayonnement gamma (Cobalt 60) à des doses de 1, 2 et 3 kGy. Le type d'installation utilisé permet d'assurer un traitement homogène (écart de ± 7 p. 100 de la dose moyenne appliquée). Le débit de dose de la source était voisin de 0,5 kGy par heure.

Mesure de la production d'éthylène et de CO₂.

A la sortie du froid, les fruits sont répartis dans des bocaux de 520 ml à raison de 55 à 60 g et maintenus à + 20°C. Après équilibrage thermique des fruits à température ambiante, les bocaux sont fermés et laissés en confinement

pendant 1 heure. Les teneurs en éthylène et en gaz carbonique des divers bocaux sont alors évaluées respectivement par chromatographie en phase gazeuse (Intersmat IGC 120 FL) et par absorption dans l'infrarouge (Schlumberger Anir 12).

Analyse de la texture.

Les évolutions de la texture des framboises ont été appréciées à l'aide d'un dynamomètre type 1910 HBH équipé d'un capteur 1 Kp et d'un enregistreur omniscrite D5000 (Houston Institut). Ce type d'appareil permet de déterminer la force (exprimée en m.v.) que doit déployer la sonde pour transpercer l'échantillon, donc de quantifier la dureté pénétrométrique des framboises.

Analyses microbiologiques.

L'état sanitaire des lots a été estimé visuellement en appréciant le pourcentage de fruits contaminés par barquette.

Le dénombrement des microorganismes présents à la surface des fruits a eu lieu après ensemencement et culture sur boîte de Pétri selon le protocole suivant :

Dix fruits sont rincés avec 50 ml d'eau stérile. Un ml de cette solution est déposé après dilution (1/10, 1/50 ou 1/100) sur un milieu sélectif constitué d'un mélange de jus de framboise à 10 p. 100 et d'agar à 18 g/l (pH final 3,2 ; stérilisation 115°C, 20 mn). Le dénombrement des colonies est effectué après 4 à 5 jours d'incubation à + 25°C.

Une détermination du genre des microorganismes contaminants a été réalisée par M. FAYRET, Maître de Conférence à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, après purification des souches.

RESULTATS

Effets des traitements ionisants sur l'état phytosanitaire des framboises.

● Evolution du nombre de fruits contaminés.

Quel que soit le stade de maturité à la cueillette, l'ionisation a un effet marqué sur le développement des microorganismes :

- pendant la conservation frigorifique, les effets favorables de l'ionisation sont perceptibles dès le sixième jour (figure 1B). A cette date, 15 p. 100 des fruits témoins matures sont contaminés alors que très peu de fruits traités sont atteints. Au neuvième jour, les différences sont encore plus marquées puisque 35 p. 100 des framboises récoltées mûres et non traitées sont atteintes de moisissures contre 15,5 p. 100, 10 p. 100 et 5 p. 100 respectivement pour celles ionisées à 1, 3 et 2 kGy (figure 1C).

- après la sortie du froid, les lots témoins sont rapidement envahis par les microorganismes. Près de 100 p. 100 des fruits sont en effet atteints 5 jours après la sortie du froid pour des durées préalables à + 4°C de 3 jours (figure 1A) et

