

ACADEMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

T H E S E

*présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc
pour le Diplôme de DOCTORAT de l'Université*

(Spécialité : Biochimie et Biologie appliquées)

(Mention : Sciences Alimentaires)

SURIMI DE CHINCHARD (*Trachurus trachurus* L.)
INFLUENCE DE CONDITIONS TECHNOLOGIQUES
SUR DES CARACTERISTIQUES DE TEXTURE DU PRODUIT
APRES TRAITEMENT THERMIQUE

par

Véronique VERREZ

Soutenue le 20 mai 1987 devant le Jury composé de :

M. Le Professeur J.C. CHEFTEL (USTL)

Président

M. Le Professeur D. LORIENT (ENSBANA - Dijon)

M. D. GALLANT Directeur de Recherches (INRA - Nantes)

M. M. LAROCHE (INRA - Nantes)

M. L. HAN-CHING (IFREMER - Nantes)

S O M M A I R E

AVANT-PROPOS

ABREVIATIONS ET SYMBOLES UTILISES

RESUME

SUMMARY

INTRODUCTION

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

MATERIELS ET METHODES

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS

Ce travail a été effectué dans le cadre du département "Utilisation et Valorisation des Produits" au Centre IFREMER de Nantes. Je tiens à exprimer mes remerciements sincères à :

Monsieur Henri DURAND, responsable de ce département pour m'avoir accueillie au sein de son service ;

Monsieur Luçay HAN-CHING, responsable scientifique du laboratoire "Caractéristiques des Produits". Qu'il soit assuré de ma plus vive reconnaissance pour l'aide et les conseils qu'il m'a prodigués durant ces années d'étude ;

Monsieur Michel LAROCHE ainsi que ses collègues INRA, Messieurs TRAN et MORAT, pour leur concours précieux en matière d'optimisation et de traitement statistique des résultats ;

Monsieur Daniel GALLANT, Directeur de Recherches à l'INRA de Nantes. Qu'il soit vivement remercié ainsi que Mademoiselle Brigitte BOUCHET de leur aide précieuse dans le domaine de la microscopie et de leur souci de discussion et correction dans le détail ;

Monsieur Le Professeur Jean-Claude CHEFTEL, responsable universitaire auprès de l'USTL de Montpellier pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse ;

Monsieur le Professeur Denis LORIENT, professeur de Biochimie à l'ENSBANA de Dijon pour avoir eu la bienveillance de juger ce travail ;

La sympathique et dynamique équipe SURIMI : Christine CHOPIN, Mireille CARDINAL, Annie HADJADJ, Ewa LUKOMSKA, Max MASTAIL, Marc JEROME et Jean-Claude BARDIN pour leur aide manuelle et matérielle, la bonne humeur, les discussions sérieuses ainsi que les moments de détente.

Je tiens à remercier également Madame Marie-Anne LE BOBINNEC pour la brillante mise en page de ce rapport ainsi que toutes les personnes qui grâce à leur aide scientifique, technique ou morale ont facilité la réalisation de ce travail.

Enfin, que Maman soit assurée de mes plus tendres remerciements pour son soutien quotidien, sa tendresse et sa confiance en moi.

ABREVIATIONS ET SYMBOLES UTILISES

ACP : analyse en composantes principales
BAC : broyage du surimi avant congélation
BPC : broyage du surimi après congélation
°C : degré Celsius
DC : durée de chauffage
DM : durée de maturation
DR : déformation à la rupture (ou % de déformation résiduelle)
DS : durée de stockage à l'état congelé
FE : fraction d'eau extraite par pression
Fig. : figure
FR : force de rupture
g : gramme
IC : indice de cohésion
keV : kilo-électron Volt
kg : kilogramme
kN : kilo Newton
M : mole
MEB : microscopie électronique à balayage
MET : microscopie électronique à transmission
µl : microlitre
ml : millilitre
min : minute
mm : millimètre
moy : moyenne

/...

N : Newton
nm : nanomètre
PC : perte au chauffage
PE : perte en eau
PIC : pente initiale de compression
PP : polyphosphates
PS : perte en matière sèche
RC : rendement au chauffage
RS : rendement en matière sèche
SA : matière sèche du surimi avant traitement
thermique
Sac. : saccharose
SC : matière sèche du surimi après traitement
thermique
Sorb : sorbitol
SS : matière sèche soluble
T : tonne
Tab. : tableau
TC : température de chauffage
TP : test de pliage

RESUME

Le surimi, pâte de poisson lavée et broyée avec du sel, possède habituellement après traitement thermique une texture particulière de gel de protéines myofibrillaires ferme et élastique que les Japonais caractérisent sous le nom de "ashi".

