

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ A

L'INSTITUT ARMAND FRAPPIER

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN

MICROBIOLOGIE APPLIQUÉE

PAR

AREZKI MAHROUR

EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ

MICROBIOLOGIQUE ET BIOCHIMIQUE DU POULET

JUIN 1995

A la mémoire du Docteur
Marcel Gagnon

TABLE DES MATIERES

LISTE DE TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xv
SOMMAIRE.....	xvii
INTRODUCTION.....	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	8
1.0 INTRODUCTION.....	9
2.0 LE POULET.....	10
3.0 ASPECTS MICROBIOLOGIQUES DU POULET.....	14
3.1 La flore aérobic mésophile.....	18
3.1.1 Les bactéries lactiques.....	20
3.2 La flore pathogène.....	21
3.2.1 Les salmonelles.....	21
3.2.1.1 Origine des contaminations aux salmonelles.....	24
3.2.2 Les autres bactéries pathogènes.....	27
3.2.2.1 <i>Campylobacter jejuni</i>	27
3.2.2.2 <i>Clostridium perfringens</i>	28
3.2.2.3 <i>Escherichia coli</i>	30
3.2.2.4 <i>Listeria monocytogenes</i>	32
3.2.2.5 <i>Staphylococcus aureus</i>	34
3.2.2.6 <i>Yersinia enterocolitica</i>	36
4.0 ASPECTS BIOCHIMIQUES : COMPOSITION LIPIDIQUE DU POULET.....	37
4.1 Les lipides neutres.....	40
4.2 Les phospholipides.....	44
4.3 Les hydrocarbures des glycérides.....	47
4.4 L'oxydation des lipides.....	48
5.0 ASPECTS ORGANOLEPTIQUES.....	57
6.0 LES DIFFÉRENTS MODES DE TRAITEMENT DU POULET.....	62
6.1 Le salage.....	62
6.2 Le fumage.....	63
6.3 Le rinçage à l'eau chaude.....	63
6.4 L'application d'acides organiques.....	64
6.5 La congélation.....	64

6.6	Le traitement à l'eau chlorée.....	65
6.7	La pasteurisation.....	66
6.8	La conservation sous atmosphère modifiée.....	67
7.0	L'IRRADIATION.....	68
7.1	Le principe de l'irradiation.....	69
7.2	Les différents types de rayonnements ionisants.....	72
7.2.1	Les rayons alpha.....	72
7.2.2	Les rayons bêta.....	72
7.2.3	Les rayons X.....	73
7.2.4	Les rayons gamma.....	73
7.3	Les interactions des rayons gamma avec la matière.....	73
7.4	Le Cobalt 60.....	75
7.5	La différence entre radioactivité et irradiation.....	76
7.6	La dosimétrie.....	78
7.7	Les applications de l'irradiation aux denrées alimentaires.....	79
7.8	Les effets de l'irradiation	85
7.8.1	Les effets de l'irradiation sur les microorganismes.....	85
7.8.1.1	Les effets directs.....	85
7.8.1.2	La résistance microbienne à l'irradiation.....	88
7.8.1.3	Les effets indirects.....	89
7.8.2	Les effets de l'irradiation gamma sur la qualité des aliments.....	91
7.8.2.1	Les effets de l'irradiation sur les protéines.....	94
7.8.2.2	Les effets de l'irradiation sur les vitamines.....	94
7.8.2.3	Les effets de l'irradiation sur les lipides.....	95
7.8.3	Les produits de radiolyse.....	95
8.0	LES ANTIOXYDANTS.....	98
8.1	Les antioxydants artificiels.....	98
8.2	Les antioxydants naturels.....	99
8.2.1	Le thym.....	101
8.2.2	Le romarin.....	103
8.2.3	L'acide citrique et l'acide ascorbique..	107
9.0	PROBLÉMATIQUE.....	108
10.0	HYPOTHÈSE DE TRAVAIL.....	109
11.0	OBJECTIFS.....	109

MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	111
1.0 ECHANTILLONNAGE.....	112
1.1 Pré-traitements.....	112
1.1.1 Emballage sous air.....	112
1.1.2 Emballage sous vide.....	112
1.1.3 Emballage sous air + marinade.....	114
2.0 TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS AUX RAYONS GAMMA.....	115
2.1 Dosimétrie.....	115
3.0 ANALYSE MICROBIOLOGIQUE.....	116
3.1 Numération des colonies aérobies.....	116
3.2 Isolement et identification des salmonelles....	117
3.2.1 pré-enrichissement en milieu non sélectif.....	117
3.2.2 enrichissement en milieu sélectif liquide.....	118
3.2.3 isolement sur milieu solide	118
3.2.4 purification.....	119
3.2.5 identification et confirmation.....	120
4.0 ANALYSE BIOCHIMIQUE.....	121
4.1 Extraction des lipides.....	121
4.1.1 Préparation de la colonne.....	121
4.1.2 Préparation de l'échantillon.....	122
4.1.3 Elution des lipides.....	122
4.2 Séparation des lipides neutres et des phospholipides.....	122
4.3 Classification des phospholipides.....	123
4.4 Préparation des esters méthyliques d'acides gras.....	125
4.5 Equipement.....	126
4.6 Identification des acides gras.....	127
4.7 Quantification en % des acides gras.....	127
4.8 Calcul des concentrations en mg/100g des acides gras.....	128
4.9 Détermination des rapports d'acides gras insatu- rés sur les acides gras saturés Ks, Km et Kd...	128
5.0 ANALYSE SENSORIELLE.....	129
5.1 Préparation des échantillons.....	129
5.2 Méthode de cuisson.....	130

5.3	Jury.....	130
5.4	Méthodes utilisées.....	131
5.4.1	Test de discrimination triangulaire.....	131
5.4.2	Test à l'échelle non graduée.....	132
6.0	ANALYSE STATISTIQUE.....	133
	RÉSULTATS.....	135
1.0	EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DU POULET.....	136
1.1	Effets de l'irradiation sur la flore aérobie mésophile.....	136
1.1.1	Equation de prédiction pour la flore aérobie mésophile.....	144
1.2	Effets de l'irradiation gamma sur les salmonelles.....	146
2.0	EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ BIOCHIMIQUE DU POULET.....	148
2.1	Effets de l'irradiation gamma sur les acides gras des lipides neutres du poulet..	148
2.2	Effets de l'irradiation gamma sur les acides gras des phospholipides du poulet...	162
2.3	Effets de l'irradiation gamma sur le contenu total des acides gras insaturés.....	183
3.0	ANALYSE STATISTIQUE DES ACIDES GRAS DES LIPIDES NEUTRES ET DES PHOSPHOLIPIDES DU POULET.....	191
3.1	Effets des pré-traitements.....	191
3.2	Effets de la dose d'irradiation.....	193
3.3	Effets de la durée du stockage.....	196
3.4	Equation de prédiction pour les acides gras....	199
4.0	EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE DU POULET.....	201
	DISCUSSION.....	210
1.0	EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DU POULET.....	211
1.1	Effets de l'irradiation sur la flore aérobie mésophile.....	211
1.1.1	Effets des pré-traitements.....	211
1.1.2	Effets de la dose d'irradiation.....	212

	vii
1.1.3 Effets de la durée du stockage.....	214
1.2 Effets de l'irradiation gamma sur les salmonelles.....	214
2.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ BIOCHIMIQUE DU POULET.....	216
2.1 Effets de l'irradiation gamma sur les acides gras des lipides neutres du poulet et des phospholipides.....	216
2.1.1 Effets des pré-traitements.....	217
2.1.2 Effets de la dose d'irradiation.....	217
2.1.3 Effets de la durée du stockage.....	219
2.2 Effets de l'irradiation gamma sur le contenu total des acides gras insaturés.....	222
3.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE DU POULET.....	227
CONCLUSION.....	234
REMERCIEMENTS.....	238
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	241
ANNEXES.....	268

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I	Composition des viandes de poulet.....	11
TABLEAU II	pH limites de croissance de quelques microorganismes.....	17
TABLEAU III-A	Composition moyenne en acides gras du poulet.....	38
TABLEAU III-B	Concentration moyenne en acides gras des différentes parties du poulet.....	39
TABLEAU IV	Effets de la dose d'irradiation sur les aliments.....	80
TABLEAU V	Tolérance relative des fruits et légumes frais à l'irradiation à des doses < à 1kGy.....	82
TABLEAU VI	Tolérance à l'irradiation des produits carnés.....	83
TABLEAU VII	Valeur D ₁₀ pour l'irradiation de quelques bactéries pathogènes trouvées dans les aliments.....	90
TABLEAU VIII	Perméabilité à l'oxygène et au dioxyde de carbone de quelques films en plastique utilisés pour l'emballage des viandes... 113	
TABLEAU IX	Moyennes des traitements montrant les effets des pré-traitements sur le nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet.....	141
TABLEAU X	Moyennes des traitements montrant les effets de la dose d'irradiation sur le nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet frais.....	142
TABLEAU XI	Moyennes des traitements montrant les effets du temps de stockage sur le nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet frais.....	143

TABLEAU XII	Equations de régression pour la prédiction du nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet frais.....	145
TABLEAU XIII	Effets de l'irradiation sur les salmonelles trouvées dans les cuisses de poulet pré-traitées durant le stockage à 4°C.....	147
TABLEAU XIV	Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (0 kGy) et conservées sous air à 4°C.....	150
TABLEAU XV	Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (0 kGy) et conservées sous vide à 4°C.....	151
TABLEAU XVI	Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy), marinées et conservées sous air à 4°C...	152
TABLEAU XVII	Effets de l'irradiation sur la concentration (mg/100g) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy) et conservées sous air à 4°C....	164
TABLEAU XVIII	Effets de l'irradiation sur la concentration (mg/100g) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy) et conservées sous vide à 4°C...	165
TABLEAU XIX	Effets de l'irradiation sur la concentration (mg/100g) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy), marinées et conservées sous air à 4°C.....	166

TABLEAU XX	Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des phospholipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy) et conservées sous air à 4°C....	167
TABLEAU XXI	Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des phospholipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy) et conservées sous vide à 4°C...	168
TABLEAU XXII	Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des phospholipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (0 kGy), marinées et conservées sous air à 4°C.....	169
TABLEAU XXIII	Effets de l'irradiation sur la composition (%) des acides gras saturés, mono-saturés, di-insaturés, polyinsaturés et le total de tous les insaturés des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées et non irradiées et conservées à 4°C.....	185
TABLEAU XXIV	Effets de l'irradiation sur l'évolution des rapports d'insaturation (Ks), de mono-insaturation (Km) et de polyinsaturation (Kd) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées et non irradiées au cours de la conservation à 4°C.....	187
TABLEAU XXV	Moyennes des traitements montrant les effets de l'irradiation sous air, sous vide et marinade sur les acides gras insaturés des lipides neutres (LN) et de phospholipides (PL) dans les cuisses de poulet.....	192
TABLEAU XXVI	Moyennes des traitements montrant les effets de l'irradiation sur les acides gras insaturés des lipides neutres (LN) dans les cuisses de poulet.....	194

TABLEAU XXVII	Moyennes des traitements montrant les effets de l'irradiation sur les acides gras insaturés des phospholipides (PL) dans les cuisses de poulet.....	195
TABLEAU XXVIII	Moyennes des traitements montrant les effets du temps de stockage sur les acides gras insaturés des lipides neutres dans les cuisses de poulet.....	197
TABLEAU XXIX	Moyennes des traitements montrant les effets du temps de stockage sur les acides gras insaturés des phospholipides (PL) dans les cuisses de poulet.....	198
TABLEAU XXX	Coefficients des équations de régression des acides gras en relation avec la dose d'irradiation et le temps de stockage.....	200
TABLEAU XXXI	Effets de l'irradiation sur l'évaluation de l'odeur des cuisses de poulet emballées sous air et irradiées à 5 kGy...	202
TABLEAU XXXII	Effets de l'irradiation sur l'appréciation des caractéristiques organoleptiques des cuisses de poulet emballées sous air et irradiées à 5 kGy (échelle non graduée).....	204
TABLEAU XXXIII	Effets de l'irradiation sur l'appréciation des caractéristiques organoleptiques des cuisses de poulet emballées sous vide et irradiées à 5 kGy (échelle non graduée).....	205
TABLEAU XXXIV	Effets de l'irradiation sur l'appréciation des caractéristiques organoleptiques des cuisses de poulet emballées sous air, marinées et irradiées à 5 kGy (échelle non graduée).....	206
TABLEAU XXXV	Résultats statistiques de la variance concernant l'odeur du poulet emballé sous air.....	208
TABLEAU XXXVI	Résultats statistiques de la variance concernant la saveur du poulet emballé sous air.....	209

LISTE DES FIGURES

Fig. 1	Consommation apparente de viandes de boeuf, de poulet, de porc et autres <i>per capita</i> , Canada, 1974-1993.....	13
Fig. 2	Niveaux minima d' A_w des organismes impliqués dans la détérioration des aliments et les empoisonnements alimentaires.....	16
Fig. 3	Cycle de contamination par les salmonelles.....	26
Fig. 4	Schéma d'acides gras ayant une chaîne de 16 et 18 atomes de carbone.....	42
Fig. 5	Péroxydation des acides gras polyinsaturés.....	50
Fig. 6	Produits de formation lors de la dégradation des lipides.....	52
Fig. 7	Radiations ionisantes.....	71
Fig. 8	Modes d'action des rayonnements ionisants..... A : effet photoélectrique B : effet Compton C : effet production de paires	74
Fig. 9	Pouvoirs de pénétration des rayonnements ionisants.....	77
Fig. 10	Action des rayonnements ionisants sur la molécule d'ADN..... A : effets directs B : réparation de l'ADN	87
Fig. 11	Structures chimiques de certains composés du thym.....	104
Fig. 12	Structures chimiques de certains composés du romarin.....	106
Fig. 13	Effets de l'irradiation et du stockage sur le nombre total de colonies aérobies viables (\log_{10}) dénombrées dans les cuisses de poulet..	137
Fig. 14	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide myristoléique (C14=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	155

Fig. 15	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitique (C16=0) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	156
Fig. 16	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitoléique (C16=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	158
Fig. 17	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide stéarique (C18=0) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	159
Fig. 18	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide oléique (C18=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	160
Fig. 19	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide linoléique (C18=2) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	161
Fig. 20	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en total d'acides gras non identifiés (NI) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C...	163
Fig. 21	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide myristique (C14=0) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	173
Fig. 22	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide myristoléique (C14=1) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	174
Fig. 23	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitique (C16=0) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	175
Fig. 24	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitoléique (C16=1) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	177

Fig. 25	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide stéarique (C18=0) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	178
Fig. 26	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide oléique (C18=1) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	179
Fig. 27	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide linoléique (C18=2) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	180
Fig. 28	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide linoléique (C18=3) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	181
Fig. 29	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide arachidonique (C20=4) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C.....	182
Fig. 30	L'effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration totale d'acides gras non identifiés (NI) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C...	184
Fig. 31	L'effet de l'irradiation et du stockage sur l'évolution du coefficient d'insaturation (Ks) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C...	188
Fig. 32	L'effet de l'irradiation et du stockage sur l'évolution du coefficient de monoinsaturation (Km) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C...	189
Fig. 33	L'effet de l'irradiation et du stockage sur l'évolution du coefficient de polyinsaturation (Kd) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C...	190

LISTE DES ABREVIATIONS

A	=	Air
ADN	=	Acide désoxyribonucléique
AG	=	Acides gras
AIEA	=	Agence internationale de l'énergie atomique
BSA	=	"Bismuth Sulfite Agar" (gélose au Sulfite de Bismuth)
BGSA	=	"Brillant Green Sulfa Agar" (gélose au Vert Brillant Sulfamide)
BHA	=	Butylated hydroxyanisole
BHT	=	Butylated Hydroxytoluene
CIC	=	Centre d'Irradiation du Canada
CRESALA	=	Centre de recherche en Sciences Appliquées à l'Alimentation
CRMA	=	Centre de recherche en microbiologie appliquée
D ₁₀	=	dose d'irradiation réduisant la population microbienne de 90%
DGPS	=	Direction générale de la protection de la santé
FAO	=	Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
FDA	=	"Food and Drug Administration" (États-Unis)
Gram ⁺	=	bactérie qui conserve la coloration de Gram
Gram ⁻	=	bactérie qui perd la coloration de Gram
g	=	gramme
Gy	=	Gray
h	=	heure
kGy	=	Kilogray

LIA	=	"Lysine Iron Agar" (Gélose de lysine fer)
Log	=	Logarithme décimal
LP	=	Lipides neutres
M	=	marinade
MeV	=	million d'électrons volts
mg	=	milligramme
min	=	minute
ml	=	millilitre
MPHFB	=	Méthode de référence utilisée par Santé et Bien-être social Canada
NCA	=	Numération des colonies aérobies
nm	=	nanomètres
OMS	=	Organisation Mondiale de la Santé
PL	=	Phospholipide
ppm	=	partie par million (mg/kg)
TBHQ	=	Tertiary butylated hydroxyquinone
TSI	=	Triple Sugar Iron (gélose de tri-glucides fer)
UFC	=	Unité formatrice de colonies
V	=	Vide
°C	=	Degré Celsius

SOMMAIRE

Les salmonelles sont des bactéries pathogènes qui infestent la majorité des viandes de volaille commercialisées à travers le monde, causant ainsi des maladies infectieuses. Pour éliminer les germes pathogènes et augmenter la durée de conservation du poulet, l'appel au procédé d'irradiation est une solution raisonnable qui est acceptée dans plusieurs pays et préconisée par d'autres. Toutefois, l'irradiation à des doses requises pour la destruction totale des germes pathogènes peut générer parfois des modifications chimiques et organoleptiques dans certains produits tels que la viande de poulet.

Afin de remédier à ces modifications, notre étude préconise d'utiliser des pré-traitements associés à l'irradiation. L'utilisation d'une combinaison de traitements: irradiation et marinade à base de plantes contenant des substances antioxydantes naturelles et irradiation avec emballage sous vide.

Dans le cadre de cette étude, nous évaluerons l'efficacité de la dose d'irradiation dans la destruction des germes pathogènes (Salmonella), l'amélioration de la durée de conservation du poulet et l'effet de cette dose d'irradiation

sur l'oxydation des lipides qui génèrent de mauvaises odeurs et saveurs.

Des échantillons de cuisses de poulet frais, emballées sous air et sous vide sont comparés avec des cuisses de poulet marinées dans une préparation (marinade) composée de jus de citron, de thym et de romarin et traités par des rayonnements ionisants au ^{60}Co . Cette comparaison s'est effectuée au cours de l'entreposage sous réfrigération à 4°C pendant 1 à 15 jours.

La qualité du poulet est évaluée par des analyses bactériologiques, chimiques et organoleptiques sur la viande traitée à 0, 3 et 5 kGy. La qualité au cours de l'entreposage est vérifiée aux jours 1, 3, 6, 9, 12 et 15.

L'examen des résultats montre, en ce qui concerne l'analyse microbiologique, que le poulet témoin (0 kGy) est très contaminé par les salmonelles (30 à 50 %). L'irradiation a un effet significatif sur le comptage des colonies aérobies ($P \leq 0.05$). Pour chaque traitement, le nombre de microorganismes viables diminue avec l'augmentation de la dose d'irradiation. La marinade a un effet synergique avec l'irradiation pour réduire le nombre total de microorganismes. L'application d'une dose de 3 kGy permet de réduire les microorganismes mais ne détruit pas entièrement les salmonelles. Cependant, une dose de 3 kGy de la viande marinée a un effet de synergie et permet de

détruire les salmonelles et de prolonger la durée de conservation jusqu'à 12 jours. Par contre, l'application d'une dose de 5 kGy permet de réduire considérablement la flore totale, de détruire entièrement les salmonelles et d'augmenter ainsi la durée de conservation du poulet jusqu'à 15 jours.

L'analyse chimique par chromatographie en phase gazeuse des lipides neutres et des phospholipides a révélé certaines modifications au niveau des acides gras : pour les lipides neutres, l'acide palmitique (C16=0) et l'acide stéarique (C18=0) qui représente 30 à 35 % des acides gras saturés du poulet diminuent en fonction de la dose d'irradiation et de la durée du stockage. L'acide palmitoléique (C16=1) et l'acide oléique (C18=1) qui sont des monoinsaturés, représentant 57 à 61 % des acides gras totaux, augmentent légèrement en fonction de la dose d'irradiation et de la durée du stockage. Les acides gras polyinsaturés, entre autres l'acide linoléique (C18=2), l'acide linoléique (C18=3) et l'acide gadoléique (C20=2) représentant 10 à 12 % diminuent considérablement et semblent être les plus radiosensibles.

Les phospholipides qui contiennent plus d'acides gras polyinsaturés que les lipides neutres montrent que ceux-ci sont plus affectés par l'irradiation. La marinade semble toutefois montrer des fonctions antioxydantes et antibactériennes éprouvées, et avoir une meilleure protection pour le C18=2.

En général, la concentration des acides gras, aussi bien des lipides neutres que des phospholipides, diminue durant le stockage. La durée du stockage, à elle seule, compte pour 85% des variations observées sur les acides gras.

Lors de l'évaluation sensorielle, (analyse effectuée un jour après l'irradiation), les membres du jury, qui ont évalué l'apparence, l'odeur et la flaveur, ont éprouvé des difficultés à différencier le poulet irradié du non-irradié (témoin). Aucune différence significative n'a été trouvée ($P > 0.05$) entre le poulet mariné, le poulet irradié sous vide et le témoin non irradié. Toutefois, le poulet irradié sous air à 5 kGy était significativement différent ($p \leq 0.05$) du contrôle pour l'odeur et la flaveur.

INTRODUCTION

Le poulet est une source de protéines non négligeable. Il représente 20 % de la ration alimentaire des Nord-Américains. Toutefois, le poulet est un produit périssable même en utilisant des pratiques de conservation au froid. Il n'en demeure pas moins que sa durée de vie est limitée à quelques jours.

Le poulet est aussi le premier vecteur de salmonelles dans la plupart des pays. Il est estimé que 35 à 50 % des carcasses de poulet commercialisées sont contaminées par les salmonelles (Thayer et al., 1992).

Les salmonelles sont responsables de nombreuses salmonelloses répertoriées à travers le monde et qui sont associées à la consommation de produits de volaille (Todd, 1989) et représentent un problème crucial de santé publique. Le coût du traitement de la salmonellose au Canada s'élève à 98 millions de dollars par an (Todd, 1988).

L'élimination de cette bactérie pathogène dans le poulet permettrait de réduire les coûts liés à la santé et de ce fait contribuerait à améliorer la santé publique (Hanis et al., 1989 ; Thayer et al., 1990).

Depuis quelques années, de très nombreux travaux ont été consacrés à l'influence des traitements ionisants sur la qualité microbiologique des viandes de volaille. Ces travaux

ont permis de démontrer que l'irradiation du poulet frais à une dose moyenne de 2,5 kGy permet de réduire les salmonelles tout en prolongeant la durée de vie du produit (Urbain, 1983; Hanis et al., 1989 ; Thayer et al., 1990).

En 1983, la commission du "Codex Alimentarius" regroupant 125 pays a approuvé l'irradiation de tout aliment jusqu'à une dose de 10 kGy et a recommandé l'irradiation du poulet jusqu'à une dose de 7 kGy (Codex Alimentarius, 1984). Cependant, jusqu'à présent, et en dépit de l'avis favorable émis en matière de toxicologie par l'O.M.S. en 1980, l'utilisation de ces techniques ne progresse que lentement.

A l'heure actuelle, l'irradiation du poulet est autorisée dans plus de 11 pays (France, U.S.A., Russie, Brésil, Hollande, Thaïlande, Afrique du sud, Israël, Chili, Bangladesh, Syrie). Aux Etats-Unis et en Hollande, l'irradiation du poulet à une dose de 3 kGy est maintenant acceptée. L'État d'Israël applique une dose de 7 kGy tandis que l'Afrique du Sud applique une dose allant jusqu'à 45 kGy pour les préparations de mets de poulet stérilisés.

Toutefois, l'application d'une dose de 3 kGy, même si elle permet de réduire la contamination microbienne, de contrôler la prolifération des salmonelles, de prolonger la durée de conservation et de maintenir la qualité organoleptique du

poulet frais de 3 à 9 jours à une température de 1 à 4°C, elle ne permet malheureusement pas la destruction totale de ces microorganismes pathogènes (Heath *et al.*, 1988 ; Hanis *et al.*, 1989 ; Katta *et al.*, 1991 ; Thayer *et al.*, 1992).

En général, la dose requise pour l'élimination des salmonelles dans les aliments se situe entre 5 et 7 kGy (O.M.S., 1981 ; Hanis *et al.*, 1989). À ces doses, on engendre malheureusement l'apparition de mauvaises saveurs et odeurs (Barbut *et al.*, 1988 ; Lacroix *et al.*, 1991 ; Lescano *et al.*, 1991), des changements de couleur et de texture (Giddings, 1983; Hansen *et al.*, 1987) si le procédé est appliqué sans précautions particulières. La présence ou l'absence d'oxygène ainsi que la température d'irradiation sont des paramètres qui permettent de contrôler ces changements.

En présence d'oxygène, on observe des changements de couleur après irradiation, engendrés par une oxydation des acides gras polyinsaturés, impliquant la formation d'une multitude de substances volatiles telles que les alcools, les aldéhydes et les cétones (Merritt *et al.*, 1978 et 1985). Ainsi, les mauvaises saveurs et odeurs sont dues principalement à la production de composés volatils provenant de la dégradation des acides gras et/ou des acides aminés (Sudamardji et Urbain, 1972). Ces composés disparaissent toutefois au cours de

l'entreposage et au cours de la cuisson (Niemand, 1987 ; Lacroix et al., 1991).

Il est généralement reconnu que l'irradiation, en présence d'oxygène, accélère l'auto-oxydation des gras. Les réactions peuvent être dues à la formation de radicaux libres qui, en présence d'oxygène, produisent des hydroperoxydes. La peroxydation des lipides, surtout les radicaux issus de l'oxydation des longues chaînes d'acides gras insaturés, cause des dommages variés non seulement pour les organismes vivants mais aussi pour les aliments (Nakatani, 1994). La coupure de ces hydroxyperoxydes libère une variété de produits de décomposition particulièrement les composés carbonyles (Nawar, 1972).

Afin de prévenir l'oxydation des gras et de stabiliser les aliments, les industries alimentaires ont longtemps utilisé des antioxydants. Parmi les antioxydants les plus utilisés, on retrouve le Butylated Hydroxyanisole (BHA), le Butylated Hydroxytoluene (BHT), le Tertiary Butylhydroxyquinone (TBHQ) et le gallate de propyle qui sont tous des antioxydants synthétiques (Dziezak, 1986).

Le BHA, le BHT et le gallate de propyle ont été approuvés de façon régulière par la majorité des pays. Le TBHQ, qui a été récemment approuvé par les Etats-Unis, demeure non accepté par

le Canada, le Japon et la Communauté européenne qui attendent de recevoir plus d'assurance sur son innocuité avant de l'approuver (Dougherty, 1993).

Ces composés synthétiques issus de la technologie moderne sont largement utilisés pour leur action antioxydante efficace, leur coût très bas ainsi que leur stabilité. Mais, leur popularité est aujourd'hui en déclin parce que ces produits suscitent des inquiétudes auprès des consommateurs qui leur préfèrent des antioxydants naturels. D'autant plus que des rapports d'études toxicologiques sur des animaux en laboratoire ont démontré que ceux-ci peuvent agir comme agents mutagènes et/ou carcinogènes (Chen et al., 1986; Ahn et al., 1993).

Ainsi, les épices et les herbes peuvent être substituées aux antioxydants artificiels puisque des extraits de romarin, de thym et de sauge ont été rapportés comme possédant des propriétés antioxydantes comparables ou supérieures au BHA et au BHT (Chang et al., 1977 ; Wu et al., 1982).

Les propriétés antioxydantes de ces épices sont attribuées aux composés phénoliques et à leur fraction d'huiles essentielles présents dans ces substances (Deighton et al., 1993). La disponibilité ainsi que l'efficacité éprouvée de ces antioxydants naturels devraient en principe contribuer à promouvoir l'irradiation comme procédé de conservation, de

décontamination et d'élimination des germes pathogènes des viandes (Thayer et Boyd, 1992).

Ainsi, l'objectif de notre étude est d'examiner l'effet des combinaisons de traitements avec certaines conditions d'irradiation utilisées pour prévenir l'oxydation des gras du poulet durant l'entreposage sous réfrigération à 4°C.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.0 INTRODUCTION

Dans cette étude, deux problèmes essentiels ont retenu notre attention : le problème de contamination microbienne par la flore aérobie mésophile, indicateur majeur exprimant une garantie sur la qualité microbiologique du poulet, et le problème des salmonelles qui sont des germes pathogènes nuisibles pour la santé humaine.

La réduction de la contamination microbienne et la destruction des germes pathogènes est un souci majeur pour tout producteur, transformateur ou distributeur de denrées alimentaires. L'irradiation est un procédé moderne étudié depuis plusieurs années qui assure ces fonctions. Mais, appliqué à des doses requises pour assurer ces fonctions, ce procédé génère des modifications au niveau des lipides qui, à leur tour, génèrent des produits volatils qui donnent ainsi une mauvaise odeur et saveur au poulet.

Vouloir faire une étude exhaustive des problèmes de tous les contaminants microbiens ou de tous les changements biochimiques engendrés par l'irradiation du poulet est chose difficile lorsqu'on considère le nombre de contaminants et le nombre élevé de changements existants. Toutefois, dans notre étude bibliographique, nous essayerons de présenter des données cohérentes qui nous permettront de mieux cerner le problème qui nous concerne.

2.0 LE POULET

Le poulet est une source de protéines non négligeable (tableau I). Elle représente 20 % de la ration alimentaire en Amérique du nord (Ramaswamy et Richards, 1982). La part du poulet sur l'ensemble des viandes consommées par les Canadiens est passée de 14.3 % en 1974 à 23.2 % en 1993 et devrait dépasser les 26 ou 27 % dans les années suivantes (Agriculture Canada 1993).

Le poulet contribue, grâce à ses protéines, à un apport en acides aminés dits essentiels que le corps humain ne peut pas produire par biosynthèse. Il contribue aussi par un apport en vitamines surtout les vitamines liposolubles A, B et E. Aux États-Unis, la part du poulet en vitamines du groupe B dans la ration alimentaire en vitamines est de 0.9 % en thiamine, 2.16% en riboflavine et 8.22 % en niacine (Block et al., 1985).

Les techniques modernes d'élevage de la volaille à haute densité ont réduit les coûts de production qui, par conséquent, ont permis la réduction du prix de vente, rendant ainsi la viande de volaille à la portée de toutes les bourses.

En plus, l'industrie avicole a grandement amélioré ses techniques de transformation. On trouve désormais beaucoup

Tableau I : Composition moyenne des viandes de poulet

Composés	%
Protéines	21
Lipides	14 - 17
Eau	65
Hydrates de carbone	0

Doyon, 1990.

plus de produits de découpe du poulet, tels que les poitrines désossées, les escalopes, les ailes, les cuisses et les pilons. La facilité d'apprêter ces produits a largement contribué à leur consommation.

Ainsi, la consommation de la viande de volaille est en nette augmentation à travers le monde. Le Canada produit annuellement une moyenne de 600 000 tonnes de viande de volaille. Cette industrie génère au Canada des revenus de 2.4 milliards de dollars par année et crée des milliers d'emplois (Agriculture Canada, 1993). La consommation par habitant est en nette progression et représente en moyenne 28 kg par an (fig. 1). La viande de poulet est un produit obtenu après plusieurs manipulations d'abattage, d'échaudage, de plumaison, de lavage, d'éviscération et de transport. Trop souvent ces manipulations sont effectuées dans des milieux non aseptiques, exposées aux contaminations du sol, de l'eau de lavage, de l'air ambiant et du personnel manipulateur.

De ce fait, la microflore du poulet est en constante évolution qualitative et quantitative, de nature très variée. Toutes ces pratiques modernes énoncées auparavant modifient constamment les paramètres microbiens en changeant l'environnement des microorganismes qui régit la croissance et le métabolisme de ceux-ci.

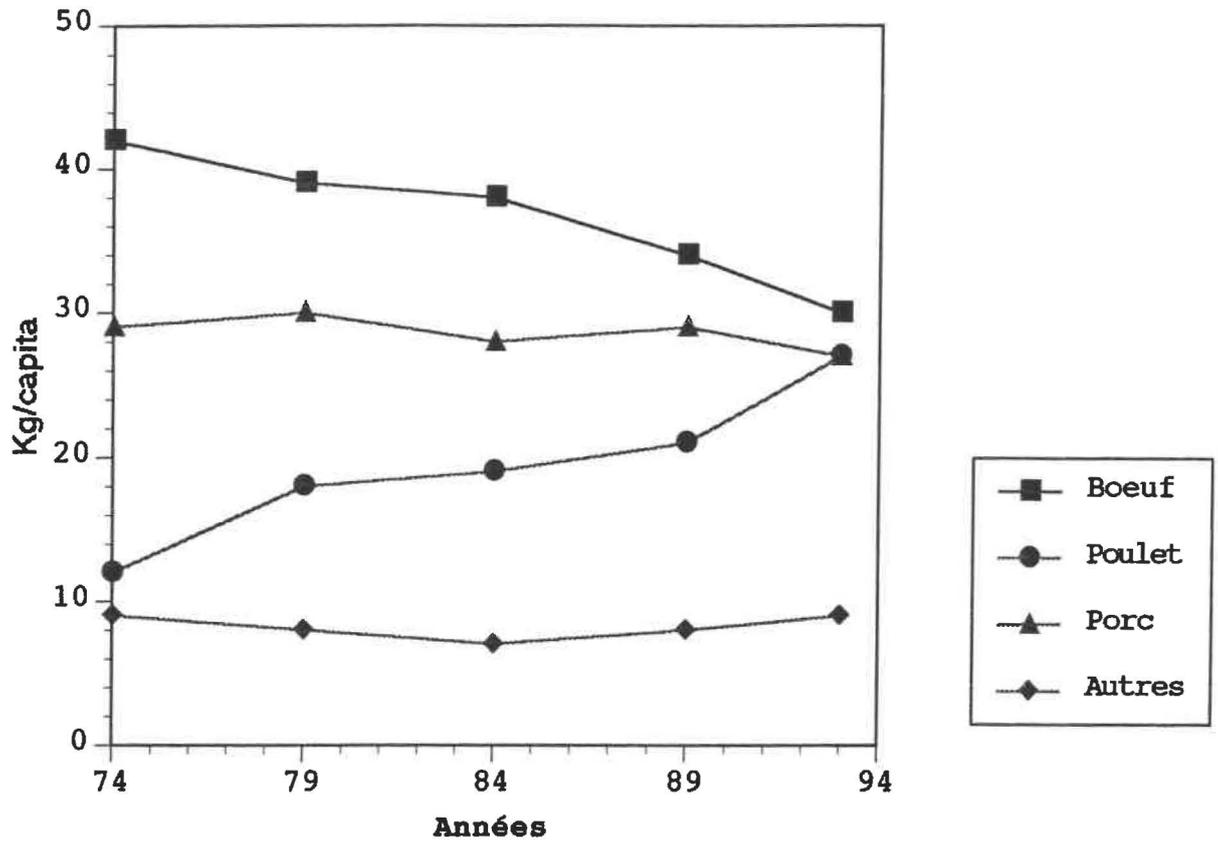


Fig. 1 : Consommation apparente de viandes de boeuf, de poulet, de porc et autres per capita; Canada, 1974 à 1993 (Agriculture Canada, 1994).

La viande de poulet, comme la plupart des viandes, est une denrée très périssable dont la durée de conservation sous froid au réfrigérateur à 4°C est limitée (2 à 3 jours). Les pertes annuelles attribuables aux altérations microbiennes sont considérables. C'est une denrée alimentaire difficile à conserver. La limitation de la durée de conservation est due surtout à la flore psychotrophe susceptible de nuire à la conservation et retrouvée par plusieurs auteurs en fin de chaînes d'abattage (Gill et Newton, 1977 ; Dickson et Anderson, 1992).

3.0 ASPECTS MICROBIOLOGIQUES DU POULET

Le poulet constitue un milieu très favorable au développement des microorganismes. C'est un support de cellules microbiennes. Les facteurs de développement de ces cellules sont les paramètres physico-chimiques du milieu associés à leur potentiel génétique.

De tous ces paramètres, les plus importants sont : la teneur en nutriments (glucides et protéines), l'activité de l'eau (A_w), le pH, la température, l'humidité relative, le potentiel d'oxydo-réduction et l'atmosphère (présence ou absence de gaz : oxygène, dioxyde de carbone, azote, etc.) des produits alimentaires.

Les glucides et les protéines sont utilisables par les microorganismes et servent directement à la croissance bactérienne comme source d'énergie et de carbone.

L'activité de l'eau (A_w) est aussi un facteur déterminant puisque la majorité des microorganismes, y compris les bactéries pathogènes, croissent aisément pour des valeurs d' A_w comprises entre 0.995 et 0.98. La croissance bactérienne est possible pour des valeurs d' A_w allant jusqu'à 0.90. Les moisissures, les bactéries halophiles et les levures osmophiles croissent à des valeurs d' A_w variant de 0.80 à 0.60 (fig. 2), mais aucune croissance n'est possible pour des valeurs d' A_w < 0.60. Ce qui signifie que les bactéries sont complètement détruites à ces valeurs (Gledel, 1986).

De nombreuses bactéries croissent à des zones de pH assez larges (tableau II), même si l'optimum se situe au voisinage de la neutralité (pH=7). Le poulet possède un pH moyen variant entre 5.8 et 6.4. Les levures et les moisissures supportent des pH très bas (3.5 à 1.5). Les bactéries lactiques réclament de manière préférentielle des pH acides (5.5) (Banwärt, 1981 ; Jay, 1986).

La température est un des facteurs les plus déterminants, l'usage généralisé du froid (positif ou négatif) favorise considérablement les flores psychrotrophes. Le taux de

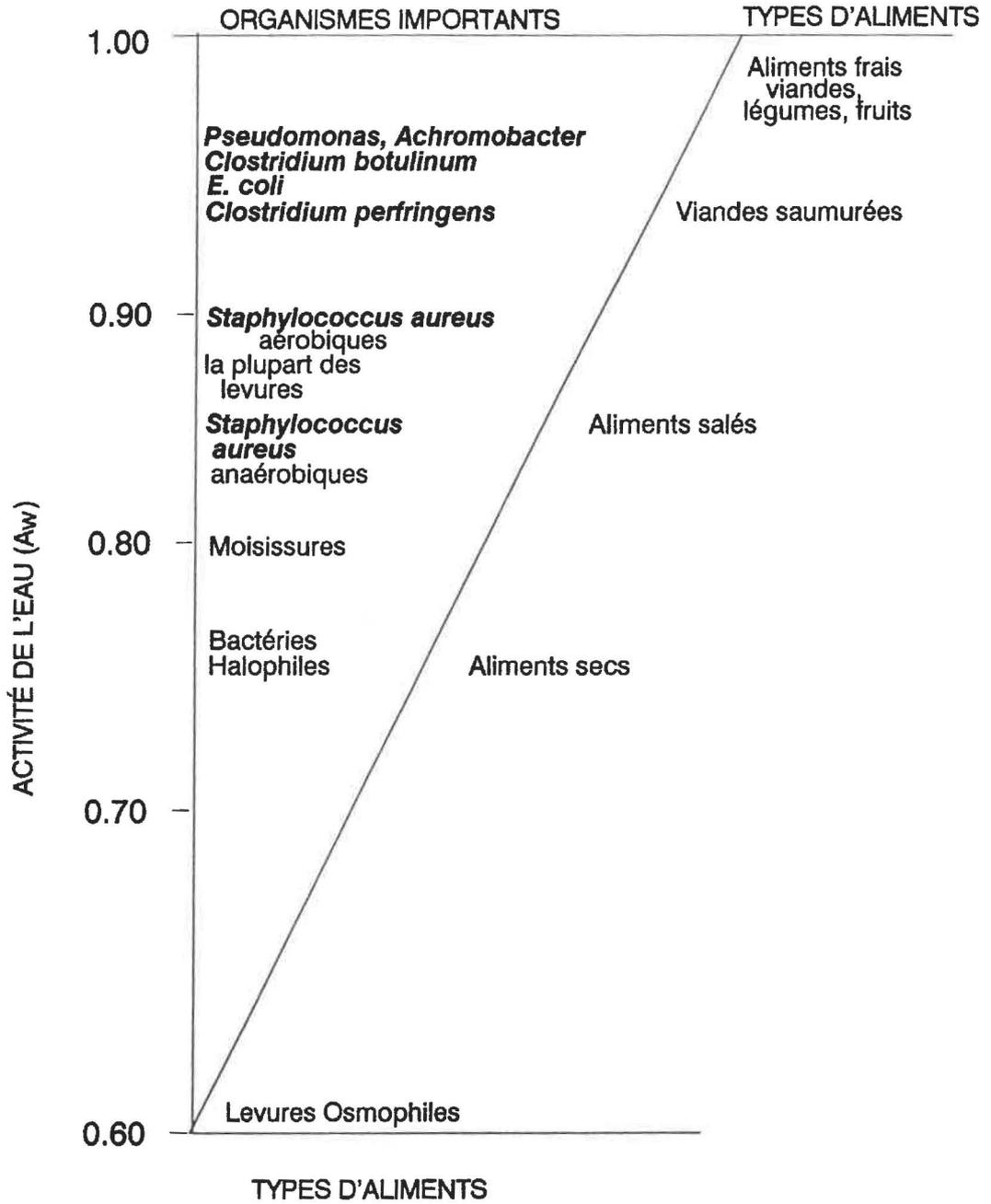


Fig. 2 : Niveaux minima d'Aw des organismes impliqués dans la détérioration des aliments et les empoisonnements alimentaires (Graham, 1980).

Tableau II : pH limites de croissance de quelques microorganismes

Bactéries	minimum	optimum	Maximum
Moisissures	1.5 - 3.5	4.5 - 6.8	8 - 11
Levures	1.5 - 3.5	4 - 6.5	8 - 8.5
Bactéries	4.5	6.5 - 7.5	11
Bactéries			
acétiques	4.0	5.4 - 6.3	9.2
lactiques	3.2	5.5 - 6.5	10.5
<i>L. plantarum</i>	3.5	5.5 - 6.5	8
<i>Leu. cremoris</i>	5.0	5.5 - 6.0	6.5
<i>S. lactis</i>	4.1 - 4.8	6.4	9.2
<i>L. acidophilus</i>	4.0 - 4.6	5.5 - 6.0	7.0
<i>Pseudomonas</i>	5.6	6.6 - 7.0	8.0
<i>P. aeruginosa</i>	4.4 - 4.5	6.6 - 7.0	8.0 - 9.0
Entérobactérie	5.6	6.5 - 7.5	9.0
<i>S. Typhi</i>	4 - 4.5	6.5 - 7.2	8 - 9.6
<i>E. coli</i>	4.3	6.0 - 8.0	9.0
<i>Staphylococcus</i>	4.2	6.8 - 7.5	9.3
<i>Clostridium</i>	4.6 - 5.0		9.0
<i>C. botulinum</i>	4.8		8.2
<i>C. perfringens</i>	5.5	6.0 - 7.6	8.5
<i>C. sporogenes</i>	5 - 5.8	6 - 7.6	8.5 - 9
<i>Bacillus</i>	5 - 6	6.8 - 7.5	9.4 - 10

Jay, 1986.

croissance de la flore psychotrophe dépend de la température de stockage. Ainsi plus la température est proche de 0°C plus la croissance microbienne est faible. Le non-respect des règles concernant les températures de conservation ou de traitement des aliments est fréquemment à l'origine de toxi-infections alimentaires. D'ailleurs, en ce qui concerne le poulet et dans le cadre de la Loi sur les aliments et drogues, le Canada a émis un règlement (B.22.026) interdisant la vente de viande de volaille qui ne soit pas conservée à une température ambiante de 4.4°C ou moins et 60°C ou plus.

La norme microbienne admise pour la flore aérobie totale par Santé et Bien-être Social Canada pour la viande de poulet frais se situe à 10^7 cellules microbiennes par gramme (DGPS, 1988). Le poulet doit être aussi absent de Salmonella, de Yersinia et de Campylobacter dans 25 g de viande. Malgré ce règlement qui ne tolère aucun de ces trois germes pathogènes, néanmoins, 30 à 50 % des poulets commercialisés contiennent des salmonelles (Todd, 1989) et 22 à 78 % contiennent des Campylobacter (Beuchat, 1985).

3.1 La flore aérobie mésophile

Ce groupe de microorganismes se développe à une température optimale de 30°C. Il comprend un ensemble de bactéries représentant un critère qui peut être considéré comme exprimant

une garantie de la qualité microbiologique du poulet. Il comprend les bactéries psychrotrophes qui peuvent pousser à des températures très basses (0 à 5°C), tels que les streptocoques, les microcoques, les Corynebactéries, les bactéries lactiques, les Pseudomonas, les Acinetobacter, les Aeromonas, les Flavobacterium, les Moraxella et autres.

Il est reconnu qu'un grand nombre de bactéries psychrotrophes dans le poulet réduit sa durée de vie pendant la réfrigération à 4°C (Gledel, 1986).

Le genre Pseudomonas est un constituant majeur de la flore aérobique du poulet entreposé au froid parce que son temps de génération est plus rapide que celui des autres genres présents. Ces bactéries sont reconnues pour bien proliférer à la température du réfrigérateur et réduisent la période de conservation du poulet en causant des effets indésirables tel que le développement d'une couleur vert-bleuâtre ainsi qu'une odeur désagréable de putréfaction.

En effet, l'absence d'hydrates de carbone (0%, tableau I) dans le poulet oblige les microorganismes à utiliser les acides aminés libres comme source d'énergie. La dégradation de ces acides aminés produit de l'ammoniac.

3.1.1 Les bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des bactéries aérobies-anaérobies facultatives qui produisent des acides organiques. Ce sont des bactéries fermentaires. Les acides organiques produits par fermentation dans les aliments, peuvent agir sur la flore par l'abaissement du pH mais aussi par une action inhibitrice spécifique à ces acides. Dans de nombreux aliments fermentés, la croissance des bactéries lactiques crée des conditions de milieu défavorables aux autres microorganismes.

Les potentialités inhibitrices des bactéries lactiques sont importantes. Le phénomène d'inhibition comprend un ou plusieurs mécanismes : compétition nutritionnelle, changement physico-chimique du milieu (pH, formation d'agent réducteur) et formation de produits antimicrobiens (acides organiques, peroxydes d'hydrogène).

C'est aussi un groupe de bactéries qui peut être considéré comme un bon indicateur du degré d'altération des produits conditionnés sous vide ou sous atmosphère modifiée.

En effet, Raveendran *et al.* (1993), en étudiant la flore anaérobie dans le boeuf conditionné sous atmosphère modifiée, ont constaté que la majorité des colonies isolées étaient productrices d'acides lactiques.

3.2 La flore pathogène du poulet

En matière de flore pathogène, de nombreux contaminants peuvent être retrouvés à la surface des carcasses de poulet. Ainsi les germes pathogènes les plus fréquemment isolés à partir des viandes de poulet sont : les Salmonella, les Staphylococcus aureus, les Campylobacter jejuni, les Yersinia enterocolitica, les Clostridium perfringens, les Escherichia coli et les Listeria monocytogenes, pour ne citer que ceux-ci. Parmi toutes ces bactéries pathogènes, les salmonelles demeurent un problème crucial de santé publique, et c'est pour cela que nous lui consacrons toute notre attention.

3.2.1 Les salmonelles

Les salmonelles sont des bacilles à Gram négatif, aérobies-anaérobies facultatifs qui appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Ils se multiplient particulièrement bien sur des milieux nutritifs de base.

La température optimale de croissance est de 35/37°C avec une croissance nettement retardée pour les températures inférieures à 10°C (Hinton, 1988). La réfrigération permet la survie des salmonelles et si la congélation provoque un abaissement sensible du nombre des Salmonella, ce procédé physique n'est pas de nature à provoquer leur disparition complète (Gledel, 1990). Les Salmonella, comme la plupart des

bactéries à Gram négatif, présentent une sensibilité certaine à la chaleur, et supportent une gamme de pH allant de 4.5 à 9.0 avec un optimum de 6.5 à 7.5. En fonction des acides utilisés, des sensibilités variables peuvent s'observer. Ainsi, l'utilisation d'acide citrique autorise la croissance à pH allant jusqu'à 3.2.

Les Salmonella sont assez sensibles au chlorure de sodium (NaCl) mais néanmoins leur présence a été reconnue dans les saumures à 3.2 % et même allant parfois jusqu'à 5.8 %.

Les Salmonella sont des bactéries pathogènes reconnues depuis longtemps comme une cause importante de maladies chez l'être humain et sont responsables des salmonelloses. Elles figurent parmi les principales bactéries responsables de toxi-infections alimentaires. L'incidence de ces maladies est en nette augmentation à travers le monde et concerne aussi bien les pays du tiers-monde que les pays industrialisés (Heath et al., 1988 ; Hinton, 1988 ; Yule et al., 1988 ; Lilliard, 1989; Tauxe, 1991 ; Thayer et al., 1990 ; Dickson, 1991 ; Bailey, 1993).

La salmonellose est un problème crucial de santé publique bien qu'il soit généralement admis que seulement 1 à 10 % des toxi-infections alimentaires sont répertoriées au niveau des services officiels (Mossell, 1982). Ceci permet de considérer

que le Centre des maladies infectueuses des Etats-Unis a rapporté pour l'année 1986, 52 028 isolats d'espèces de Salmonella associés à des maladies humaines (Thayer et al., 1991). Au Canada, le laboratoire de santé publique du Québec rapporte, quant à lui, pour les années 1990 et 1991, respectivement 8 742 et 8 984 isolats humains. Ceci représente une lourde charge en coûts associés à la santé publique pour la collectivité (Todd, 1988).

La salmonellose se manifeste de façon typique, après une incubation moyenne de 6 à 24 heures, après l'ingestion des aliments contaminés par le microorganisme. Les signes cliniques principaux sont ceux d'une gastro-entérite fébrile, avec nausées, vomissements, maux de tête, diarrhées parfois sanglantes avec douleurs abdominales et fièvre élevée. La phase aiguë dure environ 24 à 48 heures, mais les symptômes persistent normalement de 2 à 6 jours. Dans des cas exceptionnels, ils peuvent persister jusqu'à plusieurs semaines (Singh, 1992).

Bien que les Salmonella ne font pas partie des bactéries toxigènes, mais plutôt des bactéries entéro-invasives, on a toutefois relevé des septicémies chez les êtres humains et les animaux dues à une entérotoxine secrétée durant l'infection (Finlay et al., 1989).

La pathologie liée aux Salmonella peut se manifester sous deux aspects essentiels :

- les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes
- les gastro-entérites.

Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes se transmettent généralement d'humain à humain par l'intermédiaire d'aliments ou de boissons contaminées. Il suffit d'un petit nombre de bactéries pour déclencher la maladie.

Les gastro-entérites, chez l'homme adulte, ne provoquent guère que des toxi-infections alimentaires qui sont des troubles moins graves que ceux observés lors des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes. Dans la majorité des cas, elles restent localisées dans la sphère digestive et l'apparition des signes cliniques requiert l'absorption d'un nombre élevé de bactéries vivantes.

Par contre, chez le jeune enfant, le nouveau-né ou le vieillard, les gastro-entérites risquent de provoquer un syndrome grave.

3.2.1.1 Origine des contaminations aux salmonelles

Les Salmonella sont présentes dans l'environnement naturel de l'homme (eau, sol, air, etc.) sur l'homme lui-même et sur tous les êtres vivants, plantes, animaux, dont l'homme tire son alimentation (Bolder et al., 1980).

De ce fait, tout produit alimentaire, transformé ou non, que l'homme consomme peut être contaminé par des Salmonella (voir fig. 3).

Dans le cas du poulet, qui est nourri dans des fermes d'élevage à haute densité, avec de fortes concentrations animales, le niveau de contamination est élevé. Les opérations d'abattage, d'échaudage, de plumaison, d'éviscération ainsi que sa manipulation, ne font que favoriser la prolifération ainsi que la contamination. C'est pour cela que le poulet est devenu le vecteur majeur de la salmonellose.

La croissance microbienne chez le poulet s'effectue toujours à partir de la peau qui constitue une véritable barrière à la pénétration en profondeur. C'est seulement après un certain temps de stockage que les bactéries vont pénétrer à l'intérieur du muscle.

Ainsi, le problème de la contamination du poulet par les Salmonella a été et demeure l'un des plus préoccupants.

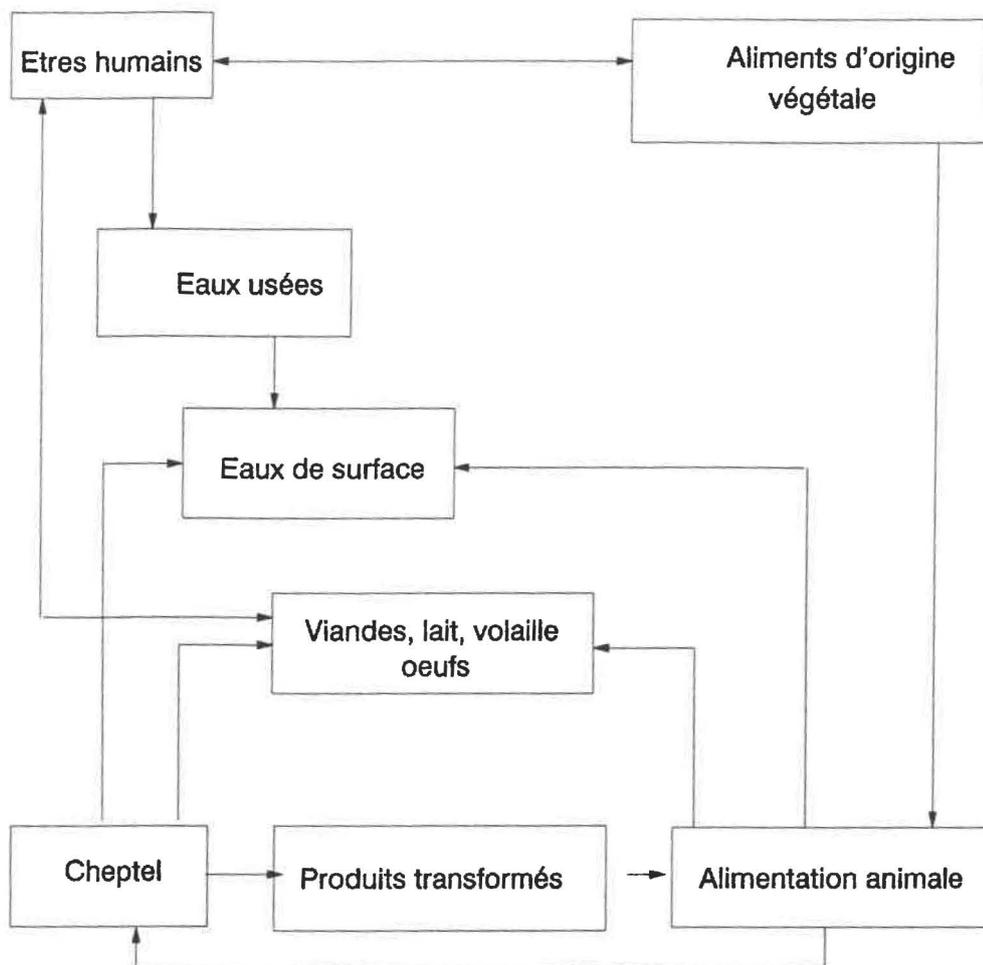


Fig. 3: Cycle de contamination par les salmonelles (Bolder et al., 1980).

3.2.2 Les autres bactéries pathogènes

En plus des salmonelles, d'autres germes pathogènes sont responsables de plusieurs cas d'incidents alimentaires au Canada. En 1984, il y a eu 1 181 incidents causant des maladies. Les bactéries les plus incriminées dans ces cas ont été identifiées à plusieurs reprises. Ce sont : Campylobacter jejuni, Clostridium perfringens, Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus, Yersinia enterocolitica et autres (Todd, 1989).

3.2.2.1 Campylobacter jejuni

Les Campylobacter jejuni sont des bactéries aérobies strictes à Gram négatif. Cette espèce bactérienne a longtemps été considérée comme un vibriion (Vibrio foetus) et a été associée aux avortements très fréquents qu'elle provoque chez les bovins et chez les ovins (Doyle, 1988 ; Jones et al., 1991; Ayala, 1992).