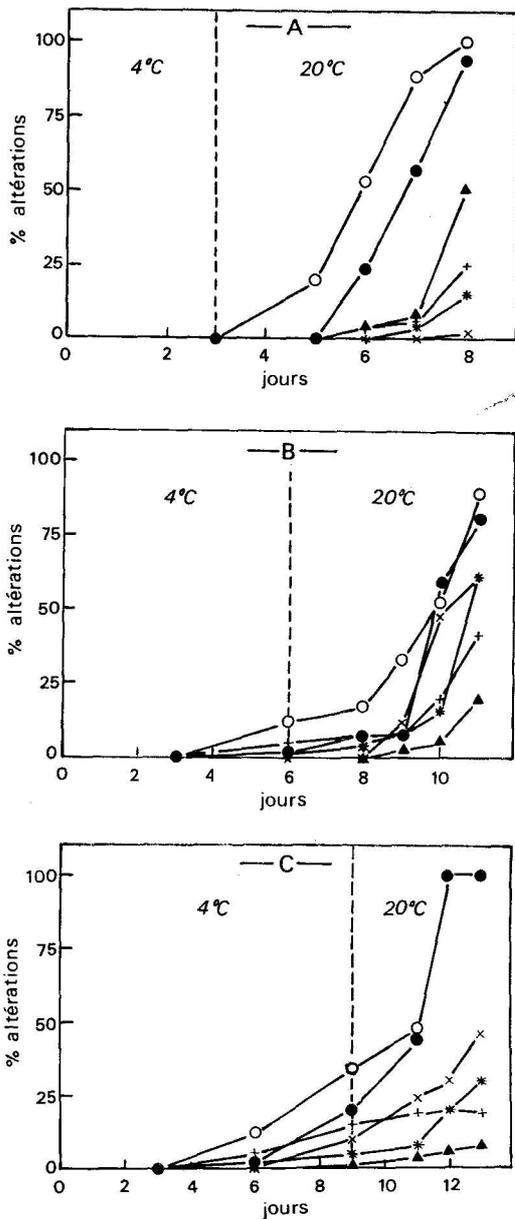


Figure 1 • EVOLUTION DE L'ETAT SANITAIRE DES FRAMBOISES IONISEES APRES DES DUREES DE REFRIGERATION DE 3 JOURS (A), 6 JOURS (B) ET 9 JOURS (C).

○ témoin mûr + 1 kGy mûr
 ● témoin immature * 2 kGy mûr
 ▲ 1 kGy immature x 3 kGy mûr

de 6 jours (figure 1B). Lorsque le séjour au froid est nettement plus long (9 jours), la totalité des fruits témoins est contaminée à 100 p. 100 dès le troisième jour à +20°C contre moins de 25 p. 100 pour les fruits ionisés (figure 1C).

D'une façon générale, les fruits récoltés immatures sont moins rapidement contaminés que ceux cueillis à maturité et tirent plus grand bénéfice du traitement ionisant. Ce phénomène est visible pour les fruits ayant séjourné 6 et 9 jours à +4°C (figures 1B et 1C). Cette observation ne se vérifie pas pour des durées de stockage au froid plus courtes

(3 jours, figure 1A), peut-être pour des raisons d'hétérogénéité d'échantillonnage.

On peut également observer que les doses élevées, surtout 3 kGy, conduisent, après des conservations de longue durée, à un développement plus important des microorganismes. Après 9 jours au froid par exemple, les fruits ionisés à 3 kGy sont contaminés à 25 p. 100 et 50 p. 100 respectivement dans les 2 et 4 jours suivants leur retour à +20°C, alors que ceux traités à 2 kGy ont seulement pendant la même période des taux d'altération de 8 p. 100 et 30 p. 100.

Si au niveau commercial le pourcentage maximum d'altérations peut être considéré comme inférieur à 5 p. 100, la figure 2 montre clairement l'intérêt d'un traitement ionisant à 1 kGy, principalement sur des framboises immatures. La qualité des fruits est en effet maintenue pendant les 4 jours qui suivent leur sortie d'entreposage au froid, assurant des délais de survie d'au moins 11 jours.

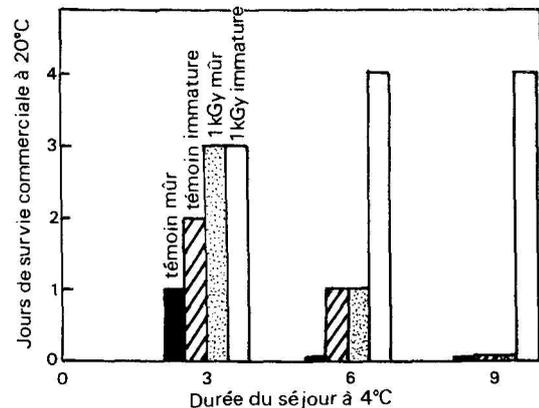


Figure 2 • DUREE DE SURVIE COMMERCIALE A +20°C DES FRAMBOISES IONISEES APRES DIVERS SEJOURS A +4°C.