Les objectifs principaux de cette étude portant sur certaines caractéristiques de texture (cohésion, rigidité, élasticité) après traitement thermique du surimi de chinchard (*Trachurus trachurus* L.) sont d'optimiser les conditions technologiques dans le but d'obtenir le meilleur "ashi", de déterminer l'influence de l'entreposage congelé du surimi et de l'addition de blanc d'oeuf et d'amidon de pomme de terre et d'établir l'effet cryoprotecteur de l'addition au surimi de différentes combinaisons de sucres (sorbitol et saccharose), de polyphosphates et de sel.

L'optimisation des conditions de préparation :

- durée de broyage du surimi avec les cryoprotecteurs avant congélation ;
- durée de broyage du surimi décongelé avec les agents de texture ;
- durée de maturation à 45°C ;
- température de cuisson ;
- durée de cuisson ;

est réalisée selon une méthode d'optimisation, par séries d'expériences, développée actuellement à l'INRA.

La texture du surimi après traitement thermique est dépendante par ordre d'importance de la température de cuisson, des durées de traitement thermique (maturation et cuisson) et de la durée de broyage du surimi avec les agents de texture.

Bien qu'une partie de la variation de ces résultats soit expliquée par la durée d'entreposage du surimi à - 20°C, nous observons lors de la seconde partie de ce travail que l'altération des capacités gélifiantes du surimi durant un entreposage de 6 mois à - 30°C est très réduite. Toutefois, les profils d'électrophorèse indiquent une certaine dénaturation des protéines myofibrillaires et, au microscope électronique à transmission des agrégats de protéines myofibrillaires dans le surimi congelé 7 mois à - 30°C apparaissent, vraisemblablement dus à un début de dénaturation qui ne transparait pas sur les caractéristiques de texture du surimi après traitement thermique.

L'étude de différentes combinaisons d'additifs montre que le degré de cryoprotection serait indépendant de la nature

du sucre (sorbitol ou saccharose). Le sel n'aurait pas d'action dénaturante vis à vis des protéines myofibrillaires du surimi conservé à - 30°C.

La texture du surimi et la rétention d'eau sont améliorées d'une façon générale par les agents de texture étudiés. Les techniques de microscopie montrent la relative uniformité du réseau de gel du surimi ; la gélification des protéines myofibrillaires se faisant en parallèle avec la gélatinisation partielle de l'amidon. Le blanc d'oeuf, agent liant, "lisserait" la microstructure du surimi après traitement thermique et agirait comme "bouche-trous".

Enfin, les observations microscopiques indiquent l'importance, dans le processus technologique de fabrication du surimi employé, de l'étape de raffinage qui semble indispensable pour une bonne dispersion des myofibrilles. Un broyage non précédé de cette étape de raffinage ne permet pas la dispersion des protéines myofibrillaires qui, même en présence de sel, demeurent en paquets facilement discernables au microscope électronique à transmission.

SUMMARY

Surimi, washed fish mince after grinding with salt, has a firm and elastic gel texture or "ashi" after thermal processing.

The major objectives of this study on horse mackerel (*Trachurus trachurus*) surimi are to optimize the technological conditions in the aim to obtain the best ashi, to determine the influence of frozen storage and of egg white and potato starch addition, and to establish the preventive effect of incorporation into surimi of different combinations of cryoprotectants and NaCl.

Gel texture is, by order importance, dependent on cooking temperature, length of setting and cooking and length of grinding of surimi with texture additives after thawing.

Changes of gelling properties after 6 months at -30°C of frozen storage are limited. The degree of cryoprotective effect seems independent of the nature of carbohydrates, sorbitol or sugar. No denaturing effect of salt is observed on myofibrillar proteins of surimi stored at -30°C .

Surimi texture (rigidity and cohesion) and water-holding capacity are improved by using egg white and potato starch. The approach to texture by microscopical techniques shows the uniformity of surimi gel network. Actomyosin gelation is independent to partly starch gelatinization. Refining step in surimi process technology seems to be essential to ensure a well dispersion of myofibrils.

Key words : fish, horse mackerel (*Trachurus trachurus* L.), surimi, kamaboko, myofibrillar proteins, gelation, thermal coagulation, texture, optimisation method, technological treatments, cryoprotectors, texture ingredients, microscopy, water retention capacity.