Les Campylobacter jejuni sont des bactéries pathogènes responsables, elles aussi, de plusieurs gastro-entérites humaines. Les denrées alimentaires d'origine animale jouent un rôle prédominant dans la transmission des campylobactérioses humaines. Les symptômes se caractérisent par des diarrhées abondantes (contenant parfois du sang), des crampes abdominales et des nausées (Farber, 1989 ; Ayala, 1992).

Les Campylobacter jejuni contaminent les denrées alimentaires d'origine animale lors de leur préparation à l'abattoir. La contamination aux Campylobacter jejuni est généralement d'origine superficielle. Une véritable contamination à "cœur" ne survient que dans des cas très rares (Doyle, 1988). Les Campylobacter jejuni croissent à des températures optimales de 31 à 45°C. Toutefois, ils persistent à des températures de + 4°C dans des produits de volaille emballés sous vide ou sous gaz neutre (Ayala, 1992).

Des études réalisées sur des volontaires ont révélé que l'ingestion d'un petit nombre (quelques centaines de cellules) de C. jejuni peut provoquer la maladie (Doyle, 1988).

Le Campylobacter jejuni est l'hôte inoffensif de l'intestin chez plusieurs animaux sauvages et domestiques. On estime que 30 à 100 % des volailles portent ces microorganismes dans leur tractus (Bailey, 1993).

3.2.2.2 Clostridium perfringens

Les Clostridium perfringens sont des bactéries anaérobies strictes à Gram négatif. Elles sont parfois présentes dans les élevages agricoles et par conséquent sur la peau des poulets. Les températures de croissance du Clostridium perfringens varient entre 7 et 46°C.

Le Clostridium perfringens est l'une des bactéries anaérobies strictes les plus répandues. Il est l'hôte le plus habituel des cavités naturelles de l'homme. C'est un germe pathogène dont l'origine peut être tellurique. Il possède un équipement enzymatique très riche et son pouvoir de destruction des matières organiques est intense (Cooksey et al., 1993). La période d'incubation de la bactérie est de 2 à 4 heures.

Le Clostridium perfringens est l'agent de la gangrène gazeuse qui s'accompagne d'une importante altération de l'état général et parfois d'un ictère. Il peut provoquer des infections viscérales très graves telles que les entérites nécrosantes. Mais ce germe est surtout responsable de septicémies redoutables survenant suite à une complication d'une affection digestive (Farber, 1989).

Les souches du Clostridium perfringens sont divisées en cinq toxines, du type A au type E, basées sur la production de quatre toxines léthales extra-cellulaires (Exotoxines : alpha, bêta, epsilon et iota).

La toxine alpha est homolytique et provoque des myonécroses. La toxine bêta augmente la perméabilité capillaire tandis que les toxines epsilon et iota augmentent la perméabilité vasculaire (Labbe, 1988).

3.2.2.3 Escherichia coli

Les Escherichia coli (E. coli) sont des bactéries aérobies-anaérobies facultatives à Gram négatif saprophytes et mésophiles. Ce sont des hôtes normaux de l'intestin ; ils représentent près de 80 % de la flore intestinale aérobie de l'être humain adulte. On peut les retrouver également au niveau des diverses muqueuses chez l'homme et chez l'animal (bovin, ovin, volaille et porc). E. coli a été longtemps considéré inoffensif pour la santé humaine et servait plutôt d'indicateur de contamination fécale de l'eau (Dickson, 1991). La température de croissance de E. coli est comprise entre ≤ 10 et 44.5°C .

E. coli est souvent présent à la surface des carcasses de poulet après éviscération, ce qui peut avoir une relation avec une mauvaise éviscération. Ce microorganisme ne présente pas de résistance particulière à la chaleur et ne requiert pas de moyens spécifiques de contrôle (Lambert et al., 1991).

En général, les souches qui colonisent l'intestin sont inoffensives mais il existe, cependant, des souches pathogènes qui sont responsables de diarrhées présentant des signes cliniques bien distincts et qui ont été associées à des infections alimentaires. Ces différentes souches pathogènes de E. coli sont classées en plusieurs catégories selon leur virulence : entérotoxigène, entéroinvasive, entéropathogène et

entérohémorragique. Certaines souches sont mêmes capables d'élaborer des vérotoxines du type Shiga (Frank, 1988).

Une souche particulière E. coli 0157:H7 a été rapportée, depuis 1982, comme responsable de plusieurs cas de toxi-infections alimentaires en Amérique du Nord, en Amérique du Sud et en Europe de l'Ouest. Les symptômes associés aux infections de ce microorganisme peuvent être très sévères et plusieurs cas de décès ont été enregistrés. Un grand nombre des maladies causées par cette bactérie pathogène a été imputé, par enquête épidémiologique, à une source bovine (le boeuf haché insuffisamment cuit) (Doyle, 1991).

Au Canada, depuis que le statut de bactérie pathogène a été attribué aux E. coli en 1982, le nombre de cas signalés a considérablement augmenté, passant de 25 à 2 400 cas en 1989 (Santé Canada, 1990). Selon une étude de la D.G.P.S. réalisée en 1987, les toxi-infections alimentaires aux E. coli viennent au second rang après les salmonelloses.

Les symptômes initiaux liés aux infections à E. coli 0157:H7 sont une colite hémorragique dont les manifestations cliniques débutent par une série de crampes abdominales sévères, suivie par une diarrhée sanglante aiguë. De plus, des nausées, des vomissements et parfois une fièvre légère peuvent y être associés. Cette infection, dans sa phase chronique, peut

dégénérer et présenter des infections graves telles que l'infection sérieuse du système rénal qui entraîne une importante insuffisance rénale chez les enfants (Doyle, 1991). La mortalité associée à E. coli est élevée spécialement dans les institutions pour personnes âgées. Dans la plupart des épidémies, le taux de mortalité se situe entre 1 et 2 % (Santé Canada, 1990).

3.2.2.4 Listeria monocytogenes

Listeria monocytogene est un cocci asporogène à Gram positif aérobie-anaérobie facultatif. C'est une bactérie psychrotrophe que l'on retrouve dans presque tous les produits carnés, produits marins et produits laitiers (Thayer et Boyd, 1995). Listeria monocytogenes est facilement cultivable dans des milieux de culture usuels (gélose nutritive, gélose tryptose, etc.).

La croissance optimale des Listeria monocytogenes se situe entre 25 et 37°C ; cependant, elle peut croître à des températures aussi basses que les températures du réfrigérateur (4°C). Sa température limite inférieure est aux environs de 0°C tandis que sa température limite supérieure est aux environs de 50°C (Ferusu et Jones, 1988).

Non seulement cette bactérie résiste même à la congélation et à la décongélation répétées (Bryan, 1969), mais encore le

stockage au froid maintient la virulence de certaines souches de L. monocytogenes isolées des denrées alimentaires réfrigérées (Ryser et Marth, 1991).

La capacité de multiplication des Listeria monocytogenes à des températures aussi basses que celles du réfrigérateur, inquiète de plus en plus les industriels de la restauration et des denrées alimentaires (Palumbo, 1986 ; Broome et al., 1990). Le problème est tellement crucial que la "Food and Drug Administration" (Etats-Unis) a établi une tolérance zéro pour les Listeria monocytogenes dans les plats prêts à être consommés.

Des Listeria monocytogenes ont été trouvés dans les viandes crues de volaille et leurs produits de transformation (Thayer et Boyd, 1995).

Les Listeria monocytogenes sont une cause majeure d'intoxications alimentaires périodiques avec une mortalité considérable en ce qui concerne la consommation des plats préparés et conservés au réfrigérateur (Varabioff et al., 1992). Ces intoxications alimentaires se manifestent par des méningites, des septicémies et des avortements. La période d'incubation de la bactérie est de quelques jours à 35 jours.

Les Listeria attaquent surtout certaines personnes qui sont sensibles aux infections telles que les sujets atteints

d'une maladie (insuffisance rénale, maladies du foie), les femmes enceintes ou les personnes immunodépressives (Dickson, 1991 ; Thayer et Boyd, 1995).

3.2.2.5 Staphylococcus aureus

Les Staphylococcus aureus sont des bactéries (cocci) aérobies-anaérobies facultatives à Gram positif. Ces bactéries sont très répandues dans la nature (air, eau et sol) et vivent à l'état de commensal sur la peau et les muqueuses des organismes humains et animaux.

Ce sont des germes pathogènes responsables de nombreuses toxi-infections alimentaires et des entérocolites aiguës. Dans le cas des intoxications alimentaires, celles-ci se manifestent par des nausées, vomissements, crampes abdominales et surtout des diarrhées abondantes, parfois graves avec un état de malaise soudain, intense, une baisse de tension et des sueurs froides. Ces signes apparaissent quelques heures seulement (2 à 3 heures) après l'ingestion d'un aliment qui contient l'entérotoxine sécrétée préalablement par le germe responsable (Newsome, 1988).

Par contre, dans le cas des entérocolites aiguës, elles surviennent chez un sujet malade ayant reçu pendant une période prolongée un antibiotique à large spectre (Terramycine, Auréomycine) et dont la flore intestinale a été détruite et

remplacée par des Staphylococcus aureus résistants aux antibiotiques et sécréteurs d'une entérotoxine (Thayer et Boyd, 1992).

Dans les conditions adéquates de croissance (température, pH, Aw, atmosphère), (voir fig. 2 et tableau II), Staphylococcus aureus peut se multiplier et ses différentes souches peuvent produire des entérotoxines. Ces entérotoxines sont plus thermostables que les bactéries elles-mêmes, ce qui les rend responsables de toutes les intoxications alimentaires dues aux staphylocoques.

Plusieurs de ces entérotoxines sont responsables de nombreuses gastro-entérites et ont été identifiées par Tatini et al. (1984). On retrouve les toxines A, B, C, C₂, D et E et plusieurs autres non encore identifiées et dont le mécanisme d'action est mal connu (Newsome, 1988).

L'entérotoxine de type A est la plus toxique et la plus commune aux intoxications alimentaires dues aux staphylocoques. Les données publiées par Tatini et al. (1984), indiquent qu'une dose infime de 1µg de la toxine peut provoquer la maladie.

Les différentes études réalisées par plusieurs chercheurs ont montré que les Staphylococcus aureus sont présents en faible nombre sur les poulets vivants. Mais ceux-ci peuvent

être disséminés sur l'ensemble des carcasses lors de la plumaison (Thayer et Boyd, 1992).

La présence de cette bactérie sur les plumes présente un risque potentiel pour les consommateurs d'autant plus que les manipulations ultérieures accroissent notablement ce risque.

3.2.2.6 Yersinia enterocolitica

Yersinia enterocolitica est une bactérie aérobie-anaérobie facultative à Gram négatif. C'est une bactérie pathogène qui entraîne chez les enfants des gastro-entérites aiguës dont les symptômes se révèlent être des douleurs abdominales intenses (souvent similaires aux appendicites), des diarrhées, des fièvres et des vomissements. D'ailleurs, plusieurs appendicectomies ont été pratiquées inutilement chez des enfants qui présentaient des symptômes de pseudo-appendicites (Farber, 1989).

Le pouvoir pathogène chez l'adulte se manifeste par des septicémies et des méningites. Des accidents mortels dus aux gastro-entérites sont rares puisque le rétablissement s'effectue au bout de un à deux jours. Par contre, les arthrites non fréquentes ont été identifiées comme étant la cause significative de séquelles dues aux infections par Y. enterocolitica (Turtura, 1991). La période d'incubation de la bactérie est de 24 à 48 heures.

L'homme s'infecte par la contamination de la viande (porc, volaille). Le porc est le principal réservoir des souches virulentes de Y. enterocolitica (Doyle, 1988, 1990).

Les résultats obtenus par Lahellec et al. (1986) sur des escalopes de poulet a révélé que 97% des échantillons étudiés étaient contaminés par Yersinia enterocolitica. Ces pourcentages de contamination ont diminué très sensiblement au cours de la conservation. Les variations observées semblaient dépendre à la fois de l'espèce et du type d'emballage utilisé.

Pour les produits conservés sous emballage perméable à l'air, 80% d'entre eux étaient contaminés après 6 jours de conservation à 4°C, tandis que pour les produits emballés sous vide, 60% d'entre eux étaient contaminés après 8 jours de conservation à 4°C. La norme microbienne, en ce qui concerne l'innocuité microbiologique et la salubrité des aliments, est de l'absence totale de Yersinia (tolérance zéro).

4.0 ASPECTS BIOCHIMIQUES : COMPOSITION LIPIDIQUE DU POULET

Les lipides du poulet sont composés de lipides neutres et de phospholipides. Le ratio entre ces composés est respectivement de 79:21. La composition en acides gras est représentée au tableau III-A et III-B.

Tableau III-A : Composition moyenne en acides gras du poulet

ACIDES GRAS SATURÉS (29.8%)	ACIDES GRAS MONOINSATURÉS (47%)	ACIDES GRAS POLYINSATURÉS (23%)
Ac. myristique (C14=0) 1.1%	Ac. palmitoléique (C16=1) 5.5%	Ac. linoléique (C18=2) 21.1%
Ac. palmitique (C16=0) 22.6%	Ac. oléique (C18=1) 40.7%	Autres 1.9%
Ac. stéarique (C18=0) 5.6%	Autres 0.7%	
Autres 0.5%		

Tiré de: Viau et Gandemer, 1991.

Tableau III-B : Concentration moyenne en acides gras des différentes parties du poulet

Concentration acides gras (mg/g de viande)	poulet		
	Poitrines	Cuisses	Haché
myristique (C14=0)	0.05	0.19	0.83
palmitique (C16=0)	1.68	7.09	29.39
palmitoléique (C16=1)	0.53	2.51	10.68
stéarique (C18=0)	0.44	1.55	6.66
oléique (C18=1)	2.44	10.38	47.31
linoléique (C18=2)	1.11	4.69	22.65
linoléinique (C18=3)	0.04	0.16	0.94

Tiré de: Morehouse et al., 1992.

4.1 Les lipides neutres

Les graisses de poulet comme celles de toutes les volailles sont pauvres en triglycérides saturés (< à 3 %) et en tocophérol (< 6 ppm). La concentration en acides gras des lipides neutres des différentes parties du poulet est représentée au tableau III-B (Morehouse et al., 1992).

Ces composés jouent un rôle important dans la qualité des aliments que nous consommons. Ils contribuent à la flaveur et sont la source énergétique la plus riche de la nourriture humaine ; ils fournissent 9.3 calories par gramme alors que les glucides et les protéides n'en fournissent que 4.1 calories environ. Ils sont de plus une source de vitamines dites liposolubles, les vitamines A, D, E et K. D'autre part, l'ingestion de certains acides gras dits "acides gras essentiels" dont les plus importants sont l'acide linoléique (C18=2) et l'acide arachidonique (C20=4) sont indispensables à l'être humain. Leur rôle est capital et leur absence dans l'organisme peut causer des troubles graves.

Les lipides neutres sont des lipides dont les molécules ne sont point chargées. Ce sont des esters d'acides gras et de glycérol.

Les acides gras sont des acides carboxyliques à longue chaîne linéaire carbonée, saturée ou non saturée. Leurs

molécules comportent deux zones bien différentes : une chaîne carbonée qui ressemble beaucoup à celle des carbures saturés et une extrémité carboxylique $-COOH$ (voir fig. 4).

Les acides gras confèrent aux lipides neutres l'essentiel de leurs caractéristiques. Le pôle carbonyle des acides gras leur permet de se fixer aux autres constituants du lipide, le plus souvent par une liaison ester, tandis que la chaîne carbonée confère ses propriétés hydrophobes aux molécules qui la contiennent. Les acides gras peuvent être oxydés en libérant de grandes quantités d'énergie utilisable par les cellules.

Les acides gras saturés les plus importants dans le poulet sont l'acide palmitique (22.6 %) et l'acide stéarique (5.6 %). Ils sont les composants d'une majorité d'animaux et de végétaux (Viau et Gandemer, 1991).

Les acides gras monoinsaturés les plus importants sont l'acide oléique (40.7 %) et l'acide palmitoléique (5.5 %) avec une double liaison carbone-carbone.

Les acides gras polyinsaturés dont le plus important est l'acide linoléique (21.1 %) avec deux doubles liaisons.

Les principaux acides gras des lipides neutres qu'on retrouve dans le poulet sont :

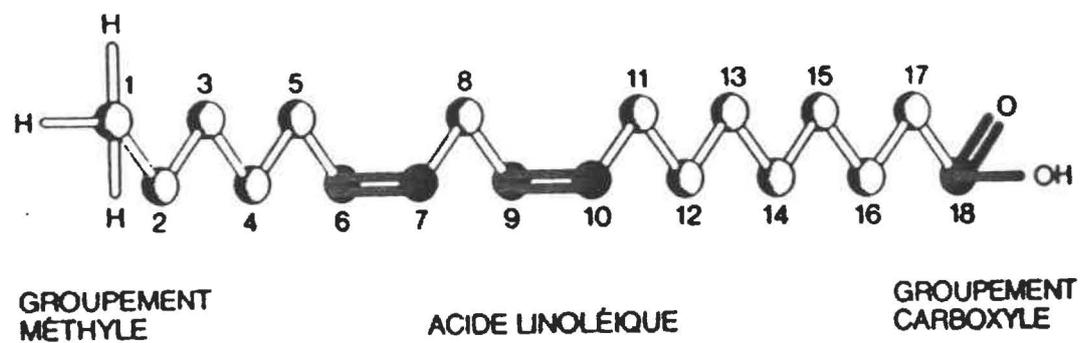
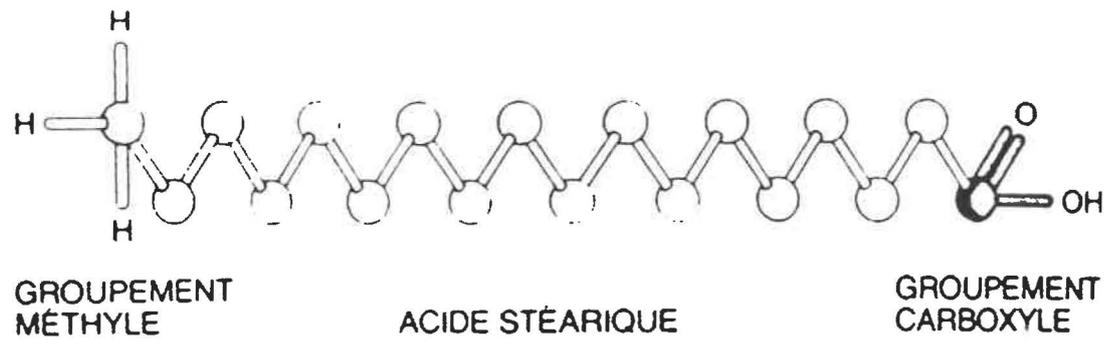
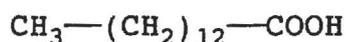


Fig. 4 : Structures chimiques d'acides gras ayant 18 atomes de carbone : acide stéarique saturé Acide stéarique (ac. octadécanoïque- C18=0) $\text{CH}_3\text{---}(\text{CH}_2)_{16}\text{---COOH}$

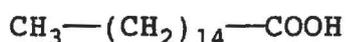
Acide linoléique diinsaturé (ac. octadécadiénoïque- C18=2) $\text{CH}_3\text{---}(\text{CH}_2)_7\text{---CH=CH---}(\text{CH}_2)_7\text{---COOH}$

Les acides gras saturés :

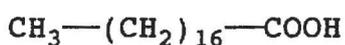
Acide myristique (ac. tétradécanoïque- C14=0)



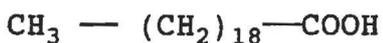
Acide palmitique (ac. hexadécanoïque- C16=0)



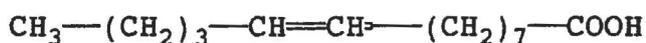
Acide stéarique (ac. octadécanoïque- C18=0)



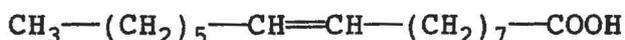
Acide arachidique (ac. eicosanoïque- C20=0)

Les acides gras monoinsaturés :

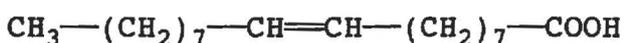
Acide myristoléique (ac. tétradécénoïque- C14=1)



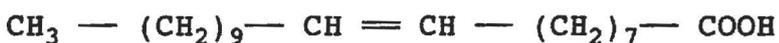
Acide palmitoléique (ac. hexadécénoïque- C16=1)



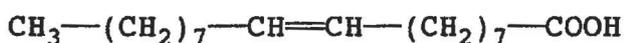
Acide oléique (ac. octadécénoïque- C18=1)



Acide gadoléique (ac. eicosanénoïque- C20=1)

Les acides gras polyinsaturés :

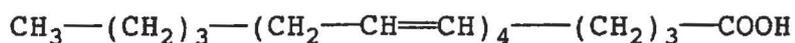
Acide linoléique (ac. octadécadiénoïque- C18=2)



Acide linoléénique (ac. octadécatriénoïque- C18=3)



Acide arachidonique (ac. eicosatétraénoïque- C20=4)



La fragilité des doubles liaisons des acides gras polyinsaturés entraîne une oxydation des lipides. L'oxygène de l'air attaque la double liaison des acides gras la transformant en une liaison peroxyde. L'irradiation du poulet ne fait qu'accélérer le processus d'oxydation (voir section 4.4, 7.8.1.3 et 7.8.3).

4.2 Les phospholipides

Les phospholipides sont des lipides complexes qui se trouvent dans toutes les membranes des cellules animales et végétales. Elles forment l'essentiel des membranes cellulaires, tant plasmiques (qui entourent la cellule) qu'intracytoplasmiques.

Les phospholipides jouent un rôle important dans la structure et le fonctionnement des membranes biologiques. Elles se composent de glycérol, d'acides gras, d'acides phosphoriques et d'un composé azoté. Leur molécule présente un caractère bipolaire, comprenant une extrémité hydrophobe et une extrémité hydrophyle.

Les phospholipides sont des dérivés d'un composé appelé acide phosphatidique qui résulte de la fixation sur une

molécule de glycérol d'une molécule d'orthophosphate en position α' et de deux résidus d'acides gras en position α et β , par des liaisons esters. Ce sont donc des esters d'acide phosphatidique dont les divers types dépendent d'abord de la nature de l'alcool fixé au phosphate. Il peut s'agir de choline, éthanolamine, sérine, inositol (hexahydroxycyclohexane) ou glycérol.

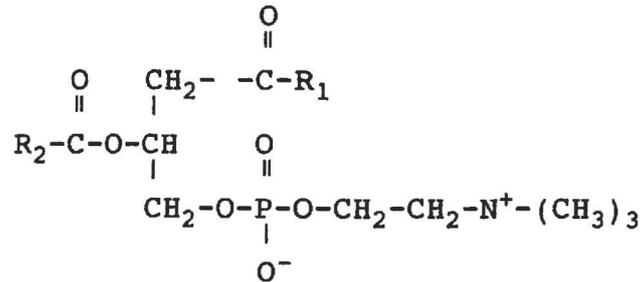
Mais ce sont les acides gras des phospholipides qui nous intéressent le plus dans cette étude afin d'évaluer l'effet de l'irradiation sur l'oxydation de ces acides gras. A ce titre, l'acide arachidonique (C₂₀ = 4) avec 20 atomes de carbone, 4 doubles liaisons séparées par 3 CH₂, présent dans les phospholipides de la plupart des graisses animales et appartient à la série des acides gras linoléique et α -linoléique qui sont dits "essentiels".

Les phospholipides résultent de l'estérification du glycérol par deux acides gras et par l'acide phosphorique ; ce dernier, n'ayant que l'une de ses acidités engagées, confère à la molécule un caractère acide.

Au cours de l'analyse, trois types de phospholipides sont étudiés :

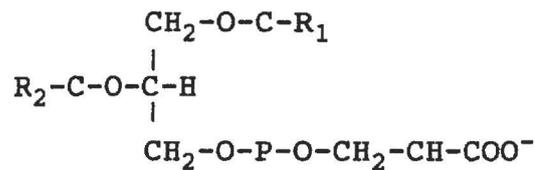
Phosphatidylcholine (PC) :

Dyacyl-sn-glycerol-3 phosphocholine (lécithine)



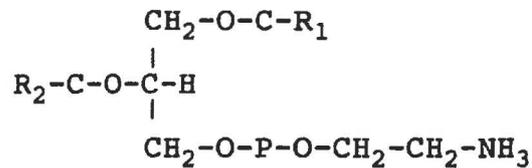
Phosphatidylsérine :

Dyacyl-sn-glycerol-3-phospho-L-serine



Phosphatidyléthanolamine :

Dyacyl-sn-glycérol-3 phosphoéthanolamine



Le pourcentage des phospholipides dans les muscles est de 20 fois supérieur à celui des phospholipides dans la peau.

Les acides gras des phospholipides du poulet contiennent plus de 1.5 % d'acide arachidonique et quelques concentrations substantielles d'acides gras polyinsaturés avec 20 atomes de carbone. Les phospholipides de la peau contiennent 10.6 à 13.2% de tous les acides gras polyinsaturés.

Les acides gras des phospholipides comme les acides gras des lipides neutres subissent des modifications liées à l'oxydation (voir section 4.4, 7.8.1.3 et 7.8.3).

4.3 Les hydrocarbures des glycérides

Parmi les hydrocarbures contenus dans les lipides du poulet, les alcanes peuvent être des produits issus de l'oxydation des gras ou des produits de radiolyse générés par l'irradiation. Leur formation se fait par simple clivage des lipides (Merritt, 1966 ; Merritt *et al.*, 1967). A titre d'exemple, un acide gras comme l'acide stéarique (C18=0) libère un nombre important d'alcanes après traitement d'irradiation.

Les composés les plus abondants sont les C_{n-1} et C_{n-2} carbonés par rapport aux acides gras correspondants. En effet, la coupure se fait préférentiellement près du groupement carbonyle (Nawar et Handel, 1978). Il y a dégagement de CO₂ ou formation d'acides acétiques et production d'alcanes à C_{n-1} ou C_{n-2} carbonés.

Les coupures sont des réactions radicalaires. Les radicaux libres produits au cours de l'irradiation réagissent pour donner des alcanes lorsqu'ils sont en face d'un radical hydrogène ou donnent d'autres composés tels que les alcènes, les alcools et les cétones (Merritt *et al.*, 1978). On observe

un accroissement du nombre des alcanes en augmentant la dose d'irradiation.

Les acides gras saturés en perdant un hydrogène produisent des alcènes, et les acides gras insaturés en subissant un clivage au cours de l'irradiation vont réagir avec un hydrogène pour produire des alcènes (Morehouse *et al.*, 1993).

4.4 L'oxydation des lipides

L'autooxydation des lipides est une réaction naturelle qui se produit en présence d'oxygène. Elle est provoquée par la réaction des radicaux libres. L'élimination de l'oxygène est très importante dans la prévention de l'oxydation des lipides durant le stockage des viandes.

L'oxydation des lipides est une des causes majeures de l'altération des aliments. L'oxydation affecte les produits alimentaires de différentes façons. Le plus important, c'est le changement que l'on peut constater qui est dû à la perte de la saveur fraîche et de l'arôme et qui entraîne, par conséquent, le développement de la rancidité. Le moins important mais dont l'effet est plus critique, c'est la perte de la qualité nutritionnelle due à la destruction des vitamines liposolubles.

Les acides gras insaturés s'oxydent sur leur double liaison, la combinaison avec l'oxygène libère des radicaux libres et

donne des hydroperoxydes (voir fig. 5), des aldéhydes volatils, des cétones et des acides. La chaleur, la lumière, l'humidité de l'air ainsi que l'irradiation sont tous des facteurs accélérant le phénomène d'oxydation.

L'autooxydation est aussi facilitée par les pro-oxydants tels que les métaux et les autres radicaux initiateurs. Ils opèrent en favorisant le niveau initial dans la réaction en chaîne, ou peuvent inhiber l'action des antioxydants.

Les aldéhydes affectent positivement ou négativement la flaveur du poulet suivant le goût, car l'appréciation de cette caractéristique varie selon la concentration de ses composés ou selon la présence d'autres produits influençant la saveur. La décomposition des hydroperoxydes en aldéhydes de courte chaîne est induite par le processus homolitique ou hétérolitique conduisant à différents produits indésirables (Ward, 1985).

La peroxydation des lipides dans les muscles est un processus majeur de dégradation responsable de la perte de qualité (Pearson *et al.*, 1983). La dégradation de ces peroxydes produit des composés carbonyles responsables des mauvaises saveurs (Ramaswamy et Richards, 1982). Ce sont les acides gras insaturés qui sont les plus susceptibles à l'oxydation. Holman et Helmer (1971) ont conclu que chaque double liaison supplémentaire augmente le taux d'oxydation par un facteur de 2.

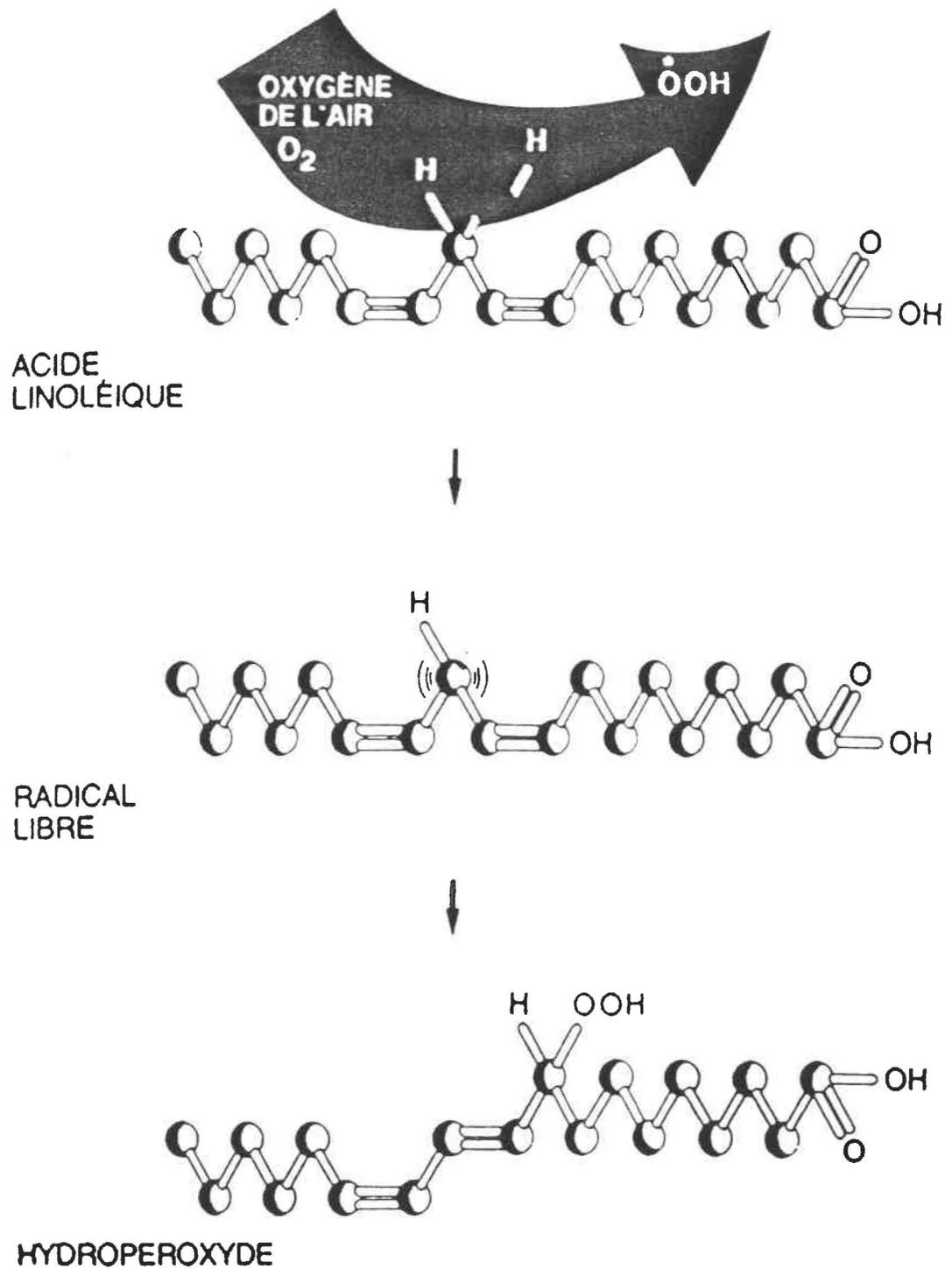


Fig. 5 Péroxydation des acides gras polyinsaturés (selon Gurr et James, 1975)

Les acides gras insaturés subissent une coupure au niveau de leur double liaison par les différentes réactions d'oxydation. Les composés à courte chaîne sont formés à partir de la fission d'une chaîne de 18 atomes de carbone (C18) qui inclut les hydrocarbures tels l'éthane et l'éthène formés à partir de l'acide linoléique (C18=2), le pentane à partir de l'acide linoléique (C18=2), les aldéhydes, les cétones, les esters, les lactones, les alcools et les éthers à partir de l'ensemble des acides gras saturés ou insaturés (Lesgards et al., 1993).

Les doubles liaisons constituent des points vulnérables et rendent les acides gras susceptibles de subir des réactions d'oxydation. Les réactions sont extrêmement complexes et conduisent à la formation de radicaux libres très instables (fig. 6).

Les radicaux libres sont des molécules ou des atomes qui contiennent un nombre impair d'électrons et doivent impérativement réagir avec un autre radical libre ou une molécule convenable pour devenir stable avec un nombre pair d'électrons. Leur durée de vie est très brève (de l'ordre de la milliseconde ou moins). En réagissant avec une autre molécule, un radical libre peut transformer celle-ci en radical libre qui se décompose lui aussi en d'autres radicaux. Le phénomène peut

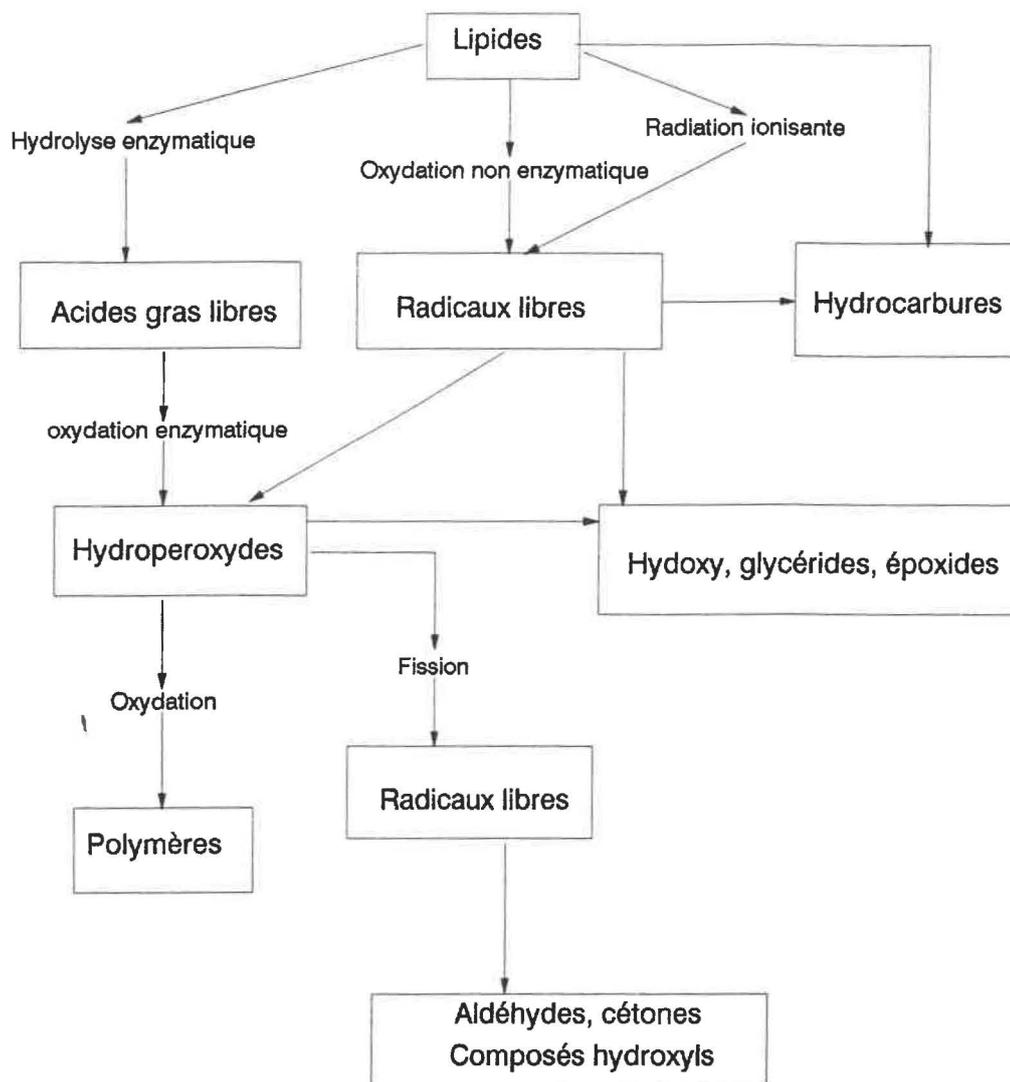


Fig. 6 : Produits de formation lors de la dégradation des lipides (tiré de : Francis et Wood, 1982).

se propager par des réactions en chaîne qui comportent des dizaines d'étapes intermédiaires très brèves.

La concentration de radicaux libres engendrés par la réaction de l'oxygène avec le groupement acyl gras (labile) des phospholipides ainsi que la concentration en catalyseurs métalliques libres déterminent principalement l'importance de l'oxydation des acides gras dans les viandes.

L'oxydation est aussi accélérée par divers facteurs tels que la présence de lumière, d'enzymes lipases, d'ions métalliques, de sel, de traitements d'irradiation et de chauffage (Ramanathan et Das, 1993). Les rayonnements lumineux, en particulier les rayons ultra-violet (UV), ont un effet sur les pigments et l'oxydation des gras.

La photo-oxydation entraîne la réaction des alcènes avec l'oxygène en présence de lumière et de certains agents sensibilisateurs. La photo-oxydation est beaucoup plus rapide que l'autooxydation et la différence dans la réaction entre l'acide oléique, l'acide linoléique et l'acide linoléique est similaire au regard du nombre de double liaisons. Les hydroperoxydes des produits, dans ce cas-ci, diffèrent du résultat obtenu par l'autooxydation (Moerck et Ball, 1974). Certaines fréquences des micro-ondes peuvent provoquer aussi l'autooxydation des gras (Cheftel et al., 1985).

L'oxydation des acides gras peut aussi engendrer la production du malondialdéhyde qui est un composé considéré comme agent mutagène et/ou carcinogène (Pikul et Kummerow, 1989; Ramanathan et Das, 1993).

En effet, Pikul et Kummerow (1990) ont étudié l'oxydation des lipides dans le poulet rôti, stocké au réfrigérateur (4°C) pendant 4 jours et ils ont constaté qu'au cours du stockage, la concentration du malonaldéhyde augmentait significativement.

Les lipides peuvent être aussi oxydés par les enzymes. Les enzymes libérés dans le milieu cellulaire comme les lipooxydases provenant des mitochondries attaquent les lipides et provoquent la rancidité (Doyon, 1990). L'enzyme lipoxygénase favorise la réaction entre l'oxygène et les acides gras, surtout l'acide linoléique qui est le plus oxydable des acides gras. Les lipides peuvent être hydrolysés et donner des acides gras libres et du glycérol par l'action de l'enzyme lipase. De plus, les polyphénols oxydases, dans le cas des fruits et légumes, réagissent avec l'oxygène de l'air pour provoquer des réactions de brunissements et des pertes de vitamines hydrosolubles telles que la vitamine C et les vitamines B (Cheftel et al., 1985).

Les hydroperoxydes formés lors de l'oxydation sont aussi modifiés par action enzymatique ou non enzymatique et

deviennent des composés similaires à la chaîne dont ils sont issus (Sklan et al., 1983).

D'ailleurs, Sklan et al. (1983) ont observé une lipolyse des phospholipides à différentes températures (-18, +4 et +37°C) avec des changements dans la fraction des triglycérides des graisses de dinde, les acides gras augmentaient avec la diminution des phospholipides.

Salih et al. (1989) ont constaté aussi que la concentration des phospholipides dans les poitrines de dinde diminuait après cuisson et durant le stockage (1, 6 et 12 mois) à -25°C.

Les radicaux libres formés dans les graisses par l'irradiation peuvent réagir avec l'oxygène sur une grande période. Ceci provoque la formation de produits volatils, d'hydroperoxydes, d'alcools, de cétones, de lactones et de carbonyles responsables de changements d'odeur et de saveur (Coleby et al., 1960 ; IAEA, 1982).

Spiegelberg (1990) a étudié l'effet de l'irradiation sur la formation d'hydrocarbures et a constaté que l'autooxydation avait une influence possible sur la formation d'hydrocarbures. Toutefois, les différents hydrocarbures identifiés dans le poulet irradié étaient similaires aux hydrocarbures identifiés dans le poulet non irradié. Il en a conclu que l'oxydation du

poulet non irradié était due à la contamination par les microorganismes.

L'irradiation à de faibles doses (≤ 10 kGy) peut aussi provoquer des changements au niveau des acides gras insaturés, mais ces changements sont mineurs.

L'étude des concentrations en acides gras des lipides du poulet irradié à 4 et 50 kGy a révélé que la concentration en acides gras produits par hydrolyse dans le poulet irradié augmente proportionnellement avec l'augmentation de la dose d'irradiation (50 kGy). Mais, à une dose de 4 kGy, les acides gras trouvés n'étaient pas significativement différents des acides gras dérivés des glycérides non irradiés. Les changements durant le stockage étaient similaires aux deux échantillons (Gruiz et Kiss, 1987).

Rady et al. (1988) ont observé des changements mineurs survenus aux acides gras du poulet irradié à des doses de 0 à 10 kGy et conservé sous air et sous vide. Les acides gras non identifiés dans les échantillons irradiés étaient identiques à ceux des échantillons témoins.

Maxwell et Rady (1989) vont dans le même sens que Rady et al. (1988) puisque, eux aussi, ont constaté des changements négligeables dans les acides gras des lipides neutres irradiés à 6 et 10 kGy.

En revanche, Katta et al. (1991) ont constaté la diminution de la concentration en acide palmitique des lipides neutres du poulet irradié à 2, 3 et 4 kGy. Cette diminution était inversement proportionnelle à l'augmentation de la dose d'irradiation.

5.0 ASPECTS ORGANOLEPTIQUES DU POULET

La flaveur est considérée comme une sensation complexe provoquée conjointement par plusieurs caractéristiques incluant la couleur, la saveur, la texture, l'odeur, l'arôme et la senteur. Ces caractéristiques organoleptiques sont subjectives et dépendent de plusieurs facteurs humains tels que l'expérience, le conditionnement, les préférences, etc. (Heath, 1978).

La viande de poulet contient plus de 250 composés chimiques qui ont été identifiés dans les substances volatiles de la viande de volaille. Les composés soufrés et carbonyles sont considérés comme d'importants contributeurs à la saveur de la volaille. Les acides aminés sulfurés et les corps gras sont les précurseurs importants de ces composés (Ramaswamy et Richards, 1982).

Ces composés qui contribuent à la flaveur de la viande du poulet dépendent de plusieurs variables telles que la nourriture, l'âge et le sexe de l'animal, les différents

procédés de conservation (réfrigération, congélation, pasteurisation, déshydratation, irradiation, etc.), ainsi que l'environnement de l'animal (Ramaswamy et Richards, 1982). Ces variables, quant à elles, influencent les propriétés chimiques et physiques de l'aliment et contribuent ainsi au développement des saveurs.

La constatation d'une modification des caractéristiques d'une denrée alimentaire est une question purement subjective. Le goût varie non seulement avec chaque individu mais également avec l'habitude qu'il a ou non de consommer le produit qu'on lui donne à tester (Thomas et Dimick, 1971).

L'altération du poulet par les microorganismes s'accompagne généralement de changements sensoriels causés par les modifications chimiques, elles-mêmes, dues à la prolifération bactérienne ou à des transformations enzymatiques. Cette altération peut être facilement discernée.

L'application de l'irradiation pour détruire les microorganismes qui altèrent le poulet, modifie les caractéristiques organoleptiques en développant de mauvaises odeurs et saveurs.

Le développement de la flaveur caractéristique liée à l'irradiation a fait l'objet de plusieurs travaux depuis longtemps. Hassan et al. (1988) ont effectué une évaluation

sensorielle du poulet irradié à une dose de 6, 10 et 20 kGy, conservé au réfrigérateur (4°C) et au congélateur (-20°C) et ont constaté que l'irradiation à 20 kGy, aussi bien du poulet réfrigéré que du poulet congelé, diminuait la note de classement d'évaluation sensorielle attribuée par les dégustateurs. Le poulet témoin (0 kGy), quant à lui, obtenait une bonne note lors de la dégustation soit au début du stockage mais celle-ci diminuait rapidement en cours de stockage à 4°C.

Ces changements organoleptiques peuvent survenir pendant le traitement d'irradiation et, par la suite, durant la conservation à basses températures affectant ainsi l'acceptation du produit par les consommateurs.

Sudamardji et Urbain (1972), lors d'études effectuées sur l'effet des différentes doses d'irradiation sur la saveur des viandes domestiques et sauvages, ont constaté que les aliments dérivant d'animaux domestiques étaient les plus sensibles à l'effet de l'irradiation tandis que les aliments provenant d'animaux sauvages nécessitaient une dose d'irradiation plus élevée avant d'induire un changement notable dans la saveur de l'aliment. Ils ont conclu que l'évaluation par le panel de dégustation, non habitué à la consommation de viandes sauvages était subjective. En effet, l'attribution d'une note lors de la dégustation dépendait des habitudes des dégustateurs à reconnaître la saveur.

Des modifications sensorielles ont été observées lors de l'irradiation à des doses de 2.5 kGy, telles que le développement d'une couleur légèrement rosée sur le poulet cru (Kahan et Howker, 1978 ; Lescano et al., 1991) et l'apparition d'un mauvais goût (Merritt et al., 1975).

La formation d'acides aminés libres et l'oxydation des lipides produisent ces changements qui seraient plus prononcés avec l'augmentation de la dose d'irradiation (Merritt et al., 1975).

L'odeur semble être plus prononcée à des doses d'irradiation élevées (Lacroix et al., 1991). De nombreux auteurs ont constaté que le stockage et la cuisson du produit irradié tendaient à faire disparaître ces flaveurs indésirables dues à l'évaporation des composés volatils responsables de ces flaveurs de ces flaveurs (Kahan et Howker, 1978 ; Hanis et al., 1989 ; Lacroix et al., 1991 ; Lescano et al., 1991).

Il est reconnu que la rancidité des lipides entraîne l'oxydation des gras insaturés (surtout les polyinsaturés). Les changements de flaveur surviennent surtout quand les doses d'irradiation appliquées atteignent 20 kGy ou plus (Urbain, 1978).

Ainsi, comme nous l'avons vu dans la section 4.4 (Oxydation des lipides), l'irradiation à fortes doses accélère le

processus d'oxydation. Les radicaux libres formés dans le gras par l'irradiation peuvent réagir avec l'oxygène sur une grande période (Singh *et al.*, 1991) et générer des changements d'odeur et de saveur indésirables. Ces changements d'odeur et de saveur ont été attribués à la formation d'alcanes, d'hydrocarbures, d'alcènes, d'alcools et d'autres produits soufrés (Merritt *et al.*, 1975). D'autres changements de saveurs et d'odeurs ont été attribués à l'action enzymatique se trouvant naturellement dans les tissus ou celle sécrétée par les microorganismes contaminants (Hassan *et al.*, 1988b.).

Ces changements organoleptiques peuvent être réduits en irradiant la viande à basse température et en absence d'oxygène (Merritt *et al.*, 1975). Donc, pour minimiser les changements organoleptiques tout en appliquant une dose de 5 kGy permettant de détruire entièrement les salmonelles, des pré-traitements inhibiteurs de l'oxydation doivent être appliqués.

L'acceptation par les consommateurs du poulet traité par l'irradiation est tributaire avant tout de la qualité organoleptique perceptible par les sens lors de la dégustation. Le développement d'une mauvaise odeur ou saveur peut être perçue dans le poulet par les consommateurs dès que celle-ci atteint un seuil perceptible.

6.0 LES DIFFÉRENTS MODES DE TRAITEMENT DU POULET

Le poulet étant une denrée périssable, son problème de conservation s'est toujours posé avec une grande acuité à tous les producteurs et distributeurs de ce produit.

Pour garder la fraîcheur du poulet et limiter sa dégradation par les microorganismes qui prolifèrent dans son milieu, les producteurs, transformateurs et distributeurs de ce produit ont depuis longtemps utilisé différents modes de conservation et de traitement : la salaison, la fumaison, la pulvérisation d'acides organiques, le rinçage à l'eau chaude, la pasteurisation à la chaleur, le lavage au chlore et la congélation.

Chacun de ces modes de conservation pose malheureusement des problèmes et ne semble pas pour autant assurer une conservation ou un traitement efficace.

6.1 Le salage

Le salage est une des techniques de conservation les plus anciennes consistant à diminuer fortement l' A_w par évaporation de l'eau sous l'action du sel. Le salage peut être réalisé uniquement avec du sel (poisson) ou un mélange de sel et de nitrate (jambon). L'adjonction au sel d'un composé chimique (nitrate), qui, transformé par un processus biologique (enzymes bactériennes), devient un composé inhibiteur (nitrite). Ces

nitrites ingérés par l'organisme vont se lier à une amine pour former des nitrosamines qui sont des substances considérées comme cancérigènes (Dimethylnitrosamine).

Appliqué au poulet, il y a longtemps, ce procédé n'est pas une pratique très courante de nos jours et semble être abandonné, à cause de l'excès de sel contenu dans les produits de salaison.

6.2 Le fumage

Pour pratiquer la fumaison, on utilise la fumée de certaines essences de bois pour traiter le poulet. Ces essences procurent non seulement une saveur au poulet mais elles assurent aussi une prolongation de sa durée de vie. En effet, ces essences, en dégageant une fumée, permettent de sécher le poulet et de l'imprégner de certaines substances volatiles dégagées lors de la fumaison. Ces substances ont été identifiées par Frazier (1967) et sont composées d'aldéhydes, d'acétaldéhydes, de formaldéhydes, de cétones, de phénols, de crésols et d'acides aliphatiques qui possèdent des propriétés bactéricides jouant ainsi un rôle de répression sur les microorganismes.

6.3 Le rinçage à l'eau chaude

Bien qu'il soit rapporté que l'application du rinçage à l'eau chaude réduit la population bactérienne sur les carcasses

de poulet, peu de données sont disponibles pour porter un jugement sur cette pratique. Il faut noter toutefois que la pression de pulvérisation de l'eau sur les carcasses influence le niveau de contamination et que l'utilisation d'une pression élevée a été rapportée comme ayant un bon potentiel pour favoriser une pénétration accrue des bactéries à l'intérieur de la chair (Dickson et Anderson, 1992).

6.4 L'application d'acides organiques

La pulvérisation de certains acides gras organiques, surtout l'acide lactique qui est le plus utilisé pour la décontamination des carcasses, est efficace. Il demeure néanmoins que l'efficacité de l'acide lactique sur la population bactérienne des carcasses est fonction de plusieurs facteurs dont la concentration en acide, l'ampleur et la nature de la contamination bactérienne initiale, la durée de contact de l'acide, sa température ainsi que sa méthode d'application. La variation d'un ou de plusieurs de ces facteurs influe sur la capacité de l'acide à réduire de façon significative la flore bactérienne (Beliard et Thuault, 1990).

6.5 La congélation

La congélation est un procédé de conservation qui fait intervenir successivement trois phases distinctes : la congélation proprement dite, le stockage du produit congelé et

la décongélation. Chacune de ces phases pose un problème spécifique tant au plan de la conduite des procédés qu'au plan de la modification des qualités physiques et chimiques des produits. La congélation ne préserve pas des germes pathogènes car ceux-ci ne sont qu'en état d'hibernation (Rosset, 1990).

6.6 Le traitement à l'eau chlorée

Les études relatives à l'efficacité du chlore comme moyen de réduire la flore bactérienne de la surface des carcasses de poulet présente des conclusions contradictoires. Singh (1992), Dickson et Anderson (1992) ont rapporté que l'application d'une solution de chlore a permis de réduire la population microbienne. L'exposition du poulet à une solution de chlore dont la concentration était de 200 mg/kg pendant 10 min. donnait des résultats satisfaisants et 95 % des carcasses de poulet testées ne contenaient aucune salmonelle (Singh, 1992).

Mead et Thomas (1973) ont conclu qu'un lavage de carcasses à l'eau chlorée détruisait non seulement les microorganismes mais permettait aussi de prévenir la recontamination.

Bien que le lavage à l'eau chlorée soit efficace pour réduire la charge microbienne, il n'en demeure pas moins que l'usage du chlore pour décontaminer les denrées alimentaires pose un autre problème de contamination par les produits chimiques.

En effet, le chlore est suspecté, depuis fort longtemps, d'être un agent carcinogène. Des études non détaillées ont révélé que la présence de composés organochlorés formés dans le poulet était dû au traitement par le chlore. D'ailleurs, Shade *et al.* (1990), a étudié les effets du chlore sur le poulet et a trouvé que le traitement à l'aide d'une solution de 400 ppm ou moins de chlore, résultait en une rapide production de substances qui étaient mutagènes pour certaines bactéries. Ces substances mutagènes s'étaient formées en l'espace de quelques minutes de traitement au chlore et continuaient de changer pendant une durée de 1 à 2 heures. La formation des mutagènes était proportionnelle à la dose de chlore appliquée et semblait être affectée par le pH.

En plus, le traitement par le chlore présente un autre problème, celui du changement de couleur sur la peau du poulet qui devient sous l'action du chlore de rose-blanc à gris-blanc (Thiessen *et al.*, 1984).

6.7 La pasteurisation

La pasteurisation à la chaleur est une bonne méthode de conservation pour plusieurs produits alimentaires comme le lait dont la conservation est prolongée jusqu'à 7 jours.

La pasteurisation à la vapeur à basse pression et n'excédant pas 75°C, appliquée au poulet pendant 4 minutes, a permis de

réduire de 10^3 le nombre de colonies totales dans les carcasses de poulet. La réduction de la contamination bactérienne dans ce cas-ci dépend du succès de pénétration de la vapeur à l'intérieur et sur la surface des carcasses (Klose et al., 1971).

Si ce procédé appliqué au poulet permet de réduire la contamination microbienne, il n'en demeure pas moins qu'il présente un problème puisque le produit, en fin de traitement, se trouve avoir subi une pré-cuisson qui change complètement son aspect initial de poulet frais. De ce fait, les consommateurs s'en détournent et il n'existe quasiment plus sur les marchés de l'alimentation.

6.8 La conservation sous atmosphère modifiée

On appelle conservation sous atmosphère modifiée le procédé qui nécessite le changement des concentrations gazeuses à l'intérieur de l'emballage en introduisant des mélanges gazeux composés d'oxygène (O_2), de gaz carbonique (CO_2) et d'azote (N_2).

Le CO_2 est un gaz qui n'est pas classé comme un produit chimique. Son action sur les microorganismes apparaît double: d'une part, il abaisse rapidement le pH interne de la cellule où il pénètre facilement et, d'autre part, il bloque certaines enzymes en particulier les décarboxylases. Son action

inhibitrice est d'autant plus grande quand sa concentration est élevée, le maximum étant atteint à 100 % de CO₂ (Fournaud et al., 1986). Toutefois, pour les viandes, la concentration en CO₂ reste limitée par le changement de la myoglobine (brunissement). En règle générale, il est recommandé de ne pas dépasser 20 % de CO₂.

Colin (1987) a utilisé un mélange gazeux composé de 20 % de CO₂ et 80 % d'oxygène et il a constaté que le mélange a permis, sans aucune modification du produit ni apparition d'odeurs étrangères, d'améliorer la durée de conservation des carcasses et produits de découpe des volailles. Le CO₂ utilisé a entraîné une prolongation de la phase de latence des Pseudomonas, mais n'a pas permis une inhibition totale de ces microorganismes.