● Evolution du nombre total de microorganismes.

L'évolution de la flore totale a été évaluée par comptage des colonies qui se sont développées sur un milieu sélectif à partir du milieu de lavage de fruits témoins, murs et immatures, et de fruits traités à 1 kGy. La figure 3 met clairement en évidence l'effet dépressif du traitement ionisant sur le nombre de microorganismes.

● Evolution de certaines espèces microbiennes.

Une des caractéristiques majeures de la flore présente à la surface des framboises non ionisées est la très grande dominance des levures. Les verticillium ne subissent pas de développement marqué, alors que les penicillium et cladosporium deviennent nombreux à la sortie du froid sur des fruits fortement altérés. Dans les fruits ionisés, le nombre de levures au froid reste faible tandis que celui des penicillium et cladosporium augmente très sensiblement. Lors du séjour à +20°C, les levures deviennent à nouveau très abondantes et le nombre de colonies des autres champignons se développant en boîtes de Pétri diminue.

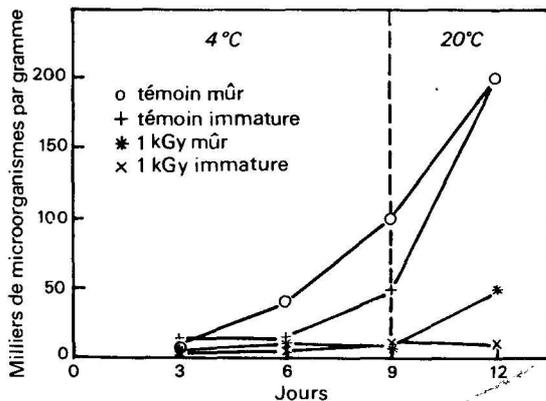


Figure 3 • EVOLUTION DU NOMBRE DE MICROORGANISMES PENDANT LA REFRIGERATION DES FRAMBOISES A +4°C ET DURANT LA SURVIE ULTERIEURE A +20°C.

INFLUENCE DE L'IRRADIATION SUR LA TEXTURE

La résistance à la pénétration a été suivie au cours de la conservation à +4°C. Les résultats présentés sur la figure 4 montrent que l'ionisation à 1 kGy n'affecte pas la fermeté des framboises. Par contre, des doses de 2 et surtout 3 kGy entraînent une dégradation très nette de la texture, et ceci pendant les premiers jours de conservation. Une récolte à un stade plus immature permet de conserver plus longtemps un niveau élevé de fermeté.

RELATIONS ENTRE LE DEGRE DE CONTAMINATION, L'EMISSION D'ETHYLENE ET DE CO₂

Afin de mieux apprécier l'évolution physiologique du fruit en réponse au traitement ionisant et ses relations

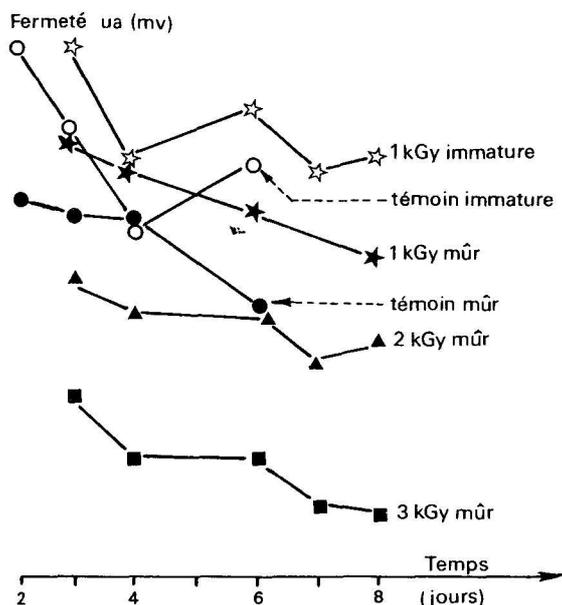


Figure 4 • EVOLUTION DE LA FERMETÉ DES FRAMBOISES (RESISTANCE A LA PENETRATION) EN FONCTION DE LA DUREE D'ENTREPOSAGE A +4°C.

avec le développement des contaminations, l'émission d'éthylène et de CO₂ a été suivie tout au long du séjour au froid et à +20°C.