INTRODUCTION

Le surimi, chair de poisson lavée, constitue une matière première semi-préparée traditionnelle au Japon, riche en protéines myofibrillaires et utilisée comme ingrédient de base dans la fabrication de très nombreux produits (kamaboko, chikawa, hampen...) et plus récemment dans la formulation des saucisses de poisson, d'analogues de jambon ou de produits de la mer tels que crabes, crevettes, coquilles Saint-Jacques...

Le surimi favorise l'utilisation des espèces de poissons non encore commercialisées pour des raisons diverses : image de marque au niveau consommateur, nombre important d'arêtes,...car le surimi "dépersonnalisant" le poisson permet de reconstituer des produits divers de haut de gamme notamment (HAN-CHING, 1984).

Exportés du Japon depuis 1977, les produits à base de surimi et principalement les analogues de fruits de mer remportent un vif succès dans les pays occidentaux et plus particulièrement aux Etats-Unis. Avec un total de 400 tonnes en 1977, les exportations ont rapidement atteint 32 000 tonnes en 1984 (dont 80 % destinés aux Etats-Unis).

Privilégié pour s'investir dans une étude approfondie à la fois au niveau technologique et scientifique, l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) a lancé un projet surimi en collaboration avec l'Institut National de la Recherche Agronomique et en liaison avec l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Ce projet a pour but de motiver les industriels de la pêche et de la transformation pour la fabrication d'un tel produit, à base d'espèces sous-valorisées disponibles aisément.

Les Japonais apprécient un surimi par son "ashi", c'est à dire par sa texture de gel ferme et élastique après traitement thermique. Une étude préliminaire réalisée à l'IFREMER (LANDAIS, 1984) a montré que deux espèces, le tacaud (*Trisopterus luscus*) et le chinchard (*Trachurus trachurus*), intéressantes tant au point de vue coût de matière première qu'importance des stocks, pouvaient fournir aux industries un surimi de bonne qualité.

De même, les travaux japonais (NIWA et al., 1980 ; SHIMIZU et NISHIOKA, 1974) portant sur le chinchard japonais (*Trachurus japonicus*) indiquent que cette espèce présente une aptitude intéressante à donner un gel élastique mais de fermeté moyenne. Aussi, cette espèce de poisson a été choisie comme

matière première pour toute l'étude sur la texture du surimi faisant l'objet de cette thèse.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à l'étude de l'influence des paramètres technologiques sur les caractéristiques de texture du surimi de chinchard et pour lesquels nous déterminerons les optima.

Etant donnée l'importance sur la texture de la durée de l'entreposage à l'état congelé, nous aborderons dans un second temps l'étude de l'influence de l'addition de combinaisons de sucres, de sel et de polyphosphates avant congélation du surimi.

Parallèlement à ces deux grands axes d'études, la microstructure du surimi et du gel de surimi sera suivie selon les différents types de traitement.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Le SURIMI est un terme japonais désignant le produit intermédiaire résultant du lavage à l'eau de la chair de poisson désarêtée mécaniquement. Le surimi est une pâte de protéines myofibrillaires de goût, d'odeur et d'aspect relativement neutres. Il est généralement conservé congelé grâce à des cryoprotecteurs tels que le sorbitol, le saccharose et les polyphosphates. On distingue le kaen-surimi du muen-surimi selon qu'il est avec ou sans chlorure de sodium.

Le KAMABOKO est un terme réservé aux gels de poisson traditionnels où le surimi est étalé sur une plaque de bois, cuit à la vapeur ou bouilli.

I.- TECHNOLOGIE DU SURIMI

La fabrication du surimi, chair de poisson hachée et lavée, peut être divisée en 4 étapes principales :

- récupération de la chair hachée à partir de poisson entier
- lavage de la chair hachée pour récupérer les protéines myofibrillaires
- raffinage de la chair lavée pour éliminer les débris de peau, d'arêtes, de collagène...
- essorage final pour ramener la chair lavée à une teneur en eau inférieure à 85 %.

I.1.- Obtention de la chair hachée.

Le poisson est préalablement étêté et éviscéré avant d'être lavé et fileté. Ces différentes étapes se font de façon manuelle ou automatique.

La récupération de la chair est réalisée par le passage dans une désarêteuse : les poissons sont comprimés contre un cylindre dont les perforations ont un diamètre de 1,5 à 7 mm (en général 3 à 5 mm pour la fabrication du surimi) ; la chair pressée pénètre dans le cylindre alors que la peau et les arêtes demeurent à l'extérieur du tambour.

I.2.- Lavage de la chair hachée.