Lambert et al. (1991) ont étudié l'effet combiné de l'irradiation gamma à faible dose avec l'emballage en atmosphère modifiée (CO₂ et N₂) de la viande de porc et ont constaté que l'atmosphère modifiée utilisée toute seule entraînait le développement du C. botulinum qui, au bout de 8 jours de stockage, produisait la toxine.

7.0 L'IRRADIATION

Depuis un certain nombre d'années, la communauté internationale ne cesse de faire face à des problèmes d'insuffisances alimentaires. Certains pays d'Afrique sont

disloqués à cause de la famine. La production alimentaire est insuffisante à cause de plusieurs facteurs, entre autres les pertes estimées en moyenne à 25% de la production mondiale et qui peuvent atteindre 40 à 50% dans certains pays (rapports annuels de la F.A.O., 1987, 1988). Les Nations Unies estiment de plus que 30 % du taux de mortalité au niveau mondial est dû à des maladies alimentaires.

Pour remédier aux pertes des denrées alimentaires et faire face à l'augmentation sans cesse croissante de la demande alimentaire mondiale, l'être humain a toujours eu recours aux moyens de conservation mis à sa disposition.

Un de ces moyens de conservation physique à froid, qui n'utilise pas de produits chimiques mais plutôt une énergie ionisante, est l'irradiation.

7.1 Le principe de l'irradiation

Irradier un produit consiste à l'exposer à une source d'énergie rayonnante intense, constituée de radiations électromagnétiques à courte longueur d'ondes de même nature que les rayons ultra-violet, visibles et infrarouges, que les micro-ondes et les ondes radio-électriques utilisées en communication. Ce type de rayonnement électromagnétique est appelé aussi "rayonnement ionisant".

Cela consiste à projeter une certaine quantité d'énergie sur un corps pour éjecter les électrons périphériques hors des atomes et produire ainsi des ions. Ces ions ainsi que les électrons éjectés réagissent à leur tour sur d'autres atomes, les transformant eux aussi en ions. Les noyaux des atomes ne sont pas touchés : il n'y a pas de désintégration des noyaux, il y a seulement excitation de la couche périphérique des électrons de l'atome (fig. 7).

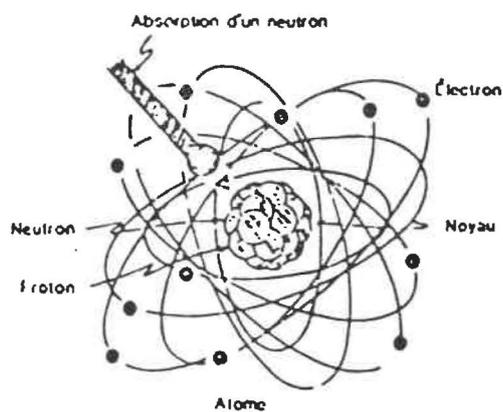
Un électron accéléré est une particule chargée qui se trouve déviée en passant au voisinage des atomes et cède à ces derniers une partie de son énergie en chassant de leur orbite des électrons périphériques.

Un photon gamma provoque lui aussi dans le milieu qu'il traverse la formation d'électrons à la suite d'un processus dont le mécanisme dépend de l'énergie du rayonnement incident.

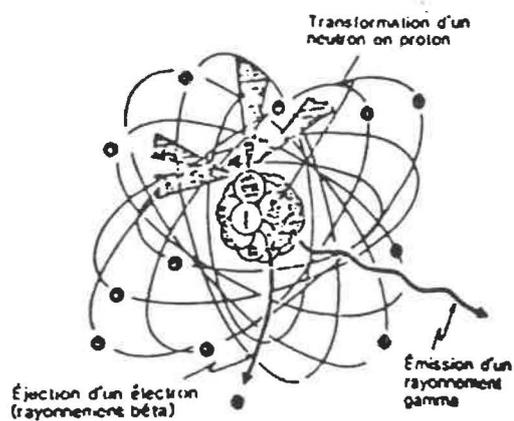
Dans le cas des énergies moyennes, qui est en particulier celui des rayons gamma émis par le Cobalt 60, l'effet prépondérant est l'effet Compton. Le photon cède une partie de son énergie à un électron et repart dans une direction différente.

Il y a finalement apparition d'un électron dit "primaire". Son énergie est beaucoup trop grande pour être absorbée directement. L'électron peut par contre en éjecter à son tour

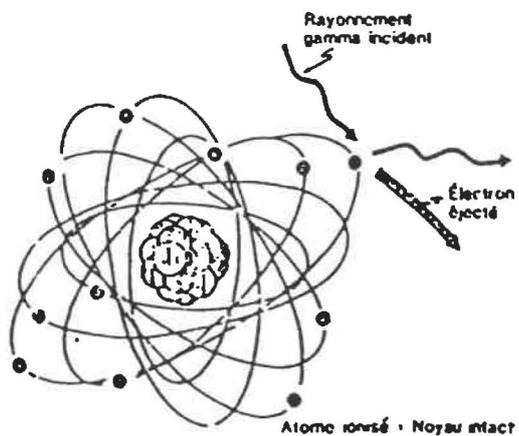
1. ACTIVATION



2. ATOME RADIOACTIF - NOYAU TRANSFORMÉ



MODE D'IONISATION 1



MODE D'IONISATION 2.

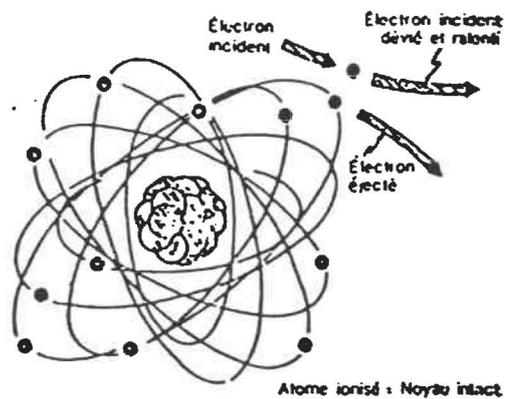


Fig. 7 Radiations ionisantes (d'après Moinet, 1983)

d'autres, dit "secondaires" et ainsi de suite. Le résultat est de briser les liaisons entre les atomes et les molécules constituant la substance à traiter qui devient ainsi ionisée.

7.2 Les différents types de rayonnements ionisants

7.2.1 Les rayons alpha

Il s'agit de particules chargées positivement, émises par des éléments que l'on rencontre dans la nature, tels que l'uranium et le radium, ainsi que par des éléments artificiels. Les rayonnements alpha pénètrent à peine la surface de la peau; une simple feuille de papier suffit pour les arrêter. Cependant, les matières qui émettent des rayonnements alpha présentent le danger de risquer d'être absorbées dans le corps par inhalation ou par ingestion d'aliments ou d'eau (Vasseur, 1991).

7.2.2 Les rayons bêta

Ils sont constitués d'électrons. Ils sont plus pénétrants que les rayonnements alpha, ils peuvent traverser un à deux centimètres d'eau ou de tissus humains. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres d'épaisseur suffit pour les arrêter. Le tritium, une des matières présentes dans les retombées des essais d'explosifs nucléaires, émet des rayonnements bêta (Vasseur, 1991).

7.2.3 Les rayons X

Ils représentent une forme plus familière de rayonnements pénétrants. Ils ont une énergie \leq à 5 MeV et sont utilisés en médecine pour la radiologie ainsi que la détection de certains objets au niveau des aéroports (Vasseur, 1991).

7.2.4 Les rayons gamma

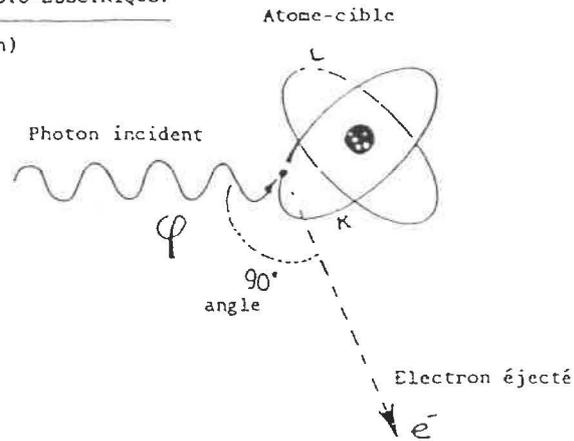
Les rayons gamma sont composés de sources au Co^{60} ou de Cs^{137} et peuvent être très pénétrants. Ils sont capables de traverser l'organisme humain, mais ils sont cependant presque complètement absorbés par un mètre de béton. On a souvent recours à des matériaux denses tels le béton et le plomb pour assurer la protection contre les rayonnements gamma (Vasseur, 1991).

7.3 Les interactions des rayons gamma avec la matière

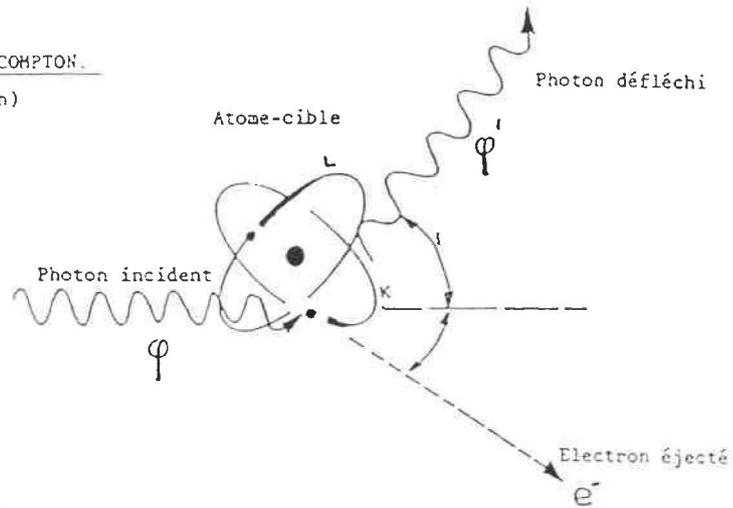
L'interaction entre les rayons gamma et la matière varie avec l'énergie des rayons incidents. Les différentes interactions sont :

Effet photo-électrique (fig. 8A) : quand l'énergie du photon incident est faible (5×10^5 eV), il y a collision avec un électron des orbites périphériques. L'énergie apportée par le photon suffit pour éjecter un électron orbital en lui cédant toute son énergie (Sternberg, 1982 ; Moinet, 1983).

A. EFFET PHOTO-ELECTRIQUE.
(Einstein)



B. EFFET COMPTON.
(Compton)



C. PRODUCTION D'IONS-PAIRES
(Dirac)

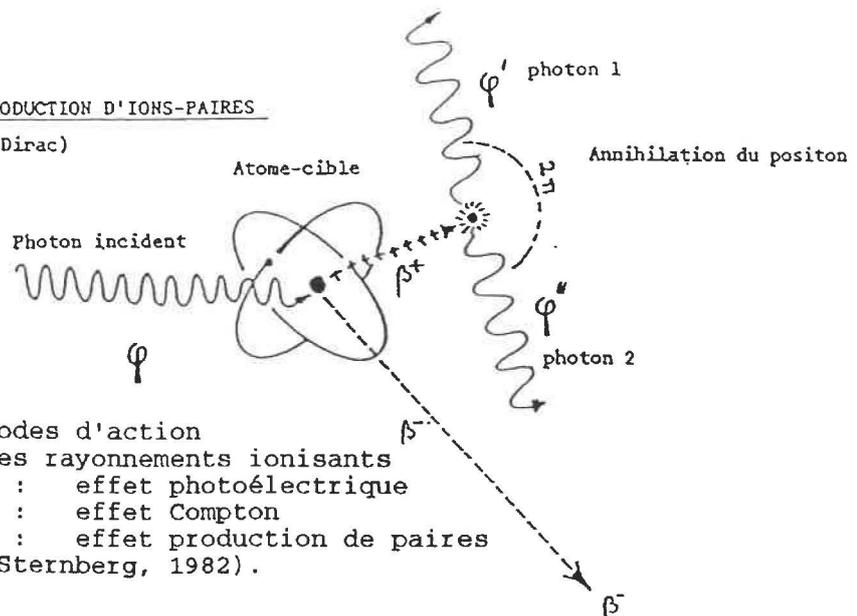


Fig. 8

Modes d'action
des rayonnements ionisants
A : effet photoélectrique
B : effet Compton
C : effet production de paires
(Sternberg, 1982).

Effet Compton (fig. 8B) : quand le rayon incident a une énergie comprise entre 5×10^5 et 1×10^6 eV, l'interaction produit l'éjection d'un électron périphérique. Le photon transmet une partie seulement de son énergie à l'électron rencontré et dispose de suffisamment d'énergie pour entrer en collision avec d'autres photons dégradés (Sternberg, 1982 ; Moinet, 1983).

Production d'ions paires (fig. 8C) : quand le photon incident a une énergie $>$ à 1.022 MeV, l'énergie du photon incident est entièrement absorbée par le noyau qui devient instable et émet deux particules de masse égale à l'électron, mais de charges opposées. C'est la conversion de l'énergie électromagnétique en matière. L'atome cible ne s'ionise pas, mais l'électron à charge négative va réagir avec les atomes environnants et produire des ionisations (Sternberg, 1982).

7.4 Le Cobalt 60

La source de rayonnement ionisant gamma la plus utilisée au Canada est le Cobalt 60 qui est un isotope radioactif obtenu par bombardement du Cobalt 59 stable par des neutrons dans un réacteur nucléaire (Candu) (voir annexe 1). Le noyau absorbe un des neutrons qui devient du Cobalt 60 (isotope radioactif). Trop chargé de neutrons, le noyau instable de Cobalt 60 se transforme à nouveau en noyau stable. Il émet alors un β^- (électron) et deux photons gamma successifs ayant une énergie

de 1.17 et 1.33 million d'électron-volts ($1\text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13}$ joules). Il ne s'agit en aucun cas de radioactivité puisque l'énergie dégagée par les radiations ionisantes arrache les électrons gravitant autour du noyau, laissant celui-ci intact (voir fig. 7) (Moinet, 1983 ; Vasseur, 1991).

L'énergie très élevée des rayons gamma leur confère, du fait de l'absence de charge et de masse des photons, un excellent pouvoir de pénétration. Ce pouvoir de pénétration est plus important que les autres types de rayons (rayons X, faisceaux d'électrons accélérés) permettant ainsi le traitement dans l'emballage (fig. 9) ce qui évite donc toute post-contamination (IAEA, 1985).

7.5 La différence entre radioactivité et irradiation

Depuis quelques années, le mot "irradiation" suscite des craintes chez les consommateurs de sorte que les experts de l'irradiation et de la réglementation y afférente, dans certains pays, ont décidé de le remplacer par le terme "ionisation" pour détourner ces craintes. Il y a confusion chez les consommateurs qui ne savent plus faire la distinction entre radioactivité et irradiation.

Et pourtant, il n'existe pas de radioactivité induite pour les rayons gamma. Il y a un tel phénomène seulement si leur énergie est supérieure de 10 à 13×10^6 eV. Aussi a-t-on choisi

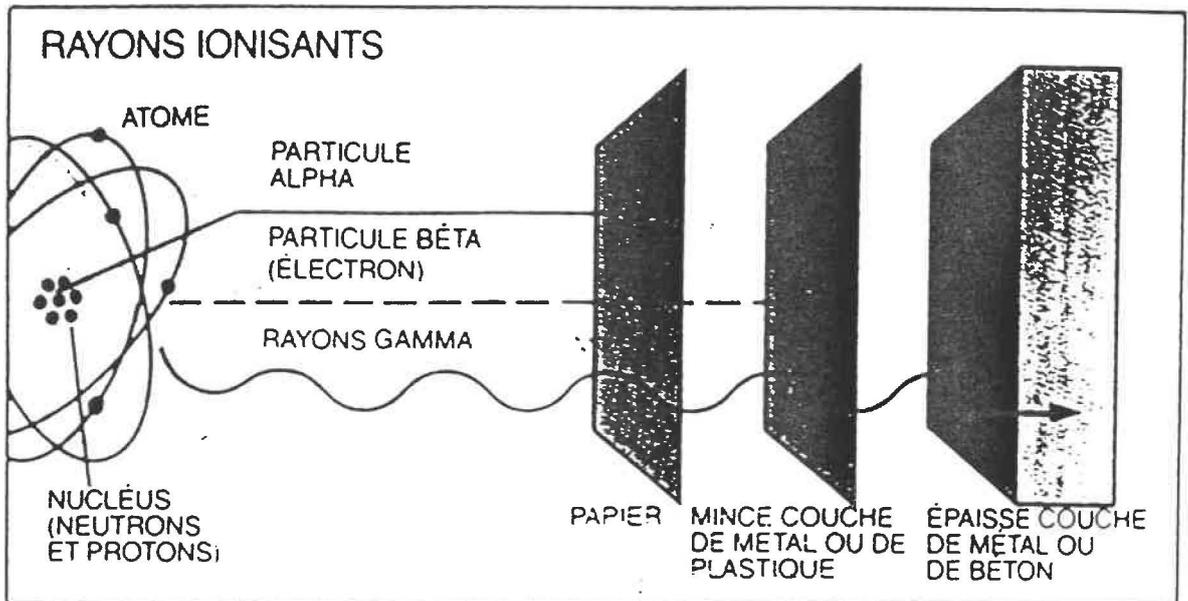


Fig. 9 - Pouvoirs de pénétration des rayonnements ionisants (IAEA, 1988).

des isotopes radioactifs qui émettent des rayons gamma d'énergie bien inférieure à ce seuil : 1.17 à 1.33×10^6 eV pour le Cobalt 60 et 0.66×10^6 eV pour le césium. Ces valeurs sont imposées par des processus de désintégration, donc, par la nature même des isotopes. Ce choix interdit tout risque de formation de radioactivité induite (Moinet, 1983 ; Urbain, 1984).

7.6 La dosimétrie

La qualité des produits irradiés va dépendre de la précision et de la reproductivité du traitement ionisant. La dosimétrie sert de base pour fixer les conditions d'opération. Déterminer et appliquer le niveau de doses appropriées est l'élément primordial de la mise en oeuvre correcte de l'irradiation des aliments sur le plan technologique (gestion de la qualité) et économique. La dosimétrie est donc un moyen de mesure de la dose d'irradiation absorbée par le produit.

Cette mesure est déterminée en unité Gray (Gy). Par définition le Gray est le rayonnement qui, absorbé par un kilo de matière, communique à cette matière une énergie de 1 joule.

$$1 \text{ Gray} = 1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ Rad} \quad ; \quad 1 \text{ kGy} = 100 \text{ kRad.}$$

Le Rad est l'unité de dose absorbée ramenée à 1 g de substance. Il est égal à 100 erg/g (Vasseur, 1991).

7.7 Les applications de l'irradiation aux denrées alimentaires

Le traitement par rayonnements ionisants en agro-alimentaire, a pour finalité d'améliorer la qualité, d'éviter la dégradation et d'allonger la durée de vie des produits alimentaires, afin de les rendre moins périssables.

L'irradiation permet de détruire les insectes nuisibles présents dans le grain, les fruits et les épices entreposés et donc d'éviter l'utilisation de pesticides. Ce traitement retarde également le mûrissement des fruits frais et des végétaux ce qui permet de les maintenir plus longtemps sur les étalages. De plus, il empêche la germination (pommes de terres, oignons, etc.) et assure une meilleure destruction des microorganismes pathogènes, prolongeant ainsi la durée de vie des aliments (IAEA, 1982).

Alur et al. (1992) ont établi que l'application d'une dose de 4 kGy pouvait éliminer complètement la Salmonella de plusieurs variétés de produits à base de viande de porc.

Les doses d'irradiation à employer varient dans un éventail assez large suivant le traitement à effectuer (Tableau IV).

Les termes employés lors du traitement des denrées alimentaires par les rayonnements ionisants, selon Dempster, (1985), Urbain (1986), sont :

Tableau IV : Effets de la dose d'irradiation sur les aliments

ALIMENTS	DOSE kGy	EFFETS
Viande, volaille, poisson, crustacés, certains légumes, produits cuits, aliments préparés	20-70	Stérilisation. Les produits peuvent être entreposés à température ambiante
Epices et autres assaisonnements	8-30	Réduction du nombre de microorganismes et d'insectes. Remplace les produits chimiques
Viande, volaille, poisson	1-10	Retarde la pourriture. Tue certaines bactéries responsables d'empoisonnements alimentaires (salmonelle)
Fraise et certains fruits	1-4	Prolonge la vie de ces denrées en retardant la moisissure
Céréales, fruits, légumes	0.1-1	Tue les insectes ou les empêche de se reproduire. Peut remplacer en partie les fumigants.
Bananes, avocats, mangues, papayes, goyaves, autres fruits (excepté les agrumes)	0.25-0.35	Retarde le mûrissement
Porc	0.08-0.15	Fait disparaître la trichine
Pommes de terre, oignons, ail	0.05-0.15	Inhibe la germination

Tiré de : IAEA, 1988.

- la radurisation est le traitement par rayonnements ionisants des denrées périssables visant à réduire la charge microbienne viable responsable de la putréfaction de façon à prolonger la durée du stockage. Elle correspond à la pasteurisation et les doses appliquées sont $<$ à 10 kGy.
- la raducidation est le traitement par rayonnements ionisants des denrées périssables visant à détruire tous les microorganismes pathogènes sous leur forme végétative et une grande partie des autres microorganismes. Elle correspond aussi à la pasteurisation et les doses appliquées sont inférieures à 10 kGy (minimum 2.5 kGy).
- la radappertisation est une stérilisation commerciale obtenue par l'action des rayonnements ionisants. Les doses appliquées sont $>$ à 10 kGy.

Toutefois, le traitement des aliments par irradiation n'est pas une panacée. Il ne peut pas transformer des aliments gâtés en aliments frais. Aussi, certaines denrées alimentaires ne conviennent tout simplement pas à l'irradiation. Chaque aliment a une tolérance relative à l'irradiation. La tolérance relative des fruits et légumes frais à l'irradiation, à des doses inférieures à 1 kGy, est représentée au tableau V, tandis que le seuil de traitement des produits animaux est représenté au tableau VI.

Tableau V : Tolérance relative des fruits et légumes frais à l'irradiation à des doses < à 1 kGy

TOLÉRANCE RELATIVE	PRODUITS
Grande tolérance	Pomme, cerise, datte, melon, pêche, goyave, tomate, mangue, fraise, papaye, framboise.
Tolérance moyenne	Abricot, ananas, banane, orange, tangerine, prune, pamplemousse, figue, poire.
Faible tolérance	Avocat, citron, concombre, raisin, chou-fleur, brocoli, olive, poivre, pois vert, végétaux feuillus

Tiré de : Kader, 1986.

Tableau VI : Tolérance à l'irradiation des produits carnés

Produits animaux	Seuil de tolérance (kGy)
Dinde	1.50
Porc	1.75
Boeuf	2.50
Poulet	2.50
Homard	2.50
Crevette	2.50
Lapin	3.50
Grenouille	4.00
Baleine	4.00
Truite	4.50

Tiré de : Urbain, 1986.

Notons qu'après plusieurs années d'études, le comité conjoint d'experts FAO, OMS, AIEA, ("Codex alimentarius, 1984) a conclu que l'irradiation ne présente aucun risque toxique pour les consommateurs et qu'on l'autorise jusqu'à une dose de 10 kGy. D'ailleurs, plusieurs études effectuées sur différents produits de consommation exposés à des doses moyennes de 10 kGy, ont conclu que ces produits sont sains et conformes du point de vue nutritionnel pour la consommation humaine (WHO, 1981, 1988 ; "Codex Alimentarius", 1984 ; Brynjolfsson, 1985 ; Farkas, 1989).

Actuellement, l'irradiation est utilisée au Canada pour stériliser le matériel médical, et, à l'exception des épices, on ne pratique pas de traitement d'irradiation des aliments destinés à la consommation courante. Toutefois, en 1983, Santé et Bien-Etre Social Canada a publié une lettre de renseignements sur l'irradiation des aliments. Conformément aux recommandations de la Commission du Codex Alimentarius des Nations Unies, et en vertu de nouveaux amendements adoptés en 1989, le Canada a institué de nouveaux règlements qui classent l'irradiation des aliments non pas comme additif mais plutôt comme un procédé.

La réglementation au sujet de l'irradiation était jusqu'alors si complexe qu'elle dissuadait les entreprises de demander aux organismes gouvernementaux l'autorisation

d'utiliser l'irradiation pour le traitement des aliments. Une révision de cette réglementation permet maintenant un meilleur accès à l'irradiation.

7.8 Effets de l'irradiation

Tous les aliments contiennent des microorganismes. Plusieurs d'entre eux, contribuent positivement aux qualités organoleptiques et nutritionnelles de l'aliment (Lactobacillus acidophilus, Penicillium camemberti, etc.). Certains sont responsables de la putréfaction (Pseudomonas, Acinetobacter, Moraxella, etc.), d'autres, par contre, sont responsables de toxi-infections alimentaires (Salmonella, E. coli, Listeria, etc.) qui peuvent entraîner des maladies graves.

Les rayonnements ionisants agissent sur les microorganismes et les aliments de façon plus sélective que la chaleur. Leurs effets sont multiples mais peuvent être regroupés sur deux fronts : les effets directs et les effets indirects.

7.8.1 Effets de l'irradiation sur les microorganismes

7.8.1.1 Les effets directs :

Les radiations ionisantes frappent directement les constituants cellulaires et produisent des dégâts proportionnels à leur pouvoir ionisant ainsi qu'au transfert d'énergie linéaire (Sternberg, 1982 ; Vasseur, 1991).

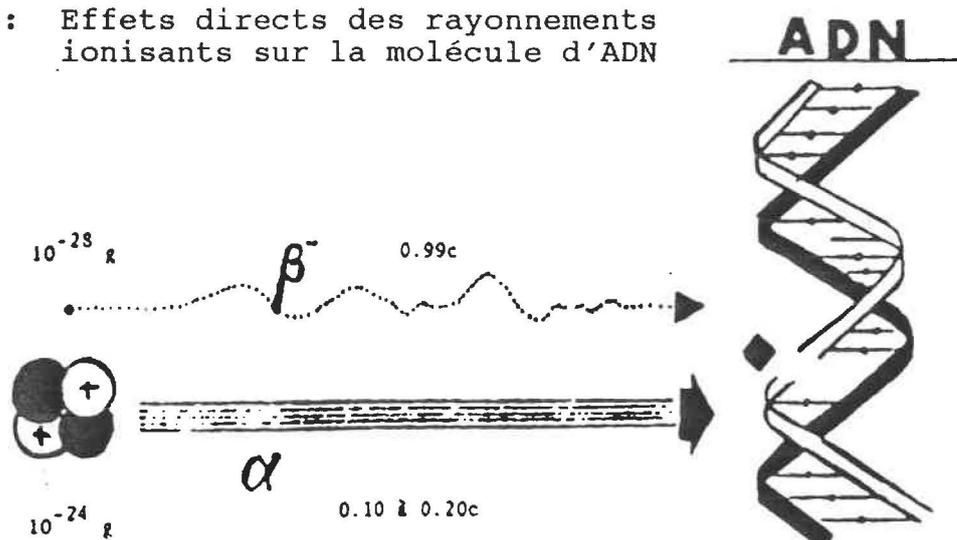
Il est admis que l'ADN, vu le rôle important qu'elle joue dans la cellule et au regard de la fragilité structurale de sa longue chaîne, est la cible la plus touchée par l'irradiation.

La figure 10A illustre l'effet des collisions sur une molécule d'ADN. Une collision de 100 eV aura comme résultat la cassure d'une branche d'un dimère d'ADN, tandis qu'une collision de 600 eV produira une cassure de deux branches. Dans le premier cas, il s'agit de la cassure chromatidique tandis que dans le second cas, il s'agit de la cassure chromosomique. La collision se produit à des sites spécifiques liant le résidu phosphatique au résidu désoxyribose.

Les molécules d'ADN cassées par collision directe pourraient ainsi se réparer en moins de 30 à 40 secondes par la ligase en présence d'agents promoteurs de la réparation (fig. 10B). Ces promoteurs peuvent être le magnésium (Mg^{++}), la nicotinamide-adénine-dinucléotique (NAD) ou autres. Les espèces microbiennes ayant le meilleur système de réparation de l'ADN devraient donc être parmi les plus résistantes à l'irradiation (AIEA, 1982 ; Sternberg, 1982 ; Vasseur, 1991).

Actuellement, les consommateurs craignent que le recours à l'irradiation puisse favoriser le processus de sélection naturelle de manière à produire des microorganismes particulièrement résistants. Les études effectuées par l'AIEA

A : Effets directs des rayonnements ionisants sur la molécule d'ADN



B : Réparation de la molécule d'ADN après une collision directe avec les rayonnements ionisants.

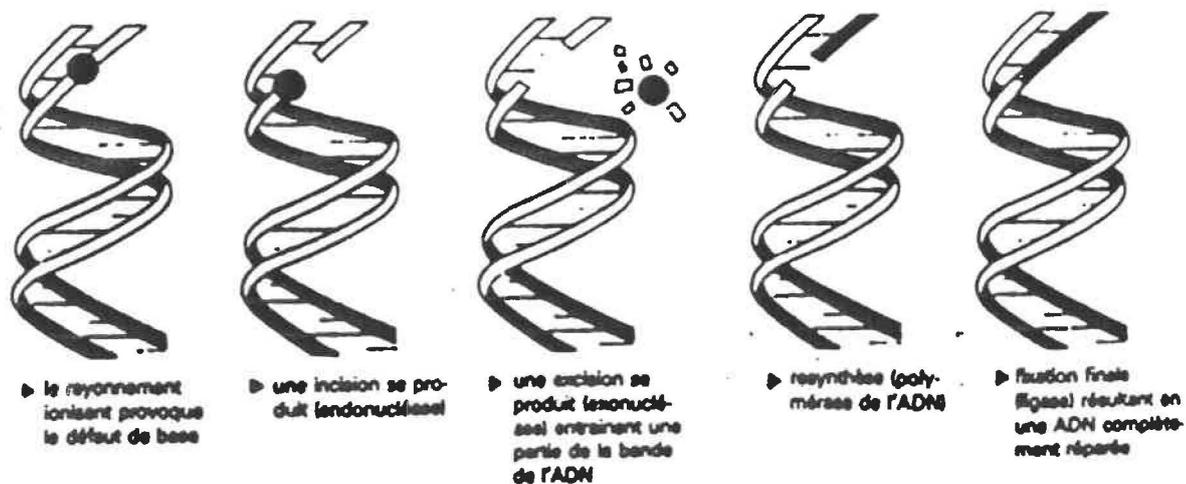


Fig. 10 Action des rayonnements ionisants sur la molécule d'ADN (Sternberg, 1982)
 A : effets directs
 B : réparation de l'ADN

permettent de lever ces craintes, mais il reste à convaincre les consommateurs de ne plus s'inquiéter. Pour cela, une vulgarisation plus poussée doit être menée.

7.8.1.2 La résistance microbienne à l'irradiation

La résistance microbienne à l'irradiation est exprimée par une valeur D_{10} . La valeur D_{10} est la dose d'irradiation requise pour réaliser une réduction de 90 % de la population microbienne ou encore, c'est la dose requise qui réduit la population microbienne par un facteur de 10 (IAEA, 1982 ; Urbain, 1986).

La formule de calcul de la D_{10} est :

$$D = \frac{U}{\text{Log } a - \text{log } b}$$

U = dose d'irradiation utilisée

a = nombre initial de microorganismes irradiés

b = nombre de microorganismes survivants à une dose d'irradiation reçue égale à U

Il est reconnu que plus un organisme est complexe, plus il est sensible à l'irradiation. Les levures et moisissures présentent une sensibilité variable à l'irradiation. Les germes pathogènes à Gram négatif sont plus sensibles à l'irradiation que ceux à Gram positif. Les insectes et les parasites sont plus sensibles que les bactéries alors que les toxines sont plus résistantes.

Le tableau VII indique la D_{10} de certains microorganismes pathogènes trouvés dans les aliments.

7.8.1.3 Les effets indirects

L'effet indirect de l'irradiation est lié à l'action des radicaux libres formés lors de la radiolyse de l'eau. L'effet sur l'ADN est dû pour 70 % à ces OH provenant de la radiolyse de l'eau et pour 30 % à l'ionisation directe. D'ailleurs, Billen (1987) a estimé qu'environ 85 % des dommages potentiels survenus aux E. coli irradiés sont dus aux produits de radiolyse de l'eau principalement OH \cdot . Ce point nous le discuterons dans la section 7.8.3 (Produits de radiolyse).

7.8.2 Les effets de l'irradiation gamma sur la qualité des aliments

Les modifications chimiques induites par le rayonnement ionisant peuvent entraîner l'altération des qualités organoleptiques des produits alimentaires dont l'importance sera fonction :

- de la dose absorbée
- de la composition chimique de l'aliment
- de la présence de radiosensibilisateurs ou de radioprotecteurs (IAEA, 1982).

Tableau VII : Valeur D_{10} pour l'irradiation de quelques bactéries pathogènes trouvées dans les aliments

Microorganismes	Valeur D_{10} en kGy	
<i>Campylobacter jejuni</i>	0.186	
<i>Escherichia coli</i>	0.15	- 0.43
<i>Salmonella</i>	0.2	- 1.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.2	- 0.4
<i>Streptococcus pyrogenes</i>	0.5	- 1.0
<i>Yersinia enterocolitica</i>	1.09	- 1.95
<i>Clostridium botulinum</i> (A)	2.1	- 2.3
<i>Clostridium botulinum</i> (B)	1.6	- 3.7
<i>Clostridium perfringens</i>	1.2	- 3.4
<i>Bacillus cereus</i>	2.5	

Tiré de: Singh, 1992.

La principale altération est le développement d'une odeur et/ou d'une "flaveur d'irradiation", principalement due à l'action des rayonnements sur les lipides et les protéines (Lacroix et al. 1991).

La détérioration des éléments nutritifs essentiels constitue aussi un argument de poids. Cependant, aux doses actuelles d'utilisation, les modifications sont peu importantes et dépendent de nombreux facteurs tels que la composition de l'aliment, la température, l'absence ou la présence d'air au cours de l'irradiation, la dose de rayonnement. Plus les structures moléculaires sont complexes, plus elles sont sensibles à l'effet des rayonnements.

Concernant les glucides, les modifications sont minimes compte tenu des faibles doses utilisées. Les produits radiolytiques sont des dérivés carbonylés à chaînes courtes, des acides et des sucres. Ils sont donc stables à l'irradiation. Et comme dans le poulet il n'y a pas de glucides, ce composé n'est d'aucun intérêt.

7.8.2.1 Les effets de l'irradiation sur les protéines

Les groupements S-H et S-S ont une grande importance dans l'activité d'un grand nombre d'enzymes, ainsi que dans l'arrangement stérique des protéines. Ils sont aussi indispensables pour le maintien de la perméabilité des

membranes cellulaires et mitochondriales, des systèmes d'oxydo-réduction, ainsi que pour l'organisation de l'appareil mitotique (Sternberg, 1982).

Les protéines sont affectées à la fois par action directe et indirecte des rayonnements ionisants. Cependant, l'action directe où l'énergie est déposée dans la molécule elle-même est plus effective dans l'altération de ses protéines que l'action indirecte où les molécules protéiques sont altérées par réaction avec les radicaux provenant de la radiolyse de l'eau (Taub, 1983).

Dans plusieurs cas, l'irradiation endommage les groupements SH- bien avant d'agir sur les autres molécules de la cellule. Ainsi, les protéines peuvent être dénaturées par l'irradiation soit avec les peroxydes, soit par collision directe. L'augmentation de la disponibilité des groupes SH- des protéines est due à la dénaturation de ces protéines. Le rendement est d'autant plus élevé dans le cas de la collision directe, puisqu'une protéine peut être totalement dénaturée après absorption de 50 à 200 eV.

Quand la dénaturation de la protéine est complète, il y a rupture des ponts S-S, des liaisons H-, des liaisons peptidiques, etc. Les protéines subissent des réactions au niveau des acides aminés en fonction de la structure protéique,

de la dose utilisée, etc. L'action sur les protéines devient plus complexe, les liaisons peptidiques sont résistantes et les modifications portent surtout sur les propriétés physiques (Sternberg, 1982).

L'irradiation à des doses \leq à 10 kGy provoque des modifications de la conformation des protéines en agissant surtout sur les structures. Plus les structures moléculaires sont complexes, plus elles sont sensibles à l'effet des rayonnements (Taub *et al.*, 1979). Les travaux de Lakritz et Maerker (1987) et Hassan (1990) ont rapporté que les protéines myofibrillaires sont particulièrement radiosensibles.

Hassan (1990) a étudié l'effet de l'irradiation sur les acides aminés libres du poulet et a conclu que l'irradiation aux doses étudiées (0, 6, 10 et 20 kGy) entraînait l'augmentation de l'activité enzymatique protéolytique et, par conséquent, la rupture des protéines. La nature et la quantité des acides aminés trouvés ont été influencées par la dose d'irradiation. Les changements survenus au cours du stockage avaient une conséquence sur la production de mauvaises saveurs et odeurs dues en particulier à la production d'hydrogène sulfuré (H_2S). Les protéines ont été dénaturées et les acides aminés désaminés.

Dogbevi (1994) a aussi montré, dans son étude, que l'augmentation du degré de désamidation des protéines du porc et des fèves était proportionnelle à l'augmentation des doses d'irradiation (2, 4 et 8 kGy).

7.8.2.2. Les effets de l'irradiation sur les vitamines

Les vitamines affectées sont surtout les vitamines A, B1, C et E. On estime qu'il y a 10 à 20 % de perte en vitamines après l'irradiation. Toutefois, la perte qui survient au cours du traitement à l'irradiation est comparable à la perte qui survient pendant l'application d'autres traitements technologiques.

Fox et al. (1989) ont étudié l'effet de l'irradiation sur les vitamines B et ont constaté que ni la riboflavine (B₂) ni la niacine (B₆) n'ont montré de changements significatifs sous l'effet de la dose d'irradiation. Seule la thiamine ((B₁) a perdu 0.011 et 0.076 % de sa flaveur à des doses respectives de 1 et 3 kGy. Mais il faut retenir que cette perte est semblable à une perte lors de la cuisson à une température élevée ou à un temps de cuisson relativement long.

7.8.2.3 Les effets de l'irradiation sur les lipides

Les lipides sont affectés par l'irradiation et ont pour conséquence la modification des propriétés physiques

(viscosité, point de fusion), l'oxydation des doubles liaisons des acides gras polyinsaturés et des modifications plus importantes à des doses d'irradiation élevées (Nawar, 1972 ; Merritt et al., 1985).

Les acides gras insaturés sont plus facilement oxydables que les acides gras saturés. On observe dans les produits irradiés une élévation du taux de peroxydes et d'hydroperoxydes conduisant à la production d'aldéhydes et de cétones à l'origine d'odeurs désagréables (Voir section 4.4 : Oxydation des lipides), (Gurr et James, 1975).

7.8.3 Les produits de radiolyse

Chaque fois que l'énergie du dernier électron est diminuée, et, au moment même où l'énergie résiduelle est de même ordre de grandeur que celle des énergies de rupture des liaisons covalentes, des radicaux libres, responsables de la formation des produits de radiolyse, apparaissent.

Des liaisons entre atomes ou groupes d'atomes qui constituent les molécules peuvent être rompues ; cette rupture donne des radicaux libres caractérisés par une existence éphémère car ils se recombinent très rapidement pour reformer soit la molécule initiale, soit, entre autres, le radical libre OH très réactif qui va modifier de façon plus ou moins étendue quelques molécules du milieu. Les produits de radiolyse issus

de ces réarrangements sont en très faibles quantités et la plupart existaient déjà avant le traitement.

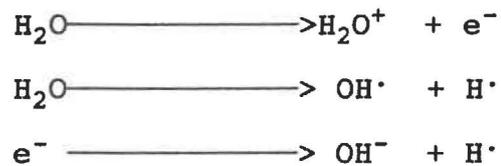
Les premiers radicaux libres peuvent se transformer en plusieurs réactions pour former d'autres radicaux secondaires et différents produits stables. Ces radicaux secondaires peuvent aussi aboutir en prenant plusieurs voies telles que l'abstraction, la dissociation, la recombinaison radical-radical et la réaction molécule-radical, à la formation de composés ayant la même structure que les composés dont ils sont issus. D'ailleurs, certains produits ont été identifiés par Nawar et Handel (1978) comme des aldéhydes ayant le même nombre d'atomes de carbone que l'acide gras dont ils étaient issus.

Les craintes initiales suscitées par la présence, dans les aliments irradiés, de certains produits de radiolyse ont donné lieu à un grand nombre de travaux, qui sont d'ailleurs venus calmer ces craintes (WHO, 1988).

Les ions moléculaires et les radicaux libres auront un comportement différent selon la rigidité du milieu dans lequel ils sont formés. Dans un système rigide, la forte viscosité empêche les espèces transitoires de migrer rapidement dans le milieu. Les radicaux pourront avoir des durées de vie importantes et n'évolueront rapidement que lors du changement de la viscosité du milieu.

Dans un milieu à faible viscosité, les entités primitives formées vont pouvoir migrer. L'action du rayonnement sera surtout une action directe à cause de la radiolyse de l'eau.

Comme l'eau est la molécule la plus simple et la plus répandue dans l'organisme vivant, il y a de fortes probabilités qu'une molécule d'eau se trouve dans la trajectoire d'une irradiation ionisante. L'irradiation de l'eau produit en premier lieu une paire d'ions de charges opposées (AIEA, 1982; Taub, 1983 ; Vasseur, 1991).



Ces ions peuvent agir à leur tour sur d'autres molécules d'eau dans leur voisinage produisant des radicaux libres (H^\cdot , OH^\cdot) et des peroxydes (H_2O_2 , HO_2).

Dans tous les cas, l'oxygène jouera un grand rôle, en particulier dans la formation de peroxydes. Ces radicaux libres et ces peroxydes se produisent très rapidement au site de l'irradiation et se propagent aussi vite dans l'organisme entier, en agissant sur les cellules.

Les peroxydes agissent sur les métabolites cellulaires en les oxydant. Les alcools sont oxydés en aldéhydes, les acides

aminés sont désaminés, les protéines sont dénaturées. Ces produits de dégradation sont catabolisés rapidement et éliminés des cellules, sans produire de dégâts majeurs.

L'importance de ces réactions dépend de la rigidité du milieu et de la température. Abaisser celle-ci est un excellent moyen de diminuer la formation des produits secondaires.

8.0 LES ANTIOXYDANTS

8.1 Les antioxydants artificiels

Les antioxydants qui sont souvent utilisés dans l'industrie pour stabiliser les matières grasses et arrêter leur détérioration par l'action oxydative sont des antioxydants synthétiques (Dziezak, 1986) tels le "butylated hydroxyanisole (BHA), le butylated hydroxytoluene (BHT), le tertiary butylhydroxyquinone (TBHQ), le gallate de popryl, le gallate d'octyl et le tripoly-phosphate de sodium (STTP).

Le BHA et le BHT sont volatils et se décomposent facilement à de hautes températures. Ils ne sont pas satisfaisants pour plusieurs produits comme les "chips" et les pommes de terre frites. Ils ne sont pas efficaces dans les huiles végétales pour prévenir le développement de mauvaises saveurs. En revanche, le TBHQ, ajouté à l'huile de soja pour la stabiliser, a présenté une excellente propriété inhibitrice de l'oxygène mais a engendré une saveur désagréable (Chang et al., 1977).

Des taux élevés de BHA, BHT et TBHQ incorporés dans la diète des animaux de laboratoire ont causé des dommages au foie. Le BHT, seul, augmente l'activité enzymatique microsomale incitant la FDA à l'enlever de la liste des additifs reconnus comme étant inoffensifs (Wu et al., 1982).

Ces produits chimiques synthétiques transforment certains composés ingérés en des substances toxiques ou carcinogènes en augmentant le nombre d'enzymes microsomaux. Par conséquent, l'alternative à l'utilisation de conservateurs possédant une activité antimicrobienne et qui ne cause pas de problèmes de santé, est souhaitée aussi bien par les consommateurs que par les utilisateurs (Farag et al., 1989).

8.2 Les antioxydants naturels

Les épices et les herbes sont des substances dont l'apport nutritionnel direct est négligeable. Les épices, incorporées aux aliments, vont y jouer un rôle important en relevant la saveur des aliments, en modifiant certains caractères sensoriels, en améliorant leur appétence et en éliminant certains problèmes de contamination par les microorganismes nuisibles grâce aux propriétés et aux vertus qui leur sont attribuées. Soliman et al. (1994) et Tsimidou et Boskou (1994) nous en rappellent les principales : antioxydants, stimulateurs de la sécrétion salivaire, carminatifs c'est-à-dire s'opposant

aux fermentations stomacales et intestinales, excitants hépatiques et bactéricides.

La saveur de ces composés est donnée par les différentes substances des épices et herbes telles que les alcools, les aldéhydes, les esters, les terpènes, les phénols, les acides organiques et autres (Shelef et al., 1980).

Ainsi le domaine de leur utilisation en l'état ou sous forme de poudres ou d'extraits est extrêmement vaste : emploi culinaire, pharmaceutique et industriel (industries agroalimentaires et cosmétiques).

Il est certain qu'elles continueront à tenir une grande place dans l'alimentation de demain, d'autant plus que comme le souligne Dougherty (1993), aucun problème toxicologique ne semble se poser à leur égard, contrairement aux antioxydants synthétiques qui sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire.

Les antioxydants naturels retardent l'oxydation en interférant avec la formation de radicaux libres. Ils agissent en donnant un ion hydrogène au radical libre pour reformer la molécule originale des lipides. Ils inhibent aussi l'oxydation en se servant comme donateur d'ions hydrogène aux peroxydes afin de former des hydroperoxydes. Ceci prévient la formation

de radicaux libres dans les autres molécules de lipides (Dougherty, 1993).

Aussi dans notre étude, nous avons préféré utiliser un mélange de thym, de romarin et de jus de citron pour la marinade.

8.2.1 Le thym

Le thym est une plante vivace originaire du bassin méditerranéen, elle s'élève à une vingtaine de centimètres du sol en formant des touffes compactes très ramifiées et poussent de façon spontanée sur les côteaux secs, rocailleux et les garrigues.

Le thym appartient à la famille des Labiées. Cultivé, il ne demande pas beaucoup de soins mais préfère les climats doux et les terrains bien drainés et ensoleillés. Le thym est renommé pour ses vertus médicinales depuis l'Égypte antique. Outre les propriétés toniques, stimulantes, stomachiques, antispasmodiques et pectorales, on reconnaît à la plante une activité bactéricide mise à profit actuellement dans certains produits pharmaceutiques tels que les dentifrices, antiseptiques pour bains de bouche et sirops contre la toux (Aboutabl et al., 1986 ; Farag et al., 1989).

L'huile essentielle de thym extraite par entraînement à la vapeur comprend, dépendamment de la variété de thym, plusieurs composés phénoliques : thymol (42.7% environ), carvacrol (13% environ), linalol (4% environ) des hydrocarbures aromatiques: p-cymène (36 % environ), et autres (4 à 5 % environ). L'huile essentielle utilisée a montré une activité antimicrobienne remarquable envers différents microorganismes pathogènes tels que le Staphylococcus aureus, le Mycobacterium phlei, le Echerichia coli, etc. (Aboutabl et al., 1986).

Le thym est hautement toxique pour les Vibrio parahaemolyticus qui sont des microorganismes halophiles; il inhibe la croissance de moisissures productrices d'aflatoxines. Le thym a une action inhibitrice supérieure à toutes les activités inhibitrices des autres épices, herbes et huiles essentielles testées tels que le romarin, la sauge et l'origan (Zaika et al., 1983).

Des concentrations très faibles d'huile essentielle de thym (0.5 à 12 mg /ml) sont suffisantes pour prévenir la croissance microbienne (Farag et al., 1989).

Il apparaît que c'est au niveau des composés phénoliques que réside la relation entre les structures chimiques des composés les plus abondants et l'activité antimicrobienne. Généralement, l'importance de l'effet inhibiteur des huiles essentielles peut

être attribué à la présence du noyau aromatique contenant un groupement fonctionnel polaire (fig. 11).

La forte action inhibitrice du thymol peut être attribuée à la présence de groupements phénoliques OH. Il est maintenant connu que le groupement OH est tout à fait réactif et peut former facilement des liaisons hydrogènes avec les sites actifs des enzymes cibles.

Récemment, le thym a été utilisé en essai pour prévenir la dégradation du beurre durant le stockage à la température de la pièce. Les résultats ont montré que le nombre des bactéries totales avait largement diminué (Farag et al., 1989).

8.2.2 Le romarin

Le romarin est un arbuste aromatique des collines du midi, aux fleurs bleues mellifères. Il appartient lui aussi à la famille des Labiées. Connue depuis l'Antiquité pour son parfum balsamique, il est aujourd'hui très employé comme aromate des viandes dans le bassin méditerranéen.

Mais, depuis quelques années, ce produit est surtout utilisé comme antioxydant dans plusieurs préparations alimentaires. En effet, le romarin est l'une des herbes utilisées la plus reconnue par plusieurs chercheurs depuis plusieurs années comme possédant des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes

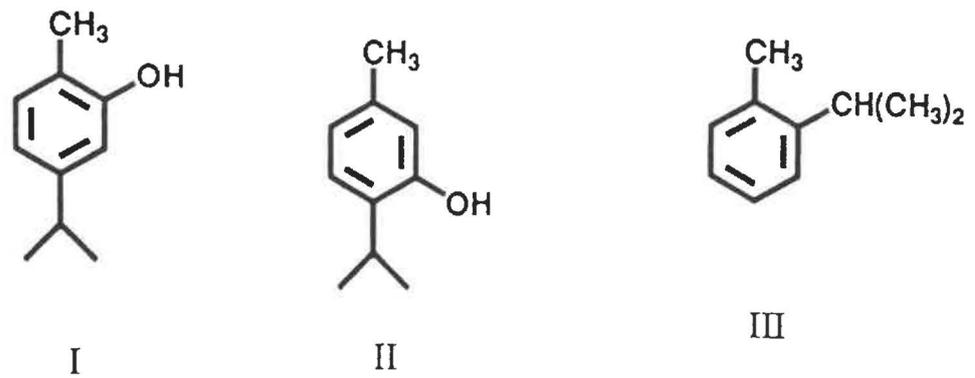


Fig. 11 Structures chimiques de certains composés extraits du thym : I- carvacrol, II- thymol, III- o-cymène (Deighton *et al.*, 1993).

(MacNeil et al., 1973 ; Chang et al., 1977 ; Shelef et al., 1980; Nakatami et Inatami, 1981 ; Wu et al., 1982 ; Zaika et al., 1983; Collins et Charles, 1987; Chen et al., 1992 ; Deighton et al., 1993; Dougherty, 1993 ; Fang et Wada, 1993 ; Huisman et al., 1994 ; Soliman et al., 1994 ;).

L'huile essentielle de romarin, dépendamment de la variété, contient du bornéol (26.5%), de l' α -terpinène (15.6 %), de l' α -pinène (12.7 %), du camphène (6.8%), du 1,8-cinéole (20.5%), du d-limonène (3.4%) et d'autres composés phénoliques (Rhyu, 1979). Le bornéol a un faible effet inhibiteur comparativement au thymol, ceci à cause de l'absence du noyau aromatique.

Shelef et al. (1980) ont démontré que le romarin inhibait les bactéries à Gram négatif mais supportait bien la croissance des moisissures et la production d'aflatoxines. Mac Neil et al. (1973) ont rapporté que le romarin ajouté au poulet désossé mécaniquement (MDPM) a réduit la charge bactérienne et a permis d'abaisser les valeurs en acide thiobarbiturique.

Différents nouveaux composés phénoliques extraits du romarin ont été identifiés par Chen et al. (1992) en l'occurrence le carnosol, le rosemanol, l'acide carnosique, le rosemaridiphénol et l'acide ursolique et ils ont établi leur structure chimique (fig. 12).

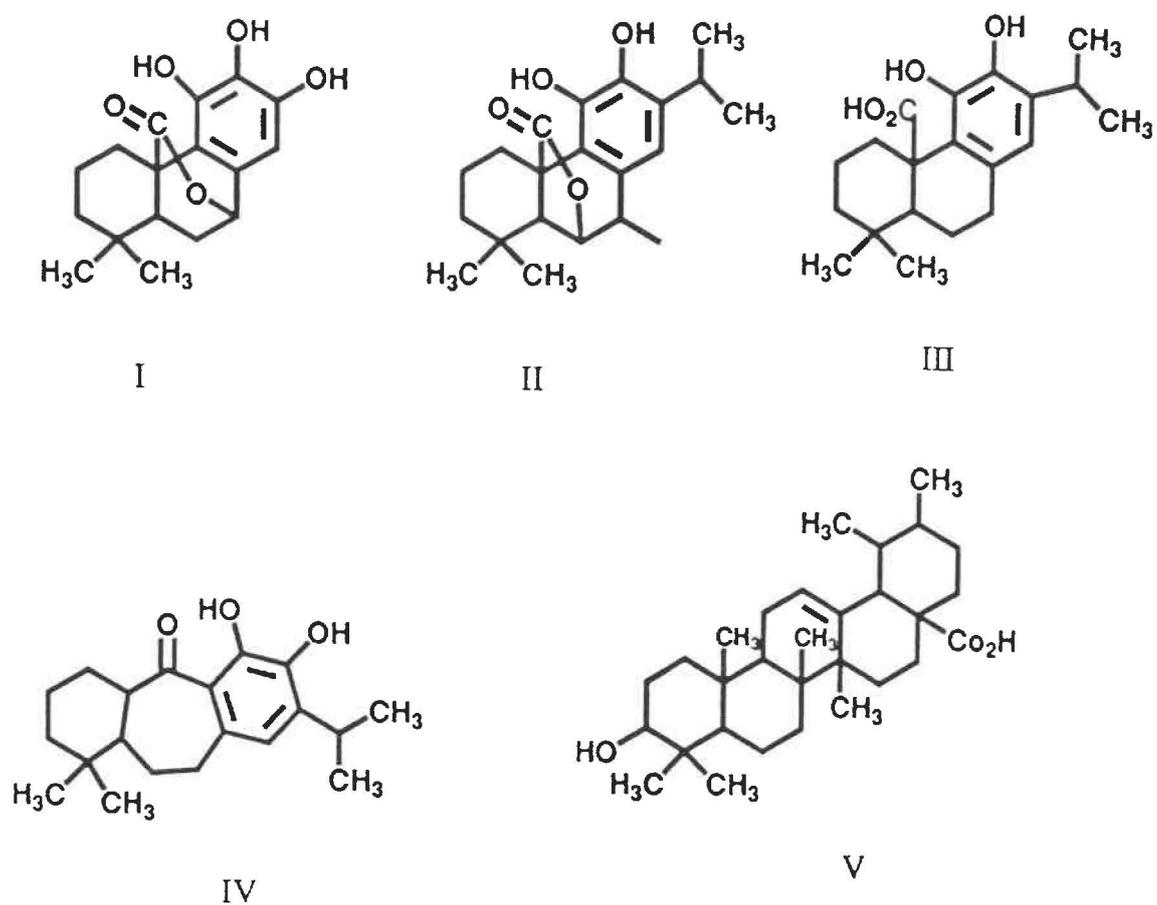


Fig. 12 Structures chimiques de certains composés extraits du romarin: (I)- carnosol, (II)- rosmanol, (III)- acide carnosique, (IV)- rosmaridiphénol, (V)- acide ursolique (Chen *et al.*, 1992).

Ajouté aux produits alimentaires à une concentration de 0.3%, le romarin a un effet bactériostatique mais ajouté à une concentration de 0.5%, son effet devient bactéricide. Une combinaison de romarin et de sauge semble accroître l'effet antibactérien (Shelef, 1980 et al.).

Wu et al. (1982) ont comparé l'activité antioxydante (valeur des peroxydes) du BHA, du BHT et des extraits de romarin dans le lard. Ils ont constaté qu'à une concentration identique (0.02 %) pour l'ensemble, l'extrait de romarin présentait une meilleure activité antioxydante que le BHA et le BHT. Ils ont démontré que le carnosol est l'un des composés antioxydants le plus actif. En revanche, l'acide ursolique ne possède pas une bonne activité antioxydante. Ceci est dû à la faible solubilité de cet acide dans l'huile.