Il apparaît que l'émission de CO₂ est fortement réduite dans le cas des fruits soumis à irradiation. Cette réduction peut atteindre plus de 50 p. 100 à la dose de 3 kGy (figure 5C). L'émission de CO₂ est d'une façon générale plus élevée dans le cas de survie prolongée et de forte contamination. Il en est ainsi surtout dans le cas des fruits témoins non irradiés (figure 5A).

L'émission d'éthylène se trouve considérablement diminuée dans les fruits irradiés. Les doses les plus élevées ont les effets les plus marqués. Dans le cas des fruits témoins, la production d'éthylène diminue avec la durée de survie et avec le degré de contamination. En effet, contrairement à toute attente, les fruits très contaminés produisent le plus souvent moins d'éthylène que les fruits sains.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Si de nombreux travaux ont été entrepris sur les rayonnements ionisants et leurs effets sur les multiples espèces fruitières ou légumières (VIDAL P., 1963 ; TRUELSEN T.A., 1963 ; MERCIER R.G. et MAC QUEEN, 1967), peu d'entre eux ont concerné la framboise. De plus, jusqu'à présent, les études ont souvent portées sur des aspects nutritionnels ou de qualité visuelle, sans s'intéresser fondamentalement à la physiologie même du végétal.

Ce travail montre que par rapport aux pratiques classiques, le traitement ionisant, appliqué à la dose faible de 1 kGy, permet de prolonger la durée de survie des framboises de 3 à 4 jours. Les effets obtenus sont plus intéressants sur les fruits récoltés avant maturité complète. A cette dose, l'ionisation amène une amélioration de l'état sanitaire et une réduction des activités métaboliques sans modifier notablement la texture des fruits. Un tel traitement peut dès lors être envisagé dans la pratique commerciale. Le froid reste cependant un complément indispensable pour des durées de conservation plus longues.

A des doses supérieures (2 et 3 kGy) l'effet bénéfique de l'irradiation est contrecarré par un ramollissement important du fruit. Cette altération de texture résulte d'une modification de la composition polysaccharidique des parois après irradiation (FOA *et al.*, 1980) et notamment des pectines (KERTESZ *et al.*, 1964). Ces doses ne pourront pas être envisagées pour une exploitation commerciale.

Comme pour d'autres espèces fruitières et légumières (BACCAUNAUD *et al.*, 1983 ; BACCAUNAUD et CHAPON, 1985), le traitement ionisant permet de ralentir considérablement le développement des microorganismes.

A 1 kGy le nombre de microorganismes se trouve fortement réduit, cette amélioration de l'état phytosanitaire correspond essentiellement à une diminution du nombre de levures. Les autres microorganismes et notamment ceux qui sont pigmentés (*Cladosporium* sp., *Penicillium* sp.) sont moins sensibles que les levures et peuvent même devenir proportionnellement plus abondants à la surface des fruits irradiés.