Une des étapes critiques de la technologie du surimi est le lavage de la chair hachée à l'eau froide et douce afin d'éliminer le sang, les graisses, les protéines

sarcoplasmiques, les enzymes et certains composés azotés non protéiques. Un tel lavage rend le produit plus blanc et plus neutre et améliore la texture du produit final (MIYAUCHI et al., 1973). Le lavage diminue fortement la teneur en éléments minéraux (environ 80 % de pertes) et élimine 65 % des lipides selon ADU et al. (1983).

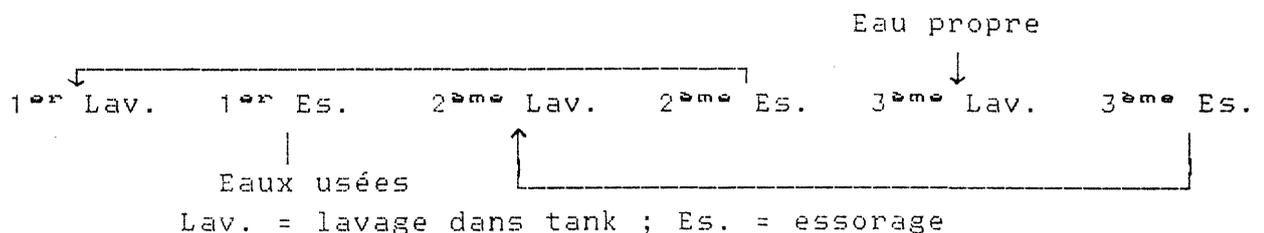
Dans le procédé manuel en discontinu, le volume d'eau utilisé pour chaque lavage doit être 5 à 10 fois celui du poisson et au moins trois cycles de lavage sont nécessaires (LEE, 1984). Le nombre de cycles de lavage et le volume d'eau varient suivant l'espèce de poisson, la fraîcheur, la teneur en graisses, la qualité du surimi souhaitée.

Dans le procédé industriel, le lavage est semi-continu avec une agitation mécanique dans une série de tanks séparés par des "essoreuses".

Les lavages répétés augmentent généralement les propriétés hydrophiles de la chair rendant alors plus difficile l'élimination de l'eau. Aussi, souvent pour le dernier lavage, 0,01 à 0,3 % de chlorure de sodium est additionné à l'eau de lavage. Ainsi le temps de lavage doit être porté à son minimum, juste le temps nécessaire à une bonne extraction des protéines sarcoplasmiques, des graisses, de l'azote non protéique... Le nombre requis de cycles de lavages dépend du rapport eau/chair et, plus ce dernier est important (rapports optima eau/chair de 3/1 et 4/1), plus le nombre de cycle est réduit (LEE, 1985).

Des améliorations aux systèmes de lavage sont proposées telles que :

- . le lavage en tank avec recyclage de l'eau



L'eau de lavage serait théoriquement réduite au 2/3. La première eau de lavage ne peut pas être recyclée car elle est trop chargée en impuretés, sang, enzymes, graisses... Ce procédé apporterait également une économie au niveau énergétique, le volume d'eau à refroidir étant diminué.

- . le système non conventionnel en ligne Alfa-Laval. La chair et l'eau sont intimement mêlées et suivent un même trajet dans les tubulures. Le procédé en ligne permet de contrôler le flux, de diminuer la consommation d'eau, d'économi-

ser une surface au sol, de diminuer le temps de travail (car il n'y a plus d'essorage entre les lavages) et de réduire la durée de nettoyage.

La qualité du surimi est largement dépendante des qualités de l'eau, de sa dureté, de son pH - le pH doit être maintenu approximativement à celui de la chair de poisson (6,5 à 7,0), - de sa salinité, de sa température - une température < 10°C ou moins est recommandée - et de sa teneur en substances minérales.

I.3.- "Raffinage" de la pulpe lavée.

Le but de cette étape est la séparation de la chair blanche de la chair sombre et du tissu conjonctif par passage à travers des tamis perforés. L'élimination du collagène, des débris de peau et d'arêtes permet d'obtenir un produit très uniforme composé quasi-uniquement de protéines myofibrillaires déjà bien dispersées.

Traditionnellement, l'essorage final était réalisé avant le raffinage, mais le produit alors plus sec était plus difficile à raffiner.

Le rendement de cette étape est fonction de la teneur en eau du produit et de la perforation des tamis, une teneur en eau de 87 à 90 % après lavage est considérée comme optimum.

I.4.- Essorage final.

L'eau en excès est éliminée habituellement à l'aide d'une presse à vis. Le taux de "déshydratation" est fonction de la pression exercée et du temps de résidence de la chair dans le corps de presse (LEE, 1986).