8.2.3 L'acide citrique et l'acide ascorbique

L'acide citrique et l'acide ascorbique (vitamine C) contenus dans le jus de citron possèdent eux aussi des propriétés antioxydantes. L'acide citrique possède des capacités de fixer le fer et peut réduire ou éliminer les effets catalytiques sur l'oxydation des lipides.

L'acide ascorbique peut être ajouté à la viande comme agent réducteur. Ahn et al. (1993) ont mentionné que l'acide ascorbique utilisé à de faibles doses (jusqu'à 250 ppm)

catalysait le développement de l'oxydation des lipides, et qu'à de fortes doses (500 ppm) il inhibait la réaction en renversant probablement la balance entre le fer ferreux et le fer ferrique ou en agissant comme un refouleur d'oxygène. L'acide ascorbique possède un effet synergique quand il est combiné à d'autres antioxydants naturels.

9.0 PROBLÉMATIQUE

L'étude bibliographique nous a informés que le poulet est une denrée très périssable contenant un nombre élevé de microorganismes psychotrophes et mésophiles. Même lorsque toutes les conditions sont réunies pour assurer une meilleure salubrité possible, le poulet présente une période de conservation limitée (2 à 3 jours seulement) à la température du réfrigérateur (4°C). Elle nous a permis aussi de constater que le poulet contient des salmonelles et d'autres germes pathogènes dangereux pour la santé publique.

L'irradiation, appliquée par plusieurs chercheurs cités auparavant, à des doses ≤ 2.5 kGy et permise dans plusieurs pays tels que les Etats-Unis, permet certes d'augmenter la durée de vie du poulet en diminuant la charge microbienne psychotrophe et de contrôler les salmonelles. Mais, malheureusement, elle ne permet pas de détruire entièrement les salmonelles.

L'augmentation de la dose d'irradiation < 10 kGy permet certes d'éliminer les germes pathogènes mais elle peut provoquer des changements au niveau des acides gras insaturés.

En effet, il se crée par oxydation et radiolyse des produits qui peuvent donner au poulet de mauvaises odeurs et saveurs.

10.0 HYPOTHÈSE DE TRAVAIL

L'oxydation des lipides se fait en présence d'oxygène. L'irradiation ne fait qu'accélérer le processus d'oxydation. Les radicaux libres formés dans les graisses peuvent réagir avec l'oxygène et former des hydroperoxydes, des cétones et des carbonyles responsables de changements de flaveur et d'odeur.

Nous posons comme hypothèse de travail qu'un traitement combiné d'irradiation et marinade du poulet à base de matières antioxydantes naturelles permettrait de réduire la charge microbienne, l'oxydation ainsi que les changements organoleptiques qui affectent le poulet emballé sous air.

11.0 OBJECTIFS

Ainsi, nos objectifs pour vérifier notre hypothèse de travail sont :

1. de vérifier l'effet de la dose d'irradiation (3 et 5 kGy) sur le contenu en matière de flore aérobie mésophile et des salmonelles du poulet.

2. de vérifier l'efficacité des combinaisons de traitements (irradiation + marinade) sur la qualité des gras et sur la qualité organoleptique du poulet cuit. L'efficacité des combinaisons de traitements (irradiation sous air du poulet mariné) sera évaluée en comparant les résultats obtenus pour le poulet irradié sous air et le poulet emballé sous vide.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.0 ÉCHANTILLONNAGE

Des échantillons de cuisses de poulet frais (150 ± 50 g chacune) prélevées au hasard dans différents lots selon leur arrivage, ont été achetés dans un supermarché (IGA à Laval). Ils ont été acheminés au laboratoire du CRESALA (Institut Armand Frappier - Laval) en vue de l'analyse dans des glacières isothermes en présence de glace pillée pour maintenir la fraîcheur de la volaille et éviter une multiplication des bactéries au cours du transport.

Trois groupes d'échantillons ont été ainsi préparés :

- groupe d'échantillons emballés sous-air;
- groupe d'échantillons emballés sous-vide;
- groupe d'échantillons emballés sous-air et mariné.

1.1 Pré-traitement des échantillons

1.1.1 Emballage sous air : le premier groupe d'échantillons de cuisses de poulet a été emballé dans des sacs stériles en présence d'air dans des conditions aseptiques sous hotte à flux laminaire.

1.1.2 Sous-vide : le deuxième groupe d'échantillons de cuisses de poulet a été emballé sous-vide dans des emballages en polymère Cryovac BBI (2mil) (voir tableau VIII) assurant un effet barrière permettant une bonne imperméabilité à l'oxygène.

Tableau VIII : Perméabilité à l'oxygène et au dioxyde de carbone de quelques films en plastique utilisés pour l'emballage des viandes

	Perméabilité (gaz cm ³ m ⁻² jour ⁻¹ atm ⁻¹)	
	Oxygène	Dioxyde de carbone
Polyéthylène (basse densité)	8 500	44 000
Polyéthylène (haute densité)	1 840	79 000
Polypropylène	3 000	79 000
Chlorure de polyvinyle (PVC)	4 200	17 000
Polyester (PÉT)	79	240
Chlorure de polyvinylidène (PVDC)	10	53
Nylon 6	240	1 600
Ionomère (Surlyn)	5 000	15 000
Acétate d'éthylvinyle (EVA)	12 000	38 000
Cryovac BBI (2mil)	20	80
Polystyrène	4 500	31 500
Nylon/polyéthylène (0.6/1.5 mil)	90	600

Toutes les perméabilités sont pour une épaisseur de films de 1 mil (25µm) sauf si indiqué autrement.
(Tiré de : Taylor et al., 1990).

Ils ont été ensuite scellés au supermarché IGA à l'aide d'une machine à vide "Super-Vac Vacuum packaging" (Cryovac division, WR. Grace et Co. SC.).

1.1.3 Emballage sous air + marinade : le troisième groupe d'échantillons a été mariné à l'aide d'un mélange de jus de citron (300 ml), de thym (20 g) et de romarin (20 g). Le thym a été choisi pour ses propriétés bactéricides et le romarin, et le jus de citron quant à eux, ont été choisis pour leurs propriétés antioxydantes. A partir de ces trois groupes d'échantillons (emballés sous air, sous vide et avec marinade) et préparés sous hotte à flux laminaire dans des conditions aseptiques, nous avons séparé trois lots pour l'irradiation. Les lots d'échantillons sont ensuite entreposés au réfrigérateur à 4°C jusqu'au jour de l'analyse.

2.0 TRAITEMENTS DES ÉCHANTILLONS AUX RAYONS GAMMA:

Le premier lot de 216 paquets (72 paquets de chaque groupe: sous air, sous vide, avec marinade) représentant les échantillons témoins (non-irradiés = 0kGy) ont été placés dans des boîtes en styromousse en présence de glace concassée permettant de les maintenir le plus près de 0°C jusqu'à leur mise au réfrigérateur pour leur conservation à 4°C en même temps que les 2 autres lots (irradiés à 3kGy et 5kGy). Ceci

permettra de respecter les mêmes conditions d'entreposage et d'éviter ainsi de fausser les résultats.

Le second et le troisième lots de 216 paquets chacun ont eux aussi été répartis de la même manière et dans les mêmes conditions que le premier lot (témoins 0kGy) et maintenus dans la glace concassée avant, pendant et après irradiation afin d'éviter toute croissance bactérienne. Ensuite, ces 2 lots ont été acheminés vers l'irradiateur à balancelles JS 8900 (Nordion international Inc., Kanata, Ontario) muni d'une source de Co60 et situé au Centre d'Irradiation du Canada (CIC, Laval, Québec) en vue de l'irradiation (Voir annexe 2).

Le second lot a reçu une dose d'irradiation variant de 2.9 à 3.4 kGy pour une dose moyenne de 3 kGy.

Le troisième lot, quant à lui, a reçu une dose variant de 4.8 à 5.3 kGy pour une dose moyenne de 5 kGy.

Les 3 lots d'échantillons irradiés et non irradiés ont été ensuite entreposés au réfrigérateur à 4°C pendant 15 jours. Des échantillons ont été prélevés aux jours 1, 3, 6, 9, 12 et 15 pour les analyses microbiologiques et les analyses chimiques.

2.1 Dosimétrie

La dosimétrie a été réalisée par la compagnie Nordion International Inc. à l'aide de dosimètres Fricke (Nordion Intl.

Inc., Kanata, Ontario). Les mesures ont été effectuées à la température ambiante (22°C). Les lectures ont été prises à une longueur d'onde de 302 nanomètres (nm).

3.0 ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

Les échantillons de cuisses de poulet sont soumis à l'analyse microbiologique (bactéries aérobies mésophiles et salmonelles). Les méthodes utilisées sont celles de la Direction Générale de la Protection de la Santé (Santé et Bien-Être Canada) comme méthodes de référence pour nous situer dans les mêmes conditions de pratique qu'un contrôle routinier effectué par Santé et Bien-Être Canada.

A chaque jour d'analyse, 5 unités d'échantillons ont été prélevées pour les analyses des salmonelles et 3 unités pour le dénombrement de colonies aérobies totales viables, et ont été choisies à partir des différentes catégories d'échantillons emballés (sous air, sous vide et sous air + marinade) et irradiés (0, 3 et 5 kGy).

L'expérience a été réalisée deux fois, permettant ainsi d'avoir un maximum d'unités requises pour la représentativité de l'analyse.

3.1 Numération des colonies aérobies

La numération des colonies aérobies sur plaques a été

effectuée selon la méthode MHPB 20 de Santé et Bien-Être social Canada. Elle permet de mettre en évidence la présence de microorganismes viables dans 1 g de poulet. Dans notre étude, cette analyse microbiologique est effectuée sur des prélèvements de 10 g de viande de poulet, réalisée aseptiquement et homogénéisés avec 90 ml d'une solution à 0.1% d'eau peptonée dans un malaxeur stérile. L'homogénat obtenu dont la concentration est égale à 10^{-1} sert à la préparation des dilutions décimales requises (10^{-2} à 10^{-7}). On dépose une partie aliquote (1 ml) de chacune des dilutions décimales dans des boîtes de Pétri, on ajoute 10 ml de gélose liquéfiée et tiède que l'on mélange avec l'inoculum. La gélose nutritive est choisie pour favoriser la meilleure croissance possible d'un plus grand nombre d'espèces bactériennes. Après incubation à 35°C pendant 48 heures, les boîtes de Pétri sont retirées pour le comptage des colonies présentes dans chaque dilution à l'aide d'un compteur de colonies approprié.

3.2 Isolement et identification des salmonelles

La technique d'identification des salmonelles nécessite plusieurs étapes qui suivent:

3.2.1 Pré-enrichissement en milieu non sélectif

Cette étape permet aux microorganismes ayant subis un stress ou affaiblis de se rétablir. L'échantillon (25 g de viande de

cuisses de poulet) est mis en suspension dans un milieu de culture non sélectif (225 ml de bouillon nutritif ; Difco), homogénéisé dans un mélangeur (Osterizer ; Sunbeam, Canada) et incubé à 35°C pendant 24 heures.

3.2.2 Enrichissement en milieu sélectif liquide

Après incubation, des repiquages sont faits dans des milieux d'enrichissement sélectif. Deux niveaux d'enrichissement sont utilisés, l'un avec un bouillon au sélénite - cystine (SC) et l'autre avec un bouillon au tétrathionate - vert brillant (TBG), (Difco). Ces deux milieux ont pour but de favoriser la croissance des salmonelles tout en retardant ou en inhibant celles des autres microorganismes.

A l'aide d'une pipette stérile, on transvase 1 ml de bouillon de préenrichissement dans un tube contenant 9 ml de sélénite - cystine. Un autre ml est transféré dans le tube contenant le tétrathionate - vert brillant. Les deux tubes sont incubés pendant 24 heures. Le tube de sélénite - cystine est mis dans un incubateur à 35°C, celui du tétrathionate - vert brillant dans un bain-marie à 43°C.

3.2.3 Isolement sur milieu solide

Les cultures enrichies sélectivement sontensemencées par stries sur des géloses sélectives qui permettent l'isolement

des salmonelles présumées. On ensemence par stries une anse d'inoculum provenant de chaque milieu d'enrichissement inoculé dans des boîtes de Pétri contenant les milieux sélectifs suivants :

- gélose au sulfite de bismuth (BSA);
- gélose au vert brillant sulfamide (BGSA).

On met les boîtes de Pétri inoculées dans un incubateur à 35°C pendant 24 heures. Après incubation, les boîtes sont examinées pour déceler la présence de colonies évoquant les Salmonella. Sur gélose au vert brillant sulfamide, les colonies caractéristiques de Salmonella peuvent être de couleur rose ou rouge fuchsine et le milieu qui les entoure prend une teinte rouge. Sur la gélose au sulfite de bismuth, les colonies sont noires et peuvent avoir un reflet métallique ou non ; si la période d'incubation est prolongée, le milieu qui les entoure noircit graduellement. Il convient de noter que sur la gélose au sulfite de bismuth, certains types de Salmonella peuvent produire des colonies brun foncé plutôt que des colonies noires. S'il n'y a pas de colonies évoquant les Salmonella sur les boîtes de gélose, ces bactéries sont donc considérées comme étant absentes de l'échantillon analysé.

3.2.4 Purification

La purification des colonies suspectes se fait par

ensemencement, par stries sur un milieu différentiel, par exemple gélose de MacConkey. Les colonies suspectes sont alors étalées en stries sur des boîtes de gélose de MacConkey. Après incubation à 35°C pendant 24 heures, les boîtes sont examinées. Les colonies caractéristiques de Salmonella sont lactose négatif (-) et paraîtront incolores.

3.2.5 Identification et confirmation

Les colonies isolées et purifiées évoquant les Salmonella, sont déposées à l'aide d'une anse d'ensemencement dans des milieux biochimiques spécifiques : gélose de tri-glucides fer (TSI) et gélose de lysine - fer (LIA). On ensemence la pente et le culot du tube (respectivement par stries et par piqûres) contenant le milieu de gélose de tri-glucide de fer (TSI), puis sans retoucher à la colonie, on répète l'opération dans le cas d'un tube contenant le milieu de gélose de lysine - fer (LIA).

En même temps, on ensemence par stries une boîte de gélose de MacConkey qui servira à vérifier la pureté de la culture et à obtenir des colonies lisses pour les épreuves sérologiques. Après incubation à 35°C pendant 24 heures, la boîte de gélose de MacConkey et les deux géloses inclinées sont examinées. La gélose inclinée LIA avec une réaction douteuse après 24 heures d'incubation doit être réincubée pendant 24 heures supplémentaires. Les cultures de Salmonella dans le milieu TSI

sont caractérisées par une pente alcaline (rouge) et un culot acide (jaune), avec ou sans production de H₂S (noircissement).

Pour le contrôle positif de toutes les analyses d'échantillons effectuées, une souche de Salmonella typhimurium ATCC 1428 (American Type Culture Collection; Rockeville, Maryland) a été utilisée. La souche a été cultivée en milieu liquide (BN) dans le but d'obtenir des cultures de 24 heures en condition optimale de croissance. La pureté de la souche a été vérifiée par ensemencement sur milieux riches et sur milieux sélectifs tels que décrits par Dion (1993).

4.0 ANALYSE BIOCHIMIQUE

4.1 Extraction des lipides

Les acides gras totaux ont été extraits selon la méthode décrite par Maxwell et al. (1980).

4.1.1 Préparation de la colonne

Dans un tube en verre (300 X 22mm DI), muni à son extrémité inférieure d'un robinet en téflon, on insère une certaine quantité de laine de verre. On introduit ensuite 10 g de mélange de Célite 545 / CaHPO₄ (Fisher Sc. Ltd.; Ottawa, Canada) dans les proportions (90:10).

4.1.2 Préparation de l'échantillon

Dans un mortier, on mélange 5 g de tissus contenant du gras de poulet et 20 g de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). On ajoute 15 g de Célite 545 et on mélange le tout à nouveau. On transfère quantitativement tout le mélange obtenu dans la colonne chromatographique.

4.1.3 Elution des lipides

Les acides gras totaux ont été élués à l'aide du mélange dichlorométhane/méthanol ($\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{MeOH}$) (Anachemia Rouses Point, N.Y) dans les proportions volumiques (90:10). L'éluat (150 ml) est récupéré dans un ballon de 200 ml, le solvant d'éluat est ensuite évaporé sous-vide à la température ambiante de la pièce avec un évaporateur rotatif (Buchi; Suisse).

On dissout les résidus de matière grasse contenus dans le ballon avec un volume spécifique d'hexane et on les transfère dans un flacon de 100 ml. Ces résidus constituent les glycérides ou lipides totaux.

4.2 Séparation des lipides neutres et des phospholipides

Les lipides totaux sont séparés en lipides neutres et phospholipides selon la méthode de Salih et al. (1989) en introduisant quelques modifications.

Une quantité de 10 g d'acide silicique (Sigma Chem. Co.; St-Louis, Mo.) est pesée dans un erlenmeyer de 125 ml auxquels on ajoute 0.5 ml d'extrait de lipide brut.

On ajoute 25 ml de chloroforme et on mélange la solution. On ferme l'erlenmeyer sous courant d'azote et on le dépose au congélateur à -25°C durant 8 à 16 heures.

On filtre le contenu de chaque erlenmeyer à l'aide d'un filtre en verre fritté, en utilisant le sous-vide.

On lave le reste de l'acide silicique dans le filtre avec 5 x 30 ml de chloroforme. Le filtrat ainsi obtenu contient les lipides neutres.

On lave les résidus d'acide silicique avec 3 x 25 ml de méthanol où sont dissous les phospholipides.

On évapore le méthanol dans un évaporateur rotatif à la température de la pièce et on dissout les résidus de phospholipides dans un volume spécifique de chloroforme.

4.3 Classification des phospholipides

Une fois les résidus de phospholipides récupérés dans un flacon et pour vérifier l'efficacité de la méthode de séparation, nous avons procédé à la classification des

phospholipides par chromatographie en couche mince selon la méthode de Salih *et al.* (1989).

Ainsi des plaques de chromatographie en couche mince de Silica-Gel 50 (Fisher Scientific Co., St-Louis, Mo) sont avant tout activées à la chaleur et ensuite refroidies pendant 30 minutes.

On dépose exactement sur les plaques 5 μ l de la solution de phospholipides (concentration 50 mg/ml) et des standards de phospholipides : phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine et phosphatidylserine (Sigma Chemical Co., St-Louis, Mo.) de concentration connue, à l'aide d'une micro-seringue.

On sèche les spots à l'aide d'un courant d'azote et on place les plaques dans une cuve de chromatographie préalablement couverte de chaque côté avec du papier saturé d'un solvant fraîchement préparé : 200 ml d'un mélange de chloroforme/méthanol/eau (65/25/4, volume/volume). Le papier est mis à saturation juste avant l'utilisation afin d'obtenir des résultats reproductibles avec une conformité du front du solvant.

On utilise aussi un solvant fraîchement préparé à chaque plaque de couche mince à développer. Une fois que la migration a atteint le front du solvant, on retire les plaques et on les sèche à l'aide d'un courant d'azote pendant plusieurs minutes.

Ensuite, on révèle les plaques en les pulvérisant avec un réactif d'acide sulfurique - dichromate de potassium (Anachemia, Rouses Point, N.Y.), préparé en dissolvant 0.6 g de dichromate de potassium dans 200 ml d'acide sulfurique à 55 %. On développe les spots dans un four à 175°C pendant 30 minutes.

On vérifie la migration en mesurant le r_f qui est la distance de migration de nos échantillons et standards par rapport au front du solvant et on identifie les différentes classes de phospholipides par comparaison avec les standards connus.

4.4 Préparation des esters méthyliques des acides gras

Les acides gras étant excessivement polaires, les analyses se font sur les esters méthyliques. Donc il faut les transformer en dérivés volatils.

Ainsi dans un tube en verre muni d'un bouchon en téflon et à l'aide d'une pipette Pasteur, on transfère 20 à 60 mg de l'extrait des acides gras obtenus. On ajoute 5 mg du standard interne méthyl hénéicosanoate (ester méthylique de l'acide hénéicosanoïque : C₂₀=0) (Aldrich Co., Milwaukee, Wi.) et 1 ml d'une solution de soude (NaOH) à 0.5 N dans le méthanol.

On met le tube dans un bain-marie à 80°C pendant 15 minutes. Après refroidissement, on ajoute 2 ml d'une solution à 14 % de

trifluorure de bore (BF_3) dans le méthanol (BF_3/MeOH) (Slover et al. 1979) et on remet dans le bain à 80°C pendant quinze minutes. Après refroidissement, on ajoute au mélange réactionnel 1 ml d'isooctane et 2 ml d'une solution saturée de chlorure de sodium (NaCl). On mélange le contenu du tube à l'aide d'un vortex pendant une minute. Après séparation des phases, on récupère la phase surnageante de l'isooctane au moyen d'une pipette Pasteur et on la transvase dans un tube à essai contenant une couche d'environ 1 ml de sulfate de sodium anhydre. On mélange énergiquement et on laisse reposer pendant 20 minutes. La solution claire de l'isooctane contenant les esters méthyliques des acides gras est séparée et elle est prête à l'analyse par chromatographie en phase gazeuse. Si les esters méthyliques d'acides gras ont des tensions de vapeurs supérieures à celles des acides gras, ils demeurent néanmoins très peu volatils et nécessitent pour leur analyse des températures élevées (170 à 280°C).

4.5 Équipement

Un chromatographe en phase gazeuse Varian (Modèle 3400, Varian Associates inc. Sunnyvale, CA), équipé d'un détecteur à ionisation de flamme à hydrogène, d'un ordinateur (Compaq 486 DX 33) muni d'un logiciel intégrateur (Varian Star Chromatography Workstation Software, 1992), et d'une colonne capillaire

Durabond 5 (DB5, Supelco inc.) de 30 m de longueur, 0.25 mm de diamètre interne, 1 μ d'épaisseur du film, a été utilisé.

L'hélium est le gaz vecteur utilisé à raison d'un débit de 1.25 ml/min.

Les analyses ont été effectuées à l'aide de la programmation de température suivante : la température initiale de la colonne est maintenue à 80°C pendant 1 min, puis portée à 150°C à raison de 20°C/min, ensuite on augmente la température jusqu'à 280°C à raison de 4°C/min et on la maintient pendant 40 min. tandis que la température de l'injecteur est portée de 70 à 300°C à raison de 100°C/min et maintenue pendant 50 min.

4.6 Identification des acides gras

Les pics d'acides gras des lipides neutres et des phospholipides ont été identifiés à l'aide de leur temps de rétention en comparaison avec les temps de rétention des pics des standards connus d'esters méthyliques d'acides gras (mélanges ou individuels) injectés juste avant l'injection des échantillons et obtenus auprès d'Aldrich Co. (Milwaukee, Wi.).

4.7 Quantification en % des acides gras

Les surfaces des pics des chromatogrammes ont été calculées à l'aide du logiciel-intégrateur (varian star) en

utilisant les paramètres d'intégration (sensibilité, atténuation, bruit de fond, etc.). Chaque pic d'acide gras est exprimé en pourcentage de la surface totale.

4.8 Calcul des concentrations en mg/100g des acides gras

Les concentrations d'acides gras dérivés des lipides neutres et des phospholipides exprimées en % et en mg/100g de produit ont été calculées selon la formule de calcul des méthodes officielles d'analyse (AOAC, 963.22, 1990) : les opérations de calcul ont été réalisées à l'aide du logiciel "Excel" version 5.0 (Microsoft Corporation, 1993).

Les graphiques montrant l'évolution au cours du stockage du nombre de colonies viables ainsi que celle de chaque acide gras dérivé des lipides neutres et des phospholipides ont été réalisés à l'aide du logiciel Deltagraph Professional version 2.0 (Deltapoint, 1992).

4.9 Détermination des rapports d'acides gras insaturés sur les acides gras saturés Ks, Km et Kd

Les rapports des acides gras insaturés, mono-insaturés, et polyinsaturés sur le total des acides gras saturés ont été calculés de façon à pouvoir déterminer lesquels des trois groupes sont les plus affectés.

Le rapport d'insaturation (Ks) des acides gras totaux se calcule de la façon suivante :

$$Ks = \frac{\text{Total des acides gras insaturés}}{\text{Total des acides gras saturés}}$$

Le rapport de mono-insaturation (Km) des acides gras totaux est :

$$Km = \frac{\text{Total des acides gras mono-insaturés}}{\text{Total des acides gras saturés}}$$

Le rapport de polyinsaturation (Kd) des acides gras est:

$$Kd = \frac{\text{Total des acides gras polyinsaturés}}{\text{Total des acides gras saturés}}$$

5.0 ANALYSE SENSORIELLE

5.1 Préparation des échantillons

Des cuisses de poulet frais (60) ont été réparties au hasard en deux groupes : les non irradiées (contrôles) et les irradiées et en trois sous-groupes (20 emballées sous air, 20 emballées sous vide et 20 marinées et emballées sous air). Les échantillons ont été préparés de la même manière qu'indiquée dans la section 1.0 (Echantillonage) et ont subi des traitements d'irradiation à une dose de 5 kGy tel que mentionné dans la section 2.0 (Traitement des échantillons aux rayons gamma). Ensuite, les échantillons ont été cuits dans un four électrique.

5.2 Méthode de cuisson

Pour chaque séance d'analyse sensorielle, cinq cuisses de poulet de chaque traitement ont été placées sur deux grilles recouvertes de papier aluminium. Les cuisses ont été rôties sur deux niveaux d'un four électrique conventionnel (General Electric) à 325°F (163°C), jusqu'à ce que la température interne des morceaux atteigne 85-88°C. A mi-cuisson, les plaques ont été interverties de façon à ce que la cuisson soit bien homogène entre les échantillons, et pour ne pas déjà engendrer une différence.

L'évaluation sensorielle ne se faisant que sur les trois premiers muscles de la cuisse, il était nécessaire de procéder ensuite à une dissection.

Les muscles irradiés et non irradiés ont été distribués aux juges dans des boîtes de Pétri numérotées à l'aide de codes aléatoires à trois chiffres.

5.3 Jury

L'évaluation sensorielle des cuisses de poulet s'est faite par un jury de 10 personnes, étudiants ou membres du personnel de l'Institut Armand-Frappier. L'analyse a été effectuée 1 jour après l'irradiation, les jurys constitués n'étaient pas entraînés ce qui nous permet de nous situer dans le même contexte d'appréciation que les consommateurs ordinaires.

5.4 Méthodes utilisées

Le suivi des produits se fait à deux niveaux, odeur de la viande crue, flaveur de la viande cuite. Pour étudier l'évolution de l'odeur des produits crus, on a utilisé la méthode du test triangulaire qui permet une comparaison directe produit témoin - produit irradié. Pour suivre la flaveur de la viande cuite on utilisera le test de l'échelle non graduée.

Les différents tests ont été réalisés dans un laboratoire d'analyse sensorielle, respectant les normes canadiennes, à une température de 20-22°C et sous une lumière ambrée. Chaque cuisse pré-traitée (emballée sous air, emballée sous vide et marinée emballée sous air) des échantillons témoins et irradiés, a été testée 1 jour après l'irradiation.

5.4.1 Test de discrimination triangulaire

Le test est un essai triangulaire, obéissant aux normes américaines (American Society for Testing and Materials (ASTM) - Sensory Analysis - Triangle test) ; il permet de montrer s'il y a une différence notable entre les échantillons irradiés et les contrôles.

Le dégustateur reçoit trois échantillons codés, tout en étant informé que l'un des échantillons diffère des deux autres, on lui demande de trouver l'échantillon différent.

Pour chaque test, la moitié des participants reçoit deux échantillons contrôles et un échantillon irradié, tandis que l'autre moitié reçoit deux échantillons irradiés et un contrôle. Six combinaisons ont été présentées aux jurés et la répétition des combinaisons s'est faite au hasard. Chaque emballage a été identifié avec un code à 3 chiffres choisis au hasard.

Comme le dégustateur recherche l'échantillon différent, les échantillons à présenter ne devraient différer que par la variable à l'étude. Toutes les autres différences doivent être masquées.

5.4.2 Test à l'échelle non graduée

Pour déterminer le degré d'acceptabilité de la flaveur du poulet irradié en comparaison avec le contrôle non irradié, un test d'évaluation sensorielle utilisant quatre critères, à savoir l'apparence générale, l'odeur, la saveur et l'appréciation globale, a été pratiqué. Les jurés devaient se conformer aux instructions fournies sur la feuille de l'échelle non graduée présentant une ligne de 15 cm allant de "très peu attrayant à très attrayant" pour l'apparence générale, "très désagréable à très agréable" pour l'odeur, "très mauvais à excellent" pour la saveur et "me déplaît beaucoup à me plaît beaucoup" pour l'appréciation globale.

Une analyse de variance a été effectuée avec les résultats obtenus sur les échelles non graduées pour chacune des caractéristiques en nous basant sur la méthode de Poste (1991).

6.0 ANALYSE STATISTIQUE

Une partie de l'analyse statistique des résultats microbiologiques et chimiques a été traitée par Marie Désy (Epidémiologie, IAF), et une autre partie a été traitée au CRESALA à l'aide d'un logiciel de traitement de données statistiques pour la médecine et le génie (Stat-Packets, Walonick Associates, 1987) utilisant 3 critères de classifications pour le nombre total de colonies viables ainsi que les concentrations des différents acides gras dérivés des lipides neutres et des phospholipides des cuisses de poulet.

Les données sont exprimées en pourcentage du poids des esters méthyliques d'acides gras (LN et PL) en duplicata de chaque chromatogramme. L'étude de chaque chromatogramme a été réalisée par l'analyse de la variance, de l'écart-type, de la régression multiple et de la corrélation pour déterminer la différence entre les traitements (air, vide et marinade), la durée de stockage (1, 3, 6, 9, 12 et 15 jours) ainsi que la dose d'irradiation (0, 3 et 5 kGy). Le seuil de signification retenu est de 5 %.

Les données pour le nombre total de colonies aérobies viables ont été exprimées en logarithme (base 10) des unités formatrices de colonies par g (UFC/g).

Les valeurs moyennes du nombre total de colonies viables pour trois échantillons en duplicata de boîtes de Pétri ont été déterminées pour chaque expérience.

En ce qui concerne l'analyse statistique des résultats de l'évaluation sensorielle, elle a été déterminée par l'analyse de la variance basée sur les résultats obtenus dans les échelles non graduées pour chacune des caractéristiques. La méthode utilisée est une méthode statistique d'analyse sensorielle des aliments (Poste et al., 1991).

RESULTATS

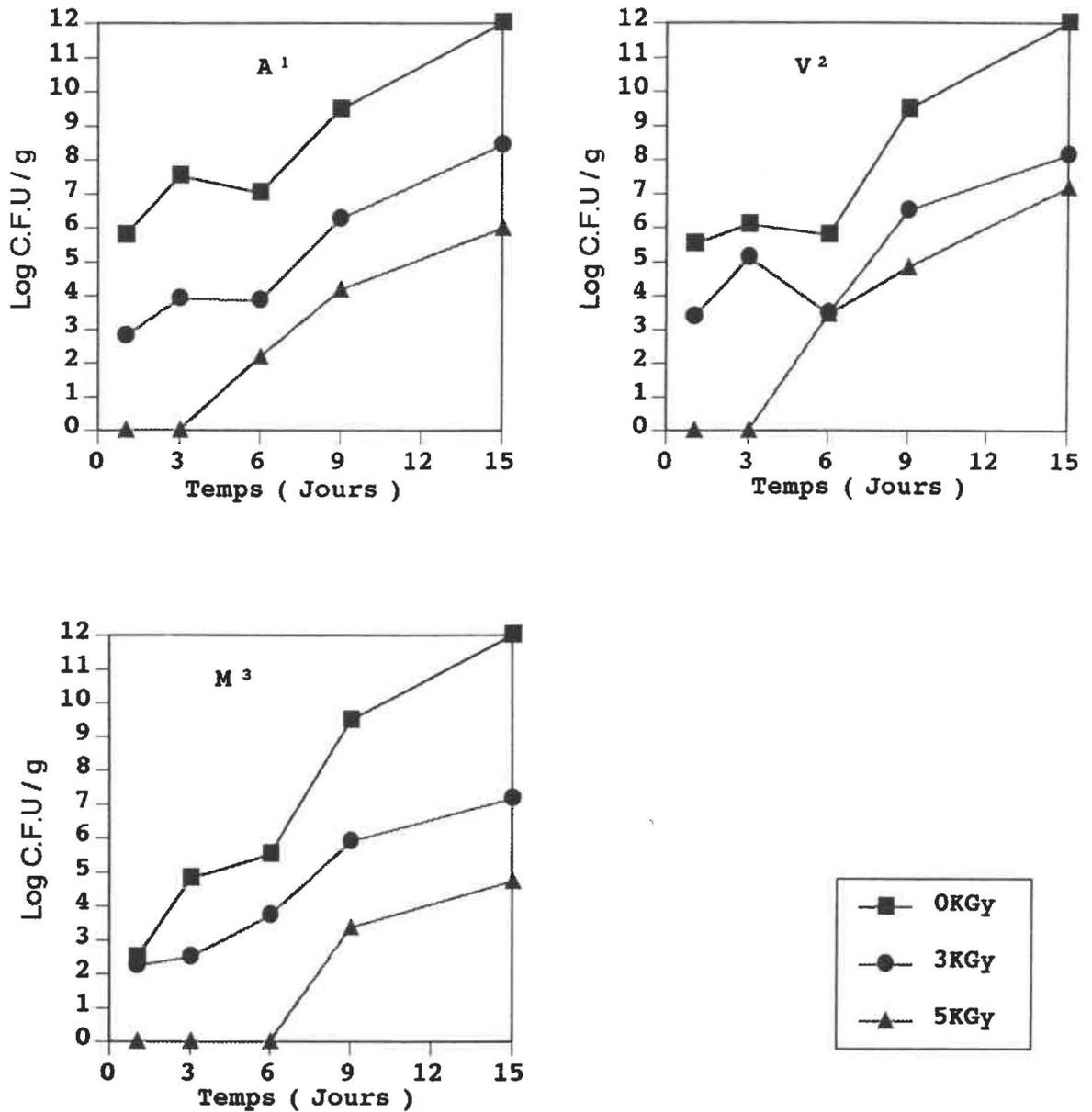


Fig. 13 - Effets de l'irradiation et du stockage à 4° C sur le nombre total de colonies aérobies viables (log₁₀) dénombré dans les cuisses de poulet frais pré-traitées: A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade .
Moyenne de 3 échantillons en duplicata répétés deux fois.

quant à elle, permis une réduction de plus de $6 \log_{10}$ UFC/g et de prolonger la durée de vie du poulet au-delà de 15 jours.

De même, l'irradiation, à une dose de 3 kGy combinée à l'emballage sous vide (fig. 13 V²), a permis une réduction de $2 \log_{10}$ UFC/g seulement, mais elle permet de prolonger la durée de vie du poulet jusqu'à 11 jours.

L'ionisation à 5 kGy a permis une inhibition complète de la flore d'altération. En effet, à cette dose, la flore psychotrophe est beaucoup plus sensible que la flore mésophile. Cette dose, comme on peut le voir à la fig. 13, a affecté considérablement les bactéries et, durant les 3 premiers jours de stockage après l'irradiation, aucune colonie n'a été trouvée dans les échantillons emballés sous air et sous vide. Cette période s'est prolongée jusqu'à 6 jours dans le cas du poulet mariné.

La marinade, appliquée seule, a démontré son effet bactéricide sur la flore totale aérobie en la réduisant de $3 \log_{10}$ UFC/g. Elle assure, à elle seule, le même effet que l'irradiation appliquée seule à une dose de 3 kGy prolongeant par là même la durée de vie du poulet jusqu'à 7 jours.

L'irradiation combinée à la marinade a un effet synergique. Cette combinaison, appliquée à une dose de 3 kGy,

réduit de $4 \log_{10}$ UFC/g et permet de prolonger la durée de vie du poulet jusqu'à 15 jours.

Cette même combinaison, appliquée à une dose de 5 kGy, a permis une réduction de $7 \log_{10}$ UFC/g et d'avoir un produit sain, indemne de toute colonie bactérienne pendant 6 jours de stockage et de prolonger la durée de vie du poulet bien au-delà de 15 jours.

La croissance moyenne des bactéries dans les échantillons témoins emballés sous vide progressait lentement au cours des 6 premiers jours de stockage avant d'atteindre sa croissance optimale.

L'évolution de la flore est liée, au départ, au milieu dans lequel se trouvent les bactéries. On remarque que les courbes chutent entre le 3e et le 6e jour de stockage.

L'analyse globale de la variance indique que le pré-traitement a un effet significatif sur le nombre total de colonies aérobies viables trouvées dans les cuisses de poulet frais (tableaux XIX, XX, XXI et XXII).

Il est clair, à partir des résultats obtenus, que l'irradiation gamma a réduit considérablement les comptes totaux des bactéries aérobies qui dégradent le poulet.

Le tableau XIX montre que le poulet mariné a le nombre le plus faible de comptes totaux de microorganismes de tous les poulets irradiés (3 et 5 kGy).

Pour chaque pré-traitement (air, vide et marinade), le nombre total de microorganismes viables diminue avec l'augmentation de la dose d'irradiation (tableau XX).

Les effets du stockage montrent une augmentation du nombre total de microorganismes en relation avec la durée du stockage (tableau XXI).

Dans le poulet mariné, l'augmentation de la charge microbienne est relativement lente durant les 6 premiers jours de stockage. Mais au 9e jour de stockage, la charge microbienne pour les 3 pré-traitements (air, vide, marinade) est très élevée et comparable pour l'ensemble.

La durée de vie du poulet irradié sous air, sous vide et avec marinade est respectivement de 10, 11 et 15 jours, quand il est irradié à 3 kGy et au-delà de 15 jours, quand il est irradié à 5 kGy.

Quant au poulet non irradié (témoin = 0 kGy), sa durée de vie est de 2 jours quand il est emballé sous air et sous vide et de 7 jours quand il est mariné.

Tableau IX. Moyennes ¹ des traitements montrant les effets des pré-traitements sur le nombre total de colonies viables des cuisses de poulet frais.

	<u>AIR</u>	<u>VIDE</u>	<u>MARINADE</u>
log ₁₀ UFC	4.99 ^a	5.09 ^a	3.89 ^b

¹ les moyennes exposant la même lettre n'ont pas de différence significative ($p > 0.05$).

Tableau X. Moyennes ¹ des traitements montrant les effets de la dose d'irradiation sur le nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet frais.

	<u>AIR</u>	<u>VIDE</u>	<u>MARINADE</u>
	(log ₁₀ UFC)		
0 kGy	7.86 ^a	7.27 ^a	6.36 ^a
3 kGy	5.06 ^b	5.32 ^a	4.31 ^b
5 kGy	2.07 ^c	2.69 ^b	1.02 ^c

¹ les moyennes exposant la même lettre n'ont pas de différence significative (p > 0.05).

Tableau XI. Moyennes ¹ des traitements montrant les effets du temps de stockage sur le nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet frais.

	<u>AIR</u>	<u>VIDE</u>	<u>MARINADE</u>
	(log ₁₀ UFC)		
1 jour	2.53 ^a	2.63 ^a	1.24 ^a
3	3.48 ^a	3.40 ^a	2.11 ^{ab}
6	4.36 ^a	4.23 ^a	2.76 ^b
9	6.64 ^b	6.94 ^b	6.25 ^c
15	7.97 ^b	8.26 ^b	7.12 ^c

¹ les moyennes exposant la même lettre n'ont pas de différence significative (p > 0.05).

L'irradiation à une dose de 3 kGy semble être en mesure de prolonger la durée de vie du poulet par un facteur de 2 quand il est conservé sous réfrigération à 4°C.

En revanche, l'irradiation à une dose de 5 kGy semble, quant à elle, en mesure de prolonger la durée de vie du poulet par un facteur de 7 à 8 lors de la conservation sous réfrigération à 4°C et permet aussi d'obtenir un produit d'une qualité hygiénique supérieure qui est indemne de toute contamination microbienne aux premiers jours de stockage.

La marinade, combinée à l'irradiation, joue un rôle synergique. Appliquée à une dose de 5 kGy, cette combinaison a permis d'avoir un produit quasiment stérile durant les 6 premiers jours de stockage.

1.1.1 Équation de prédiction pour la flore aérobie mésophile

Le calcul de l'équation de prédiction du nombre total de colonies aérobies viables a donné les résultats représentés au tableau XXII.

Sur la base des résultats obtenus aux différentes doses d'irradiation et à la durée du stockage, nous avons pu effectuer le calcul des équations de prédiction pour chaque nombre de colonies aérobies viables. Ainsi, à partir de ces

Tableau XII Équations de régression pour la prédiction du nombre total de colonies aérobies viables des cuisses de poulet frais.

Log ₁₀ UFC (AIR)	=	5.30	+	0.40 (X ₁)	-	1.14 (X ₂)
R ²	=	0.92				
Log ₁₀ UFC (VIDE)	=	4.59	+	0.43 (X ₁)	-	0.90 (X ₂)
R ²	=	0.84				
Log ₁₀ UFC (MARINADE)	=	3.58	+	0.45 (X ₁)	-	1.04 (X ₂)
R ²	=	0.89				

X₁ = temps de stockage (jours) X₂ = dose d'irradiation (kGy)
 effets du stockage montrent une augmentation du nombre total de microorganismes en relation avec la durée du stockage (tableau XXVII).

équations, chaque UFC peut être prédit pour les différents pré-traitements.

L'analyse de la variance indique un effet significatif important dans les interactions entre l'irradiation, la durée du stockage et les pré-traitements.

Les valeurs du coefficient de détermination R^2 pour les 3 pré-traitements utilisés (sous air, sous vide et avec marinade) sont respectivement 0.92, 0.84 et 0.89. Ceci signifie que plus de 80 % des variations observées dans le nombre total de colonies aérobies sont dues à l'effet de l'irradiation et à la durée du stockage. Les résultats indiquent clairement une réponse significative de l'effet de la dose d'irradiation sur le total des colonies aérobies viables.

1.2 Effets de l'irradiation gamma sur les salmonelles

La recherche des salmonelles dans les cuisses de poulet irradiées et témoins nous a fait aboutir aux résultats répertoriés au tableau XIII. Dans ce tableau, sont indiqués les nombres d'échantillons de toutes les catégories irradiées et non irradiées sous air, sous vide et avec marinade, à partir desquels des Salmonella ont été retrouvées au cours du stockage à 4°C.

Tableau XIII . Effets de l'irradiation sur les salmonelles trouvées dans les cuisses de poulet pré-traitées durant le stockage à 4°C.

dose	pré-traitement	J1	J3	J6	J9	J12	J15
0kGy	AIR	3+/10	4+/10	4+/10	5+/10	*	*
	VIDE	2+/10	3+/10	5+/10	5+/10	*	*
	MARINADE	1+/10	1+/10	1+/10	1+/10	**	**
3kGy	AIR	1+/10	2+/10	4+/10	3+/10	4+/10	5+/10
	VIDE	1+/10	2+/10	2+/10	4+/10	4+/10	4+/10
	MARINADE	0	0	0	0	2+/10	3+/10
5kGy	AIR	0	0	0	0	0	0
	VIDE	0	0	0	0	0	1+/10
	MARINADE	0	0	0	0	0	0

* : au jour 12 , la viande de poulet était en état de putréfaction avancée . il n'était pas opportun de procéder à des analyses microbiologiques

** : la viande ne dégageait pas d'odeur putride , mais nous nous sommes arrêtés au jour 9 comme pour les 2 autres échantillons sous air et sous vide .

J : jours d'entreposage.

1.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DU POULET

1.1 Effets de l'irradiation sur la flore aérobie mésophile

La figure 13 montre l'effet de la dose d'irradiation (3 et 5 kGy) seule et combinée aux pré-traitements (vide et marinade), sur le nombre total de colonies aérobies trouvées 1 jour après l'irradiation et durant le stockage au réfrigérateur à 4°C.

Comme nous pouvons le voir dans la fig. 13(A¹, V² et M³), les courbes montrent que le nombre initial de bactéries aérobies mésophiles est très élevé. Une contamination originale très élevée contribue à l'altération du produit et défavorise sa conservation.

Les résultats montrent clairement qu'en l'absence de traitements ionisants la contamination initiale, 1 jour (J1) après l'achat du poulet est de l'ordre de 10⁶ germes aérobies mésophiles par gramme en moyenne, ce qui semble assez élevé et se rapproche de la limite d'acceptabilité qui est de 10⁷ germes/g.

L'irradiation seule, appliquée au poulet emballé sous air (fig. 13A¹), à une dose de 3 kGy, a permis une réduction de 3 log₁₀ UFC/g et de prolonger sa durée de vie à 4°C jusqu'à 10 jours de stockage. L'application d'une dose de 5 kGy a,

Ces résultats indiquent que le poulet acheté au marché est très contaminé dans une proportion de 30 à 50 % par les salmonelles. Nos résultats montrent aussi que l'irradiation du poulet à 3 kGy ne détruit pas entièrement les salmonelles (tableau XIII).

La présence de salmonelles a été observée dès le 1er jour de stockage dans le poulet irradié à 3 kGy et conservé sous air. Néanmoins, à une dose de 5 kGy, plus aucune salmonelle n'a été observée pendant toute la durée de l'expérience.

De même, dans le poulet irradié à 3 kGy et conservé sous vide, des salmonelles ont été observées dès le 1er jour de stockage. A 5 kGy, cette présence de salmonelles n'a été décelée qu'au 15e jour (J15) de stockage.

Aucune salmonelle n'a été observée dans les cuisses de poulet marinées, irradiées à 3 kGy, et cela jusqu'au 12e jour d'entreposage. En revanche, dans le poulet mariné et irradié à 5 kGy, aucune salmonelle n'a été observée, pendant toute la durée de l'expérience (15 jours).

2.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ BIOCHIMIQUE DU POULET

2.1 Effets de l'irradiation gamma sur les acides gras des lipides neutres du poulet

La composition en acides gras des lipides neutres extraits

des cuisses de poulet pour les différents échantillons pré-traités (sous air, sous vide, avec marinade), irradiés (3 et 5 kGy) et non irradiés (0 kGy) est représentée aux tableaux XIV, XV, XVI.

Ces trois tableaux représentent les 11 acides gras identifiés à l'aide de standards d'esters méthyliques d'acides gras. Les différentes compositions en pourcentage de chaque acide gras ont été calculées sur la base de la somme totale en pourcentage de tous les acides gras identifiés ou non identifiés. Parmi les 11 acides gras identifiés, 6 d'entre eux sont représentés en proportion mineure (0.2 à 0.8 %) tandis que 5 autres sont majoritaires (5 à 47 %).

D'autres pics issus des chromatogrammes (annexe 3) n'ont malheureusement pas été identifiés (NI) à l'aide de standards, car, pour les identifier, il aurait fallu utiliser un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectrophotomètre de masse. Toutefois, ces acides gras non identifiés (NI) dans les échantillons irradiés à 3 et 5 kGy avaient le même profil que ceux trouvés dans les échantillons contrôle (0 kGy).

La majorité des acides gras des lipides neutres identifiés dans les cuisses de poulet irradiées sous air, sous vide et avec marinade sont successivement, par ordre décroissant de concentration, l'acide oléique (C18=1), l'acide palmitique

Tableau XIV. Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (0kGy) et conservées sous air à 4°C.

A'	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy
C14=0	0.8	0.83	0.8	0.75	0.85	0.83	0.75	0.89	0.83	0.74	0.85	0.82	0.85	0.88	0.8	0.72	0.83	0.83
C14=1				0.32	0.37	0.26	0.31	0.34	0.26	0.2	0.33	0.25	0.28	0.33	0.31	0.22	0.49	
C16=0	25.4	25.25	25.1	24.22	25.18	24.89	24.01	25.05	24.69	23.76	24.93	24.33	23.61	24.39	24.08	23.49	24.21	24.09
C16=1	9	8.13	9.26	9.47	8.44	9.78	9.64	9.38	10.2	9.76	9.59	10.58	10.28	9.89	10.68	10.43	10.37	10.79
C17=0	0.21			0.21		0.27	0.21	0.21		0.27	0.24							
C18=0	5.27	5.77	5.57	5.16	5.51	5.04	5.03	5.06	5.23	5.54	5.01	5.13	5.21	5	5.03	5.01	5	5.08
C18=1	47	47.02	46.83	47.53	47.3	47.32	48	47.54	47.5	48.62	47.92	47.46	48.86	48.17	47.92	49.16	47.72	48.14
C18=2	11.2	11.56	11.09	10.82	11.3	10.9	10.45	10.51	10.45	10.1	10.24	10.49	10.15	10.31	10.09	10	10.07	9.54
C18=3				0.17		0.15	0.24	0.21										
C20=0				0.14	0.24													
C20=2	0.8	0.81	0.78	0.81	0.61	0.48	0.74	0.61	0.53	0.54	0.6	0.35	0.41	0.45	0.42	0.82	0.89	0.53
N.I	0.27	0.63	0.57	0.4	0.2	0.1	0.62	0.2	0.31	0.47	0.3	0.6	0.35	0.6	0.67	0.15	0.42	1

A': cuisses de poulet emballées sous air.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XV. Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et non irradiés (témoins = 0kGy) et conservées sous vide à 4°C.

V ²	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy
C14=0	0.73	0.72	0.67	0.67	0.68	0.85	0.67	0.86	0.65	0.66	0.85	0.67	0.67	0.86	0.69	0.62	0.84	0.68
C14=1		0.29	0.37	0.24	0.24	0.3	0.3	0.3	0.25	0.24	0.31	0.27	0.25	0.29	0.16		0.3	0.27
C16=0	25.5	25.23	25.29	25.34	25.05	25.15	24.94	24.92	25.06	24.79	24.53	25.43	24.68	24.37	25.36	24.21	24.35	25.12
C16=1	8.18	8.03	8.33	8.67	8.4	8.87	8.75	8.52	8.98	8.86	9.06	9.2	9.01	9.28	9.51	9.2	9.97	9.95
C17=0		0.2		0.18		0.21		0.28	0.25	0.22		0.22		0.21				
C18=0	5.34	5.06	5.18	5.23	5.07	5.15	5.16	4.92	5.12	5.04	4.87	5	5.02	4.89	4.86	5.35	4.96	4.51
C18=1	47	47.46	47.57	47.32	48.21	47.72	48.04	48.42	47.87	48.61	48.63	48.08	49	48.82	48.61	49.92	48.95	49.07
C18=2	12.2	11.83	11.73	10.86	10.88	10.56	10.55	10.66	10.46	10.27	10.44	9.81	10.02	10.08	9.88	9.31	10.09	9.4
C18=3				0.2	0.19	0.15	0.2							0.21				
C20=0		0.33		0.22	0.44													
C20=2	0.72	0.75	0.56	0.77	0.61	0.64	0.7	0.67	0.61	0.72	0.62	0.64	0.4	0.67	0.17	0.47	0.55	0.64
N.I	0.3	0.1	0.3	0.3	0.23	0.4	0.69	0.45	0.75	0.6	0.7	0.68	0.95	0.32	0.76	0.92		0.4

V²:cuisses de poulet emballées sous vide.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XVI. Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet marinées (jus de citron + thym + romarin), irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (témoins = 0kGy) et conservées à 4°C.

M ³	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy	0kGy	3kGy	5kGy
C14=0	0.67	0.78	0.78	0.67	0.77	0.72	0.68	0.76	0.74	0.68	0.77	0.75	0.69	0.57	0.74	0.48	0.77	0.73
C14=1		0.26	0.32	0.26	0.27	0.3	0.36	0.28	0.31	0.29	0.25	0.19	0.4	0.31	0.41	0.35	0.29	0.29
C16=0	24.7	24.63	24.61	24.63	24.47	24.35	24.48	24.04	24.06	24.25	24.06	24.01	24	23.98	23.85	23.89	23.96	23.45
C16=1	10.1	10	10.29	10.33	10.41	10.4	10.74	10.69	10.37	10.82	10.76	10.72	10.92	11	10.88	11.15	11.07	10.71
C17=0				0.31	0.18	0.29	0.23	0.23	0.21						0.28			
C18=0	5.41	5.34	5.21	5.04	5	5.04	5.07	5	5	5.04	5.06	5.03	5.02	4.94	4.9	4.96	4.89	4.82
C18=1	47.5	47.82	47.53	47.54	47.68	47.48	47.7	48.27	47.67	47.99	48.42	48.22	48.11	48.68	48.59	48.73	48.71	48.84
C18=2	10.2	10.05	10.39	10	10	10.28	9.72	9.94	10.4	9.61	9.75	10.13	9.53	9.75	10.03	9.59	9.63	10.06
C18=3				0.17	0.14	0.17			0.19									
C20=0	0.52	0.31		0.14	0.17													
C20=2	0.69	0.53	0.48	0.68	0.52	0.77	0.72	0.51	0.76	0.77	0.66	0.35	0.73	0.42	0.33	0.5	0.49	0.81
N.I	0.2	0.29	0.39	0.23	0.39	0.2	0.3	0.28	0.29	0.55	0.27	0.6	0.6	0.35		0.35	0.2	0.3

M³:cuisses de poulet marinées et emballées sous air.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

(C16=0), l'acide linoléique (C18=2), l'acide palmitoléique (C16=1) et l'acide stéarique (C18=0).

Les acides gras saturés représentent la minorité (1/3) de la concentration totale des acides gras, dont le C16=0 et le C18=0 sont les acides gras dominants (25 % et 5.5 % respectivement) dans ce groupe et le reste représente moins de 2 %.

En revanche, les acides gras monoinsaturés représentent la majorité (56 %) des acides gras, dont le C18=1 et le C16=1 sont les plus dominants (47 % et 9 % respectivement), le reste ne représentant que 0.3 %.

Les acides gras polyinsaturés représentent 12 % des acides gras dont les di-insaturés sont majoritaires (11 %) et composés exclusivement de C18=2. Le reste (C20=2) représente moins de 1 %.

La majorité des acides gras identifiés le sont par ordre décroissant : l'acide oléique (C18=1 : 47 %), l'acide palmitique (C16=0 : 25 %), l'acide linoléique (C18=2 : 11%), l'acide palmitoléique (C16=1 : 9 %) et l'acide stéarique (C18=0 : 5 %).

Pour tous les échantillons analysés, l'acide oléique est l'acide gras dominant.

Les changements survenus aux acides gras des lipides neutres au cours de l'irradiation et lors du stockage sont minimes et sont représentés aux trois tableaux chacun pour un pré-traitement défini (sous air, sous vide et avec marinade).

Les trois tableaux montrent que la composition des acides gras des lipides neutres varie légèrement, selon le pré-traitement effectué, la dose d'irradiation appliquée et la durée du stockage utilisée.

Chaque variation, pour chaque acide gras, est mise en évidence dans les figures 14 à 20.

On remarque que l'acide myristique (C14=0) est relativement stable et sa concentration ne varie pas beaucoup entre les différents traitements. Il se situe entre 0.70 % et 0.86 %.

L'acide myristoléique (C14=1) varie relativement peu mais on remarque qu'il est induit par l'oxydation au cours du stockage (fig. 14). Il est stable dans le poulet mariné et irradié à 3 et 5 kGy.