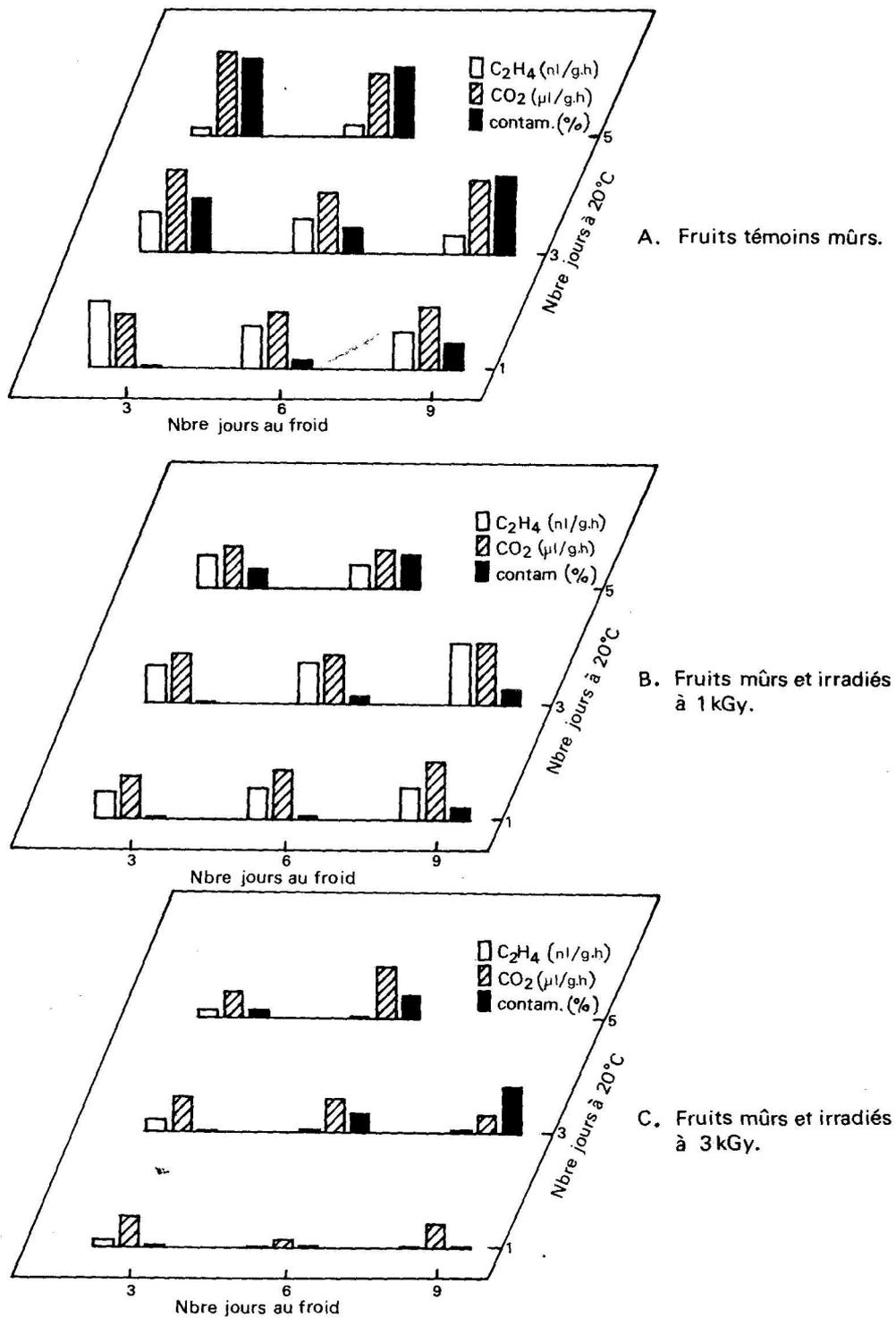


Figure 5 • EVOLUTION DE LA PRODUCTION ETHYLENIQUE (□), DE LA RESPIRATION (▨) ET DU DEGRE DE CONTAMINATION (■) EN FONCTION DE LA DUREE DU SEJOUR AU FROID A +4°C, DE LA DUREE DU SEJOUR A +20°C ET DE LA DOSE D'IONISATION.

L'ionisation semblerait donc modifier la pression de sélection en éliminant l'espèce dominante et en favorisant d'autres espèces initialement réprimées. Les relations hôte-parasite sont modifiées (résistance mécanique à l'infestation moindre, exsudats vacuolaires ...) ce qui favorise la recontamination exogène, surtout après sortie du froid. Cet effet est d'autant plus marqué que la dose appliquée est élevée.

Par son action sur le métabolisme cellulaire, l'ionisation peut retarder la maturation de certains fruits comme les bananes, les mangues ou les papayes (JOSEPHSON et PETERSON, 1983). Cette modification métabolique, quantifiable en mesurant l'intensité respiratoire et la production éthylénique a été observée chez la framboise. L'ionisation crée un effet dépressif sur la respiration des framboises. Cet effet s'observe dès les premiers jours de sortie du froid et semble être modulé par le nombre de contaminations elles-mêmes productrices de gaz carbonique. Cet effet dépressif de l'ionisation s'observe aussi sur la production d'éthylène. Cette hormone bien que n'étant probablement pas impliquée dans la maturation des fruits non climactériques (REID *et al.*, 1985), voit

généralement sa production augmenter en cas de blessures ou de contaminations fongiques. Dans le cas de la framboise le pourcentage d'altérations n'influence pas la production éthylénique, l'effet dépressif prédomine et ceci d'autant plus que la dose d'irradiation est forte.