La teneur en eau après cette étape doit être < 85 % (le surimi fabriqué à bord des bateaux-usines en contient 82 % à la fin de cette étape).

I.5.- Addition des cryoprotecteurs.

Cette étape est indispensable dans le cas de la fabrication de surimi destiné à être congelé, les cryoprotecteurs permettant d'éviter la dénaturation rapide des protéines myofibrillaires par le froid, dénaturation par ailleurs ralentie grâce à l'élimination des dénaturants lors du lavage de la chair hachée. Plusieurs types de mélangeurs sont utilisés (avec un pétrin ou un broyeur, sous vide ou non, réfrigéré ou non ...). La dispersion uniforme des cryoprotecteurs est fonction du temps de mélange. La

température du mélange ne doit pas s'élever au dessus de 10 - 11°C. Les polyphosphates ajoutés comme cryoprotecteurs permettent entre autre de ralentir l'élévation de température car ils diminuent la friction (LEE et TOLEDO, 1976).

Les rendements en surimi sont de l'ordre de 25 % à 40 % (pour le tacaud - technologie pilote IFREMER) par rapport au poisson entier suivant l'espèce et la technologie.

II.- COMPOSITION DU POISSON ET DU SURIMI

II.1.- Structure de la chair de poisson

Cette partie a été rédigée essentiellement à partir de l'étude très complète de SAINCLIVIER (1983).

II.1.1.- Peau, squelette et "viscères"

Le derme et l'épiderme constituent la peau. Le derme chez les gadidés est formé de nombreuses couches de fibres parallèles de collagène supportant des écailles peu développées. La membrane sous-jacente et l'hypoderme sont constitués de tissu conjonctif plus lâche contenant les chromophores.

Dérivé de la peau, "l'exosquelette" se présente sous forme d'écailles dermiques fortement imbriquées, très plates et facilement détachables chez les Téléostéens, ou de denticules, solidaires de la peau, qui ont la même origine qu'une dent chez les Sélaciens.

Le squelette est peu volumineux. Les Sélaciens présentent un squelette de type cartilagineux et les Téléostéens un squelette plus ou moins ossifié.

Les viscères offrent une richesse enzymatique qui est recherchée dans le cas de transformation en autolysats ou à éviter dans le but d'améliorer la conservation.

II.1.2.- Les muscles

Ils représentent environ de 35 % - 40 % pour le lieu noir, le merlu et le cabillaud, et 65 % à 70 % pour le hareng et l'anchois.

Le muscle du poisson n'est pas très différent de celui des animaux à sang chaud. Il existe trois types de muscles : les muscles striés qui constituent l'essentiel de la chair de poisson, les muscles lisses qui constituent surtout celle des mol-

lusques et le muscle cardiaque dont la structure est intermédiaire entre les deux.

La chair de poisson est principalement formée de muscles longs divisés en "feuilletés" de forme approximativement conique dont le sommet est dirigé vers la tête. Ces nombreux segments appelés aussi myotomes (ou myomères) (fig. 1) sont emboîtés les uns dans les autres mais séparés entre eux par des cloisons de tissu conjonctif : les myocommes (ou myoseptes). Chaque myotome est composé d'un grand nombre de fibres musculaires parallèles et courtes se terminant approximativement perpendiculairement au myosepte le séparant du myotome voisin.

Les fibres musculaires présentent une structure identique à celles des muscles des mammifères : les fibres musculaires sont constituées par de très nombreuses myofibrilles organisées par les filaments parallèles d'actine et de myosine qui confèrent à la myofibrille son aspect strié en délimitant des bandes sombres (bandes A) avec une zone claire (zone H ou strie M) et des bandes claires (bandes I) avec une zone sombre (strie Z) (fig. 2).

II.1.3.- Le tissu conjonctif

La proportion de tissu conjonctif dans le poisson est moindre que chez les animaux à sang chaud. Il enveloppe le muscle d'une sorte de membrane. Ces cloisons conjonctives séparent les myotomes (LOVE, 1980) (fig. 3) et des éléments conjonctifs plus petits subdivisent le muscle en faisceaux encore plus fins et autour de la fibre musculaire elle-même. Tous les tissus sont normalement maintenus ensemble, mais chez certaines espèces il arrive que les structures conjonctives se désunissent, des fentes apparaissent entre les myomères : c'est le clivage (ou le gapping).

II.2.- Composition du poisson

Cette partie a été rédigée d'après les articles et travaux de ANONYME (1961), SOUDAN et al. (1965), FLICK et al. (1982), SAINCLIVIER (1983), CHEFTEL et al. (1985).