Pour l'acide palmitique (C16=0) (fig. 15), on remarque, au jour 1, que le niveau minime d'oxydation du C16=0 sous air est variable selon la dose appliquée. Le C16=0 témoin (0 kGy) sous air diminue. Quant au C16=0 sous vide, il se situe au même

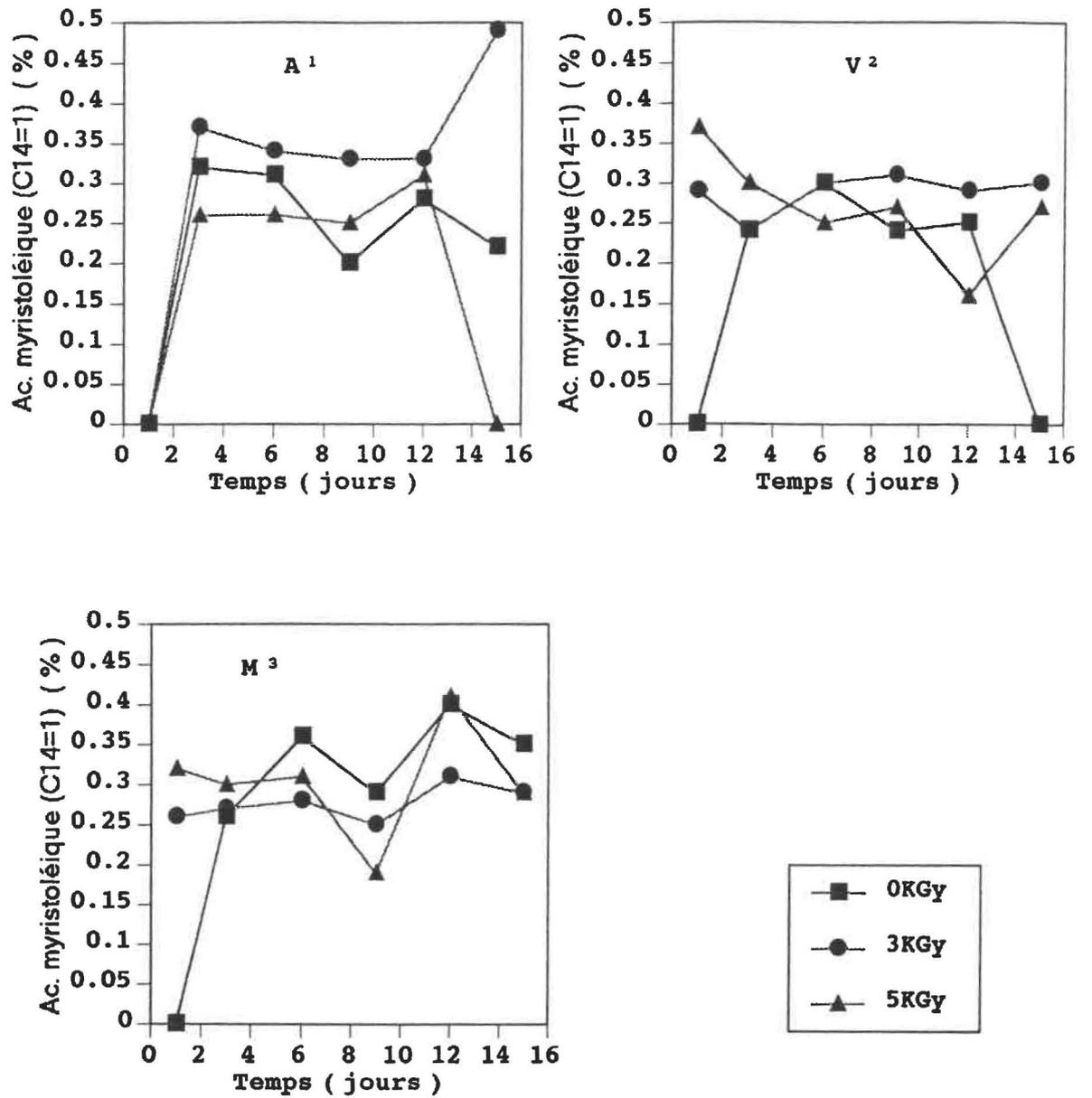


Fig. 14 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide myristoléique (C14=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air ; V²: vide ; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

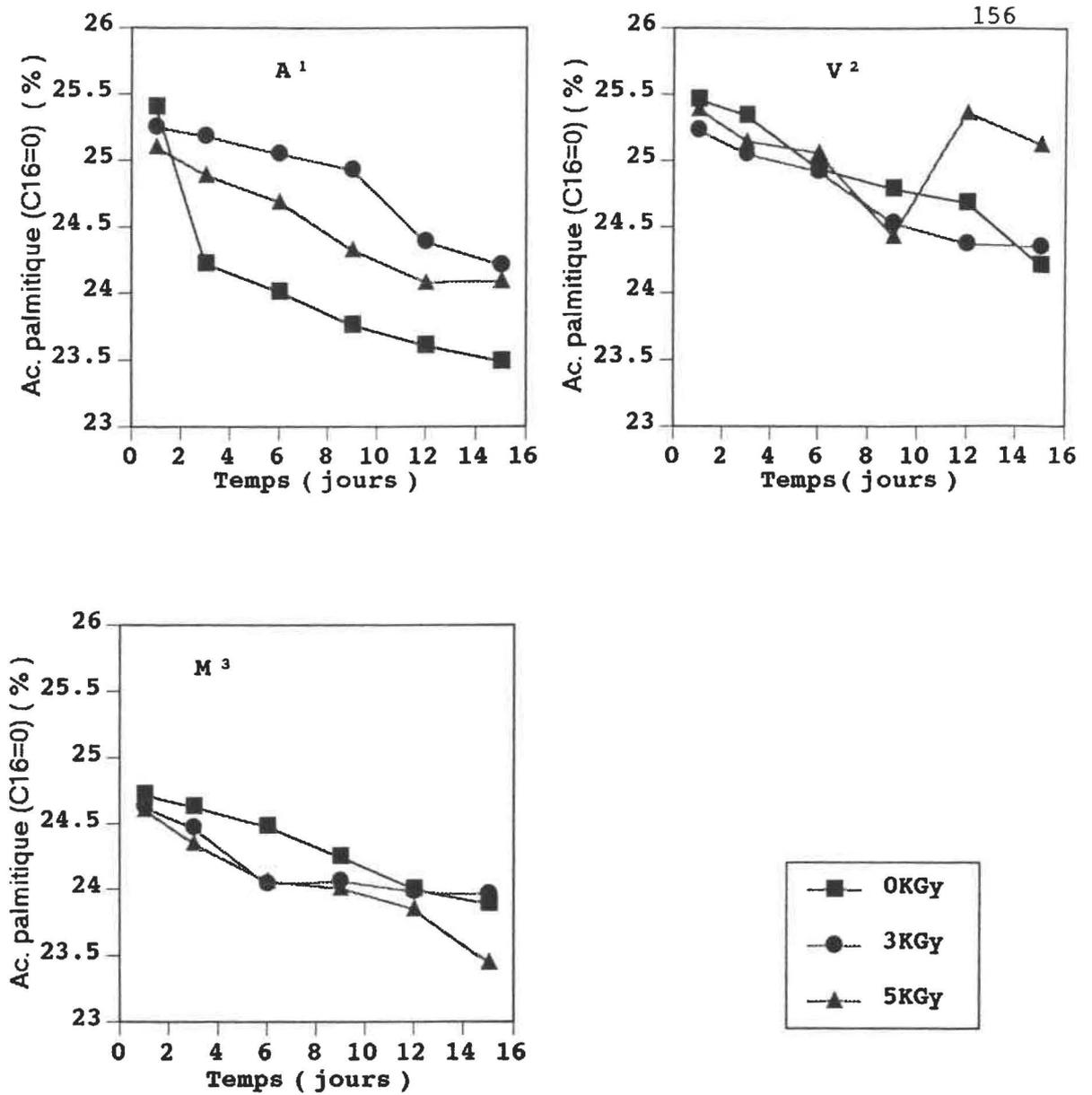


Fig. 15 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitique (C16=0) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous : A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade. moyenne d'un échantillon en duplicata.

niveau de concentration au jour 1 que le sous air. Le C16=0 sous vide et irradié à 5 kGy, subit une diminution brusque au cours du stockage . Le C16=0 mariné varie de 23.6 à 24.6 % et a subi dès le départ un léger degré de saturation.

L'acide palmitoléique (C16=1) (fig. 16) augmente légèrement en fonction de la dose d'irradiation et de la durée de stockage.

L'acide stéarique (C18=0) (fig. 17), surtout le C18=0 emballé sous air (fig. 17 A¹), a subi une légère modification dans la concentration. Le C18=0, sous vide et avec marinade, est relativement stable. La variation est très négligeable ; elle varie de 4.9 à 5.4 %.

L'acide oléique (C18=1) (fig. 18), comme pour le C16=1 augmente légèrement. Cette augmentation est très négligeable.

Les acides gras polyinsaturés (C18=2) (fig. 19), surtout le C18=2 sous air et sous vide, diminuent considérablement au cours du stockage et semblent être les plus affectés des acides gras aussi bien par l'irradiation que par la durée du stockage. Toutefois, l'irradiation n'a pas d'effet très significatif par rapport à la durée du stockage.

En revanche, le C18=2 mariné semble être très stable durant le stockage, il semble que la marinade assure une

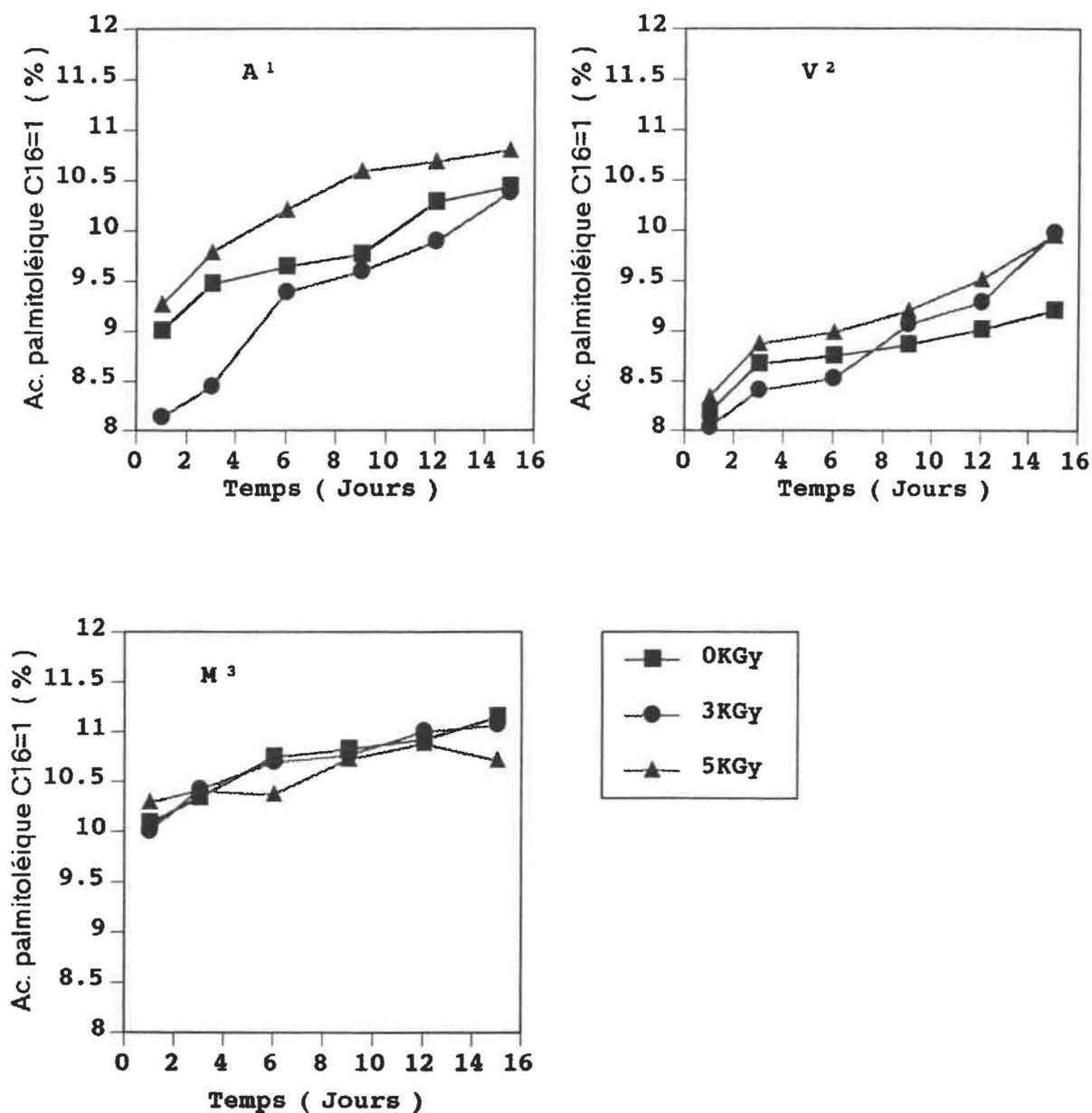


Fig. 16 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitoléique (C16=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous : A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade. moyenne d'un échantillon en duplicata.

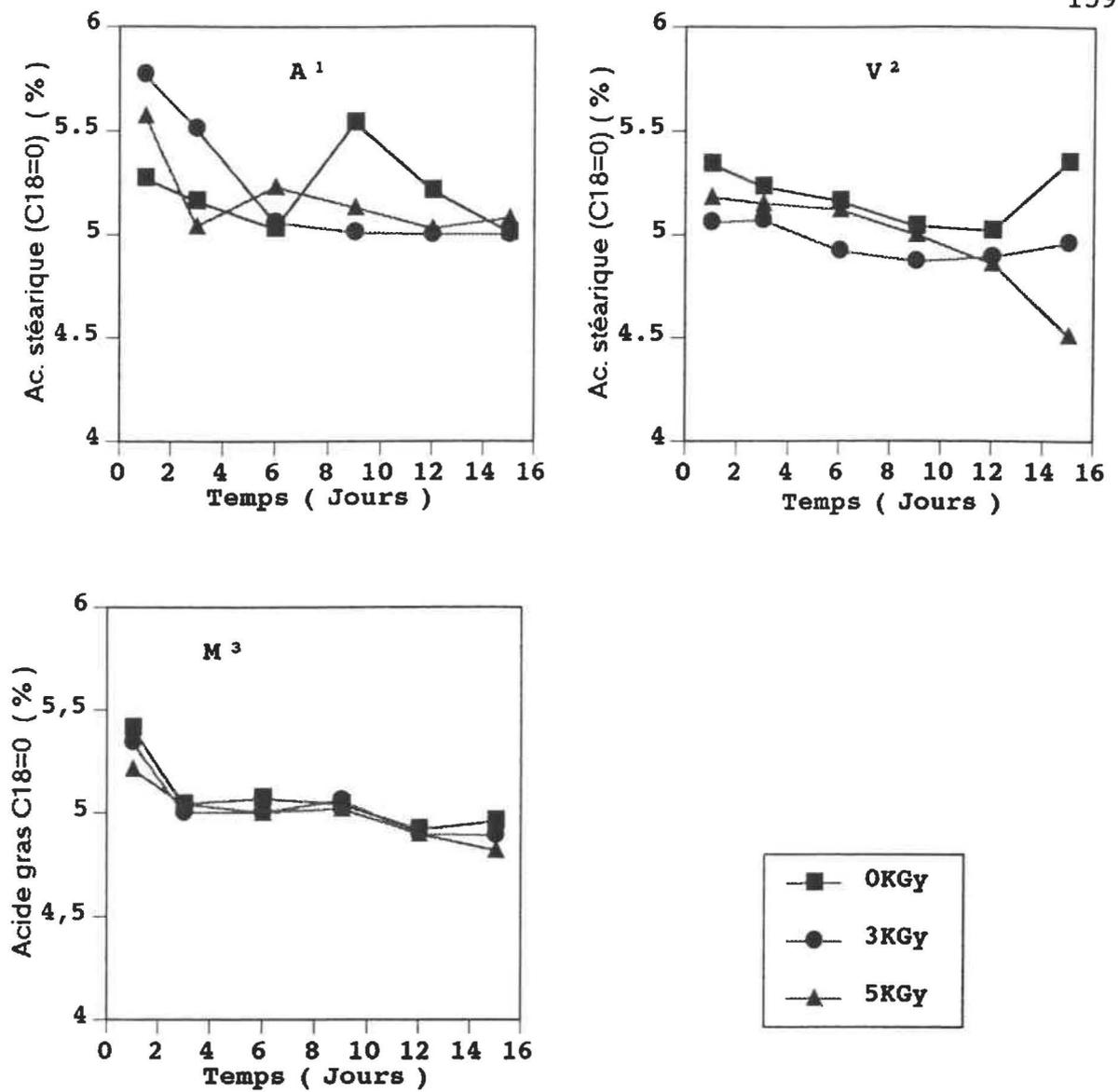


Fig. 17 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide stéarique des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous : A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

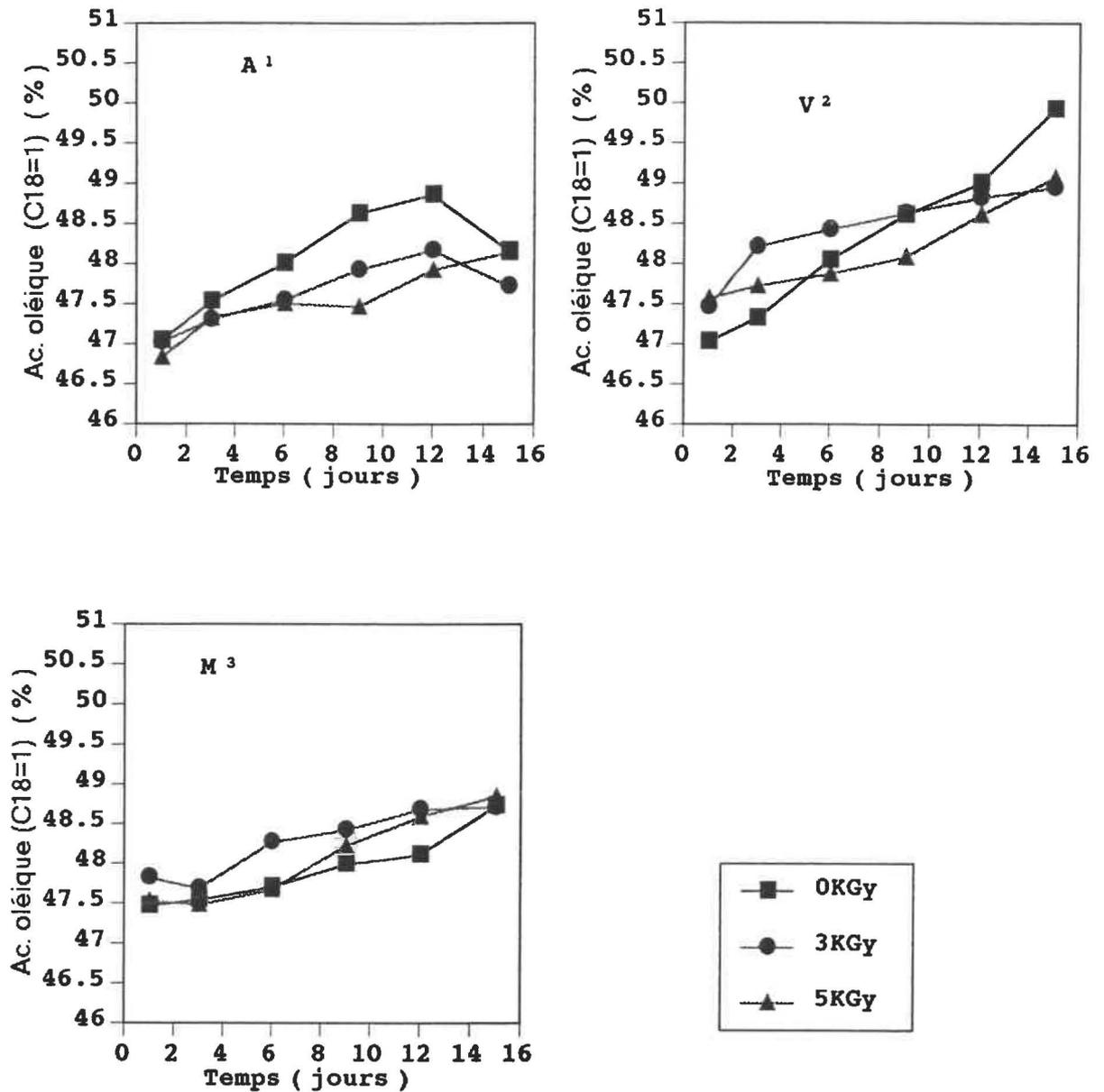


Fig. 18 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide oléique (C18=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées stockées 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne de 2 échantillons.

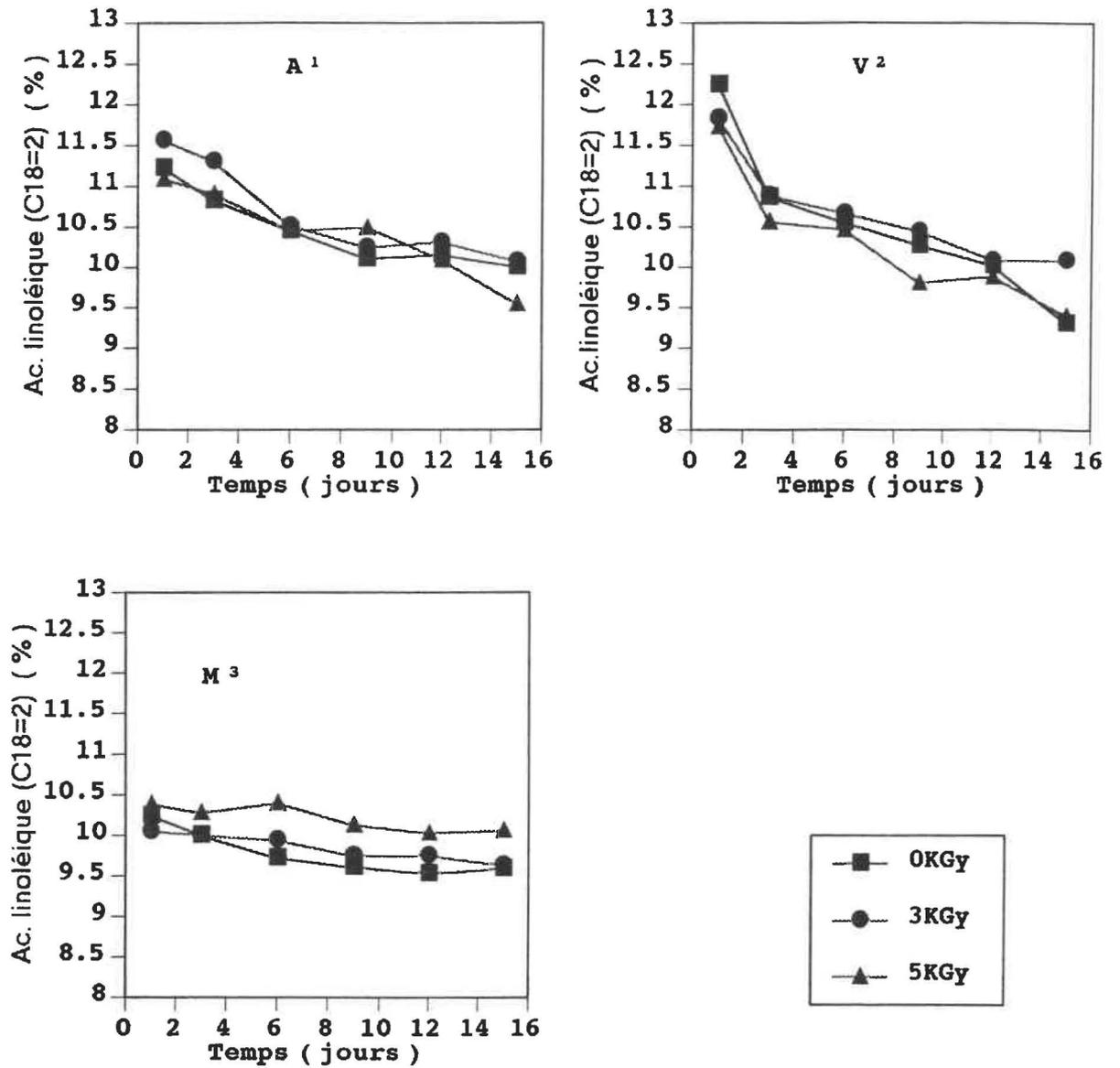


Fig. 19 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide linoléique (C18=1) des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous : A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

protection contre l'oxydation du C18=2 qui est reconnu comme étant très sensible à l'oxydation.

Les acides gras non identifiés (NI) (fig. 20) varient au cours du stockage mais cette variation ne semble pas être induite par l'irradiation. En effet, les acides gras non identifiés des échantillons irradiés semblent avoir le même profil que les non identifiés des échantillons non irradiés (témoin) puisque les temps de rétention sont identiques pour les deux catégories d'échantillons.

La concentration en acides gras (mg/100g) des lipides neutres des cuisses de poulet pour les différents échantillons pré-traités (sous air, sous vide et avec marinade), calculée à l'aide de la concentration connue du standard interne et des standards externes d'esters méthyliques d'acides gras, est représentée aux tableaux XVII, XVIII et XIX.

2.2 Effets de l'irradiation gamma sur les acides gras des phospholipides du poulet

La composition en acides gras des phospholipides des cuisses de poulet pour les différents pré-traitements (sous air, sous vide et avec marinade), irradiés (3 et 5 kGy) et non irradiés (0 kGy) est représentée aux tableaux XX, XXI, XXII.

Ces trois tableaux représentent les 15 acides gras identifiés de la même manière que les lipides neutres, et dont

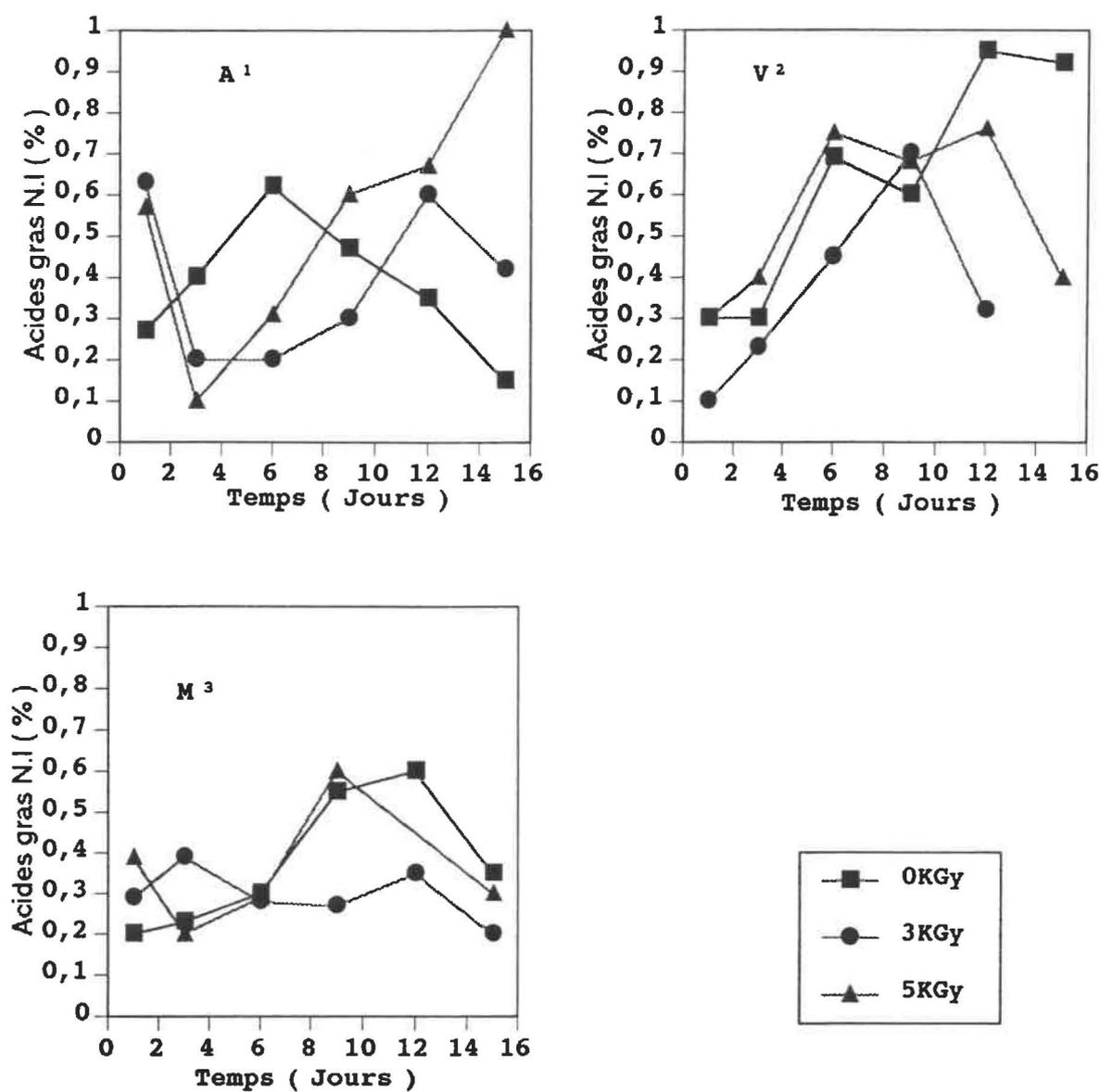


Fig. 20 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acides gras non identifiées des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous : A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

Tableau XVII. Effets de l'irradiation sur la concentration (mg/100g) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (0kGy) et conservées sous air à 4°C.

A'	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy															
C14=0	26	26	26	24	27	26	24	28	26	24	27	26	27	28	26	23	26	26
C14=1	0	0	0	10	12	8	10	11	8	6	11	8	9	11	10	7	16	0
C16=0	810	805	800	772	803	794	766	799	787	758	795	776	753	778	768	749	772	768
C16=1	287	259	295	302	269	312	307	299	325	311	306	337	328	315	341	333	331	344
C17=0	7			7	0	9	7	7		9	8	0	0	0	0	0	0	0
C18=0	168	184	178	165	176	161	160	161	167	177	160	164	166	159	160	160	159	162
C18=1	1500	1499	1493	1515	1508	1509	1530	1516	1515	1550	1528	1513	1558	1536	1528	1567	1522	1535
C18=2	358	369	354	345	360	348	333	335	333	322	327	334	324	329	322	319	321	304
C18=3	0	0	0	5	0	5	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20=0	0	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20=2	26	26	25	26	19	15	24	19	17	17	19	11	13	14	13	26	28	17
N.I	9	20	18	13	6	3	20	6	10	15	10	19	11	19	21	5	13	32

A':cuisses de poulet emballées sous air.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XVIII. Effets de l'irradiation sur la concentration (mg/100g) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (0kGy) et conservées sous vide à 4°C.

V ²	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy															
C14=0	23	23	21	21	22	27	21	27	21	21	27	21	21	27	22	20	27	22
C14=1	0	9	12	8	8	10	10	10	8	8	10	9	8	9	5	0	10	9
C16=0	812	804	806	808	799	802	795	795	799	790	782	811	787	777	809	772	776	801
C16=1	261	256	266	276	268	283	279	272	286	283	289	293	287	296	303	293	318	317
C17=0	0	6		6		7		9	8	7		7		7	0	0	0	0
C18=0	170	161	165	167	162	164	165	157	163	161	155	159	160	156	155	171	158	144
C18=1	1500	1513	1517	1509	1537	1522	1532	1544	1526	1550	1551	1533	1562	1557	1550	1592	1561	1565
C18=2	390	377	374	346	347	337	336	340	334	327	333	313	319	321	315	297	322	300
C18=3	0	0	0	6	6	5	6	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
C20=0	0	11	0	7	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20=2	23	24	18	25	19	20	22	21	19	23	20	20	13	21	5	15	18	20
N.I	10	3	10	10	7	13	22	14	24	19	22	22	30	10	24	29	0	13

V²:cuisses de poulet emballées sous vide.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XIX. Effets de l'irradiation sur la concentration (mg/100g) en acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet marinées (jus de citron + thym +romarin), irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (0kGy) et conservées sous air à 4°C.

M ^o	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy															
C14=0	21	25	25	21	25	23	22	24	24	22	25	24	22	18	24	15	25	23
C14=1	0	8	10	8	9	10	11	9	10	9	8	6	13	10	13	11	9	9
C16=0	788	785	785	785	780	776	781	767	767	773	767	766	765	765	760	762	764	748
C16=1	321	319	328	329	332	332	342	341	331	345	343	342	348	351	347	356	353	341
C17=0	0	0	0	10	6	9	7	7	7	0	0	0	0	0	9	0	0	0
C18=0	172	170	166	161	159	161	162	159	159	161	161	160	160	158	156	158	156	154
C18=1	1514	1525	1515	1516	1520	1514	1521	1539	1520	1530	1544	1537	1534	1552	1549	1554	1553	1557
C18=2	327	320	331	319	319	328	310	317	332	306	311	323	304	311	320	306	307	321
C18=3	0	0	0	5	4	5	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20=0	17	10		4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20=2	22	17	15	22	17	25	23	16	24	25	21	11	23	13	11	16	16	26
N.I	6	9	12	7	12	6	10	9	9	18	9	19	19	11	0	11	6	10

M^o:cuisses de poulet marinées et emballées sous air.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XX. Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des phospholipides des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (témoins = 0kGy) et conservées sous air à 4°C.

A ¹	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
C12=0	0.08	0.89	1.51	0.26	0.99	1.6	0.16	1.18	1.42	0.12	1.05	1.05	0.18	0.55	0.75	0.08	0.09	0.15
C14=0	0.73	1.24	1.87	0.78	1.35	1.71	0.78	1.2	1.75	0.56	1.45	1.95	0.64	1.38	1.8	0.65	1.57	1.78
C14=1	0.55	0.85	1.11	0.48	0.73	0.85	0.4	0.6	0.63	0.33	0.47	0.48	0.28	0.35	0.35	0.24	0.22	0.23
C15=0						0.05	0.05		0.09	0.08	0.05	0.12	0.15	0.12	0.15	0.1	0.13	0.18
C16=0	22.65	24.31	24.75	23.1	24.65	25.05	23.85	24.89	25.65	24.1	25.25	25.16	24.75	25.85	25.59	25.2	27.3	26.17
C16=1	5.95	6.28	6.98	6.13	6.02	7.25	5.75	5.75	7.5	6.27	6.28	7.87	6.83	6.05	7.6	7.7	6.94	7.42
C17=0						0.08			0.1	0.11	0.08	0.12	0.2	0.1	0.15	0.14	0.18	0.18
C18=0	13.03	14.15	15.08	12.56	14.35	15.39	12.15	14.84	15.55	12.7	14.61	15.87	12.64	15.75	16.11	14.05	15.28	16.43
C18=1	27.5	26.8	25.75	27.98	26.09	26.01	26.56	25.75	25.87	27.75	24.35	26.13	28.92	24.65	26.75	30.15	24	26.28
C18=2	16.95	15.75	14.28	16.45	15.35	13.95	15.25	15.03	13.76	16.53	14.45	13.51	15.8	14.03	13.12	15.66	13.7	12.81
C18=3	0.75	0.45	0.2	0.65	0.39	0.15	0.6	0.35	0.1	0.44	0.29	0.2	0.25	0.21	0.15	0.14	0.13	0.14
C20=0	1.4	1.9	2.35	1.15	2.25	2.51	1.25	2.05	2.74	0.95	1.75	2.86	0.58	1.12	2.08	0.1	0.13	1.15
C20=2	1.55	1.3	1.02	1.35	1.12	0.95	1.41	1.15	0.81	1.28	1.05	0.98	1.05	0.95	0.91	0.81	0.89	0.88
C20=3	2.65	2.32	1.98	2.15	2.2	1.72	1.83	1.9	1.47	1.1	1.65	1.3	0.75	1.25	1.13	0.42	0.94	0.85
C20=4	5.5	2.3	1.03	4.8	2.21	0.95	3.95	2.45	0.87	2.85	2.25	0.7	1.99	2.17	0.51	1.06	2.11	0.3
N.I	0.71	1.46	2.09	2.16	2.3	1.78	6.01	2.86	1.69	4.83	4.97	1.7	4.99	5.47	2.85	3.5	5.39	5.05

A¹:cuisses de poulet emballées sous air.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XXI. Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des phospholipides des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (témoins = 0kGy) et conservées sous vide à 4°C.

V ²	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
	0kGy	3kGy	5kGy															
C12=0	0.23	0.3	0.39	0.24	0.41	0.35	0.28	0.55	0.29	0.19	0.4	0.21	0.17	0.32	0.15	0.15	0.2	0.1
C14=0	0.64	0.85	1.2	0.76	0.9	1.27	0.7	0.75	1.35	0.8	0.89	1.43	0.7	0.65	1.54	0.73	0.86	1.66
C14=1	0.37	0.49	0.3	0.3	0.41	0.27	0.22	0.45	0.25	0.2	0.39	0.22	0.19	0.3	0.2	0.16	0.21	0.18
C15=0			0.1			0.12			0.14			0.15			0.13	0.14	0.13	0.14
C16=0	21.78	22.05	23.35	22.82	22.2	23.6	22.97	22.35	23.71	23.16	22.7	23.88	23.25	23.11	23.97	23.33	23.45	24.11
C16=1	6.13	5.65	4.95	6.59	5.48	4.78	6.4	5.25	4.65	6.17	5.85	5.03	6.32	6.25	5.25	6.01	7.82	5.68
C17=0			0.15			0.18			0.2	0.17		0.2	0.15		0.23	0.21	0.14	0.26
C18=0	12.57	13.15	14.05	12.95	13.23	14.21	13.35	13.08	14.43	13.55	13.47	14.65	13.7	14.05	14.79	13.99	14.75	15.05
C18=1	28.65	27.95	26.75	27.08	27.7	26.53	27.16	27.55	26.35	26.65	27.68	25.85	27.95	27.05	25.57	28.25	26.68	25.29
C18=2	18.15	17.75	16.35	18.55	17.5	16.08	18.2	17.15	15.95	17.95	16.9	15.71	17.65	16.45	15.5	17.08	16.08	15.28
C18=3	0.9	0.67	0.4	0.79	0.6	0.35	0.53	0.5	0.3	0.4	0.37	0.24	0.32	0.25	0.2	0.15	0.14	0.17
C20=0	0.93	1.36	1.58	1.05	1.45	1.71	1.18	1.52	1.84	0.85	1.4	1.95	0.35	1.82	1.78	0.17	1.14	1.75
C20=2	1.12	1.28	1.11	1.38	1.2	1.03	1.25	1.25	1.1	1.4	1.18	1.02	1.15	1.12	1.11	1.01	0.94	1.2
C20=3	2.08	1.75	1.39	1.89	1.68	1.35	1.6	1.55	1.3	1.35	1.43	1.25	1.21	1.28	1.17	1.08	1.12	1.06
C20=4	5.98	4.15	3.38	5.08	3.92	3.25	4.25	3.65	3.01	3.65	3.25	2.85	3.1	2.9	2.67	3.76	2.64	2.32
N.I	0.47	2.6	4.55	0.52	3.32	4.92	1.91	4.4	5.13	3.51	4.09	5.36	3.79	4.45	5.74	3.78	3.7	5.75

V²:cuisses de poulet emballées sous vide.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

Tableau XXII. Effets de l'irradiation sur la composition (%) en acides gras des phospholipides des cuisses de poulet marinées (jus de citron + thym + romarin), irradiées (3 et 5 kGy), non irradiées (témoins = 0kGy) et conservées sous air à 4°C.

M ³	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
C12=0	0.05	0.08	0.15	0.08	0.08	0.16	0.1	0.09	0.15	0.15	0.12	0.13	0.13	0.14	0.12	0.17	0.11	0.11
C14=0	0.78	0.89	1.12	0.82	0.93	1.15	0.75	0.8	1.19	0.87	0.85	1.24	0.85	0.99	1.27	0.95	0.95	1.31
C14=1	0.25	0.36	0.15	0.23	0.33	0.16	0.25	0.29	0.18	0.21	0.25	0.16	0.2	0.2	0.19	0.19	0.17	0.21
C15=0			0.15			0.14			0.12			0.15			0.14	0.16	0.22	0.13
C16=0	23.15	23.33	25.09	23.2	23.4	25.18	23.35	23.46	25.25	23.42	23.55	25.31	23.5	23.69	25.42	23.56	23.89	25.53
C16=1	6.28	5.98	5.35	6.35	5.9	5.42	6.25	5.95	5.61	6.31	5.75	5.82	6.28	5.68	6.09	6.32	6.27	6.6
C17=0			0.18			0.19			0.17			0.16			0.15	0.2	0.21	0.14
C18=0	11.95	12.07	13.01	12	12.15	13.07	11.9	12.09	13.15	12.05	12.2	13.23	12.12	12.31	13.35	12.08	12.4	13.41
C18=1	25.62	25.41	24.95	25.75	25.35	24.76	25.7	25.45	24.65	25.85	25.2	24.52	25.7	25.13	24.35	25.8	25.05	24.21
C18=2	18.5	18.35	17.75	18.35	18.08	17.62	18.25	17.7	17.57	18.03	17.41	17.46	17.85	17.2	17.31	17.6	16.96	17.18
C18=3	1.12	0.98	0.35	1.03	0.85	0.33	0.85	0.67	0.27	0.6	0.52	0.22	0.35	0.3	0.18	0.15	0.17	0.12
C20=0	0.61	0.69	0.89	0.7	0.75	0.96	0.58	0.82	1.03	0.41	0.7	1.08	0.34	0.95	1.12	0.22	1.16	1.15
C20=2	1.2	1.11	0.79	1.28	1.05	0.85	1.19	0.99	0.91	1.14	0.95	0.92	1.03	0.93	0.87	0.94	0.92	0.84
C20=3	1.85	1.72	1.45	1.71	1.65	1.42	1.49	1.59	1.35	1.32	1.53	1.41	1.2	1.49	1.39	1.12	1.42	1.4
C20=4	5.75	5.6	4.85	5.58	5.45	4.25	5.35	5.27	4.01	5.19	5.15	3.85	5.08	5.03	3.76	4.8	4.82	2.77
N.I	2.89	3.43	3.77	2.92	4.03	4.34	3.99	4.83	4.39	4.45	5.82	4.34	5.37	5.96	4.29	5.74	5.28	4.89

M³:cuisses de poulet marinées et emballées sous air.

J: jours d'entreposage; N.I: total des acides gras non identifiés.

9 % d'entre eux sont représentés en concentration mineure (0.2 à 2 %) et 6 en concentration majeure (de 7 à 27 %). Comme pour les lipides neutres, certains pics n'ont pu être identifiés (NI).

La majorité des acides gras des phospholipides trouvés sont presque identiques à ceux trouvés dans les lipides neutres. La seule différence réside dans la concentration en acides gras polyinsaturés à longue chaîne de carbone.

Les acides gras saturés des phospholipides, comparativement aux lipides neutres (32 %), représentent 38 % de la concentration totale des acides gras. Dans ce groupe, le C16=0 et le C18=0 sont les acides gras dominants (22.5 % et 13% respectivement) et le reste représente moins de 2.5 %.

En revanche, les acides gras monoinsaturés représentent environ un tiers (soit 34 %) des acides gras, dont le C18=1 et le C16=1 sont les plus dominants (27.5 % et 6 % respectivement) et le reste ne représente que 0.5 %.

Les acides gras polyinsaturés représentent 27 % ce qui représente plus du double de la concentration par rapport aux acides gras polyinsaturés des lipides neutres. Le C18=2 est le plus important dans ce groupe avec 17 % tandis que le C20=4 représente 5.5 %.

Les acides gras non identifiés (NI) dans les échantillons irradiés à 3 et 5 kGy, comme pour les lipides neutres, ont le même profil que ceux trouvés dans les échantillons contrôle (0 kGy).

La majorité des acides gras identifiés le sont par ordre décroissant : l'acide oléique (C18=1 : 27 %), l'acide palmitique (C16=0 : 23 %), l'acide linoléique (C18=2 : 17%), l'acide stéarique (C18=0 : 13 %), l'acide palmitoléique (C16=1 : 6 %), l'acide arachidonique (C20=4 : 5.5 %) et l'acide homo- τ -linoléique (C20=3 : 2.5 %).

Comme pour les lipides neutres, le C18=1 demeure l'acide gras dominant mais avec une concentration inférieure différente (47 % pour les lipides neutres contre 27 % pour les phospholipides).

Contrairement aux lipides neutres, les phospholipides contiennent plus d'acides gras polyinsaturés (27.5 % contre 11%).

Le C20=3 et le C20=4 (qui appartient au groupe des acides gras dits "essentiels") ne se retrouvent que dans les phospholipides.

La fraction des phospholipides en acides gras, C18=3, C20=2, C20=3 et C20=4 dans le total des acides gras compte pour

10 % comparativement à la fraction des lipides neutres (C18=3 et C20=2 seulement) qui compte pour moins de 1 %.

Les tableaux XX, XXI et XXII montrent que la composition en acides gras des phospholipides varie légèrement selon le pré-traitement effectué, la dose d'irradiation appliquée et la durée de stockage utilisée. Chaque variation pour chaque acide gras est mise en évidence comme pour les lipides neutres dans les figures 21 à 30.

L'irradiation semble avoir un effet sur les modifications pour le C14=0 sous air et sous vide. En revanche, le C14=0 mariné semble être stable (fig. 21). On remarque que l'acide myristique (C14=0) subit des modifications au cours du stockage et sa concentration varie selon les différents traitements effectués. Il se situe entre 0.70 % et 2 %.

L'acide myristoléique (C14=1) (fig. 22) varie relativement peu pour les échantillons sous vide et avec marinade. La concentration est de 0.37 % pour le C14=1 sous vide et de 0.25% pour le mariné non irradié (0 kGy), mais la variation est importante pour le sous air, qui diminue considérablement sous l'effet de l'oxydation durant le stockage.

L'acide palmitique (C16=0) (fig. 23) et l'acide stéarique (C18=0) (fig. 25), contrairement aux lipides neutres, augmentent légèrement au cours du stockage. Le C16=0 et le

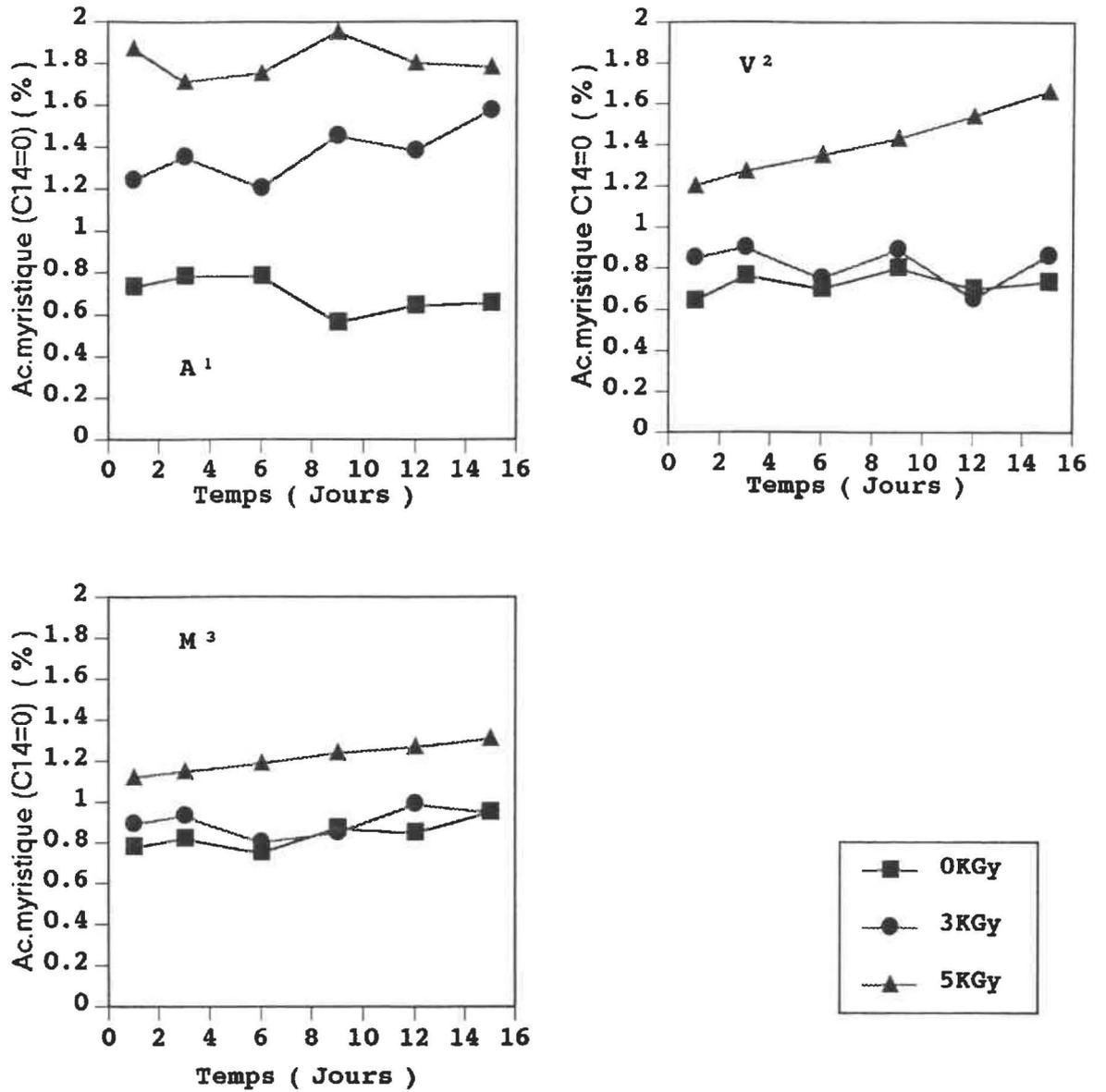


Fig.21 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide myristique (C14=0) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

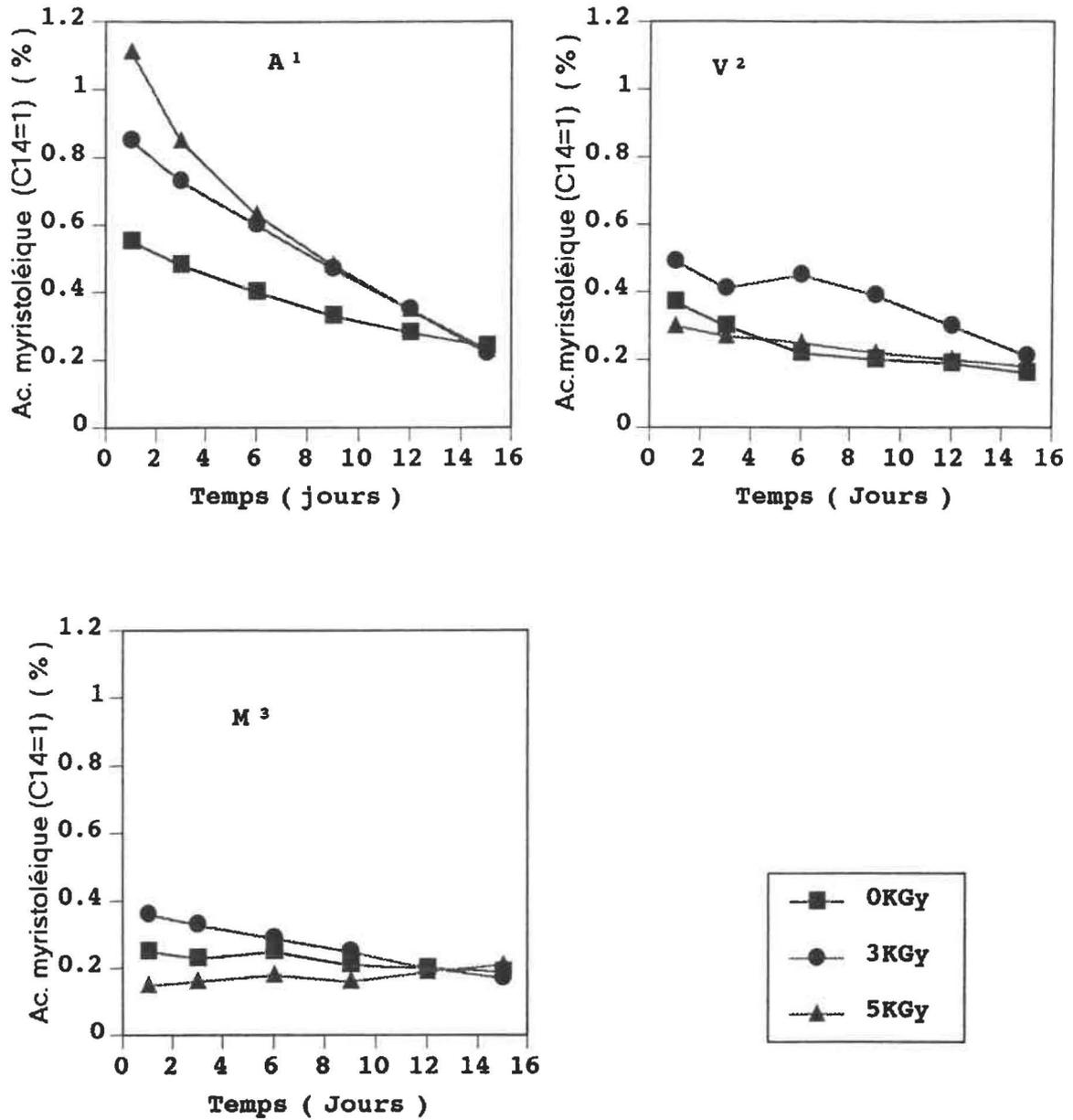


Fig.22 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide myristoléique (C14=1) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

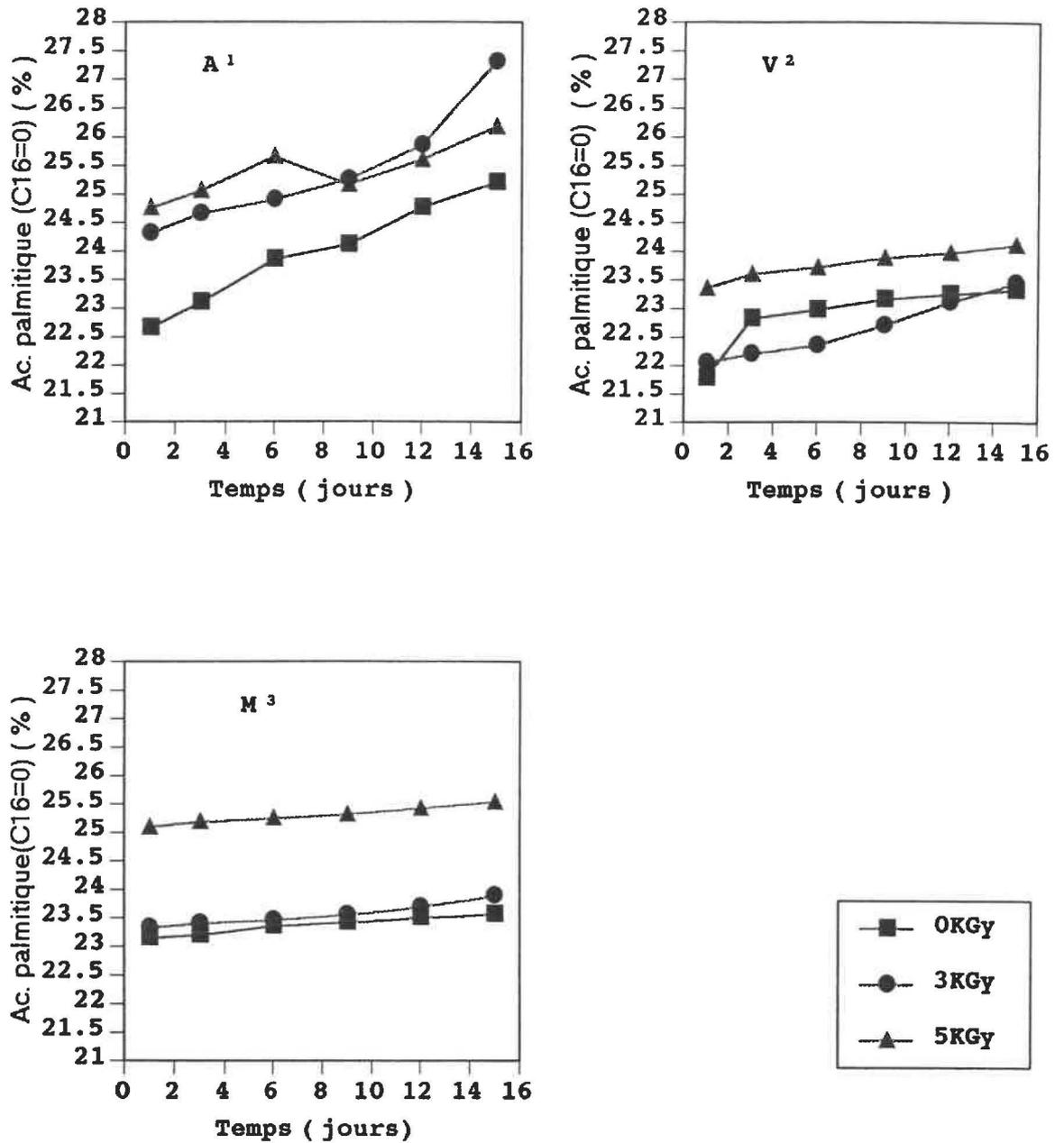


Fig.23 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitique (C16=0) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

C18=0 sous air semblent avoir subi plus de modifications que ces deux acides gras lorsque emballé sous vide ou avec marinade. Les réactions qui peuvent se produire au cours du stockage sont diverses, mais l'augmentation de ces acides saturés est liée à l'oxydation directe ou indirecte des acides gras insaturés.