L'ensemble de ces résultats est en accord avec un phénomène d'altération de texture et d'intégrité membranaire. Cette altération semblerait être la cause de la diminution des activités enzymatiques (chaîne respiratoire, système enzymatique de formation de l'éthylène).

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un programme de recherche mis en place par l'ADIA (21, cours Xavier Arnoz - 33082 BORDEAUX Cedex) avec la participation financière de l'ONIFLHOR, de la DIAA (Ministère de l'Agriculture) et de la région Aquitaine. Nous tenons à remercier F. RIBOULET (ADIA) pour son action efficace dans la mise en place de ce programme et M. FAYRET (Université Paul Sabatier, TOULOUSE) pour son aide dans l'identification des microorganismes.

BIBLIOGRAPHIE

- BACCAUNAUD (M.), SCANDELLA (D.) et ICRE (P.). 1983.
Effets combinés de la prérefrigeration, de l'ionisation et de traitement gazeux sur la conservation de la fraise.
Communication au seizième congrès international du froid.
C2, 344.
- BACCAUNAUD (M.) et CHAPON (J.F.). 1985
L'ionisation, application aux fruits et légumes.
CTIFL Infos, (9), 43-54.
- CLARKE (I.D.). 1971.
Effects of radiation treatments.
In : *The biochemistry of fruits and their products*, vol. 2,
HULME A.C., ed. Acad. Press London, 687-705.
- DUPAIGNE (P.). 1964.
Application des radiations ionisantes aux produits fruitiers.
Fruits, 19 (1), 31-42.
- JOSEPHSON (E.S.) et PETERSON (M.S.). 1983.
Preservation of food by ionizing radiation.
CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, vol. III, p. 275.
- FOA (E.), JONA (R.) et VALLIANA (R.). 1980.
Histochemical effects of gamma radiation on soft fruit cell wall.
Environmental and experimental botany, vol. 20, 47-54.
- KERTESZ (Z.I.), GLEGG (R.E.), BOYLE (F.P.), PARSONS (G.F.) et MASSEY (L.M.). 1964.
Effects of ionizing radiations on plant tissues.
III. Softening and changes in pectins and cellulose of apples, carrot and beets.
J. Food Res., 29, 40-48.
- MARCELLIN (P.). 1982.
La respiration des fruits après récolte : La crise climactérique.
Bull. Soc. Bot. Fr., 129, 107-121.
- MAXIE (E.C.) et ABDEL KADER (A.). 1966.
Food irradiation : physiology of fruits as related to feasibility of the technology.
Adv. in Food Res., 15, 105-145.
- MERCIER (R.G.) et MAC QUEEN (K.F.). 1967.
Gamma irradiation to extend postharvest life of fruits and vegetables.
in : *Gamma irradiation in Canada*, Ottawa Atom, Energy of Canada Ltd, vol. 5, 60-80.
- MOINET (M.L.). 1985.
L'irradiation, une nouvelle technique vieille de dix ans.
Aprifel, 4, 16-21.
- REID (M.S.), PECH (J.C.) et LATCHE (A.). 1985.
Non intervention de l'éthylène endogène dans la maturation de la cerise, fruit non-climactérique.
Fruits, 40 (3), 197-203.
- SUN (M.). 1984.
Renewed interest in food irradiation.
Science, 223, 6677.
- TRUELSEN (T.A.). 1963.
Radiation pasteurisation of fresh fruits and vegetables.
Food Technol., 17, 336-339.
- VIDAL (P.). 1963.
Conservation des petits fruits par radiopasteurisation.
Food Irrad., 4 (1-2), 2-10.
- VIDAL (P.). 1985.
Le traitement des denrées alimentaires par les rayonnements ionisants ou pico-ondes.
RGF, 491-496.