L'utilisation du poisson en tant que matière première présente des difficultés technologiques du fait de son extrême périssabilité et à ses variations de composition. Cette dernière varie en fonction des espèces, des individus - les poissons âgés d'une espèce donnée présentent généralement une surcharge graisseuse -, de l'anatomie - les muscles sombres contiennent moins de protéines et sont plus riches en lipides que les muscles blancs -, de la physiologie, du cycle sexuel - la teneur en

matière grasse est maximum avant le frai -, de la saison, de la température de l'eau, de la nourriture...

La composition moyenne selon le type de poisson est résumée dans le tableau I.

II.2.1.- L'eau

Pour chaque espèce, les teneurs combinées en eau et matières grasses ont une valeur constante, il y a une corrélation négative entre les quantités de lipides et d'eau dans la chair.

II.2.2.- Les protéines

Selon leur localisation dans le muscle de poisson, les protéines peuvent être classées en :

* Protéines extracellulaires (2 à 3%) dites aussi protéines du stroma, de soutien ou protéines du tissu conjonctif, insolubles dans les solutions salines. Il s'agit du collagène (glycoprotéine), de l'élastine, de la réticuline, des kératines, de l'ichtyocol et de la connectine.

* Protéines intracellulaires que l'on subdivise en :

- Fraction myogène hydrosoluble (20 à 30%), soluble à des forces ioniques $< 0,1$, obtenue par pression du muscle ou par extraction en solutions faiblement ioniques. Il s'agit des protéines sarcoplasmiques, nom général pour regrouper un ensemble hétérogène de plusieurs centaines de protéines différentes que l'on dissocie souvent en quatre groupes :

.les protéines nucléaires comprenant les nucléoprotéines à RNA et à DNA, et les lipoprotéines ;

.les protéines mitochondriales (enzymes du cycle de Krebs) ;

.les protéines microsomales et celles des lysosomes ;

.les protéines hyaloplasmiques qui contiennent les enzymes de la voie glycolytique et de la glycogénèse, la myoglobine...

- Fraction myofibrillaire (70 à 80 %). Il s'agit de protéines le plus souvent solubles dans les solutions salines de faible force ionique $\approx 0,6$, mais environ la moitié d'entre elles sont extractibles en milieu aqueux. On différencie :

. la myosine : elle représente 55 à 60 % des protéines myofibrillaires. La myosine est une molécule polymère d'environ 500 000 constituée par deux sous-unités, dites chaînes lourdes de 200 000 et approximativement par deux paires de chaînes légères d'environ 15 à 20 000.

On distingue la partie "filament" formée de deux chaînes lourdes enroulées en double hélice du côté C terminal et une partie "globulaire" constituée elle-même de deux têtes. Chacune de celles-ci, d'un diamètre de 7 nm est formée par l'enroulement en pelotes de l'extrémité N-terminal des chaînes lourdes (une dans chaque tête) liées par des liaisons de faible énergie aux chaînes légères. Il y a deux chaînes légères dans chaque tête.

. l'actine est la deuxième protéine de part son importance, 15 à 25 % des protéines totales du poisson. Elle se présente sous deux formes ; l'une globulaire, l'actine G d'un diamètre d'environ 2 à 5,5 nm, monomère, d'un PM de 47 000, et l'autre fibreuse, l'actine F formée par la polymérisation linéaire des molécules globulaires d'actine probablement liées par un pont Mg^{2+} ou Ca^{2+} à un groupe prosthétique nucléotide.

. les protéines régulatrices :

- la tropomyosine formée de deux chaînes polypeptidiques de structure α hélicoïdale est associée aux deux filaments de la F-actine ;

- les troponines, de trois types T, I et C, sont distribuées périodiquement et espacées d'environ 39 nm le long de la F-actine.

II.2.3.- Les matières grasses

La caractéristique physique principale de la matière grasse des poissons est sa fluidité. Les lipides sont liquides à température ambiante en raison de la proportion importante d'acides gras très insaturés qu'ils contiennent, ce qui les rend très oxydables.

Les graisses dans la chair de poisson sont présentes à la fois dans les muscles blancs et dans les muscles sombres. Cependant, dans la plupart des cas, la teneur en graisses des muscles sombres est plus élevée (parfois jusqu'à dix fois ou plus).

II.2.4.- Les glucides

Le poisson est pauvre en glucides. Le glycogène, forme de stockage du glucose est le sucre essentiel du muscle du poisson. Sa teneur varie selon les espèces, l'état alimentaire, l'âge et la fatigue de l'animal, elle est généralement plus élevée en hiver qu'en été.