L'acide palmitoléique (C16=1) (fig. 24) et l'acide oléique (C18=1) (fig. 26) sont légèrement affectés, eux aussi, par l'irradiation et la durée de stockage. Le C16=1 et le C18=1 sous air semblent être les plus affectés par rapport à ceux qui sont sous vide et avec marinade.

L'acide linoléique (C18=2) (fig. 27), l'acide linoléique (C18=3) (fig. 28) et l'acide arachidonique (C20=4) (fig. 29) qui sont des acides gras polyinsaturés sont les plus affectés de tous les acides gras des phospholipides en ce qui concerne les échantillons sous air et sous vide. Ces acides gras diminuent considérablement durant le stockage et en fonction de la dose d'irradiation.

L'irradiation semble avoir un effet significatif ($p \leq 0.05$) pour le C18=2 qui semble être le plus radiosensible.

Le C20=4 mariné et irradié à 5 kGy, quant à lui, semble avoir subi des modifications mineures. Le C18=3, mariné et

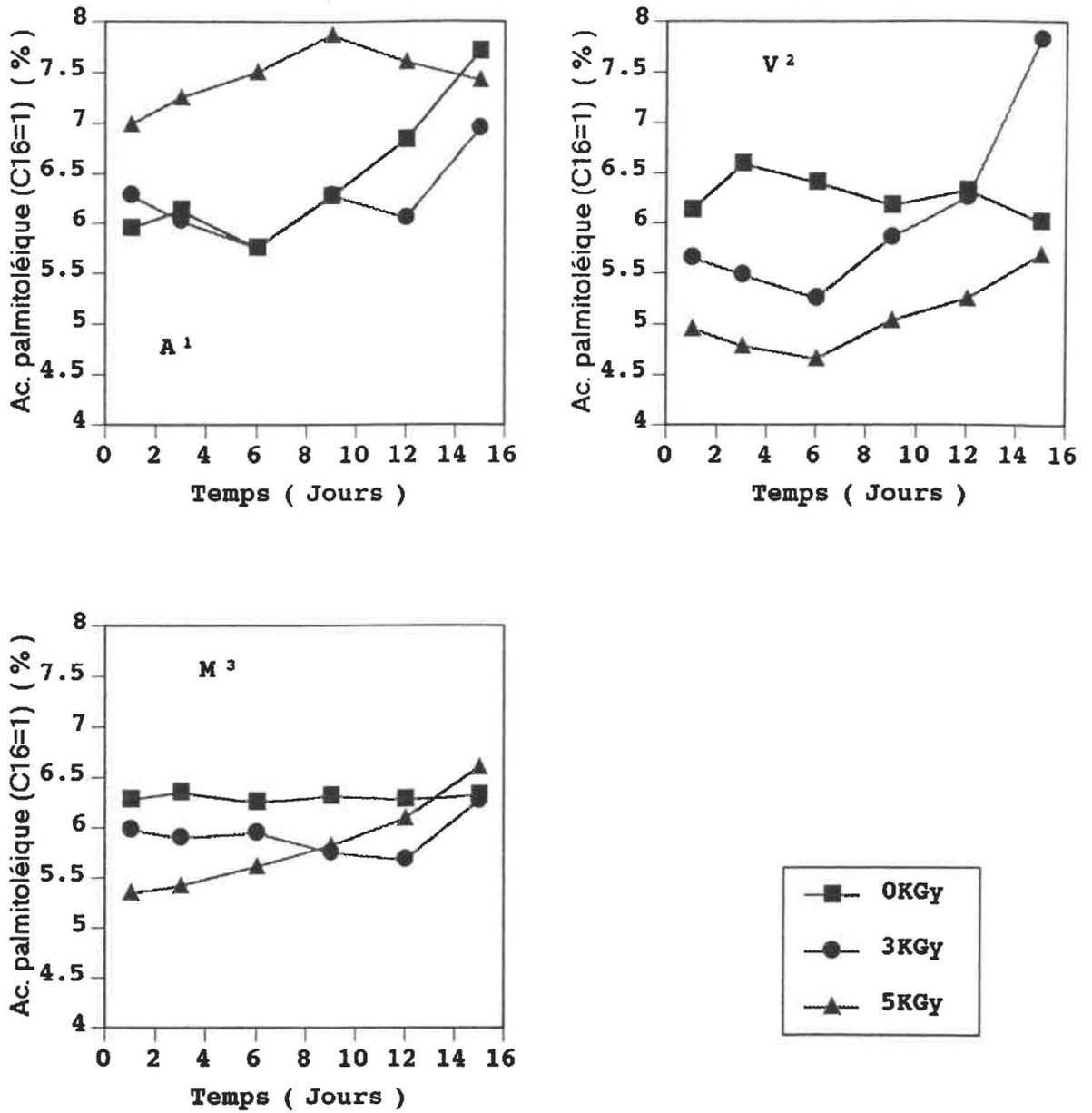


Fig.24 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide palmitoléique (C16=1) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

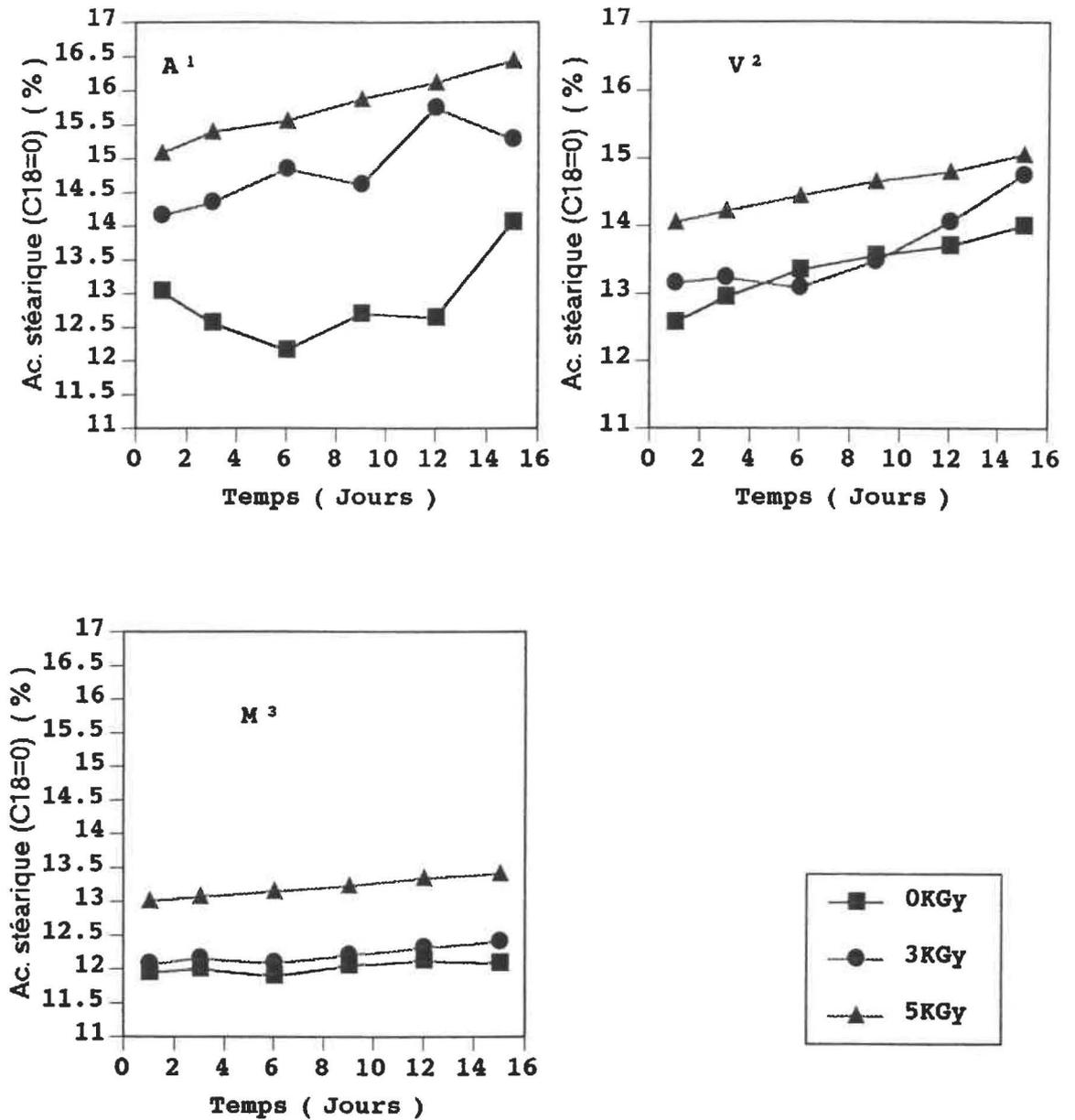


Fig.25 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide stéarique (C18=0) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

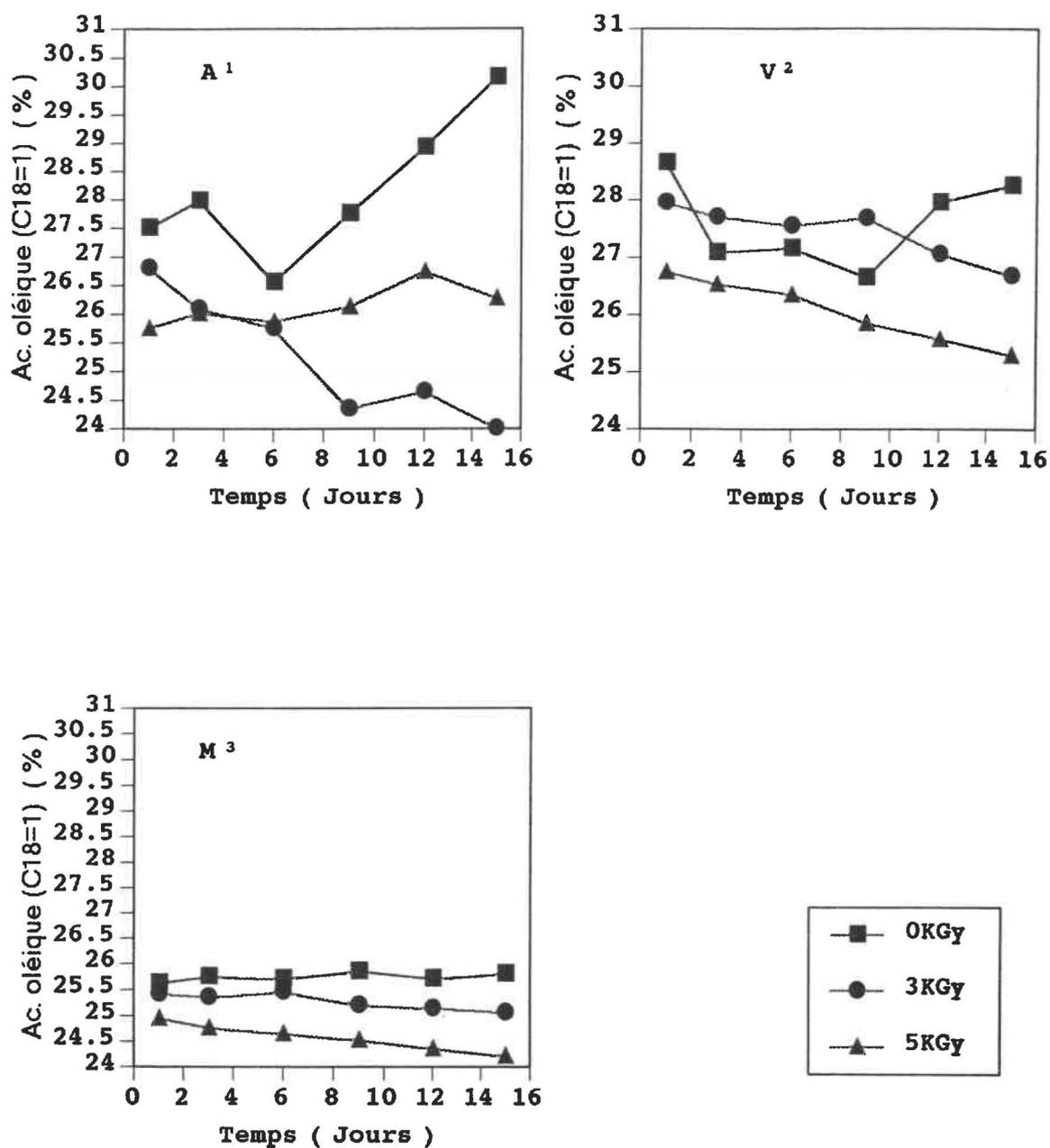


Fig.26 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide oléique (C18=1) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

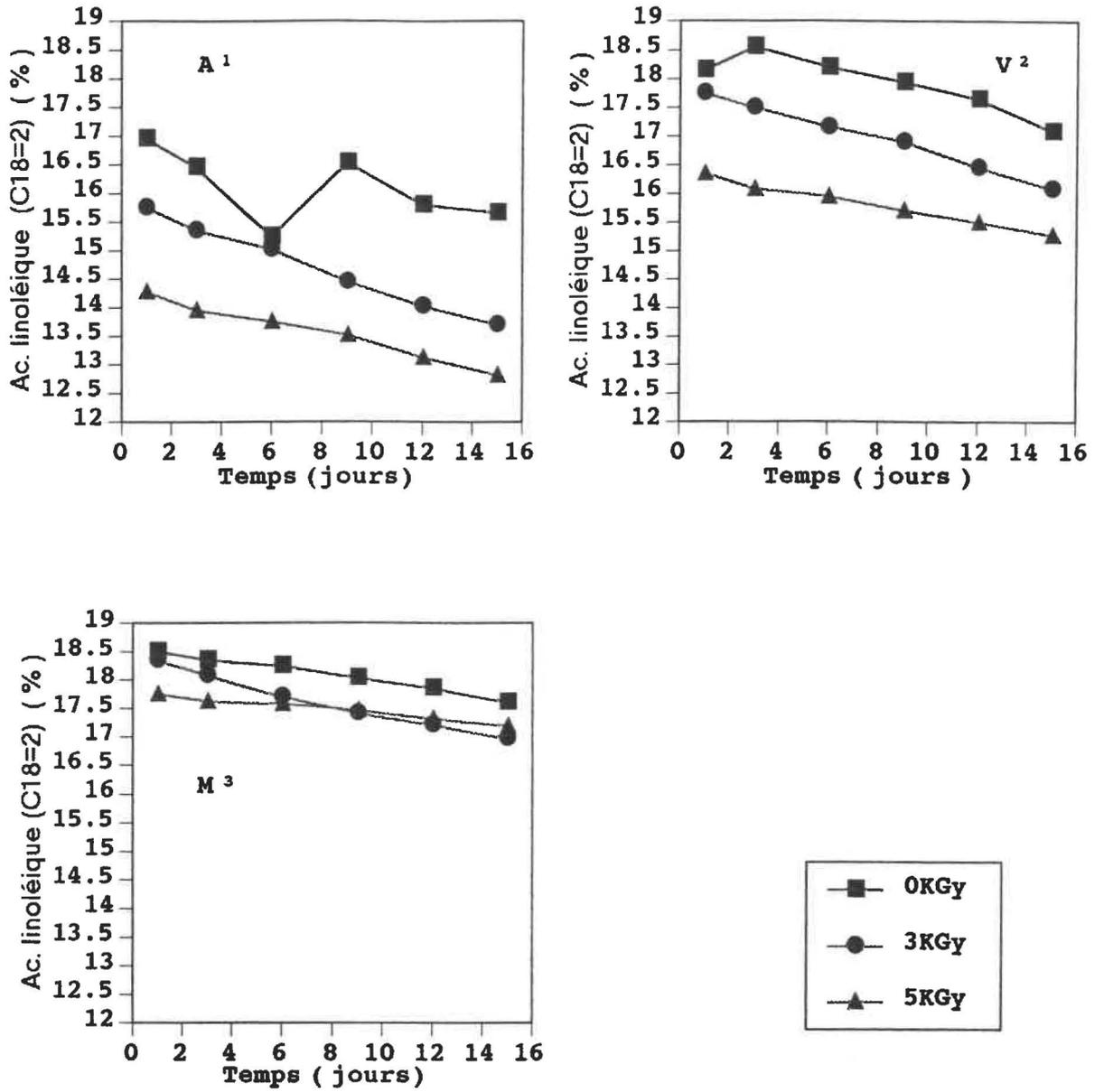


Fig. 27 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide linoléique (C18=2) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

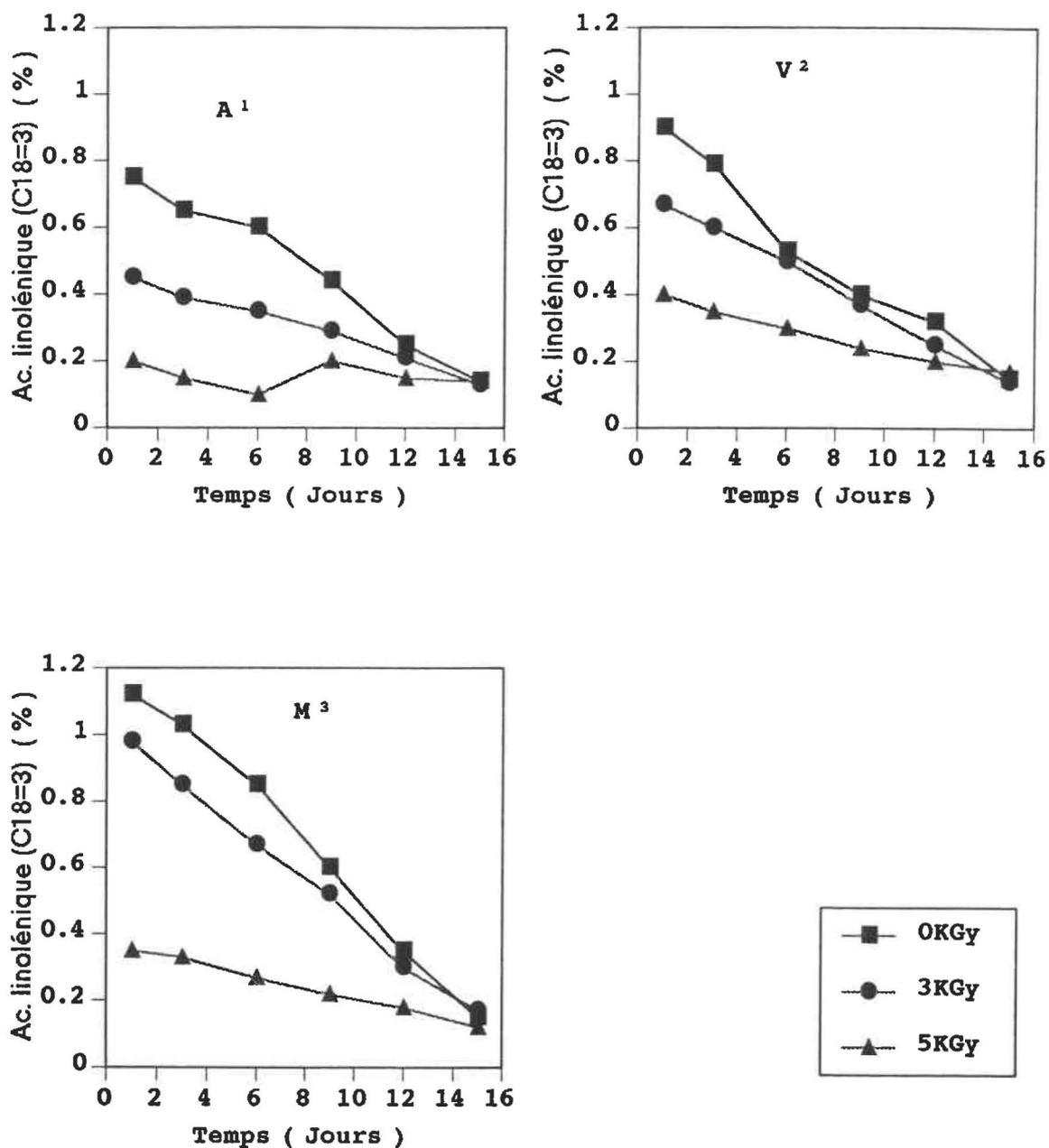


Fig. 28 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide linoléique (C18=3) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

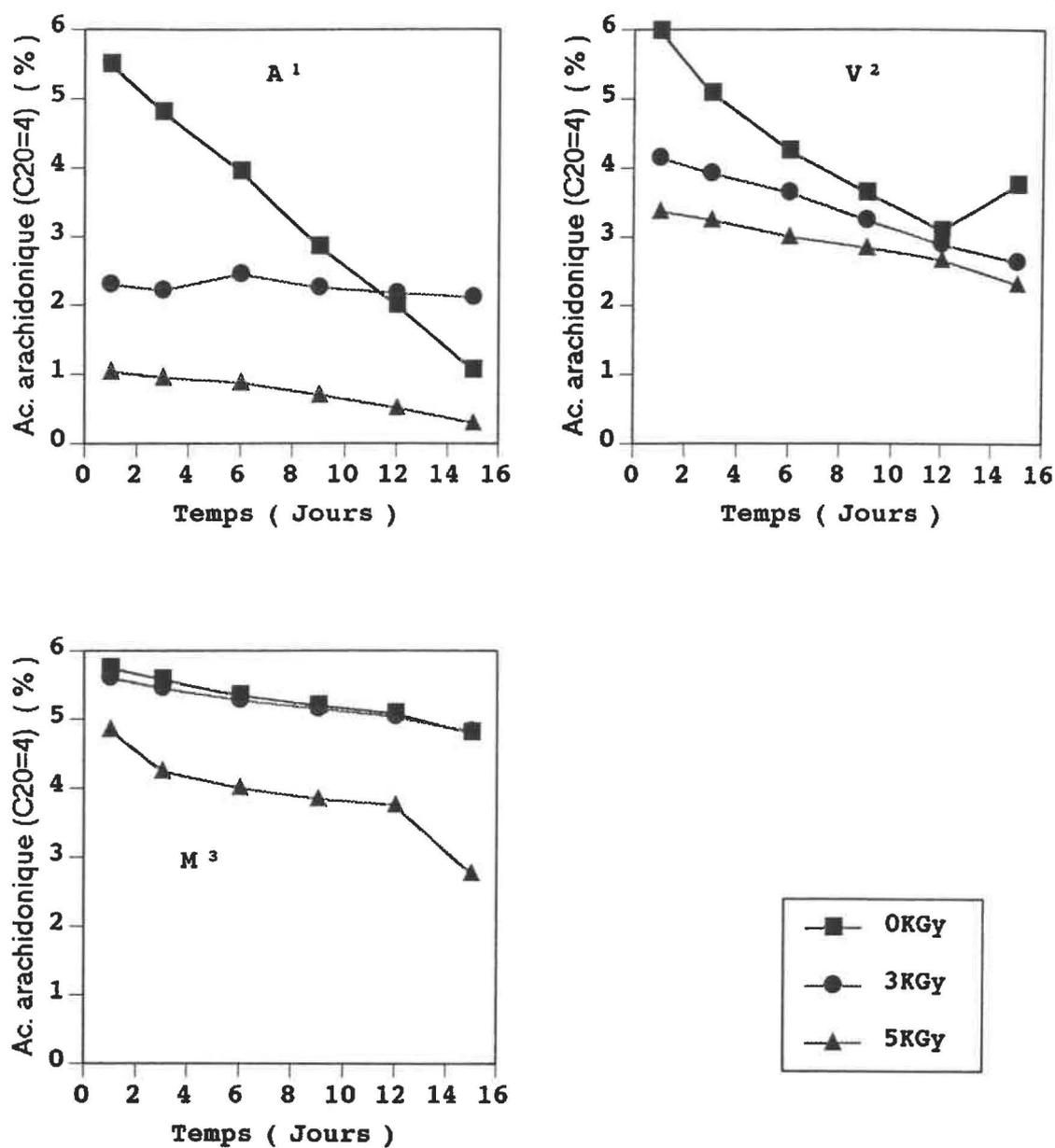


Fig. 29 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acide arachidonique (C₂₀=4) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

irradié (3 et 5 kGy), semble, lui, avoir subi des modifications majeures par rapport à sa concentration initiale.

De même que pour les lipides neutres, les acides gras non identifiés (NI) (fig. 30) varient au cours du stockage mais cette variation ne semble pas être induite par l'irradiation puisque les acides gras non identifiés des échantillons irradiés ont le même profil que celui des échantillons non irradiés.

2.3 Effets de l'irradiation gamma sur le contenu total des acides gras insaturés

Le tableau XXIII représente la somme totale des différents groupes d'acides gras qui a permis de calculer les rapports entre les acides gras insaturés et saturés. On remarquera que les acides gras monoinsaturés sont les composants majoritaires des acides gras totaux. Comme nous l'avons déjà souligné, les lipides neutres du poulet sont constitués majoritairement d'acides gras insaturés.

Les valeurs du rapport
d'insaturation

$$(Ks) = \frac{\text{total des acides gras insaturés}}{\text{total des acides gras saturés}}$$

de monoinsaturation

$$(Km) = \frac{\text{total des acides gras monoinsaturés}}{\text{total des acides gras saturés}}$$

de polyinsaturation

$$(Kd) = \frac{\text{total des acides gras polyinsaturés}}{\text{total des acides gras saturés}}$$

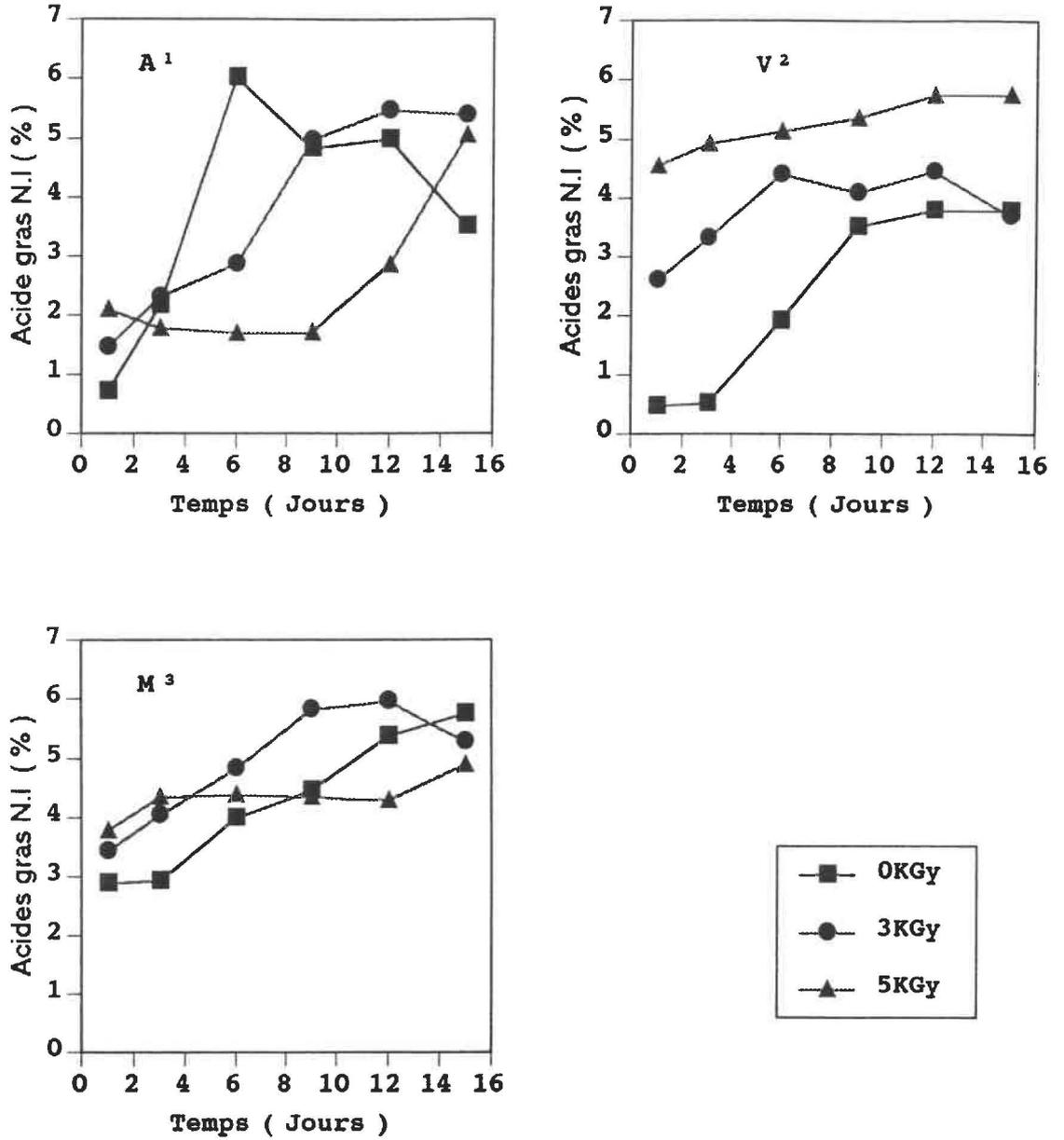


Fig. 30 - Effet de l'irradiation et du stockage sur la concentration en acides gras non identifiés (N.I) des phospholipides des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹ : air ; V² : vide ; M³ : marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

Tableau XXIII. Effets de l'irradiation sur la composition (%) de la somme des acides gras saturés, monoinsaturés, diinsaturés, polyinsaturés et la somme totale de tous les insaturés des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy), non irradiés (témoins = 0kGy) et conservées à 4°C.

A¹	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
satures	31.68	31.85	31.47	30.48	31.78	31.03	30.00	31.21	30.75	30.31	31.03	30.28	29.67	30.27	29.91	29.22	30.04	30.00
mono	56.04	55.15	56.09	57.32	56.11	57.36	57.95	57.26	57.96	58.58	57.84	58.29	59.42	58.39	58.91	59.81	58.58	58.93
diinsat	11.22	11.56	11.09	10.82	11.30	10.90	10.45	10.51	10.45	10.10	10.24	10.49	10.15	10.31	10.09	10.00	10.07	9.54
poly	12.02	12.37	11.87	11.80	11.91	11.53	11.43	11.33	10.98	10.64	10.84	10.84	10.56	10.76	10.51	10.82	10.96	10.07
T/insa	68.06	67.52	67.96	69.12	68.02	68.89	69.38	68.59	68.94	69.22	68.68	69.13	69.98	69.15	69.42	70.63	69.54	69.00
V²	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
satures	31.53	31.54	31.14	31.64	31.24	31.36	30.77	30.98	31.08	30.71	30.25	31.32	30.37	30.33	30.91	30.18	30.15	30.31
mono	55.21	55.78	56.27	56.23	56.85	56.89	57.09	57.24	57.10	57.71	58.00	57.55	58.26	58.39	58.28	59.12	59.22	59.29
diinsat	12.24	11.83	11.73	10.86	10.88	10.56	10.55	10.66	10.46	10.27	10.44	9.81	10.02	10.08	9.88	9.31	10.09	9.40
poly	12.96	12.58	12.29	11.83	11.68	11.35	11.45	11.33	11.07	10.99	11.06	10.45	10.42	10.96	10.05	9.78	10.64	10.04
T/insa	68.17	68.36	68.56	68.06	68.53	68.24	68.54	68.57	68.17	68.70	69.06	68.00	68.68	69.35	68.33	68.90	69.86	69.33
M³	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
satures	31.32	31.06	30.60	30.79	30.59	30.40	30.46	30.03	30.01	29.97	29.89	29.79	29.71	29.49	29.77	29.33	29.62	29.00
mono	57.55	58.08	58.14	58.13	58.36	58.18	58.80	59.24	58.35	59.10	59.43	59.13	59.43	59.99	59.88	60.23	60.07	59.84
diinsat	10.24	10.05	10.39	10.00	10.00	10.28	9.72	9.94	10.40	9.61	9.75	10.13	9.53	9.75	10.03	9.59	9.63	10.06
poly	10.93	10.58	10.87	10.85	10.66	11.22	10.44	10.45	11.35	10.38	10.41	10.48	10.26	10.17	10.36	10.09	10.12	10.87
T.insat	68.48	68.66	69.01	68.98	69.02	69.40	69.24	69.69	69.70	69.48	69.84	69.61	69.69	70.16	70.24	70.32	70.19	70.71

A¹:cuisses de poulet emballées sous air, V²:cuisses de poulet emballées sous vide, M³:cuisses de poulet marinées et emballées sous air.
J: jours d'entreposage

sont représentées au tableau XXIV. Ce tableau indique un rapport d'insaturation sur la saturation des acides gras d'une valeur de 2.15, ce qui démontre un facteur d'insaturation élevé. L'évolution au cours du stockage de chaque valeur du rapport, en fonction de chaque pré-traitement et traitement est représentée dans les figures 31 à 33. Les valeurs K_s , K_m et K_d sont des valeurs indicatrices qui permettent d'évaluer le degré de l'oxydation des acides gras.

La fig. 31 montre une tendance à l'augmentation du rapport d'insaturation (K_s) au cours du stockage avec une variation de 0.30 % durant les 15 jours de stockage.

Toutefois, l'irradiation ne montre pas un effet qui contribue à cette augmentation, puisque les valeurs pour les échantillons irradiés et non irradiés sont similaires.

La fig. 32 montre aussi une tendance à l'augmentation de la valeur du rapport de monoinsaturation mais, on ne remarque aucune relation de dose à effet qui a été induite par l'irradiation et la variation n'est vraiment pas très significative ($p > 0.05$).

La fig. 33 montre, quant à elle, une tendance à la diminution de la valeur du rapport de polyinsaturation K_s due probablement à une oxydation extensive des acides gras polyinsaturés, mais cette tendance est négligeable au regard

Tableau XXIV. Effets de l'irradiation sur les rapports d'insaturation (Ks), de monoinsaturation (Km) et de polyinsaturation (Kd) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet irradiées (3 et 5 kGy) et non irradiées (témoins = 0kGy) au cours de la conservation à 4°C.

A¹	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
Ks	2.15	2.12	2.16	2.27	2.14	2.22	2.31	2.20	2.24	2.28	2.21	2.28	2.36	2.28	2.32	2.42	2.31	2.30
Km	1.77	1.73	1.78	1.88	1.77	1.85	1.93	1.83	1.88	1.93	1.86	1.93	2.00	1.93	1.97	2.05	1.95	1.96
Kd	0.35	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.32
V²	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
Ks	2.16	2.17	2.20	2.15	2.19	2.18	2.23	2.21	2.19	2.24	2.28	2.17	2.26	2.29	2.21	2.28	2.32	2.29
Km	1.75	1.77	1.81	1.78	1.82	1.81	1.86	1.85	1.84	1.88	1.92	1.84	1.92	1.93	1.89	1.96	1.96	1.96
Kd	0.39	0.38	0.38	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.35	0.31	0.33	0.33	0.32	0.31	0.33	0.31
M³	J1			J3			J6			J9			J12			J15		
dose	0kGy	3kGy	5kGy															
Ks	2.19	2.21	2.26	2.24	2.26	2.28	2.27	2.32	2.32	2.32	2.34	2.34	2.35	2.38	2.36	2.40	2.37	2.44
Km	1.84	1.87	1.90	1.89	1.91	1.91	1.93	1.97	1.94	1.97	1.99	1.98	2.00	2.03	2.01	2.05	2.03	2.06
Kd	0.33	0.32	0.34	0.32	0.33	0.34	0.32	0.33	0.35	0.32	0.33	0.34	0.32	0.33	0.34	0.33	0.33	0.35

A¹:cuisses de poulet emballées sous air, V²:cuisses de poulet emballées sous vide, M³:cuisses de poulet marinées et emballées sous air.
J: jours d'entreposage.

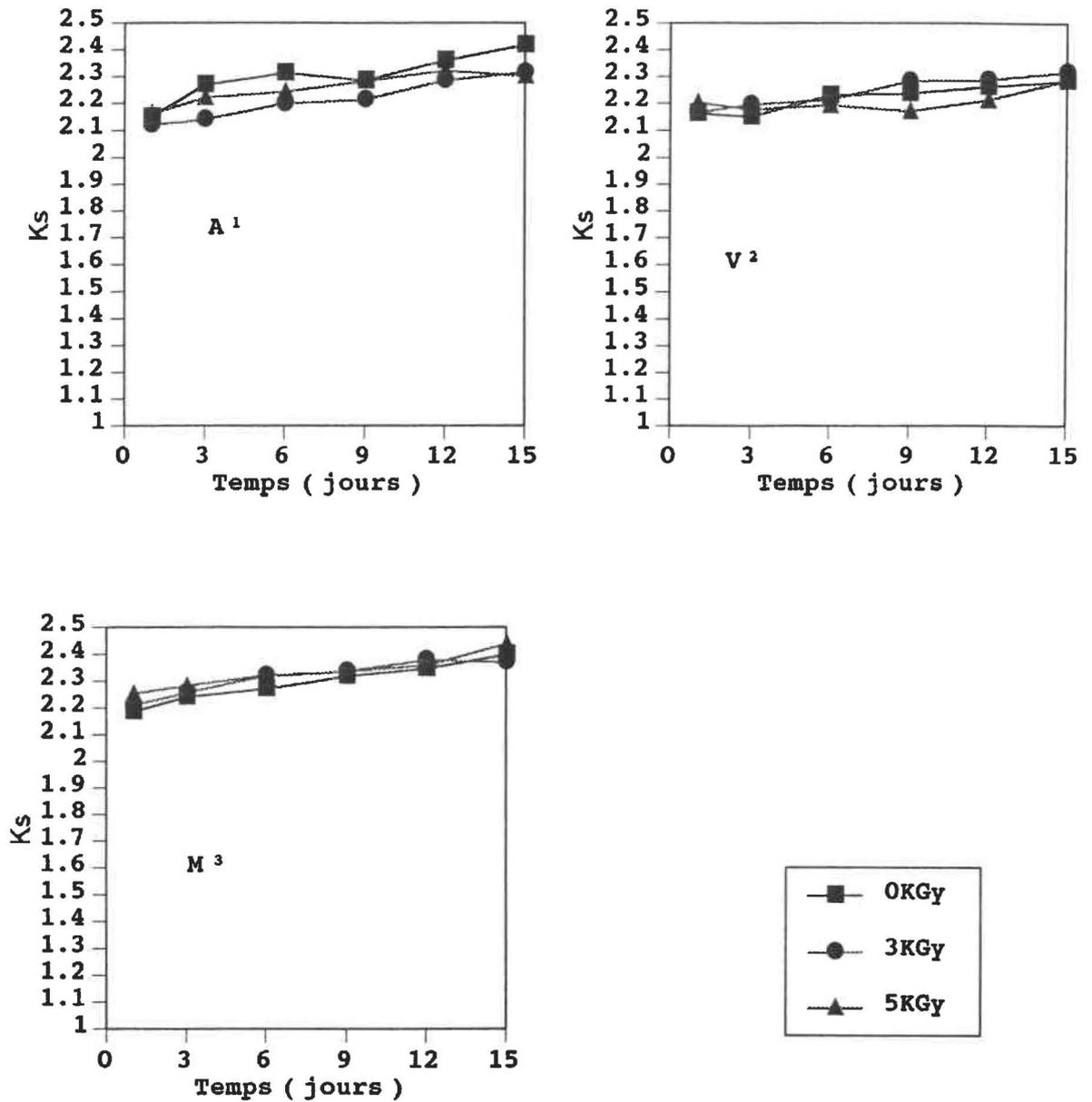


Fig.31 - Effet de l'irradiation et du stockage sur l'évolution du rapport d'insaturation (K_s) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

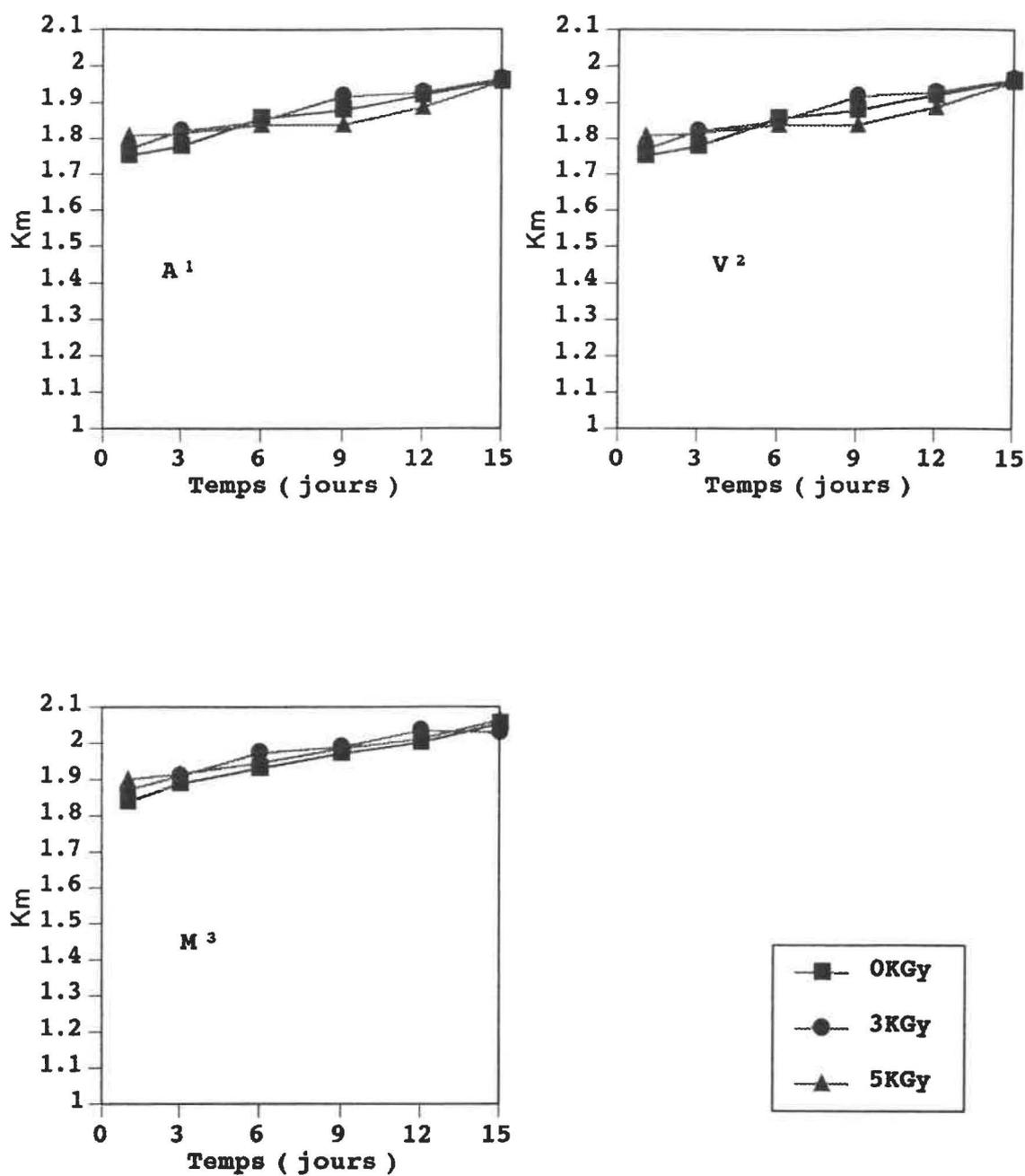


Fig.32 - Effet de l'irradiation et du stockage sur l'évolution du rapport de monoinsaturation (Km) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air; V²: vide; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

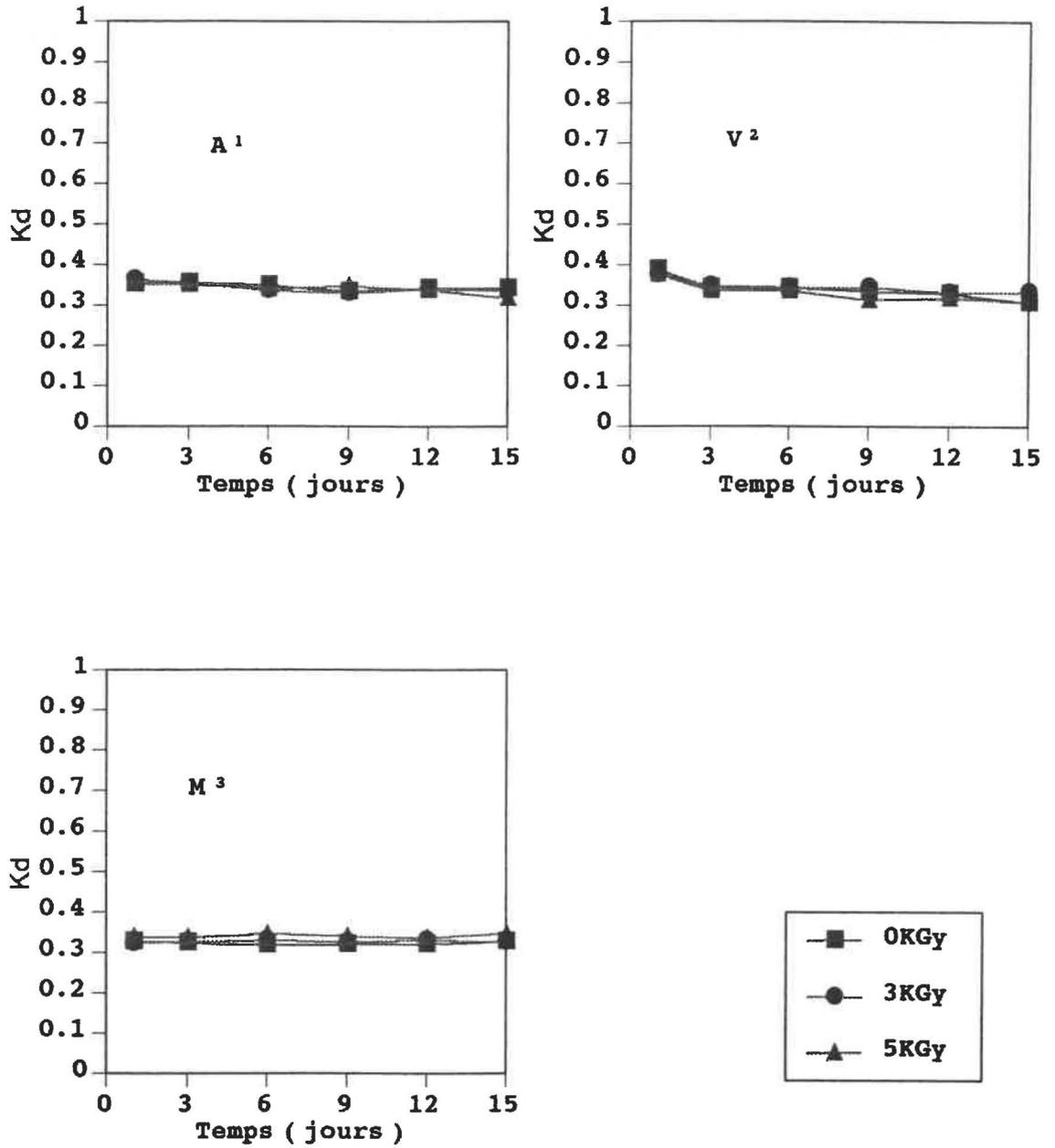


Fig.33 - Effet de l'irradiation et du stockage sur l'évolution du rapport de polyinsaturation (Kd) des acides gras des lipides neutres des cuisses de poulet traitées et stockées à 4°C sous: A¹: air ; V²: vide ; M³: marinade. Moyenne d'un échantillon en duplicata.

de la faible concentration en acides gras polyinsaturé par rapport aux acides gras saturés. Le Ks mariné semble être très stable durant toute la période de stockage.

3.0 ANALYSE STATISTIQUE DES ACIDES GRAS DES LIPIDES NEUTRES ET DES PHOSPHOLIPIDES DU POULET

3.1 Effets des pré-traitements

Les résultats des changements en concentration d'acide linoléique (C18=2) et les autres acides gras polyinsaturés à longue chaîne de carbone des lipides neutres sont représentés au tableau XXV.

Les résultats montrent que les pré-traitements ont un effet significatif ($p \leq 0.05$) sur le C18=2 ainsi que sur les acides gras polyinsaturés à longue chaîne de carbone. La concentration du C18=2, dérivé des lipides neutres dans le poulet mariné, est significativement inférieure ($p \leq 0.05$) à celle du poulet irradié sous air et sous vide.

Les résultats des changements en concentration d'acide linoléique (C18=2) et les autres acides gras polyinsaturés à longue chaîne de carbone des phospholipides sont également représentés aussi au tableau XXV.

Ces résultats montrent que les pré-traitements ont un effet significatif ($p \leq 0.05$) sur le C18=2 ainsi que sur les acides gras polyinsaturés à longue chaîne de carbone. La

Tableau XXV. Moyenne des traitements¹ montrant les effets de l'irradiation sous air, l'irradiation sous vide et l'irradiation en combinaison avec la marinade, sur les acides gras insaturés des lipides neutres (LN) et des phospholipides (PL) dans les cuisses de poulet frais.

	<u>AIR</u>	<u>VIDE</u>	<u>MARINADE</u>
<u>Acides gras dérivés des lipides neutres</u>			
C16=1	9.74 ^a	8.92 ^b	10.65 ^c
C18=1	47.78 ^a	48.29 ^b	48.03 ^c
C18=2	10.53 ^a	10.49 ^a	9.91 ^b
<u>Dérivés des phospholipides</u>			
C14=1	0.51 ^a	0.28 ^b	0.22 ^c
C14=1	0.51 ^a	0.28 ^b	0.22 ^c
C16=1	6.70 ^a	5.79 ^b	6.01 ^b
C18=1	26.52 ^a	27.04 ^b	25.19 ^c
C18=2	14.80 ^a	16.90 ^b	17.73 ^c
C18=3	0.31 ^a	0.40 ^b	0.50 ^c
C20=2	1.08 ^a	1.16 ^b	1.00 ^c
C20=3	1.53 ^a	1.42 ^b	1.47 ^c
C20=4	2.11 ^a	3.55 ^b	4.81 ^c

¹ Les moyennes portant la même lettre n'ont pas de différences significatives ($p > 0.05$).

concentration du C18=2, dérivé des phospholipides dans le poulet mariné, est plus élevée que celle des autres poulets irradiés sous air et sous vide. Les phospholipides extraits du poulet mariné contiennent aussi une plus grande concentration en acide linoléique (C18=3) et en acide arachidonique (C20=4). Le C20=4 ne se rencontre que dans les phospholipides.

3.2 Effets de la dose d'irradiation

L'irradiation aux doses de 3 et 5 kGy n'a pas affecté significativement les acides gras des lipides neutres, seuls des changements mineurs ont été observés. Ces changements n'ont pas été apparents à l'étude statistique ; aucune différence significative ($p > 0.05$) n'a été révélée.

La dose d'irradiation apparaît n'avoir aucun effet significatif ($p > 0.05$) sur le C18=2, dérivé des lipides neutres quand le poulet est irradié sous air ou sous vide. En revanche, dans le poulet mariné irradié à 5 kGy, la concentration en C18=3 est significativement élevée ($p \leq 0.05$). Toutefois, aucune différence significative ($p \leq 0.05$) n'a été décelée entre les échantillons témoins et les échantillons irradiés à 3 kGy (Tableau XXVI).

Les acides gras insaturés dérivés des phospholipides paraissent être plus affectés par la dose d'irradiation pour l'ensemble des échantillons (Tableau XXVII).

Tableau XXVI. Moyenne ¹ des traitements montrant les effets de la dose d'irradiation sur les acides gras insaturés des lipides neutres (NL) dans les cuisses de poulet frais.

	AIR	VIDE	MARINADE
<u>C18=2</u>			
0 kGy	10.45 ^a	10.51 ^a	9.77 ^a
3 kGy	10.67 ^a	10.67 ^a	9.84 ^a
5 kGy	10.46 ^a	10.30 ^a	10.14 ^b

¹ aucune différence significative ($p > 0.05$) entre les moyennes exposant la même lettre dans la colonne.

Tableau XXVII. Moyenne ¹ des traitements montrant les effets de la dose d'irradiation sur les acides gras insaturés des phospholipides (PL) dans les cuisses de poulet frais.

	AIR	VIDE	MARINADE
<u>C18=2</u>			
0 kGy	16.11 ^a	17.93 ^a	18.10 ^a
3 kGy	14.72 ^b	16.97 ^b	17.62 ^b
5 kGy	13.57 ^c	15.81 ^c	17.48 ^b
<u>C18=3</u>			
0 kGy	0.47 ^a	0.52 ^a	0.68 ^a
3 kGy	0.30 ^b	0.42 ^a	0.58 ^a
5 kGy	0.16 ^c	0.28 ^b	0.25 ^b
<u>C20=2</u>			
0 kGy	1.24 ^a	1.22 ^a	1.13 ^a
3 kGy	1.08 ^{ab}	1.16 ^a	0.99 ^b
5 kGy	0.93 ^b	1.10 ^a	0.86 ^c
<u>C20=3</u>			
0 kGy	1.48 ^a	1.53 ^a	1.45 ^a
3 kGy	1.71 ^a	1.47 ^a	1.57 ^a
5 kGy	1.41 ^a	1.25 ^b	1.40 ^a
<u>C20=4</u>			
0 kGy	3.36 ^a	4.30 ^a	5.29 ^a
3 kGy	2.25 ^a	3.42 ^b	5.22 ^a
5 kGy	0.73 ^b	2.91 ^b	3.92 ^b

¹ aucune différence significative ($p > 0.05$) entre les moyennes exposant la même lettre dans la colonne.

3.3 Effets de la durée du stockage

Les moyennes des traitements montrant la durée de stockage du poulet irradié sous air, sous vide ou en combinaison avec la marinade, indiquent, en général, que la concentration en acides des acides gras dérivés des lipides neutres diminue légèrement durant le stockage à 4°C (Tableau XXVIII).

La concentration de l'acide linoléique (C18=2) diminue légèrement avec une différence significative ($p \leq 0.05$) après 3 jours de stockage pour le poulet irradié sous vide. En revanche, la diminution n'est significative pour le poulet irradié sous air et mariné qu'après 6 jours de stockage effectifs.

Les moyennes des traitements montrant la durée de stockage du poulet irradié sous air, sous vide ou en combinaison avec la marinade, indiquent, en général, que la concentration en acides gras dérivés des phospholipides diminue légèrement durant le stockage à 4°C (Tableau XXIX).

L'acide linoléique (C18=3) et l'acide arachidonique (C20=4) dérivés des phospholipides, irradiés sous air, diminuent légèrement durant le stockage, mais l'analyse statistique montre que ces deux acides gras ne sont pas significativement affectés ($p > 0.05$) par la durée du stockage. Ceci est probablement dû à la variabilité des échantillons

Tableau XXVIII. Moyenne ¹ des traitements montrant les effets du temps de stockage sur les acides gras insaturés des lipides neutres (NL) dans les cuisses de poulet frais.

	<u>AIR</u>	<u>VIDE</u>	<u>MARINADE</u>
<u>C18=2</u>			
1 jour	11.30 ^a	11.89 ^a	10.22 ^a
3	11.03 ^a	10.75 ^b	10.12 ^{ab}
6	10.48 ^b	10.51 ^{bc}	9.97 ^{bc}
9	10.26 ^b	10.17 ^{cd}	9.79 ^{cd}
12	10.22 ^b	10.02 ^d	9.64 ^d
15	9.86 ^c	9.61 ^e	9.75 ^d

¹ aucune différence significative ($p > 0.05$) entre les moyennes exposant la même lettre dans la colonne.

Tableau XXIX. Moyenne ¹ des traitements montrant les effets du temps de stockage sur les acides gras insaturés des phospholipides (PL) dans les cuisses de poulet frais.