II.2.5.- Les matières minérales

Etant donnée la salinité du milieu aquatique, les poissons contiennent des quantités assez élevées en éléments minéraux et oligo-éléments. Les teneurs en matières minérales de quelques espèces sont détaillées dans le tableau II.

II.3.- Particularités biologiques du chinchard

Trachurus trachurus (LINNE, 1758)

Le chinchard fait partie des Téléostéens, Acanthoptérygiens, Scombriformes. Il appartient à la famille des Garangidés et au genre *Trachurus*.

Il existe quatre espèces principales de *Trachurus*, dont le *Trachurus trachurus* qui est limité au bassin atlantique (fig. 4). Il s'agit de l'espèce utilisée pour cette étude. Le chinchard est pêché "accidentellement" le long des côtes bretonnes avec les maquereaux et est, soit rejeté à la mer ou utilisé comme appât par les pêcheurs français. Les captures françaises se maintiennent aux environs de 9 000 tonnes par an pour toutes les espèces confondues.

La première maturité sexuelle a lieu après deux ans de croissance rapide à une taille minimum de 19 cm. En passant à l'état adulte (la croissance en taille est alors fortement réduite, par contre le poids augmente), il abandonne la zone côtière pour gagner le large. Là, il se rassemble pour frayer lors du réchauffement des eaux (le frai ne débute que lorsque la température de surface atteint ou dépasse 11°C). Durant l'été, il se disperse dans les eaux superficielles en quête de nourriture, puis il se rassemble à nouveau en hiver, mais en bancs moins denses, sur les fonds du plateau continental.

Le chinchard est un poisson carnivore vorace. En été, il se nourrit d'éléments pélagiques : copépodes, crevettes, oeuf et stades larvaires de poisson et aussi jeunes poissons. En hiver, son alimentation se compose de crustacés benthiques et pélagiques profonds, de mollusques et d'échinodermes de fond (LETACONNOUX, 1951).

Le cycle annuel de sa teneur en graisses est lié à son alimentation et à la ponte. Ainsi, après la période de nourriture estivale, la teneur en graisses est maximum à l'automne alors qu'elle est au niveau minimum durant la période de ponte. Comme les autres espèces pélagiques, la teneur en eau varie inversement avec la teneur en lipides de telle sorte que la somme lipides + eau se maintienne à 80 % du poids total (LOCKWOOD et JOHNSON, 1977), la teneur en protéines étant voisine de 19 % - 20 %.

NICOLLE et KNOCKAERT (1982) notent des rendements en poids moyens obtenus sur le chinchard :

poids étêté / poids entier : 68 %

poids étêté éviscéré / poids entier : 63 %

poids filet avec peau / poids entier : 46 %

poids filet sans peau / poids entier : 40 %

De même, les travaux de NECIBI (1982) portant sur le hachis de chinchard indique, d'après les rendements d'une récupératrice de chair hachée, 35,5 % de têtes et de viscères, 48 % de chair hachée, 8 % d'arêtes et 8,5 % de peau et de pertes.

II.4.- Composition du surimi

La composition du surimi diffère de celle de la chair de poisson dans la mesure où il s'agit d'une chair hachée et lavée, le lavage éliminant une partie des protéines sarcoplasmiques, du sang, de l'azote non protéique, des lipides... (tab. III).

III.- ENTREPOSAGE DU SURIMI A L'ETAT CONGELE - IMPORTANCE DE L'ADDITION DE CRYOPROTECTEURS

III.1.- Mécanismes de dénaturation des protéines

L'entreposage à l'état congelé provoque une dénaturation des protéines myofibrillaires entraînant leur agrégation par suite d'une modification des structures secondaire et tertiaire, par la formation de ponts disulfures et l'intervention de liaisons ioniques, hydrogènes et hydrophobes. OGUNI et al. (1975) suggèrent que le traitement physique en lui-même de la congélation affecte à un degré considérable l'actomyosine.

CONNELL (1960, 1962) a démontré sur des solutions d'actomyosine de cabillaud entreposées à - 14°C que la perte de solubilité du complexe myofibrillaire est principalement due à la myosine. Au fur et à mesure de l'entreposage, l'actomyosine devient très insoluble par suite de l'augmentation de la taille des agrégats (OGUNI et al., 1975).

Ces phénomènes d'agrégation se traduisent au niveau de la qualité physico-chimique par une altération des propriétés fonctionnelles due à la perte d'extractibilité et de contractibilité de l'actomyosine. La dureté et la perte en eau augmentent tandis que, selon GRABOWSKA et SIKORSKI (1974), la solubilité et la capacité émulsifiante des protéines myofibrillaires diminuent, ainsi que la capacité gélifiante et l'activité ATPasique.