	AIR	VIDE	MARINADE
<u>C18=3</u>			
1 jour	0.47 ^a	0.66 ^a	0.82 ^a
3	0.40 ^a	0.58 ^{ab}	0.74 ^a
6	0.35 ^a	0.44 ^{bc}	0.60 ^{ab}
9	0.31 ^a	0.33 ^{cd}	0.45 ^{bc}
12	0.20 ^a	0.26 ^d	0.28 ^{cd}
15	0.14 ^a	0.15 ^d	0.15 ^d
<u>C20=3</u>			
1 jour	2.32 ^a	1.74 ^a	1.67 ^a
3	2.02 ^{ab}	1.64 ^{ab}	1.59 ^a
6	1.73 ^{bc}	1.48 ^{ac}	1.48 ^a
9	1.35 ^{cd}	1.34 ^{bcd}	1.42 ^a
12	1.04 ^{de}	1.22 ^d	1.36 ^a
15	0.74 ^e	1.09 ^d	1.31 ^a
<u>C20=4</u>			
1 jour	2.94 ^a	4.50 ^a	5.40 ^a
3	2.65 ^a	4.08 ^{ab}	5.09 ^{ab}
6	2.42 ^a	3.64 ^{bc}	4.88 ^{bc}
9	1.93 ^a	3.25 ^{cd}	4.73 ^{bd}
12	1.56 ^a	2.89 ^d	4.62 ^{cd}
15	1.16 ^a	2.91 ^{cd}	4.13 ^e

¹ aucune différence significative ($p > 0.05$) entre les moyennes exposant la même lettre dans la colonne.

analysés. En revanche, l'acide linoléique (C18=2) et l'acide arachidonique (C20=4) dérivés des phospholipides, irradiés sous vide et combinés avec la marinade, diminuent significativement ($p \leq 0.05$) durant le stockage. En conséquence, ils sont affectés par l'irradiation.

3.4 Équation de prédiction pour les acides gras

Le tableau XXX montre l'équation développée pour les acides gras dérivés des lipides neutres et des phospholipides. Le R^2 pour l'équation de l'acide linoléique (C18=2) dérivé des lipides neutres et irradié sous air est de 0.85 ce qui suggère que la durée du stockage, à elle seule, compte pour 85 % des variations observées dans les acides gras. Dans le cas du poulet mariné, les deux facteurs, soit la durée du stockage et la dose d'irradiation, ont contribué ensemble significativement ($p \leq 0.05$) aux changements observés pour le C18=2 dérivé des lipides neutres. De même, pour les acides gras des phospholipides, ces deux facteurs ont contribué significativement aux changements observés.

Tableau XXX. Coefficients des équations de régression des acides gras en relation avec la dose d'irradiation et le temps de stockage.

	CONSTANTE	A ₁	B ₂	R ²
<u>Dérivés des lipides neutres</u>				
C18=2 (Air)	11.275	-0.098	0	0.85
C18=2 (Vide)	11.532	-0.136	0	0.77
C18=2 (Marinade)	10.029	-0.039	0.069	0.75
<u>Dérivés des phospholipides</u>				
C18=2 (Air)	16.951	-0.106	-0.504	0.93
C18=2 (Vide)	18.717	-0.092	-0.415	0.95
C18=2 (Marinade)	18.577	-0.067	-0.126	0.90
C18=3 (Air)	0.651	-0.023	-0.063	0.78
C18=3 (Vide)	0.803	-0.036	-0.046	0.86
C18=3 (Marinade)	1.101	-0.049	-0.083	0.82
C20=2 (Air)	1.452	-0.027	-0.063	0.76
C20=3 (Air)	2.393	-0.112	0	0.85
C20=3 (Vide)	1.919	-0.047	-0.054	0.82
C20=4 (Air)	4.457	-0.127	-0.514	0.75
C20=4 (Vide)	5.197	-0.118	-0.297	0.85
C20=4 (Marinade)	6.093	-0.079	-0.256	0.72
A ₁ = temps de stockage (jours) B ₂ = dose d'irradiation(kGy)				

4.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE DU POULET

Le jury, composé de 10 personnes, a évalué la qualité organoleptique des cuisses de poulet sous deux aspects : la viande crue et la viande cuite. Les valeurs d'appréciation des critères étudiés étaient donc la moyenne 10.

L'analyse sensorielle a été effectuée pour le test triangulaire juste après l'irradiation et pour le test à l'échelle non graduée un jour après l'irradiation. Ceci pour nous permettre de nous situer dans le respect des normes canadiennes concernant la flore totale aérobie mésophile admises ($< 10^7$ UFC/g) (voir fig. 13).

Le test triangulaire utilisé pour évaluer l'odeur du poulet cru et cuit a été effectué juste après l'irradiation et a donné les résultats répertoriés au tableau XXXI.

Un léger changement de couleur (rosé) a été constaté après l'irradiation au cours des deux essais effectués. Pour l'odeur du poulet cru, emballé sous air et sous vide, 9 personnes sur 10 ont bien identifié dans les deux cas l'échantillon différent. Selon la table statistique de Roessler (1978) (voir annexe 5), 9 jugements sur 10 correspondent à une probabilité < 0.001 ce qui est largement inférieur à la valeur critique $p=0.05$. Ainsi la probabilité d'obtenir le même résultat par le seul fait du hasard est de 2 pour 1000.

Tableau XXXI : Effets de l'irradiation sur l'évaluation de l'odeur des cuisses de poulet irradiées à 5 kGy. (Test triangulaire).

Traitement	Poulet cru	Poulet cuit
Emballage sous air	9**	4
Emballage sous vide	9**	7*
Emballage sous air + marinade (ns)	4	4

Nombre total de participants: 10

* : Significatif à 2%

** : significatif à 0.3%

(ns):non significatif

Les résultats indiquent donc qu'une différence significative ($p \leq 0.05$) a été perçue entre les cuisses de poulet irradiées à 5 kGy et le contrôle (0 kGy).

En ce qui concerne les échantillons de poulet emballés sous vide et cuits, 7 personnes sur 10 ont identifié l'échantillon différent (Tableau XXXI) ce qui indique une différence significative de 2 % ($p \leq 0.05$). En revanche, pour les échantillons cuits, emballés sous air et ceux avec marinade, aucune différence significative n'a été perçue.

Les tests à l'échelle non graduée effectués un jour après l'irradiation (J1) sur les différents échantillons de cuisses de poulet pré-traitées (air, vide, marinade), irradiés à 5 kGy et cuits, sont répertoriés aux tableaux XXXII, XXXIII et XXXIV.

Ces tests ont été effectués selon l'évaluation de certaines caractéristiques organoleptiques des cuisses de poulet cuites : l'apparence, l'odeur, la saveur et l'appréciation globale. L'appréciation de ces caractéristiques a été réalisée sur une échelle non structurée de 15 cm.

Les résultats, pour les échantillons emballés sous vide, sous air et avec marinade (Tableaux XXXIII et XXXIV), n'ont montré aucune différence significative entre les échantillons irradiés et les échantillons témoins pour l'ensemble des caractéristiques étudiées. En revanche, pour le poulet emballé

Tableau XXXII : Effets de l'irradiation sur l'appréciation des caractéristiques des cuisses de poulet emballés sous air, cuits et irradiés à 5 kGy (échelle non graduée).

Caractéristique	Contrôle (cm)	Irradié (cm)
Apparence générale ^(ns)	6.10 ± 2.87	6.12 ± 2.78
Odeur*	6.12 ± 2.31	7.81 ± 1.41
Saveur**	6.91 ± 2.06	8.65 ± 1.79
Appréciation Globale ^(ns)	6.18 ± 2.87	7.65 ± 2.12

(ns):non significatif

* :différence notable avec une probabilité de 0.05

** :différence notable avec une probabilité de 0.01

Tableau XXXIII : Effets de l'irradiation sur l'appréciation des caractéristiques organoleptiques des cuisses de poulet emballées sous-vide et irradiées à 5 kGy. (échelle non graduée).

Caractéristique	Contrôle (cm)	Irradié (cm)
Apparence générale (ns)	8.78 ± 3.13 ⁽¹⁾	8.72 ± 2.80
Odeur (ns)	9.06 ± 2.42	8.37 ± 2.80
Saveur (ns)	8.71 ± 2.43	8.05 ± 2.92
Appréciation globale (ns)	8.36 ± 2.11	7.85 ± 2.78

(1) : écart type
(ns):non significatif

Tableau XXXIV : Effets de l'irradiation sur l'appréciation des caractéristiques organoleptiques des cuisses de poulet emballées sous air, marinées et irradiées à 5 kGy (échelle non graduée)

Caractéristique	Contrôle (cm)	Irradié (cm)
Apparence générale ^(ns)	7.83 ± 2.10 ⁽¹⁾	7.74 ± 2.29
Odeur ^(ns)	8.46 ± 2.67	8.06 ± 2.12
Saveur ^(ns)	8.88 ± 1.56	8.15 ± 2.14
Appréciation Globale (ns)	8.87 ± 1.36	8.12 ± 2.70

(1) : écart type

(ns):non significatif

sous air (Tableau XXXII), des différences significatives ont été perçues ($p \leq 0.05$) pour l'odeur et la saveur du poulet irradié à 5 kGy comparativement au contrôle. Mais, aucune différence significative n'a été observée pour l'appréciation globale. Toutefois, cette différence perçue avantage le poulet irradié puisque la saveur et l'odeur ont été mieux appréciées par le dégustateur.

Les résultats du tableau XXXII montrent une différence significative par rapport au contrôle ($p \leq 0.05$) perçue par les dégustateurs et concernant respectivement l'odeur et la saveur. Tandis que pour l'appréciation globale, l'évaluation des dégustateurs a été très diversifiée et n'a montré aucune différence significative pouvant nous permettre de porter un jugement. Malheureusement, il n'y a pas de consensus évident sur la description qualitative des remarques émises par le jury. En effet, pour un même panel, beaucoup de commentaires se contredisent. Cependant, on peut constater que les différences se basent toujours sur la texture et le goût. Les commentaires invoquent que les produits irradiés ont une texture sèche.

L'analyse de la variance a indiqué une meilleure appréciation globale pour l'odeur et la saveur du poulet irradié sous air comparativement au contrôle (Tableaux XXXV et XXXVI). Une différence significative $p \leq 0.05$ pour l'odeur et $p \leq 0.01$ pour la saveur a été relevée.

Tableau XXXV : Résultats statistiques de la variance concernant l'odeur du poulet emballé sous air.

Source de variation	Dl ⁽¹⁾	Sc ⁽²⁾	CM ⁽³⁾	F ⁽⁴⁾
Traitements	1	14.28	14.28	5.55*
Juges	9	43.08	4.78	1.86
Erreur	9	23.14	2.57	
Total	19	80.50		

(1):Degré de liberté

(2):Somme des carrés

(3):Carrés moyens

(4):Rapport des variances

* :Différence notable avec une probabilité de 0.05

Tableau XXXVI : Résultats statistiques de la variance concernant la saveur du poulet emballé sous air.

Source de variation	Dl	Sc	CM	F
Traitements	1	15.14	15.14	16.63**
Juges	9	59.13	6.57	7.22
Erreur	9	8.19	0.91	
Total	19	82.47		

** : Différence notable avec une probabilité de 0.01

DISCUSSION

1.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DU POULET

1.1 Effets de l'irradiation gamma sur la flore aérobie mésophile

L'application de l'irradiation gamma pour augmenter la durée de vie du poulet a été largement étudiée par plusieurs auteurs. Mulder (1984) a réuni les résultats de plusieurs chercheurs qui ont utilisé différentes doses d'irradiation et différentes températures de stockage et a constaté que le poulet traité à une même dose d'irradiation avait un temps de conservation différent d'une étude à l'autre. En outre, aucune donnée n'était consistante pour la même dose aux différentes températures de stockage. L'effet de la dose d'irradiation, dans ce cas-ci, est dépendant de la flore initiale : plus la flore totale est élevée, plus il restera de microorganismes dans le produit traité à une même dose.

Il est clair, à partir des résultats obtenus, que l'irradiation gamma a réduit considérablement les comptes totaux des bactéries aérobies qui dégradent le poulet.

1.1.1 Effets des pré-traitements sur la flore aérobie mésophile

L'analyse globale de la variance a indiqué que le pré-traitement a un effet significatif sur le nombre total de colonies aérobies viables trouvées dans les cuisses de poulet frais. Le poulet mariné a le nombre le plus faible de comptes

totaux de microorganismes de tous les poulets irradiés (3 et 5 kGy).

En ce qui concerne le poulet non irradié (témoin = 0 kGy), sa durée de vie est de 2 jours quand il est emballé sous air et sous vide et de 7 jours quand il est mariné. La marinade seule semble avoir un effet bactéricide sur les microorganismes ce qui nous permet de mettre en évidence le rôle du thym utilisé dans la marinade comme agent antibactérien. D'ailleurs, ceci corrobore les résultats obtenus par plusieurs chercheurs (Shelef *et al.*, 1980 ; Zaika *et al.*, 1983 ; Conner et Beuchat, 1984 ; Aboutabl *et al.*, 1986 ; Gallardo *et al.*, 1987 ; Farag *et al.*, 1989 ; Lattaoui et Tantaoui-Elaraki, 1994) qui ont mis en évidence l'activité antimicrobienne remarquable du thym envers différents microorganismes, tant ceux qui sont responsables de l'altération des aliments que ceux qui sont pathogènes.

Pour chaque pré-traitement (air, vide et marinade), le nombre total de microorganismes viables diminue avec l'augmentation de la dose d'irradiation.

1.1.2 Effets de la dose d'irradiation sur la flore aérobie mésophile

La durée de vie du poulet irradié sous air, sous vide et avec marinade est respectivement de 10, 11 et 15 jours, quand

il est irradié à 3 kGy et au-delà de 15 jours, quand il est irradié à 5 kGy.

L'irradiation à une dose de 3 kGy semble être en mesure de prolonger la durée de vie du poulet par un facteur de 2 quand il est conservé sous réfrigération à 4°C.

En revanche, l'irradiation à une dose de 5 kGy semble être, quant à elle, en mesure de prolonger la durée de vie du poulet par un facteur de 7 à 8 lors de la conservation sous réfrigération à 4°C et permet aussi d'obtenir un produit d'une qualité hygiénique supérieure qui est indemne de toute contamination microbienne aux premiers jours de stockage.

Ainsi, la relation dose à effet est mise en évidence et concorde avec les travaux antérieurs réalisés (Thayer et al., 1992).

La marinade, combinée à l'irradiation, joue un rôle synergique. Appliquée à une dose de 5 kGy, cette combinaison a permis d'avoir un produit quasiment stérile durant les 6 premiers jours de stockage.

Il est évident, comme l'ont souligné plusieurs auteurs (El Husseiny et al., 1986 ; Heath et al., 1990 ; Lescano et al., 1991 ; Copin et Bourgeois, 1992) qu'une dose de 3 kGy permet

d'améliorer nettement la qualité microbiologique du poulet en réduisant la flore bactérienne.

1.1.3 Effets de la durée de stockage sur la flore aérobie mésophile

Les effets du stockage ont montré une augmentation du nombre total de microorganismes en relation avec la durée du stockage.

Les courbes de l'évolution, au cours du stockage dans le poulet sous air et sous vide, ont chuté à un certain moment. Ceci est probablement dû aux bactéries aérobies qui sont détruites dans le milieu où il ne subsiste plus d'oxygène. Elles cèdent la place aux bactéries anaérobies strictes qui peuvent se multiplier et atteindre leur phase exponentielle. D'autres bactéries stressées par l'irradiation ont probablement proliféré après quelques jours de stockage.

1.2 Effets de l'irradiation gamma sur les salmonelles

Le pourcentage global des échantillons analysés contaminés par les salmonelles est de 30 à 50 %, ce qui corrobore le taux de contamination rapporté par plusieurs auteurs (Lilliard, 1989; Thayer et al., 1990, 1991, 1992 ; Jones et al., 1991 ; Bailey, 1993). Ce taux semble assez élevé dans notre cas.

L'irradiation, appliquée à une dose de 3 kGy, semble être inefficace pour détruire toutes les salmonelles présentes dans les échantillons. En effet, des salmonelles ont été isolées dans les échantillons irradiés sous air et sous vide, 1 jour après l'irradiation. En revanche, l'application d'une dose de 3 kGy combinée à la marinade semble avoir un effet synergique et a permis de détruire les salmonelles présentes dans les échantillons. Ces échantillons sont restés indemnes de Salmonella jusqu'au douzième jour de stockage. L'inefficacité de la dose de 3 kGy à détruire les salmonelles a été rapportée par plusieurs auteurs (Mulder, 1982; Hanis et al., 1989; Heath, 1990; Katta et al., 1991 et Thayer et al., 1992), ce qui corrobore nos résultats.

Il est évident qu'à 3 kGy la qualité microbiologique est améliorée, mais cette dose ne permet malheureusement pas de résoudre le problème des contaminations par les salmonelles.

L'application d'une dose de 5 kGy a, quant à elle, permis de détruire complètement les salmonelles présentes et de maintenir les échantillons irradiés sous air et avec marinade indemnes de toute présence de Salmonella durant 15 jours. Cette dose permet ainsi de mettre sur la marché un produit sain, indemne de toute contamination aux salmonelles.

La prévention de la contamination par les salmonelles est difficilement réalisable par les différents procédés classiques indiqués dans la revue de littérature. Les salmonelles sont partout et chaque procédé a ses limites et s'exerce avec plus ou moins d'efficacité. En effet, l'irradiation chez les animaux porteurs semble être difficile à réaliser (Pivnick et Nurmi, 1982). La décontamination des denrées alimentaires crues est délicate en raison des modifications qui peuvent être apportées (Lahellec et al., 1986). La cuisson à des températures adéquates permet de prévenir la contamination mais souvent ces températures n'arrivent pas à atteindre le coeur du produit pour y détruire toutes les salmonelles (Jones et al., 1991).

Ainsi, l'irradiation à 5 kGy semble être un moyen efficace de prévention de la contamination aux salmonelles ce qui lui a permis d'être adopté par plusieurs pays.

2.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ BIOCHIMIQUE DU POULET

2.1 Effets de l'irradiation gamma sur les acides gras des lipides neutres et des phospholipides

L'étude des effets de l'irradiation combinés aux trois paramètres étudiés à savoir l'effet des pré-traitements, l'effet de la dose d'irradiation et l'effet de la durée du stockage sur les acides gras nous permet d'isoler le problème de la dégradation des acides gras.

Les acides gras non identifiés (NI) dans les échantillons irradiés à 3 et 5 kGy qui semblaient, au départ, être des produits générés par l'irradiation, ont le même profil que ceux trouvés dans les échantillons contrôle (0 kGy) ce qui suppose que la variation dans ces composés non identifiés n'est pas induite par l'irradiation. Ces acides gras ne sont donc pas des composés radiolytiques. Cette observation est d'ailleurs en accord avec la conclusion émise par Rady et al. (1988) qui ont, eux aussi, fait la constatation de la similitude des acides gras non identifiés aussi bien dans le poulet irradié à 10 kGy que dans le contrôle.

2.1.1 Effets des pré-traitements

Les résultats ont montré que les pré-traitements ont un effet significatif ($p \leq 0.05$) sur le C18=2 ainsi que sur les acides gras polyinsaturés à longue chaîne de carbone. Cette observation est contraire à celle notée dans le cas du C18=2 dérivé des lipides neutres. Elle nous permet de suggérer que la marinade assure une meilleure protection pour le C18=2 dérivé des phospholipides que pour le C18=2 dérivé des lipides neutres.

2.1.2 Effets de la dose d'irradiation

Si les acides gras insaturés dérivés des lipides neutres quand le poulet est irradié sous air ou sous vide, paraissent

ne pas être affectés par la dose d'irradiation, ceux par contre qui sont dérivés des phospholipides apparaissent être plus affectés par la dose d'irradiation pour l'ensemble des échantillons.

La relation dose à effet est mise en évidence dans le cas de ces acides gras polyinsaturés qui sont les plus radiosensibles. En effet, Hassan et Shams El Din (1986) ont rapporté que les pertes dans la concentration des acides gras polyinsaturés constatées après l'irradiation sont dues à la dégradation oxydative. Cette dégradation oxydative peut être due soit à l'effet direct soit à l'effet indirect de l'irradiation et elle peut être responsable des odeurs et saveurs indésirables développées dans les produits alimentaires.

Maxwell et Rady (1989) ont aussi rapporté que l'emballage sous air ou sous vide, combiné à l'irradiation, avait un effet minime sur les acides gras dérivés de la fraction neutre et polaire des lipides du poulet irradié à des doses variant entre 1 et 10 kGy.

Hassan et al. (1988) ont observé qu'à des doses > 10 kGy, les acides gras des lipides de poulet diminuaient avec l'augmentation de la dose d'irradiation.

Les réactions qui peuvent se produire pour les acides gras saturés surtout le C16=0 et le C18=0 par l'effet de l'irradiation sont : rupture d'une liaison au niveau du groupement carboxyle, perte d'un CO₂, détachement d'un groupement CH₃COOH et formation de radicaux libres prenant plusieurs voies (recombinaison radical-radical ou réaction molécule-radical) (Morehouse et al., 1993).

2.1.3 Effets de la durée du stockage

Les réactions qui peuvent se produire au cours du stockage sont diverses, mais l'augmentation des acides gras saturés est liée à l'oxydation directe ou indirecte des acides gras insaturés.

Le C16=0 sous air non irradié (0 kGy) diminue relativement vite au cours du stockage à cause de l'hydrolyse enzymatique causée par la croissance bactérienne mais cette diminution est relativement négligeable. D'ailleurs, Katta et al. (1991) ont, eux aussi, constaté la diminution de la concentration en acide palmitique des lipides neutres du poulet irradié à 2, 3 et 4 kGy. Cette diminution était inversement proportionnelle à l'augmentation de la dose d'irradiation.

Le C18=0 subit une légère modification. Cette modification peut être due à la fission de la molécule de C18=0 qui mène à la libération de certains acides gras volatils.

La concentration de l'acide homo- γ -linoléique (acide eicosatriénoïque : C20=3) dérivé des phospholipides irradiés en combinaison avec la marinade, n'est pas du tout affectée par la durée du stockage. En revanche, le C20=3, dérivé des phospholipides irradiés sous air ou sous vide, diminue durant le stockage.

En accord avec Yamauchi et al. (1982) et Pikul et al. (1984), les phospholipides sont plus instables et plus favorables à l'oxydation que les lipides neutres car les phospholipides contiennent un plus grand pourcentage d'acides gras insaturés. En effet, Igène et Pearson (1979) ont montré que les acides gras polyinsaturés dérivés des phospholipides contribuent, de façon majeure, au développement du rancissement des viandes crues durant le stockage au congélateur.

Les changements négligeables dans la composition en acides gras polyinsaturés observés durant le stockage aussi bien dans le poulet irradié (3 et 5 kGy) que dans le poulet non irradié (témoin = 0 kGy) peuvent être dus soit à l'oxydation directe de ces acides qui subissent une coupure au niveau de leur double liaison, soit par l'effet indirect des radicaux libres qui peuvent agir sur ces acides gras provoquant une fission dans la chaîne carbonée pour produire des hydrocarbures. Ainsi, la fission de l'acide linoléique (C18=2) peut former des aldéhydes, des cétones, des alcools et autres ; la fission de

l'acide linoléique (C18=3) peut former de l'éthane et de l'éthène (Lesgards et al., 1993).

Cette conclusion, inspirée de Lesgards et al. (1993), est aussi étayée par l'observation de Hassan et Shams El Din (1986) qui ont rapporté que la diminution de la concentration en acides gras polyinsaturés est due principalement à la détérioration oxydative.

Le C18=1 augmente avec une très négligeable variation dans la concentration des acides gras monoinsaturés ce qui peut être due à la formation de composés de même nature que les monoinsaturés issus des radicaux libres engendrés par l'oxydation.

Les acides gras polyinsaturés diminuent considérablement. La diminution est le reflet d'une oxydation des liaisons insaturées qui peut être induite par l'oxygène dans le cas du poulet emballé sous air. Ces acides subissent une coupure au niveau de leur double liaison par les différentes réactions d'oxydation. Les composés à courte chaîne sont formés à partir de la fission d'une chaîne de 18 atomes de carbone (C18) qui inclut les hydrocarbures tels l'éthane et l'éthène formés à partir de l'acide linoléique (C18=3), le pentane à partir de l'acide linoléique (C18=2), les aldéhydes, les cétones, les esters, les lactones, les alcools et les éthers à partir de

l'ensemble des acides gras saturés ou insaturés (Lesgards et al., 1993).

Elle peut aussi être induite par les ions métalliques et par les lipoxygénases naturelles des tissus. L'enzyme lipoxygénase favorise la réaction entre l'oxygène et les acides gras, surtout l'acide linoléique qui est le plus oxydable des acides gras. Les lipides peuvent être hydrolysés et donner des acides gras libres et du glycérol par l'action de l'enzyme lipase (Doyon, 1990).

2.2 Effets de l'irradiation gamma sur le contenu total des acides gras insaturés

Nos résultats ont montré que les acides gras di-insaturés (surtout le C18=2) sont les plus affectés et semblent être les acides gras les plus radiosensibles. Cette affectation est due probablement soit à l'effet direct de l'irradiation sur les molécules d'acides gras soit aux radicaux libres produits lors de l'oxydation des acides gras.

La majorité des changements dans les acides gras est attribuée à l'action indirecte de l'irradiation (Hassan et al., 1988).

Les changements dans la composition des acides gras des lipides sont des indicateurs indirects importants dans l'oxydation des viandes entreposées (Keller et Kinsella, 1973).

Wu et Sheldon (1988) ont rapporté que les valeurs de l'acide thiobarbiturique (utilisé comme méthode d'évaluation de l'oxydation) des lipides extraits des rouleaux de dinde pré-cuits et entreposés au réfrigérateur pendant 4 jours, augmentent considérablement lorsque les acides gras polyinsaturés ayant plusieurs double liaisons diminuent.

D'autres résultats identiques ont été rapportés par Whang et Peng (1986) concernant la viande hachée de dinde conservée au réfrigérateur et au congélateur.

Les effets du stockage sur la composition en acides gras sont plus importants quand le poulet est stocké au réfrigérateur que lorsqu'il est stocké au congélateur.

Dans cette étude, nous avons remarqué que la marinade offre une meilleure protection à l'acide homo- τ -linoléinique (C20=3) et à l'acide arachidonique (C20=4) au cours du stockage.

D'ailleurs, Hassan et al. (1988), dans son étude sur l'oxydation des acides gras du poulet, a constaté que le niveau d'oxydation était beaucoup plus rapide durant les 12 premiers jours de stockage à 4°C, suivi ensuite d'un niveau d'oxydation beaucoup plus modéré.

Ainsi la marinade utilisée pour prévenir l'oxydation des acides gras a bien rempli son rôle de protecteur contre l'oxydation des acides gras polyinsaturés qui sont les plus sensibles à l'irradiation. Cette marinade était composée de thym, de romarin et de jus de citron.

L'activité antioxydante de notre marinade est surtout attribuée au romarin dont les propriétés antioxydantes sont reconnues depuis longtemps par plusieurs chercheurs qui ont extrait certains composés du romarin. Ces composés semblaient avoir des molécules avec des noyaux aromatiques possédant des propriétés antioxydantes (Chang et al., 1977 ; Wu et al., 1982; Barbut, 1985 ; Lai et al., 1991). Barbut (1985) a constaté que les extraits d'huiles essentielles de romarin possédaient des propriétés antioxydantes supérieures au BHA/BHT et à l'acide citrique dans la prévention de l'oxydation des lipides dans les saucisses de dinde. Chang et al. (1977) vont dans le même sens et ont observé que le romarin comme antioxydant possède en plus une faible volatilité et une meilleure stabilité que le BHA et le BHT le rendant plus accessible pour un usage à des températures élevées telles que les fritures. Lai et al. (1991) a aussi rapporté que le romarin moulu, utilisé dans les pépites de poulet pour prévenir l'oxydation des acides gras polyinsaturés, a été plus efficace que tous les autres conservateurs utilisés auparavant.

Mac Neil et al. (1973) ont rapporté que le poulet traité aux extraits de romarin avait développé une meilleure saveur que tous les autres poulet traités aux différents additifs.

Chang et al. (1977) ont utilisé une quantité infime (0.02%) d'extrait de romarin dans l'huile de soja stockée à la température ambiante sous une lumière intense et dans des bouteilles en verre transparent et ils ont observé un abaissement sensible de la formation des peroxydes.

Dans plusieurs cas, les acides gras polyinsaturés, surtout l'acide arachidonique (C20=4) dérivé des phospholipides est particulièrement sensible à l'oxydation et décroît progressivement avec le stockage (Whang et Peng, 1986).

Le rapport d'insaturation K_s a augmenté légèrement au cours du stockage. Cette variation n'est pas très significative ($p > 0.05$) mais peut s'expliquer surtout par le fait de l'augmentation du C18=1 et du C16=1. Ces deux acides gras, dont le C18=1 est le composant majeur avec 47 % à lui seul, contribuent à cette augmentation du K_s .

Nos résultats confirment ainsi toutes ces études, puisque l'utilisation d'un mélange de thym, de romarin et de jus de citron a permis de protéger les acides gras polyinsaturés, surtout l'acide linoléique (C18=2), l'acide linoléique (C18=3) et l'acide arachidonique (C20=4) dérivés des phospholipides.

Normalement, l'oxydation des lipides est plus importante en présence d'oxygène. Nos échantillons irradiés sous air ont donné des résultats qui n'étaient pas très significatifs en ce qui concerne les lipides neutres. Ceci peut s'expliquer parce qu'à de faibles doses (\leq à 5 kGy), les modifications induites par l'irradiation sont minimales. D'ailleurs, nos résultats sont en accord avec plusieurs chercheurs (Gruiz et Kiss, 1987 ; Rady et al., 1988; Maxwell et Rady, 1989 ; Katta et al., 1991).

Gruiz et Kiss (1987), en étudiant les effets de l'irradiation à différentes doses (0, 4 et 50 kGy) sur le poulet, ont observé qu'à une dose de 4 kGy, aucun changement significatif n'est survenu aux différents acides gras. En revanche, à 50 kGy, ils ont constaté que la concentration en acide palmitique (C16=0) et l'acide stéarique (C18=0) avait baissé par rapport au contrôle non irradié.

Rady et al. (1988), dans leur étude, n'ont, eux aussi, observé aucun changement significatif dans les acides gras des fractions neutres et polaires des lipides du poulet irradié à différentes doses (0, 1, 3, 6 et 10 kGy) et emballé sous air et sous vide.

Maxwell et Rady (1989) ont, eux aussi, observé des changements très négligeables dans les acides gras des lipides de poulet mais seulement à des doses de 6 et 10 kGy.

D'ailleurs, ces changements minimes, appliqués à l'analyse statistique, se sont révélés non significatifs ($p > 0.05$).

Katta et al. (1991) n'ont, quant à eux, observé aucun changement significatif dans les acides gras polyinsaturés des lipides de poulet, mais ont constaté un changement significatif ($p < 0.01$) pour les acides gras saturés surtout l'acide palmitique (C16=0) qui a baissé et pour l'acide stéarique (C18=0) qui a augmenté.

Lee et Dawson (1973) ont démontré que les phospholipides sont les plus sensibles à la dégradation. La concentration plus élevée en acides gras polyinsaturés des phospholipides (27 % environ) par rapport aux lipides neutres (11 % environ) les rend plus vulnérables à l'oxydation. Ces acides gras polyinsaturés s'oxydent plus rapidement que les acides gras des lipides neutres (Love, 1987).

3.0 EFFETS DE L'IRRADIATION GAMMA SUR LA QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE DU POULET

Un léger changement de couleur (rosé) a été constaté après l'irradiation au cours des deux essais effectués. Ceci rejoint l'observation de Lescano et al. (1991) qui ont noté, eux aussi, ce changement de couleur suite à l'irradiation.

Les résultats ont indiqué qu'une différence significative ($p \leq 0.05$) a été perçue entre les cuisses de poulet irradiées à

5 kGy et le contrôle (0 kGy) dans le cas du test triangulaire. Ces résultats sont d'ailleurs similaires aux résultats obtenus à des doses < à 5 kGy par plusieurs chercheurs (Lacroix et al., 1991; Lescano et al., 1991).

Comme les échantillons ont été évalués peu de temps après l'irradiation, les odeurs caractéristiques de l'effet des rayonnements ionisants étaient encore présentes dans le poulet cru. Les odeurs décelées par le jury correspondraient à la production lors de l'irradiation de certaines substances volatiles responsables des changements d'odeur et qui ont été identifiées par plusieurs chercheurs (Colebey et al., 1960 ; Mercuri et al., 1967 et Hansen et al., 1987).

Le temps d'entreposage atténue les différences organoleptiques entre les échantillons irradiés et les échantillons témoins (Lacroix et al., 1991). En effet, Hansen et al. (1987) ont démontré que la quantité initiale de composés volatils (cétones, esters d'acides gras, indole, ammoniac, aldéhydes) est plus importante dans le poulet irradié que dans le non irradié. Cependant, le taux de substances volatiles varie de façon très lente dans le poulet irradié au cours du stockage, alors que pour le non irradié, les composés volatils apparaissent très rapidement, par autooxydation et par réactions enzymatiques.

Si les résultats sont identiques dans les deux cas, aussi bien pour le poulet sous air que pour le poulet sous vide, ceci pourrait probablement être dû à la pénétration d'une certaine quantité infime d'oxygène dans le film Cryovac BBI (voir tableau XVIII), utilisé lors de l'irradiation. Ce film plastique autorisé comme emballage sous vide pour les viandes et autres produits, n'assure malheureusement pas un effet barrière total quand il est irradié. Ce phénomène peut être expliqué aussi par la formation de gaz à l'intérieur du film plastique, car certains plastiques contenant des halogènes sont sensibles aux rayonnements ionisants et libèrent des gaz halogénés (Henon, 1983).

Pour pallier au problème de la sensibilité de certains films plastiques à l'irradiation, de nouveaux emballages composés de plusieurs couches de plastiques laminées assurant un meilleur effet barrière à l'oxygène, ont été développés en Europe. Mais, ces emballages coûtent excessivement chers et leur utilisation peut gonfler le prix de vente du poulet.

Aucune différence significative n'a été perçue dans les échantillons cuits, emballés sous air et ceux avec marinade. Ceci montre que la cuisson, dans le cas du poulet emballé sous air, a fait disparaître les saveurs générées par l'irradiation ce qui est en accord avec les résultats obtenus par plusieurs chercheurs (El Wakeil et al., 1978 ; Kahan et Howker, 1978 ;

Hanis *et al.*, 1989 ; Lacroix *et al.*, 1991 ; Lescano *et al.*, 1991). Pour le poulet mariné, la saveur de la marinade comme nous l'avons déjà souligné auparavant, a masqué les autres saveurs.

Les échantillons, emballés sous vide et avec marinade, testés à l'échelle graduée, n'ont montré aucune différence significative entre les échantillons irradiés et les échantillons témoins pour l'ensemble des caractéristiques étudiées. Par contre, les échantillons emballés sous air ont montré une différence significative qui a été perçue par les dégustateurs en ce qui concerne l'odeur et la saveur, mais pas sur l'apparence générale. Cette différence est notable et confirme les résultats obtenus par Byun *et al.* (1985) ce qui peut s'expliquer de la même manière qu'indiqué dans le cas des tests triangulaires. Toutefois, d'après Coleby *et al.* (1960) et Mercuri *et al.* (1967), à des doses de 2.5 kGy, aucun changement ne peut être perçu avant ou après cuisson, que ce soit de la viande rôtie ou cuite à la façon bain-marie, lorsque celle-ci est suivie d'un entreposage à 4°C.

Le fait que certains commentaires invoquent la sécheresse ou la dureté dans la texture du poulet irradié peut s'expliquer parce que ces échantillons ont perdu davantage de poids (plus grande perte d'eau) que les échantillons non irradiés.

En général, les changements dans l'odeur et la saveur qui surviennent à partir de doses ≥ 5 kGy, disparaissent au cours du stockage et lors de la cuisson (Lacroix et al., 1991).

Dans cette étude, les changements relevés n'étaient perçus que dans le cas du poulet irradié sous air, et cela à la faveur du poulet irradié qui a été mieux apprécié que le poulet non irradié.

Si, dans le cas du poulet mariné, aucune différence significative n'a été perçue, cela peut s'expliquer par le fait que la marinade a communiqué au poulet la saveur et l'odeur caractéristiques des épices (thym et romarin) masquant ainsi toutes les autres caractéristiques.

En revanche, le cas du poulet irradié sous air où une différence significative a été perçue entre le contrôle et l'irradié peut s'expliquer de trois manières :

- 1) soit que les dégustateurs ont évalué le poulet sur des caractéristiques purement subjectives, c'est-à-dire d'une part, selon leurs propres habitudes alimentaires ou encore, d'autre part, leur comportement a été conditionné par la volonté de vouloir à tout prix trouver un échantillon différent ; cette hypothèse rejoint d'ailleurs celle du caractère subjectif de l'évaluation sensorielle

souligné par Thomas et Dimick (1971) et Sudamardji et Urbain (1972),

- 2) soit que l'irradiation, dans ce cas-ci, a généré des composés soufrés tels que le diméthyltrisulfide identifié par Swoboda (1970) dans le poulet rôti à une concentration de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb) et en conséquence, les dégustateurs ont perçu une odeur et une saveur plus agréables attribuables à ce composé qui dégage une saveur aromatique ; d'ailleurs, plusieurs auteurs (Ballance, 1961 ; Mecchi et al., 1964 ; Pippen et al., 1969) ont montré que les composés soufrés dissous dans les lipides se décomposaient en cours de cuisson et libéraient d'autres variétés de composés plus savoureux,
- 3) L'irradiation en présence d'air a probablement entraîné une oxydation mineure des acides gras qui, à son tour, a généré des composés carbonyles (en petites quantités) contribuant ainsi favorablement à l'amélioration du goût du poulet (Hansen et al., 1987).

En ce qui concerne le poulet irradié sous vide, l'évaluation sensorielle effectuée par les dégustateurs, n'a révélé aucune différence significative.

Globalement, l'irradiation du poulet à une dose de 5 kGy n'a pas causé de modifications négatives perceptibles lors de

la dégustation. Le poulet irradié a été accepté par les dégustateurs qui n'ont pas fait de différence avec le poulet non irradié.

C O N C L U S I O N

Les échantillons de poulet témoin analysés un jour après leur achat étaient très contaminés par la flore aérobie mésophile (10^5 à 10^6 germes/g) et par les salmonelles (30 à 50%), ce qui nous permet de tirer la sonnette d'alarme sur ce produit de plus en plus apprécié par les consommateurs (20% de la ration alimentaire).

Cette contamination représente deux problèmes principaux, d'un côté le problème de la détérioration du poulet engendrant des pertes en denrées alimentaires au moment même où certains pays du tiers monde souffrent d'insuffisance alimentaire, et de l'autre côté le problème du danger des toxi-infections alimentaires qui peuvent survenir si toutes les précautions de stockage au froid et de cuisson à des températures adéquates ne sont pas respectées.

Satisfaire aux besoins des consommateurs exige deux notions qui se modifient régulièrement avec les habitudes. La première, c'est celle de satisfaire à leurs goûts qui se modifient constamment avec les habitudes. La seconde, c'est celle de leur présenter un produit conservé qui doit avoir les mêmes caractéristiques que le produit frais, et qui, de plus, doit être indemne de germes pathogènes pouvant nuire à sa santé.

Cette étude nous a permis d'évaluer le procédé d'irradiation appliqué au poulet pour mieux satisfaire ces exigences. L'irradiation est un procédé qui, à notre avis, dispose d'un avenir prometteur. Les conditions expérimentales utilisées dans cette étude ont donné des résultats qui démontrent que l'application d'une dose de 3 kGy s'avère insuffisante à détruire entièrement les salmonelles. En revanche, l'application d'une dose d'irradiation de 5 kGy s'est avérée par contre hautement efficace dans la destruction des salmonelles et des autres microorganismes psychotrophes et mésophiles offrant ainsi un produit sain et de qualité. Elle n'a pas généré de modifications organoleptiques majeures, responsables d'odeurs et de saveurs désagréables. Au contraire, les dégustateurs ont mieux apprécié le poulet irradié que le non irradié.

L'utilisation de l'irradiation, associée avec un pré-traitement de marinade permet d'améliorer considérablement les qualités hygiéniques du poulet.

En effet, l'utilisation de la marinade a un effet synergique avec l'irradiation pour réduire la charge microbienne et le degré d'oxydation des acides gras insaturés. Les huiles essentielles contenues dans le thym et le romarin ont agi comme des agents antimicrobiens en contrôlant la prolifération microbienne et en prévenant la détérioration du

poulet par les bactéries durant le stockage permettant ainsi de prolonger la durée de vie du poulet conservé au réfrigérateur (4°C).

Les différents composés phénoliques contenus dans le romarin avaient quant à eux des propriétés antioxydantes en inhibant l'oxydation des gras et en assurant un effet protecteur contre la dégradation des acides gras des lipides neutres et des phospholipides.

L'étude a montré que la marinade disposait d'une meilleure protection pour l'acide gras linoléique (C18=2) dérivé des phospholipides et qui est l'un des acides les plus affectés par l'irradiation.

L'irradiation du poulet, pour résoudre le problème de contamination, est une solution à envisager au Canada afin de réduire les pertes dues à l'altération du poulet et d'éliminer les problèmes de salmonelloses qui coûtent très cher à la collectivité.

REMERCIEMENTS

Cette recherche est dédiée à la mémoire du Docteur Marcel Gagnon, puisque sans lui je n'aurais jamais pu effectuer cette recherche. Qu'il me soit permis de témoigner ma profonde gratitude pour un grand homme que je n'oublierai jamais, tant pour ses qualités humaines, ses connaissances scientifiques, sa disponibilité et ses conseils avisés.

Docteur Gagnon était attentif et chaleureux, exigeant, mais c'était une exigence qui procédait du respect des autres et de soi-même. Nous l'avons vu affronter la maladie avec tant de courage, de résolution et de discrétion que nous avons fini par le croire invulnérable. Pour tous ceux qui ont travaillé avec lui, c'est une perte immense, c'est un déchirement. À nous tous, il a laissé à jamais gravé dans notre mémoire le souvenir de la leçon d'existence d'une âme brillante. Qu'il repose en paix.

Je tiens à remercier vivement le Docteur Monique Lacroix, ma directrice de mémoire, professeur au C.R.M.A. pour son soutien technique et moral qui n'a jamais fait défaut. Le Docteur Lacroix n'a jamais ménagé son temps ni sa patience chaque fois que je la sollicitais. Qu'elle soit assurée de ma profonde gratitude et de ma sincère et respectueuse estime.

Un grand merci à Monsieur Raymond Charbonneau, professeur au C.R.M.A., pour ses conseils techniques et son support

matériel en microbiologie.

Merci aussi à Michelle Jobin, Chantal Thibault, Benoît Latreille et Sylvain Milot, agents de recherche au C.R.M.A., pour leur appui technique qui a été très apprécié.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du corps professoral de l'Institut Armand Frappier pour la formation scientifique dispensée.

Je tiens de plus à remercier toute l'équipe de Nordion International Inc., notamment Robert Lalonde, Jeannot Proulx et Daniel Lévesque pour les conseils techniques sur les irradiateurs et l'informatique.

Merci également à Marie Désy, pour l'analyse statistiques des premiers résultats obtenus, ainsi qu'à toute l'équipe de la bibliothèque pour leur assistance à tout moment.

Je remercie aussi tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude, sans oublier Stéphan Lessard, Denis Brault, Nketsa-Tabiri, Mustapha Moussaid, ainsi que l'équipe du service de l'informatique.

Et enfin merci à Sabine Venturelli, ma compagne de toujours, pour son soutien moral pendant les moments difficiles ainsi que sa dactylographie qui est meilleure que la mienne.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABOUTABL E.A., SOLIMAN F.M., EL-ZALABAMI S.M., BRUNKE E.J. and EL KERSH T.A. 1986. Essential oil of *Thymus bovei* Benth. Egypt J. Pharm. Sci. 27(1-4) : 209-214.
- AGRICULTURE CANADA. 1993. Objectif salubrité. Bulletin sur les toxi-infections alimentaires 27 : 1-4.
- AGRICULTURE CANADA. 1994. Statistique sur la consommation de porc, boeuf et de volaille per capita. Canada 1974 à 1993. Compilation GREPA.
- AHN D.U., WOLFE F.H. and SIM J.S. 1993. Prevention of lipid oxidation in precooked turkey meat patties with hot packaging and antioxidant combinations. J. Food Science 58(2): 283-287.
- AJUYAH A.O., FENTON F.H., HARDIN R.T. and SIN J.S. 1993. Measuring lipid oxidation volatiles in meats. J. Food Science 58(2): 270-273.
- AKTUG S.E. and KARAPINAR M. 1987. Inhibition of foodborne pathogens by thymol, eugenol, menthol and anethole. Int. J. Food Microbiol. 4: 161-166.
- ALLEN C.E. and FOEGEDING E.A. 1981. Some lipid characteristics and interactions in muscle foods. A Review. Food Technol. 35(5) : 253-257.
- ALUR M.D., CHAWBA S.P. and NAIR P.M. 1992. Microbiological method to identify irradiated meat. J. Food Science 57(3): 593-395.
- AMES BRUCE N. 1983. Dietary carcinogens and anticarcinogens. Science. 212: 1256-1263.
- A.O.A.C. 1990. "Official Methods of Analysis", 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- AREAL BRANDAO H. 1993. Etude des effets de l'irradiation gamma sur *Listeria monocytogenes* contaminant la crevette. Mémoire de maîtrise en microbiologie appliquée. IAF/ Université du Québec. 81-115.
- AREAL BRANDAO H., CHARBONNEAU R. and DION P. 1993. Effect of dose rate and comparison of different media used in the recuperation of gamma irradiated *Listeria monocytogenes*. Radiat. Phys. Chem. 42(4-6): 655-658.

- AURELI P., COSTANTINI A. and ZOLEA S. 1992. Antimicrobial activity of some plant essential oils against *Listeria monocytogenes*. J. Food Protection 55(5): 344-348.
- AYALA A.C. 1992. Comparison of selective enrichment broths for isolation of *Campylobacter jejuni/coli* from freshly deboned market chicken. J. Food Science 55(5): 333-336.
- BAILEY J.S. 1993. Control of *Salmonella* and *Campylobacter* in poultry production. A summary of work at Russel Research Center. Poultry science 72: 1169-1173.
- BALLANCE P.E. 1961. Production of volatile compounds related to the flavor of foods from the Strecker degradation of DL-methionine. J. Sci. Food Agric. 12: 532.
- BANWART G.J. 1981. Basic Food Microbiology. An AVI Book. Publ. Van Nostrand Reinhold Co., New York. 199-202.
- BARBUT S., JOSEPHSON D.B. and MAURER A.J. 1985. Antioxydant properties of rosemary oleoresin in turkey sausage. J. Food Sci. 50(5): 1356-1363.
- BARBUT S., DRAPER H.H and HADLEY M. 1989. Lipid oxidation in chicken nuggets as affected by meat type phosphate and packaging. J. Food Protection 51(1): 55-58.
- BARBUT S., MAURER A.J. and THAYER D.W. 1988. Irradiation dose and temperature effects on the sensory properties of turkey frankfurters. Poultry science 67: 1797-1800.
- BELIARD E. et THUAULT D. 1990. Propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques. "Microbiologie alimentaire" Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaires. Technique et Documentation Lavoisier. APRIA. Paris. 282-393.
- BEUCHAT L.R. and D.A. GOLDEN. 1989. Antimicrobials occurring naturally in foods. Food Technol. 1: 134-142.
- BEUCHAT L.R. 1985. Efficacy of media and methods for detecting and enumerating *Campylobacter jejuni* in refrigerated chicken meat. App. Environ. Microbiol. 50: 934-939.
- BIEDERMANN M., GROB K. and MEIER W. 1989. Partially concurrent eluent evaporation with an early vapor exit; detection of irradiation through completed LC-GC analysis of the fat. J. High Resolution Chromatography. 12: 591-598.

- BILLEN D. 1987. Free radical scavenging and the expression of potentially lethal damage in X-irradiated repair-deficient *Escherichia coli*. *Radiat. Res.* 111-354.
- BLOCK G., DRESSER C.M., HARTMAN A.M. and CARROLL M.D. 1985. Nutrient source in the American diet. Quantitative data from the NHANES II survey I. Vitamins and minerals. *American Journal of Epidemiology.* 122: 13-26.
- BOLDER N.M., VAN DER HULST M.C. and MULDER R.W.A.A. 1980. *Salmonellae* in broiler chicks. Proceedings 6th European Poultry Conference, Hamburg. Vol. II: 271-279.
- BOURGEOIS C.M., MESCLE J.F. and ZUCCA J. 1990. Microbiologie alimentaire - Aspects microbiologiques de la sécurité et de la qualité alimentaire. Technique et documentation Lavoisier.
- BRADDOCK R.J. and DUGAN L.R. 1972. Phospholipids changes in muscle from frozen stored lake Michigan Coho salmon. *J. Food Science* 37: 426-429.
- BROOME C.V., GELLIN B. and SCHWARTZ B. 1990. Epidemiology of listeriosis in the United States. Ch.10 in : *Foodborne Listeriosis*. Ed. A.J. Miller, J.L. Smith and G.A. Somkuti. Elsevier, Amsterdam. The Netherlands. 61-65.
- BRYAN F.L. 1969. In : "Foodborne infections and intoxications", Ed. H. Riemann, Academic Press, New York. 272-273.
- BRYNJOLFSSON A. 1985. Wholesomeness of irradiated food : a review. *J. Food Safety* 7: 107-126.
- BYUN M.W., KWON J.H., CHO H.O., LEE M.K. and KIM J.G. 1985. Physicochemical changes in gamma-irradiated chicken. *Korean J. Food Sc. Technol.* 17: 186-191.
- CANNELL L.E., SAVELL J.W., SMITH S.B., CROSS H.R. and ST.JOHN L.C. 1989. Fatty acid composition and caloric value of ground beef containing low levels of fat. *J. Food Science* 54(5): 1163-1167.
- CHANG S.S., MATIJASEVIC B.O., HSIEH O.A.L. and HUANG C.L. 1977. Natural antioxidant from rosemary and sage. *J. Food Science* 42(4): 1102-1106.

- CHARBONNEAU R., DUBOIS G., MICUSAN V. et GAGNON M. 1986. Effet des rayons gamma sur la conservation des crevettes nordiques et sur leur flore bactérienne. *Sc. des Aliments* 6: 245-256.
- CHEFTEL J.C., CUQ J.L. et LORIENT D. 1985. Protéines alimentaires, technique et documentation. Ed. Lavoisier. Paris: p 309.
- CHEN Q., SHI H. and HO C.T. 1992. Effects of rosemary extracts and major constituents on lipid oxidation and soybean lipoxygenase activity. *JAACS* 69(10): 999-1002.
- CHIPAULT J.R., MIZUNO G.R., HAWKINS J.M. and LUNDBERG W.O. 1952. Antioxidant properties of natural spices. *Food. Res.* 17(46-55).
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. 1984. Codex general standards for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods. Joint FAO/WHO Food Standards Program. CAC. XV-Ed. 1. Food and agriculture Organization of the United Nations, WHO, Rome.
- COLEBY B., INGRAM M. and SHEPHERD H.J. 1960. Treatment of meats with ionizing radiation, III. Radiation pasteurization of whole eviscerated carcasses. *J. Food Sc. Agric.* 11: 61-71.
- COLEBY B., INGRAM M., SHEPHERD H.J. and THORNLEY M.J. 1960. Treatment of meats with ionizing radiation, IV. Comparison of deterioration in quality during storage of eviscerated chicken carcasses treated with chlortetracycline or radiation. *J. Sc. Food Agric.* 11: 678-684.
- COLIN P. 1987. Microbiology of poultry meat. *RTVA* 225: 36-41.
- COLLINS M.A. and CHARLES H.P. 1987. Antimicrobial activity of Carnosol and ursolic acid : two antioxidant constituents of *Rosmarinus officinalis*. *J. Food microbiology* 4 : 311-315.
- CONNER D.E. and BEUCHAT L.R. 1984. Effects of essential oils from lants on growth of food spoilage yeasts. *J. Food Science* 49: 429-434.
- COOKSEY K., KLEIN B.P., McKEITH F.K. and BLASHEK H.P. 1993. Post-packaging pasteurization reduces *Clostridium perfringens* and other bacteria in precooked vacuum-packaged beef loin chunks. *J. Food Sci.* 58(2): 239-241.

- COPIN M.P. et BOURGEOIS C. 1992. Application de la technique DEFT à la détection a posteriori d'un traitement ionisant sur des produits de volaille. *Sciences des Aliments* 12: 533-542.
- CRONE A.V.J., HAMILTON J.T.G. and STEVENSON M.H. 1992. Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecyclobutane, a potential marker for irradiated chicken. *J. Science Food Agric.* 58: 249-252.
- DARMADY E.M., HUGUES K.E.A., BURT M.M., FREEMAN B.M. and POWELL D.B. 1961. Radiation sterilization. *Journal of Clinical Pathology*, 14 : 55-58.
- DEANS S.G. and RITCHIE G. 1987. Antibacterial properties of oils. *Int. J. Food Microbiol.* 5: 165-180.
- DECKER E.A., CRUM A.D., SHANTA N.C. and MORRISSEY P.A. 1993. Catalysis of lipid oxidation by iron from an insoluble fraction of beef diaphragm muscle. *J. Food Science* 58(2): 233-236.
- DEIGHTON N., GLIDEWELL S.M., DEANS S.G. and GOODMAN B.A. 1993. Identification by EPR spectroscopy of carvacrol and thymol as the major sources of free radicals in the oxidation of plant essential oils. *J. Sci. Food Agric.* 63: 221-225.
- DEMPSTER J.F. 1985. Radiation preservation of meat and meat products: A review. *Meat Science.* 12: 61-89.
- DERFULIAN M. and BATLET J.G. 1987. Effects of irradiation on growth and toxigenicity of *Clostridium botulinum* types A and B inoculated onto chicken skins. *App. and Env. Microbiol.* 53(1): 201-203.
- DICKSON J.S. 1991. Control of *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, and *Escherichia coli* 0157:H7 on beef in a model spray chilling system. *J. Food Sci.* 56(1): 191-193.
- DICKSON J.S. and ANDERSON M.A. 1992. Microbiological decontamination of Food animal carcasses by washing and sanitizing systems : A review. *J. Food Prot.* 55(2): 133-140.
- DIEHL J.F. 1990. Safety of irradiated foods. Marcel Dekker Inc., N.Y. and Basel : 10-200.

- DIFCO MANUAL. Dehydrated culture media and reagents for microbiology. 10th Edition, Difco Laboratories. Detroit, Michigan, 1155p.
- DION P. 1993. Effets de la variation du débit de la dose d'irradiation sur la radio-résistance des bactéries pathogènes dans les aliments. Mémoire de maîtrise en microbiologie appliquée. IAF/ Université du Québec. 44-103.
- DOGBEVI M.K. 1994. Effets des rayonnements ionisants sur la qualité biochimique et microbiologique du porc et des fèves. Mémoire de maîtrise en microbiologie appliquée. IAF/ Université du Québec. 86-151.
- DOUGHERTY M.E. 1993. Effectiveness of natural antioxidants compared to synthetic antioxidants. *Int. Food ingredients* 3: 27-32.
- DOYLE M.P. 1988. Effects of environmental and processing conditions on *Listeria monocytogenes*. *Food Technology* 42: 169-171.
- DOYLE M.P. 1990. Pathogenic *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica* and *Vibrio parahaemolyticus*. *The Lancet*. 336:1111-1115.
- DOYLE M.P. 1991. *Escherichia coli* 0157 : H7 and its significance in foods. *Int. Journ. of Food microbiology* 12: 289-302.
- DOYON, G. 1990. La conservation d'un aliment : les mécanismes de dégradation et le choix de son emballage. *Can. Inst. Food Sc. Technology* 23 : 4/5: 165-170.
- DZIEZAK J.D. 1986. Antimicrobial agents. *Food technol.* 40: 104-111.
- EL-HUSEINY T.M., EL FOULY M.Z., NEWEIGY N.A. and EL MONGY T.M. 1986. Effect of gamma irradiation on the microbial load of poultry carcasses during chilling and freezing storage. *Annals Agric. Sci. Fac. Agric., Ain Shams Univ. Cairo. Egypt* 31(2): 923-935.
- EL-WAKEIL F.A., EL-MAGOLI S.B.M. and SALMA N.A.M. 1978. Effect of radurization of the chemical, microbiological and organoleptic characteristics of poultry meat. *In Food Preservation by Irradiation. Vol. 1 IAEA-SM-221/10.*

- FANG X. and WADA S. 1993. Enhancing the antioxidant effect of α -tocophérol with rosemary in inhibiting catalysed oxidation caused by Fe^{2+} and hemoprotein. *Food Research Int.* 26: 405-411.
- FAO. 1987. *FAO Yearbook. Trade V. 41. FAO Statistics Series. Food and Agriculture Organisation, Rome* 84.
- FAO. 1988. *FAO Yearbook. Production V. 42. FAO Statistics Series. Food and Agriculture Organisation, Rome* 88.
- FAO/IAEA/WHO. 1981. Wholesomeness of irradiated food. Report of Joint Expert Committee. WHO Technical Report Series 659.
- FAO/IAEA/WHO. 1984. Codex Alimentarius Commission "Codex General Standard for Irradiation Foods" and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods. CAC vol. XV, ed. 1. Rome.
- FARAG R.S., DAW Z.Y., HEWEDI F.M. and EL BAROTY G.S.A. 1989. Antimicrobial activity of some Egyptian spice essential oils. *J. Food Protection* 52 (9): 665-667.
- FARBER J.M. 1989. Foodborne pathogenic microorganisms : characteristics of the organisms and their associated diseases - I. Bacteria. *J. Inst. Can. Sc. Technol. Aliment* 22 4: 311-321.
- FARKAS J. 1989. Microbiological safety or irradiated foods. *Int. J. Food Microbiol.* 9 1-15.
- FERESU S.B. and JONES D. 1988. Taxonomic Studies on *Bronchotrix*, *Erysipelothrix*, *Listeria* and atypical *Lactobacilli*. *J. Gen. Microbiol.* 134: 1165-1183.
- FINLAY B.B., HEFFRON F. and FALKOWS S. 1989. Epithelial cell surfaces induce *Salmonella* proteins required for bacterial adherence and invasion. *Science* 243(4893): 940-943.
- FLOWERS R.S., DOYLE M.P., LOVETT J., TWEDT T., FRANK J.F., NEWSOME R. and LABBE R. 1988. A scientific status summary by the IFT expert on food safety & nutrition. *Food Technology* 4: 182-200.

- FRANCIS B.J. and WOOD J.F. 1982. Changes in the nutritive content and value of feed concentrates during storage. Handbook of Nutritive Value of Processed Foods (Ed. M. Recheigl, Jr.) CRC Press. Vol. II : 161-189.
- FOURNAUD J., LAURET R. and MARTY O. 1986. Influence of type of muscles on bacteria growth on beef vacuum packaged. Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers. 32(4): 233-236.
- FOX J.B., THAYER D.W., JENKINS R.K., PHILLIPS J.G., ACKERMAN S.A., BEECHER G.R., HOLDEN J.M., MORROW F.D. and QUIRBACH D.M. 1989. Effect of gamma irradiation on the B vitamins of pork chops and chicken breasts. Int. J. Radiat. Biol. 55(4): 689-703.
- FRANK J.F. 1988. Bacteria associated with foodborne diseases. Enteropathogenic *Escherichia Coli*. Food Technology. 4:192-194.
- FRAZIER W.C. 1967. "Food microbiology" 2nd ed. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- FREEMAN L.R., SILVERMAN G.J., ANGELINI P., MERRITT Jr. C. and ESSELEN W.B. 1976. Volatiles produced by microorganisms isolated from refrigerated chicken at spoilage. Appl. and Environ. Microbiol. 32: 222-231.
- GALLARDO R.P.P., SALINAS J.R. et VILLAR P.L.M. 1987. Efecto antimicrobiano de algunas especies sobre microorganismos de interes sanitario. IV - Semillas, hojas y otras. Microbiologie - Aliments - Nutrition. 5: 77-82.
- GIDDINGS G.G. 1983. Radiation preservation of foods : Substerilizing applications. J. Food Safety 30: 309-382.
- GIDDINS G.G. and MARCOTTE M. 1991. Poultry irradiation: for hygiene, safety and market-life enhancement. Food Review International 7(3): 259-282.
- GILL C.O. 1982. Microbial interaction with meats. Meat Microbiology, Ed.M.H. Brown. London: Appl. Sci. Publishers : 225-264.
- GILL C.O. 1976. Substrate limitation of bacterial growth at meat surfaces. J. Appl. Bacteriol. 41: 401-410.

- GILL C.O. and NEWTON K.G. 1977. The development of the aerobic spoilage flora of meat stored at chill temperatures. *J. Appl. Bacteriol.* 43: 189-195.
- GLEDEL J. 1986. Facteurs de développement des microorganismes utiles ou indésirables. *Science des aliments* 6: 11-24.
- GLEDEL J. 1990. Les salmonelles "Microbiologie alimentaire" Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaires. *Technique et Documentation Lavoisier. APRIA. Paris.* 51-63.
- GOLDBLITH S.A. 1966. Historical development of food irradiation. *Food Irradiation. I.A.E.A., Vienna* : 3-17.
- GOESLINE H.E. 1982. Historical aspects of the irradiation preservation of food. In: *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Ed. E.S. Josephson et M.S. Peterson. CRC Press Inc., Boca Raton, FL., Vol.1.
- GRAHAM H.D. 1980. Safety and wholesomeness of irradiated foods. "Safety of foods", 2nd Ed. AVI. Pub. Co., Westport, p.546.
- GRECZ N., ROWLEY D.B. and MATSUYAMA A. 1983. The action of irradiation on bacteria and viruses. In: *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Ed. E.S. Josephson et M.S. Peterson, CRC Press Inc., Florida, 2: 167-218.
- GRUIZ K. and KISS I. 1987. Effect of ionizing radiation on the lipids in frozen poultry. *Acta Alimentaria.* 16(2): 111-127.
- GURR M.I. and JAMES A.T. 1975. *Lipids biochemistry : an introduction* 2nd edition Chapman and Hall. London. Halsted - pressbook, John Willey and Sons Inc., NY.
- HANIS T., JELEN P., KLIR P., MNUKOVA J., PEREZ B. and PESEK M. 1989. Poultry meat irradiation. Effect of temperature on chemical changes and inactivation of microorganisms. *J. Food Prot.* 52(1): 26-29.
- HANSEN T.J., CHEN G.C. and SHIEH J.J. 1987. Volatiles in skin of low-dose irradiated fresh chicken. *J. Food Science* 52: 1180-1182.

- HASSAN I.M. and SHAMS EL-DIN N.M. 1986. Effects of irradiation and cold storage on fatty acid composition of meat phospholipids. 11th International Congress for statistics, computer science and demographic research. 29 March - 3 April 1986, Cairo. Egypt. 47-60.
- HASSAN I.M., MAHMOUD A.A. and HEGAZY R.A. 1988. Changes in fatty acids composition accompanying cold and freezing storage of irradiated chicken. *Annals Agric. Sci.* 33(2): 1179-1199.
- HASSAN I.M., MAHMOUD A.A., HASSEIN M.F. and HEGAZY R.A. 1988. Effect of irradiation on lipid oxidation in eviscerated chicken carcasses during storage. *Annals Agric. Sci., Fac Agric. Ain Shams Univ., Cairo Egypt.* 33(2): 1159.
- HASSAN I.M. 1990. Electrophoretic analysis of proteins from chicken after irradiation and during cold storage. *Food Chemistry.* 35: 263-276.
- HEATH H.B. 1978. *Flavor Technology : Profiles, Products, Applications.* AVI Publishing Company Inc. Westport, Ct.
- HEATH J.L., OWENS S.L., S.TESCH and K.W.HANNAH. 1990. Effects of high energy electron irradiation of chicken meat on salmonella and aerobic plate count. *Poultry Science* 69(1): 150-156.
- HENON Y. 1983. Actualités des industries alimentaires et agro-industrielles, le traitement ionisant des produits agro-alimentaires : une technique pour les années 80. *Ind. Alim. Agric.* 45-52.
- HINTON M. 1988. Salmonella infection in chicks following the consumption of artificially contaminated feed. *Epidem. Inf.* 100: 247-256.
- HOLMAN R.T. 1971. *Progress in the chemistry of fats and other lipids.* Pergamon Press. Oxford. New York. 9: 132.
- HUISMAN M., LINDBERG M., SKIBSTED L.H. and BERTELSEN G. 1994. The combined effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and modified atmosphere packaging as protection against warmed over flavour in cooked minced pork meat. *Z. Lebens Unters Fresh* 198: 57-59.
- I.A.E.A. 1982. *Training manual on food irradiation technology and techniques.* Technical Reports Series no. 114, Vienna: 31-109.

- I.A.E.A. 1988. Safety factors influencing the acceptance of food irradiation technology. Tec Doc 490, Vienna.
- IGENE J.O. and PEARSON A.M. 1979. Role of phospholipids and triglycerides in warmed-over flavour development in meat model systems. J. Food Science 44: 1285-1290.
- IGENE J.O., YAMAUCHI K., PEARSON A.M., GRAY J.I. and AUST S.D. 1985. Evaluation of 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBRS) in relation to warmed-over flavor development in cooked chicken. J. Agric. Food Chem. 33: 364-367.
- INGRAN M. and DAINTY R.H. 1971. Changes caused by microbes in spoilage of meats. J. Appl. Bacteriol. 34: 21-39.
- JAY J.M. 1986. Food preservation using irradiation in modern food microbiology. 3rd ed. AVI Book. Editor Van Nostrand Reinhold, N.Y., 305-307.
- JETTON J.P., BILGILI S.F., CONNER D.E., KOTROLA J.S. and REIBER M.A. 1992. Recovery of salmonella from chilled boiler carcasses as affected by rinse media and enumeration method. J. Food Protection 55(5): 329-332.
- JONES F.T., AXTELL R.C., RIVES D.V., SCHEIDELES S.E. and TARVER F.R. 1991. A survey of salmonella contamination in modern broiler production. J. Food Protection 54(7): 502-507.
- JOSEPHSON E.S. and PETERSON M.S. 1982. Preservation of food by ionizing radiation. Vol 1. CRC Press. Boca Raton. Florida. 378p.
- KADER A.A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. Food Technology. 117-121.
- KAHAN R.S. and HOWKER J.J. 1978. Low-dose irradiation of fresh, non-frozen chicken and other preservation methods for shelf-life extension and for improving its public health quality. In: Proceeding series; Food Preservation by irradiation. Vol II. IAEA-SM-221/36. 221-242.
- KAMPELMAKER E.H. 1987. Poultry disease and public health. British Poultry Science 28(3-13)

- KATTA R.S., RAO D.R., SUNKI G.R. and CHAWAN C.B. 1991. Effect of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids. *J. Food Science* 56(2) : 371-382.
- KATZ M.A., DUGAN Jr. L.R. and DAWSON L.E. 1986. Fatty acids in neutral lipids and phospholipids from chicken tissues. *J. Food Science* 31: 717-720.
- KELLER S.R. and KINSELLA J.E. 1973. Phospholipid changes and lipid oxidation during cooking and frozen storage of raw ground beef. *J. Food Science* 38: 1200-1204.
- KLOSE A.A., KAUFFMAN V.F., BAYNE H.G. and POOL M.F. 1971. Pasteurization of poultry meat by steam under reduced pressure. *Poultry Science* 50: 1156-1160.
- KOSARIC N., DUONG T.B. and SVERCEK W.Y. 1973. Analysis of volatiles related to warmed over flavor of cooked chevon. *J. Food Science* 38: 374-376.
- KOSARIC N., DUONG T.B. and SVERCEK W.Y. 1973. A statistical approach to the subjective and objective measurements of odors induced by gamma irradiation of beef fat. *J. Food Science* 38: 369-373.
- LABBE R.G. 1988. *Clostridium perfringens*. "Bacteria associated with foodborne diseases" Review. *Food Technology* 42(4): 195-196.
- LACEY R.W. and DEALLER S.F. 1990. Food irradiation unsatisfactory preservative. *British Food Journal* 92(1): 15-17.
- LACROIX M., JOBIN M., HAMEL S., STAHL L. and DE COUVERCELLE C. 1991. Effects of 3 and 7 kGy gamma irradiation doses on odor and flavor of fresh chicken breast. *Microbiologie-Aliments-Nutrition*. 9: 375-379.
- LAHELLEC C., COLIN P. and BENNEJEAN G. 1986. Influence of Resident *Salmonella* on contamination of broiler flocks. *Poultry Sci.* 65: 2034-2039.
- LAI S.M., GRAY J.I., SMITH D.M., BOOREN A.M., CRACKEL R.L. and BUCKLEY D.J. 1991. Effects of oleoresin rosemary, tertiary butylhydroquinone and sodium tripolyphosphate on the development of oxydative rancidity in restructured chicken nuggets. *J. Food Science* 56 (3): 616-620

- LAKRITZ L. and MAERKER G. 1987. Enzyme levels in raw meat after low dose ionizing radiation and extended refrigerated storage. Eastern regional research center. U.S. Dep. of Agricultural, Agricultural Research Service.
- LAMBERT A.D., SMITH J.P. and DODDS K.L. 1991. Combined effect of modified atmosphere packaging and low-dose irradiation on toxin production by *Clostridium botulinum* in fresh pork. J. of Food Protection 54(2): 94-101.
- LAMBERT A.D., SMITH J.P., DODDS K.L. and CHARBONNEAU R. 1992. Microbiological changes and shelf life of MAP, irradiated fresh pork. Food Microbiol. 9: 231-244.
- LAMBERT A.D., SMITH J.P. and DODDS K.L. 1991. Shelf life extension and microbiological safety of fresh meat. A review. Food Microbiol. 8: 267-297.
- LANGLEY-DAYSZ P. 1985. L'irradiation des aliments. La Recherche. 16: 557-566.
- LATREILLE B., LACROIX M., ICART L., SIMARD C. et GAGNON M. 1993. Effet de dose et du débit de dose d'irradiation sur la capacité émulsifiante des protéines de poulet. Science des Aliments 13: 97-107.
- LATTAOUI N. and TANTAOUI-ELARAKI A. 1994. Comparative kinetics of microbial destruction by the essential oils of *Thymus broussonetti*, *T. zygis* and *T. satureioides*. J. Essent. Oil Res. 6: 165-171.
- LEE W.T. and DAWSON L.E. 1976. Changes in phospholipids in chicken tissues during cooking in fresh and reused cooking oil, and during frozen storage. J. Food Science 41: 598-600.
- LEE W.T. and DAWSON L.E. 1973. Chicken lipid changes during cooking in fresh and reused cooking oil. J. Food Science 38: 1232-1237.
- LEFEBVRE N. 1990. Essais d'amélioration de la salubrité et de la période de conservation du boeuf haché à l'aide de rayonnements ionisants. Mémoire de maîtrise. Institut Armand-Frappier. Université du Québec. : 154p.
- LESCANO G., NARVAIZ P., KAIRIYAMA E. and KAUPERT N. 1991. Effect of chicken irradiation on microbiological, chemical and organoleptic quality. Food Science Technology 24(2): 130-134.

- LESGARDS G., RAFFI J., POULIQUEN I., CHAOUCH A.A, GIAMARCHI P. and PROST M. 1993. Use of radiation induced alkanes and alkenes to detect irradiated food containing lipids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 70(2): 179-185.
- LILLARD H.S. 1989. Factors affecting the persistence of *Salmonella* during the processing of poultry. *J. Food Protection.* 52: 829-832.
- LOAHARANU P. 1989. International trade in irradiated foods: Regional status and outlook. *Food Technology* 7: 77-80.
- LOVE J.D. and PEARSON A.M. 1971. Lipid oxidation in meat and meat products, a review. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 48 547-549
- LOVE J.D. 1987. Mechanism of iron catalysis of lipid oxidation in warmed-over of meat. In *Warmed-over flavor of meat*. AP, New York, 19.
- MAC NEIL J.H., DIMICK P.S. and MAST M.G. 1973. Use of chemical compounds and rosemary spice extract in quality maintenance of deboned poultry meat. *J. Food Science* 38: 1080-1081.
- MAKEY B. 1989. The incidence of food poisoning bacteria on red meat and poultry in the United Kingdom. *Food Science and technology today* 3: 246-250.
- MARMER N.M. and MAXWELL R.J. 1981. Dry column method for the quantitative extraction and simultaneous class separation of lipids from muscle tissue. *Lipids.* 16(5): 365-371.
- MATIC S., MIHOKOVIC V., KATUSIN-RAZMAN B. and RAZEM D. 1990. The eradication of *Salmonella* in egg powder by gamma irradiation. *J. Food Science* 53(2): 111-114.
- MAXWELL J.R., MARMER N.W., ZUBILLAGA M. and DALICKAS G.A. 1980. Determination of total fat in meat products by a rapid dry column method. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 63(3): 600-603.
- MAXWELL J.R. and RADY A.H. 1989. Effect of gamma irradiation at various temperatures on air and vacuum packed chicken tissues. Fatty acid profiles of neutral and polar lipids separated from muscle and skin irradiated at 2-5°C. *Radiat. Phys. Chem.* 34(5): 791-796.
- MC MILLIN, BIDNER T.D., FELCHLE S.E., DUGAS S.M. and KOH K.C. 1991. Volatiles in skin of low dose irradiated fresh chicken. *J. Food Science* 56(4): 899-902.

- MEAD G.C. and THOMAS N.L. 1973. Factors affecting the use of chlorine in the spin-chilling of eviscerated poultry. *British Poultry Science* 14: 99-117.
- MECCHI E.P., PIPPEN E.L. and LINEWEAVER H. 1964. Origin of hydrogen sulfide in heated chicken muscle. *J. Food Sci.* 29:393.
- MEDINA I., AUBOURG S., GALLARDO J.M. and PEREZ-MARTIN R. 1992. Comparison of six methylation methods for analysis of the fatty acid composition of albacore lipid. *J. Food Science and Technology* 27: 597-601.
- MERCURI A.J., KOTULA A.W. and SANDERS D.H. 1967. Low-dose ionizing irradiation of tray-packed cup-up fryer chickens. *Food Technol.* 21: 95-98.
- MERRITT C. Jr. 1966. Chemical changes induced by irradiation of meats and meat components. *Food Irradiation. Proceedings of a symposium.* Karlsruhe. Germany. International Atomic energy Agency, Vienna. 197.
- MERRITT C. Jr., ANGELINI P. and McADOO D.J. 1967. Volatile compounds induced by irradiation in basic food substances. In: "Radiation Preservation of Foods. Advances in Chemistry. Series 65, American Chemical Society. Washington D.C.
- MERRITT C. Jr. 1972. Qualitative and quantitative aspects of trace volatile components in irradiated foods and food substances. *Radiation Research Reviews* 3: 353-368.
- MERRITT C. Jr., ANGELINI P., WIERBICKI E. and SHULTZ G.W. 1975. Chemical changes associated with flavour in irradiated meat. *J. Agric. Food Chem.* 23(6): 1037-1041.
- MERRITT C. Jr., ANGELINI P. and GRAHAM R.A. 1978. Effect of radiation parameters on the formation of radiolysis products in meat and meat substances. *J. Agric. Food Chem.* 26: 29.
- MERRITT C. Jr., VAJDI M. and ANGELINI P. 1985. A quantitative comparison of the yields of radiolysis products in various meats and their relationship to precursors. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 62: 708-713.
- MINISTÈRE DE LA SANTÉ. FRANCE. 1989. Toxi-infections alimentaires. *B.E.H.* 16: 61-67.

- MOERCK K.E. and BALL H.R. 1979. Formation of monocarbonyl compounds in chicken tissue. *J. Agric. Food Chem.* 27: 514-518.
- MOERCK K.M. and BALL H.R. 1974. Lipid auto-oxidation in mechanically deboned chicken meat. *J. Food Science* 39: 876-879.
- MOIGNET M.L. 1983. *Aliments irradiés : La fraîcheur qui dure, Sciences et vie*, vol. 795, p.78-87.
- MOREHOUSE K.M., KIESEL M. and KU Y. 1993. Identification of meat treated with ionizing radiation by capillary gas chromatographic determination of radiolytically produced hydrocarbons. *J. Agric. Food Chem.* 41(5): 758-763.
- MOREHOUSE K.M. and KU Y. 1990. A gas chromatographic method for the identification of gamma irradiated frog legs. *Radiat. Phys. Chem.* 35(1-3): 337-341.
- MOREHOUSE K.M., KU Y., ALBRECHT H.L and YANG G.C. 1991. Gas chromatographic and electron spin resonance investigations of gamma-irradiated frog legs. *Radiat. Phys. Chem.* 38(1): 61-68.
- MOSSEL D.A.A. 1982. *Microbiology of Foods. The ecological essentials of assurance and assessment of safety and quality*, 3rd ed. The University of Utrecht, Faculty of Veterinary Medecine, Utrecht, The Netherlands : 9-99.
- MULDER R.W.A.W. 1982. *Salmonella radication of poultry carcasses*. Thesis, Agricultural University. Wageningen, Netherlands.
- MULDER R.W.A.W. 1984. Ionizing energy treatment of poultry. *Food Technology in Australia* 36: 418-420.
- NAKATANI N. 1994. Antioxidative and antimicrobial constituents of herbs and spices in *Development in food science*. 34. Ed. Charalambous G. Elsevier book. New York. 251-271.
- NAKATANI N. and INATAMI R. 1981. Structure of Rosmanol, a new antioxidant from rosemary. *Agric. Biol. Chem.* 45(10): 2385-2386.
- NAWAR W.W. 1972. Radiolytic changes in fats. *Radiation Res. Rev.* 3: 327-334.

- NAWAR W.W. and HANDEL A.P. 1978. Radiolysis of phospholipids in: Food preservation by irradiation. Proc. Symp. Wageningen. 1977. IAEA/FAO/WHO. Vol.1. IAEA, Vienna, 481.
- NEWSOME R.L. 1988. *Staphylococcus aureus*. "Bacteria associated with foodborne diseases" Review. Food Technology 42(4): 194-195.
- NIEMAND G. 1987. Food irradiation in perspective. Food Review 14(4): 58-59.
- NIEMAND J.G., VAN DER LINDE H.J. and HOLZAPFEL W.H. 1981. Radurization of prime beef cuts. J. Food Protection 44: 677-681.
- NOLAN N.L., BOWERS J.A. and KROPF D.H. 1989. Lipid oxidation and sensory analysis of cooked pork and turkey stored under modified atmospheres. J. Food Science 54(4): 846-849.
- NORME FRANÇAISE. 1990. Directives générales concernant les méthodes de recherche des *Salmonella*. AFNOR NF ISO 6579.
- OBLINGER J.L., DRAPER C.I. and MENDELHALL V.T. 1975. Microbiological and sensory evaluation of dehydrated turkey meat product. Poultry Science 54: 91-95.
- OMS. 1981. Wholesomeness of irradiated foods. World Health Organization, Technical Report. Report of joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. : 659.
- PALUMBO S.A. 1986. Is refrigeration enough to restrain foodborne pathogens ? J. Food Prot. 49: 1003.
- PATTERSON M. 1988. Sensitivity of bacteria to irradiation on poultry meat under various atmospheres. Letters in Appl. Microbiol. 7: 55-58.
- PEARSON A.M., GRAY J.I., WOKZAK A.M. and HORNSTEIN N.A. 1983. Safety implications of oxidized lipids in muscle foods. Food Technology 7: 121.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 1988. Marche à suivre pour la numération sur plaques des bactéries aérobies. Procédures pour analyses bactériologiques 2: 1-9.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 1988. Marche à suivre pour la recherche des salmonelles. Procédures pour analyses bactériologiques 5: 1-7.

- PERKINS E.G. 1991. Analyses of fats, oils and lipoproteins. University of Illinois. American Oil Chemists' Society, Champaign, Illinois. 1-123.
- PIKUL J. and KUMMEROW F.A. 1989. Effect of total lipids, triacycloglycerols and phospholipids on malonaldehyde content in different types of chicken muscles and the corresponding skin. *J. Food Biochem.* 13(6): 409-427.
- PIKUL J. and KUMMEROW F.A. 1990. Lipid oxidation in chicken muscles and skin after roasting and refrigerated storage of main broiler parts. *J. Food Science* 55(1): 30-37.
- PIKUL J. and KUMMEROW F.A. 1990. Relative role of individual phospholipids on TBA reactive substances formation in chicken meat, skin and swine aorta. *J. Food Science* 55(5): 1243-1248.
- PIKUL J., LESZCZYNSKY D.E., BECHTEL P.J. and KUMMEROW F.A. 1984. Effects of frozen storage and cooking on lipid oxidation in chicken meat. *J. Food Science* 49: 838-843.
- PIKUL J., LESZCZYNSKY D.E. and KUMMEROW F.A. 1985. Influence of fat content and composition on malonaldehyde concentration in chicken meat and skin. *Poultry Science* 64: 311-317.
- PIKUL J., LESZCZYNSKY D.E. and KUMMEROW F.A. 1984. Relative role of phospholipids, triacycloglycerols and cholesterol esters on malonaldehyde formation in fat extracted from chicken meat. *J. Food Science* 49: 704-708.
- PIPPEN E.L., MECCHI E.P. and NONAKA M. 1969. Origin and nature of aroma in fat of cooked poultry. *J. Food Sci.* 34: 436.
- PIVNIK H. and NURMI E. 1982. The Nurmi concept and its role in the control of *salmonella* in poultry in: *Developments in food microbiology*. R. Davies, ed. Applied Science Publisher Ltd. Essex, England. 41-70.
- POSTE L.M., MACKIE D.A., BUTTER G. et LARMOND E. 1991. Méthodes d'analyse sensorielle des aliments en laboratoire. *Agric. Canada* 1864/F.
- PRIZKOVA H., POKORNY J., DAVIDEK J. and KAMINER M. 1989. Effect of polar substances on the decomposition of hydroperoxyoleate on heating. *Die Nahrung.* 33: 477-479.

- RADY A.H., MAXWELL J.R., WIERBICKI E. and PHILLIPS J.G. 1988. Effect of gamma irradiation at various temperatures and packaging conditions on chicken tissues 1. Fatty acid profiles of neutral and polar lipids separated from muscle irradiated at -20° C. *Radiat. Phys. Chem.* 31(1-3): 195-202.
- RAMANATHAN L. and DAS N.P. 1993. Natural products inhibit oxidative rancidity in salted cooked ground fish. *J. Food Science* 58(2): 318-320.
- RAMASWAMY H.S. and RICHARDS J.F. 1982. Flavor of poultry meat. A review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 15: 7-18.
- RAMIREZ M.A. and SPILLMAN D.M. 1987. A rapid method for the determination of thiobarbituric acid reactive substances. *J. Food Science* 52(2): 500-502.
- RAVEENDRAN J.V., INGHAM S.C., MC CURDY A.R. and JONES G.A. 1993. Anaerobic microbiology of fresh beef packaged under modified atmosphere or vacuum. *J. Food Science* 58(5): 935-938.
- REID D.H., YPUNG D.A. and BRAGGINS T.J. 1993. The effects of oxidative treatments on mutton flavour/odour intensity and species flavour differentiation. *Meat Science*. 35: 171-182.
- REILLY W.J., SHARP J.C.M., OBOEGBULEM S.I., COLLIER P.W. and PATERSON G.M. 1988. Poultry-borne salmonellosis in Scotland. *Epidm. inf.* 101: 115-122.
- RHYU, H.Y. 1979. Gas chromatographic characterization of oregano and other selected spices of the Labiate family. *J. Food science* 44: 1371-1378.
- ROSSET R. 1990. Réfrigération et congélation. "Microbiologie alimentaire". Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaires. *Technique et Documentation Lavoisier. APRIA. Paris.* 371-393.
- RYSER E.T. and MARTH E.H. 1991. *Listeria, listeriosis and food safety*, Ed. Marcel Dekker. New York.

- SALIH A.M. 1986. Lipid stability in turkey meat as influenced by cooking, refrigerated and frozen storage, salt, metal cations and antioxidants. Dissertation for the degree of Ph.D. University of Michigan. Dept. Food Science and Human Nutrition.
- SALIH A.M., PRICE J.F., SMITH D.M. and DAWSON L.E. 1989. Lipid degradation in turkey breast meat during cooking and storage. Poultry Science 68: 754-761.
- SALIH A.M., SMITH D.M., PRICE J.F. and DAWSON L.E. 1987. Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. Poultry Science 66: 1483-1488.
- SANTÉ ET BIEN-ÊTRE SOCIAL CANADA. 1979. Méthode pour la numération des colonies aérobies dans les aliments. D.G.P.S./MFHPB. 18 : 1-9.
- SANTÉ ET BIEN-ÊTRE SOCIAL CANADA. 1979. Méthode pour l'isolement et l'identification des salmonelles dans les aliments. D.G.P.S./MFHPB. 20 : 1-28.
- SCHADE J.E., TSAI L.S., TONG L., WILSON R. and MC GREGOR J.M. 1990. Extraction of mutagens from chlorinated poultry chiller water. J. Food Science 55(3): 635-639.
- SEIDEMAN S.C and DURLAND P.R. 1982. Vacuum packaging of fresh beef : a review. J. Food Quality 6(1): 29-47.
- SEMAN D.L, DECKER E.A and CRUM A.D. 1991. Factors affecting catalysis of lipid oxidation by ferritin containing extract of beef muscle. J. Food Science 56(2): 356-358.
- SEO S.W. and JOEL D.L. 1980. Pentane production as an index of rancidity in freeze-dried pork. J. Food Science 45: 26-28.
- SHADE E.J., TSAI L.S., TONG L., WILSON R. and MACGREGOR J.T. 1990. Extraction of mutagens from chlorinated poultry chiller water. J. Food Science 55 : 635-639.
- SHAMSUZZAMAN K., CHURQUI-OFFERMANN N., LUCHT L., MC DOUGAL T. and BORSA J. 1992. Microbiological and other characteristics of chicken breast meat following electron-beam and sous-vide treatments. J. Food Science 55(7): 528-533.
- SHANTA N.C. and NAPOLITANO G.E. 1992. Gas chromatography of fatty acids. J. Chromatography 624: 37-51.

- SHELEF L.A., NAGLIK O.A. and BOGEN D.W. 1980. Sensitivity of some common food-borne bacteria to the spices sage, rosemary and allspice. *J. Food Science* 45: 1042-1044.
- SIMIC M.G. 1981. Free radical mechanisms in autoxidation processes. *J. Chem.* 58: 125-131.
- SINGH H. 1987. Control of *Salmonella* and other pathogenic and spoilage microorganisms in poultry by gamma and electron irradiation : A review. Internal Atomic Energy of Canada. Limited Report. : 1-118.
- SINGH H. 1992. Control of *Salmonella* and other pathogenic and spoilage microorganisms in poultry by gamma and electron irradiation - A review. *EACL*. 10635 : 1-96.
- SINGH H., LACROIX M. and GAGNON M. 1991. Post irradiation chemical analyses of poultry. A review *AECL/CIC*. 24-65.
- SKALA J.H., MC GOWN E.L. and WARING P.P. 1987. Wholesomeness of irradiated foods. *J. Food Protection* 50(2): 150-160.
- SKLAN D., TENNE Z. and BUDOWSKI P. 1983. Simultaneous lipolytic and oxidative changes in turkey meat stored at different temperatures. *J. Science Food Agric.* 34: 93-99.
- SLOVER H.T and LANZA E. 1979. Quantitative analysis of food fatty acids by capillary gas chromatography. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 56: 933-943.
- SOLIMAN F.M., EL KASHOURY E.A., FATHY M.M. and GONAIID M.B. 1994 Analysis and biological activity of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. from Egypt. *Flavour and Fragrance Journal* 9: 29-33.
- SPIEGELBERG A., HEIDE L. and BOGL K.W. 1990. Identification of irradiated chicken. GC/MS determination of irradiation-induced changes in the lipid fraction. *Bundesgesundheitsblatt* 33(8): 328-332.
- STERNBERG J. 1982. Introduction à la radiobiologie et médecine nucléaire. Effets biologiques des radiations. Librairie de l'Université de Montréal. pp. 207.
- SUDARMADJI S. and URBAIN W.M. 1972. Flavor sensitivity of selected animal protein foods to gamma radiation. *J. Food Science* 37: 671-672.

- SWOBODA P.A.T. 1970. Dimethyl trisulfide : A constituent of roast chicken aroma. AGFD 80. 160th ACS Meeting, Chicago, Il.
- TATINI S.R., HOOVER D.G. and LACHICA R.V.F. 1984. Methods for the isolation and enumeration of *S. Aureus*. In "Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods" 2nd ed., ed. M.L. Speck, Am. Soc. for Microbiology, Washington, D.C., p.411.
- TAUB I.A., ANGELINI P. and MERRITT JR. 1976. Irradiated food: Validity of extrapolating wholesomeness data. J. Food Science 41: 942.
- TAUB I.A., KAPRIELIAN J.W., WALKER J.W., HALLIDAY P., ANGELINI P. and MERRITT Jr. 1979. Factors affecting radiolytic effects in food. Radiat. Phys. Chem. 14: 639.
- TAUB I.A. 1983. Reaction mechanisms, irradiation parameters and product formation in "Preservation of food by ionizing radiation". Ed. Josephson E.S. and Peterson M.S. Vol. II CRC Press, Boca Raton, Florida, chapter 3.
- TAUXE R.V. 1991. *Salmonella*: A postmodern pathogen. J. Food Prot. 54(7): 563-568.
- TAYLOR A.A, DOWN N.F and SHAW B.G. 1990. A comparison of modified atmosphere and vacuum skin packing for the storage of red meats. J. Food Science and Technol. 25(1): 98-109.
- THAYER D.W. and BOYD G. 1991. Effect of ionizing radiation dose, temperature, and atmosphere on the survival of *Salmonella typhimurium* in sterile, mechanically deboned chicken meat. Poultry Science 70(2): 381-388.
- THAYER D.W. and BOYD G. 1992. Gamma ray processing to destroy staphylococcus aureus in mechanically deboned chicken meat. J. Food Science 57(4): 848-851.
- THAYER D.W. and BOYD G. 1991. Survival of *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 on the surface of chicken legs in mechanically deboned chicken meat gamma-irradiated in air or vacuum at temperature of -20 to +20C. Poultry Science 70(4): 1026-1033.
- THAYER D.W., BOYD G., MULLER W.S., LIPSON C.A., HAYNE W.C. and BAER S.H. 1990. Radiation resistance of *Salmonella*. J. Industrial Microbiol. 5: 383-390.

- THAYER D.W., CHRISTOPHER J.P., CAMPBELL L.A., RONNING D.C., DAHLGREN R.R., THOMSON G.M. and WIERBICKI E. 1987. Toxicology studies of irradiation - sterilized chicken. J. of Food Protection 50(4): 278-288.
- THAYER D.W., DICKERSON C.Y., RAMKISHAN RAO D., BOYD G. and CHAWAN C.B. 1992. Destruction of *Salmonella typhimurium* on chicken wings by gamma-radiation. J. Food Science 57(3): 586-589.
- THAYER D.W., SONGPRASERTCHAI S. and BOYD G. 1991. Effects of heat and ionizing radiation on *Salmonella typhimurium* in mechanically deboned chicken meat. Poultry Science 70(2): 381-388.
- THAYER D.W. and BOYD G. 1995. Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* on beef as affected by temperature. J. Food Sci. 60(2) 237-240.
- THIBAUT C. 1987. Etudes des effets des rayonnements gamma sur la flore bactérienne et la conservation des filets de morue (*Gadus morhua*). Mémoire de maîtrise. Institut Armand-Frappier. Université du Québec. : 111p.
- THIESSEN G.P., USBORNE W.R. and ORR H.L. 1984. The efficacy of chlorine dioxide in controlling *Salmonella* contamination and its effects on product quality of chicken broiler carcasses. Poultry Science 63: 647-653.
- THOMAS C.P. and DIMICK P.S. 1971. Sources of flavour in poultry skin. Food Technology. 25(407): 109-114.
- THOMSEN J., HANSEN T.J., CHEN G.C. and SHIEH J. 1987. Volatiles in skin of low dose irradiated fresh chicken. J. Food Science. 52(5): 1180-1182.
- TODD C.D.E. 1989. Foodborne and waterborne disease in Canada. 1984 annual summary. J. Food Prot. 52(7): 503-511.
- TODD C.D.E. 1988. Preliminary estimates of costs of foodborne disease in Canada and costs to reduce salmonellosis. J. Food Prot. 52(7): 503-511.
- TSIMIDOU M. and BOSKOU D. 1994. Antioxydant activity of essential oils from the plants of the Lamiaceae family in Development in food science 34. Ed. Charalambous G., Elsevier book. New York. 273-307.

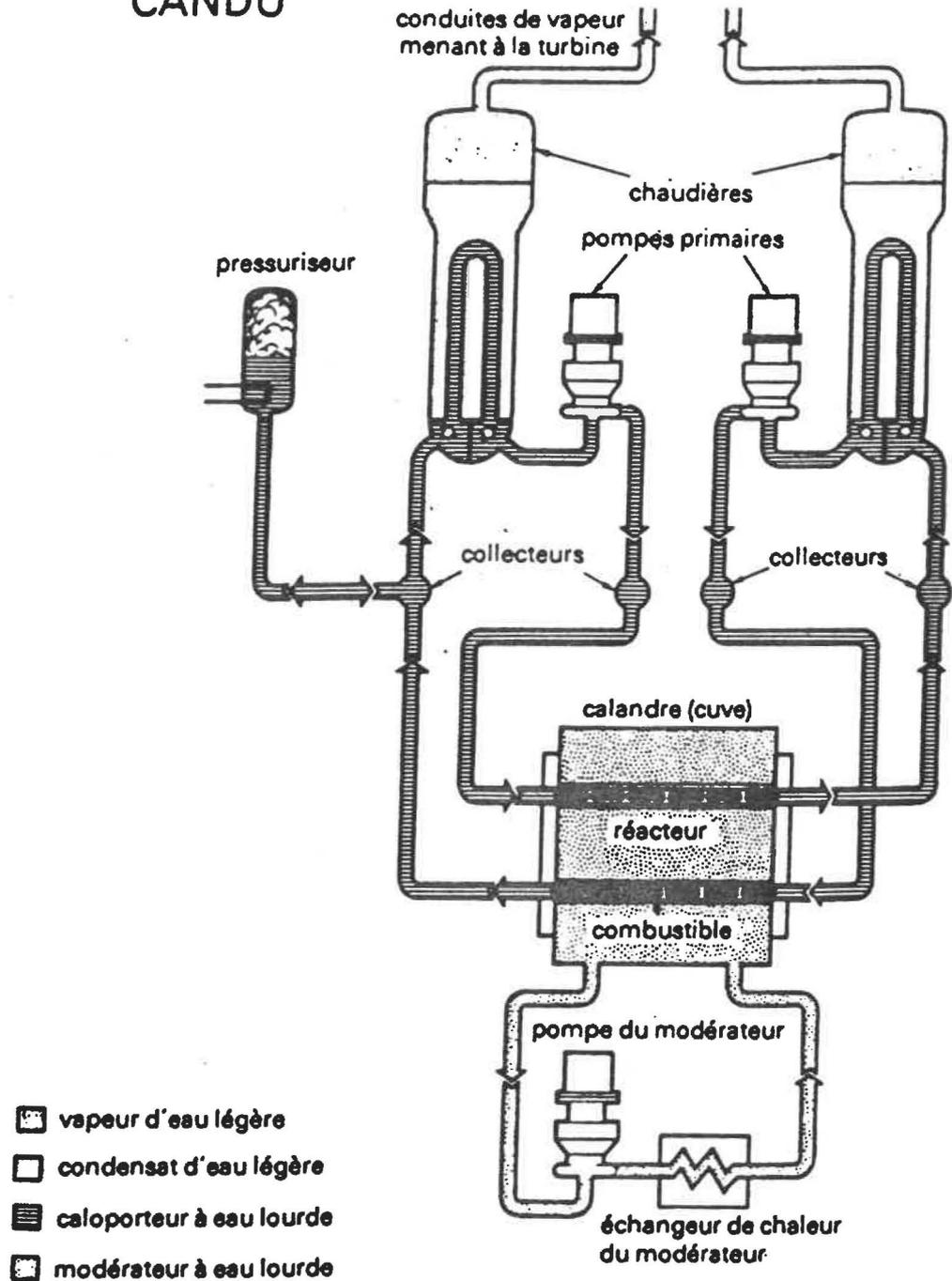
- TURTURA G. C. 1991. *Enterobacteriaceae* and other gram-negative bacteria in slaughtered poultry. *Microbiol. Aliments Nutrition* 9: 139-146.
- UBERSAX M.A, DAWSON L.E and UBERSAX K.L. 1978. Evaluation of various mixing stresses on storage stability (T.B.A) and color of mechanically deboned turkey meat. *Poultry Science* 57: 924-929.
- ULBERTH F. and HAIDER H.J. 1992. Determination of low level trans unsaturation in fats by Fourier transform infrared spectroscopy. *J. Food Science* 57(6): 1444-1447.
- URBAIN W.M. 1978. Food irradiation, *Adv. Food Res.*, 24. p. 155.
- URBAIN W.M. 1983. Radurization and radicidation: meat and poultry. In *Preservation of Food by Ionizing Radiation* (Eds. E.S. Josephson and M.S. Peterson). CRC Pres, Inc., Boca Raton, Florida. III: 1-11.
- URBAIN W.M. 1986. Food irradiation. *Food Science and Technology Monograph*. Academic Press Inc., Orlando, Fl. : 124-144.
- VARABIOFF Y., MITCHELL G.E. and NOTTIGHAM S.M. 1992. Effects of irradiation on bacterial load and *Listeria monocytogenes* in raw chicken. *J. Food Protection*. 55(5): 389-391.
- VASSEUR J.P. 1991. Ionisation des produits alimentaires. Ed. Technique & Documentation. Lavoisier. APRIA. Paris. pp. 444.
- VIAU M. et GANDEMER G. 1991. Principales caractéristiques de composition des graisses de volaille. *Revue française des corps gras* 5-6: 171-177.
- WARD D.W. 1985. The TBA assay and lipid oxydation : an overview of the relevant literature. *Milchwissenschaft* 40(10): 583-588.
- WHANG K. et PENG I.C. 1986. Lipid oxidation in ground turkey skin and muscle during storage. *Poultry Science* 66: 458-466.
- W.H.O. 1981. Wholesomeness of irradiated food. World Health Organisation Technical Report Series No. 659.

- W.H.O. 1988. L'irradiation des produits alimentaires : une technique pour conserver et améliorer la salubrité des aliments. Publication de l'Organisation mondiale de la santé. Genève. Suisse. Nov. 1988.
- WILLS P.M., MAC FARLANE J.J., SHAY B.J. and EGAN A.F. 1987. Radiation preservation of vacuum packaged sliced corned beef. *Int. J. Food Microbiol.* 4: 313-322.
- WILSON B.R., PEARSON A.M. and SHORLAND F.B. 1976. Effect of total lipids and phospholipids on warmed over flavor in red and white muscle from several species as measured by thiobarbituric acid analysis. *J. Agric. Food Chem.* 24: 7-11.
- WU J.M., LEE M.H., HO C.T. and CHANG S.S. 1982. Elucidation of the chemical structures of natural antioxidants isolated from rosemary. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 59(8): 339-345.
- WU T.C. and SHELDON B.W. 1988. Influence of phospholipids on the development of oxidized off flavors in cooked turkey rolls. *J. Food Sci.* 53: 55-61.
- YAMAUCHI K., NAGAO Y. and OHASHI T. 1982. Quantitative relationship between alpha-tocopherol and polyunsaturated fatty acid and its connection to development of oxidative rancidity in chicken skeletal muscle. *Agric. Biol. Chem.* 46: 2719-2724.
- YANG G.C., QUIANG W., MOREHOUSE K.M., ROSENTHAL I., KU Y. and YURAWECZ P. 1991. Determination of hydroperoxides in edible oils by electron spins resonance, Thiobarbituric acid assay and liquid chromatography. Chemiluminescence techniques. *J. Agric. Food Chem.* 39(5): 896-898.
- YIN M. C. and FAUSTMAN C. 1993. Influence of temperature, pH, and phospholipid composition upon the stability of myoglobin and phospholipid: A liposome model. *J. Agric. Food Chem.* 41(6): 853-857.
- YOUNG L.L., GARCIA J.M., LILLIARD H.S., LYON C.E. and PAPA C.M. 1991. Fat content effects on yield, quality, and microbiological characteristics of chicken patties. *J. Food Science* 56(6): 1527-1528.
- YULE B.F., SHARP J.C.M., FORBES G.I. and MAC LEOD A.F. 1988. Prevention of poultry salmonellosis by irradiation: costs and benefits in Scotland. *Bulletin of World Health Organisation.* 66(6): 753-758.

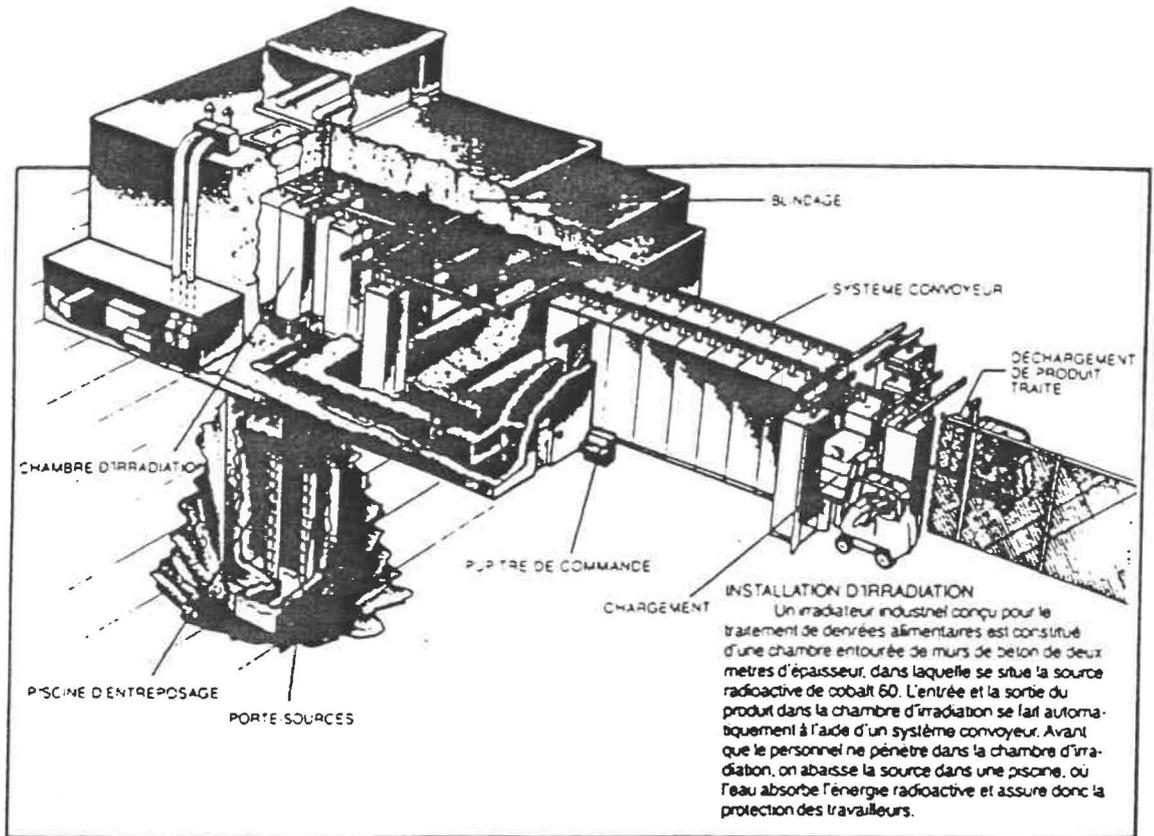
- ZABIELSKI J., KIJOWSKI J., FISZER W. and NIEWIAROWIEZ A. 1984. The effect of irradiation on technological properties and protein solubility of broiler chicken meat. J. Food Sci. and Agric. 35: 662-670.
- ZAIKA L.L., KISSINGER J.C. and WASSERMAN A.E. 1983. Inhibition of lactic acid bacteria by herbs. J. Food Science 48: 1455-1459.
- ZUBILLAGA M.P. and MAERKER G. 1991. Quantification of three cholesterol oxidation products in raw meat and chicken. J. Food Science 56(5): 1194-1196.

ANNEXES

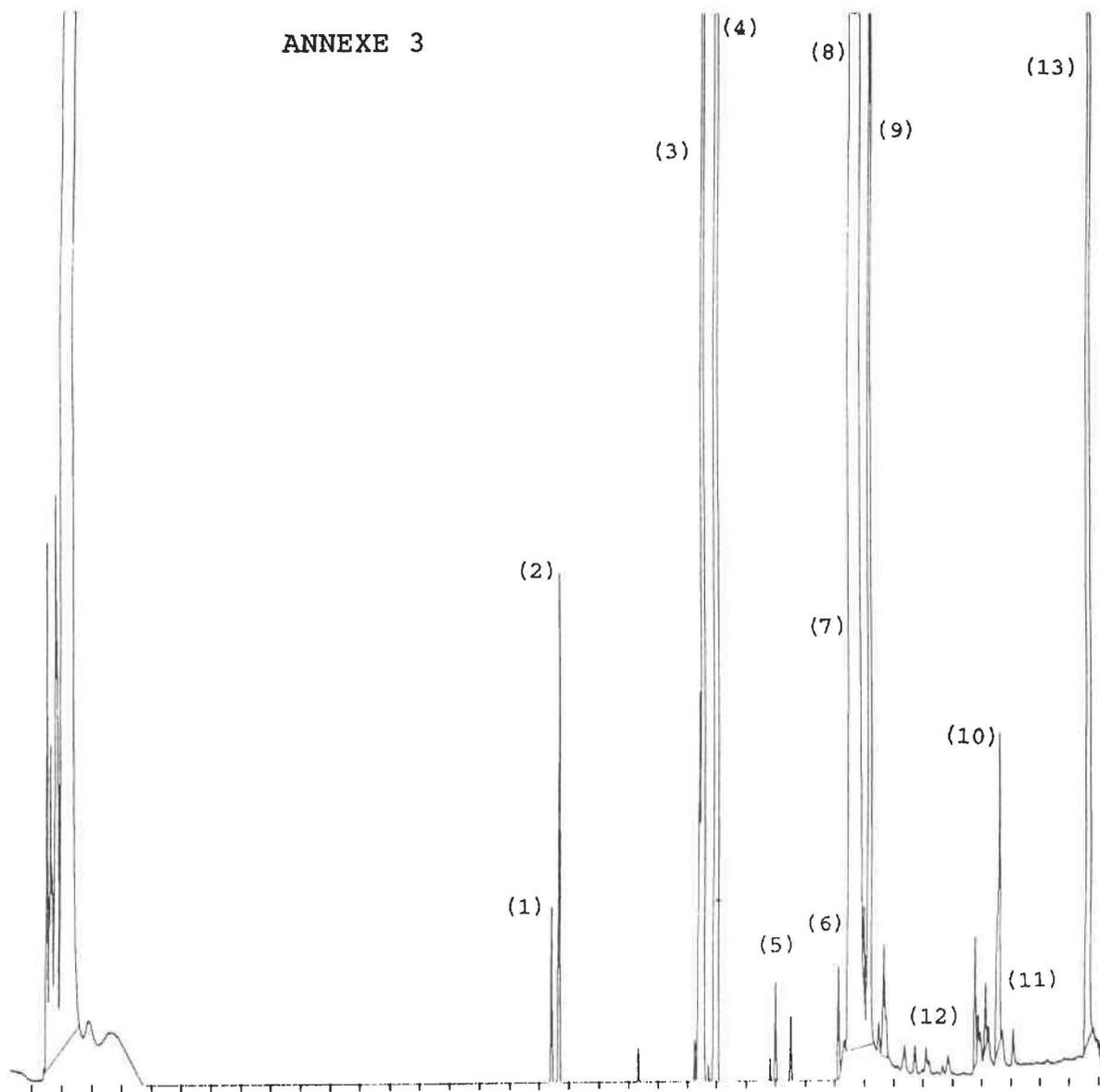
Schéma de la circulation dans un réacteur CANDU



Irradiateur industriel du C.I.C, Laval.



ANNEXE 3



Ex e m p l e d e
 chromatogramme de
 lipides neutres,
 échantillon irradié à
 3kGy sous vide:

(1)-C14=1, (2)-C14=0,
 (3)-C16=1, (4)-C16=0,
 (5)-C17=0, (6)-C18=3,
 (7)-C18=2, (8)-C18=1,
 (9)-C18=0, (10)-C20=2,
 (11)-C20=0, (12)-NI
 (13)-C21=0 (Std. I)

ANNEXE 4

Table statistique: essai triangulaire, table de probabilités de x jugements justes en n essais

n \ x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
5		888	539	210	045	004																							
6		912	649	320	100	018	001																						
7		941	737	429	173	045	007																						
8		981	806	532	259	088	020	003																					
9		974	857	623	360	145	042	008	001																				
10		983	898	701	441	213	077	020	003																				
11		988	926	788	527	289	122	039	009	001																			
12		992	948	819	607	368	178	068	019	004	001																		
13		996	961	861	678	448	241	104	036	009	002																		
14		997	973	896	739	524	310	149	068	017	004	001																	
15		998	981	921	791	598	362	203	088	031	008	002																	
16		998	988	941	834	681	453	283	128	060	018	004	001																
17		999	990	968	870	719	522	328	172	078	027	008	002																
18		999	993	987	898	789	588	391	223	108	043	014	004	001															
19		996	978	921	812	648	457	279	148	086	024	007	002																
20		997	982	940	848	703	521	339	191	092	038	013	004	001															
21		998	987	964	879	751	581	399	240	128	068	021	007	002															
22		998	991	986	904	794	638	480	293	183	079	033	012	003	001														
23		999	993	974	924	831	690	519	349	208	107	048	019	008	002														
24		999	996	980	941	882	737	578	408	264	140	068	028	010	003	001													
25		999	998	986	964	888	778	630	462	304	178	092	042	018	008	002													
26		997	989	964	910	818	679	518	367	220	121	068	028	009	003	001													
27		998	992	972	928	847	728	572	411	288	164	079	038	014	006	002													
28		999	994	979	943	874	766	623	464	314	191	104	060	022	008	003	001												
29		999	996	984	955	897	801	670	517	364	232	133	068	031	013	006	001												
30		999	997	988	966	918	833	714	568	418	278	168	090	043	019	007	002	001											
31		998	991	972	932	861	784	617	468	322	203	118	069	027	011	004	001												
32		998	993	978	948	885	789	682	518	370	243	144	078	038	018	008	002	001											
33		999	996	983	967	906	821	708	566	419	286	177	100	061	023	010	004	001											
34		999	998	987	965	922	849	744	612	468	330	213	128	087	033	014	008	002	001										
35		999	997	990	973	937	873	779	668	518	378	252	166	087	044	020	009	003	001										
36		998	992	978	949	896	810	697	562	422	290	187	109	068	028	012	006	002	001										
37		998	994	983	969	913	838	736	607	489	338	223	136	076	038	018	007	003	001										
38		999	996	987	967	928	863	789	660	516	381	281	164	096	061	026	011	004	002	001									
39		999	997	990	973	941	886	800	689	560	425	301	198	118	068	033	016	007	003	001									
40		999	992	979	962	903	829	728	603	470	342	231	144	083	044	021	010	004	001										
41		999	994	983	961	920	854	761	644	516	386	268	173	104	067	029	014	008	002	001									
42		999	996	987	968	933	878	791	683	568	428	307	206	127	073	038	019	008	003	001									
43		999	998	990	974	948	896	820	719	600	471	347	239	183	091	060	026	012	006	002	001								
44		999	997	992	980	966	912	845	753	639	514	389	276	182	111	063	033	016	007	003	001								
45		998	994	984	963	928	867	783	677	558	430	313	213	136	079	043	022	010	004	002	001								
46		998	996	987	970	938	887	811	713	698	472	352	246	161	098	065	029	014	008	003	001								
47		999	998	990	978	949	904	838	745	636	514	392	282	189	119	070	038	019	009	004	002	001							
48		999	997	992	980	968	919	869	778	672	564	433	318	220	142	088	048	026	012	008	002	001							
49		999	998	994	984	965	932	879	803	708	593	473	368	253	168	106	061	033	017	008	003	001							
50		999	998	996	987	972	943	898	829	739	631	513	396	287	196	128	078	042	022	011	006	002	001						

* Le zéro et la virgule décimale qui le suit ont été omis.

Source: D'après E.B. Roemler et al., 1978. J. Food Sci. 43(3):942-943. *Institute of Food Technologists. Reproduit avec la permission de l'éditeur.