Le phénomène de dénaturation est principalement lié à 4 types de réactions (TRAN et HAN-CHING, 1981) :

- Réaction avec les groupements sulfhydriles. BUTTKUS (1970) propose un mécanisme expliquant l'agrégation de la myosine aux températures de congélation basé sur les réactions d'échange disulfure-sulfhydrile initiées par l'oxydation de quelques groupes SH. La formation de ponts disulfures est suivie par un réarrangement des liaisons hydrophobes et hydrogènes ;

- Réaction avec les produits d'oxydation des lipides. KING et al. (1962) montrent que l'importance de l'insolubilisation des protéines dépend de la nature de l'acide gras, de sa concentration et de la durée d'entreposage ;

- Réaction avec le formaldéhyde. Le formaldéhyde est formé à partir du clivage enzymatique ou non de l'oxyde de triméthylamine. Selon LAIRD et al. (1980), la perte de solubilité des protéines est due à la formation de ponts covalents entre un groupe aminé comme celui de la lysine et le formaldéhyde. POULTER et LAWRIE (1979) suggèrent que non seulement les protéines myofibrillaires mais aussi les protéines sarcoplasmiques peuvent être rendues insolubles par le formaldéhyde durant l'entreposage ;

- Effet de l'augmentation de la concentration en sels. Lors de la congélation, la concentration en sels dans les tissus augmente ; les solutés du liquide interstitiel se concentrent en une phase liquide résiduelle. Les sels inorganiques affectent la qualité des protéines en abaissant le point de congélation, en déshydratant et en agissant sur la tension interfaciale et sur les groupements chargés des chaînes latérales par des interactions ioniques.

III.2.- Influence de l'addition de cryoprotecteurs

En 1959, une équipe de chercheurs japonais autour de NISHIYA (de la station expérimentale des pêches d'Hokkaido) découvre que l'addition de cryoprotecteurs tels que les sucres à un système chair hachée-lavée comme le surimi permet d'augmenter considérablement la durée d'entreposage pratique à l'état congelé (le lavage éliminant quasi-totalement les graisses, les protéines sarcoplasmiques, les enzymes, l'oxyde de

triméthylamine et les minéraux qui accélèrent la dénaturation des protéines) (SUZUKI, 1981). En pratique commerciale, il est ainsi ajouté au surimi avant congélation un mélange de différents cryoprotecteurs, en général 4 % de saccharose, 4 % de sorbitol et 0,2 % de polyphosphates.

Le saccharose montre le même effet cryoprotecteur que le sorbitol pour stabiliser les propriétés gélifiantes (SWENSSON, 1984). De même, l'effet préventif du glucose et du saccharose est identique ; le fait qu'il y ait ou non un groupe réducteur ne semble pas influencer la cryoprotection. En général la vitesse de dénaturation est plus importante durant la première semaine d'entreposage (RAO, 1983). NOGUCHI et al. (1976) émettent l'hypothèse que l'action des sucres sur la dénaturation est liée à un mécanisme commun aux hydrates de carbone et non spécifique mettant en jeu des liaisons hydrogènes (hydratation préférentielle des protéines) par l'intermédiaire des groupements hydroxyles.

D'après BROTSKY et SCHWARTZ (1980), les polyphosphates agissent en chélatant différents cations qui catalysent l'aggrégation des protéines et en affectant la structure des protéines gélifiantes. Les polyphosphates augmentent la force ionique, les réactions de répulsion et d'hydratation des protéines et par conséquent augmentent les quantités d'eau liées aux protéines. Les polyphosphates diminuent de façon significative la perte de fluide expressible lors d'un entreposage congelé (WOYEWODA et BLIGH, 1986).

Ainsi pour un surimi fabriqué à partir de poissons frais, la capacité à former un gel n'est pas modifiée significativement après un an d'entreposage à une température constante inférieure à - 20°C (DASSOW, 1982 ; LEE, 1984). Le pourcentage d'eau favorable dans le cas du surimi congelé se situe entre 75 % et 85 % (HOLMQUIST et al., 1984).

L'effet inhibiteur des protéines sarcoplasmiques sur la dénaturation des protéines myofibrillaires durant l'entreposage congelé est moins important que l'effet inhibiteur de la fraction soluble dans l'eau sur la capacité à former un gel (NISHIMOTO et KOREEDA, 1979).

Le lavage diminue la stabilité à l'entreposage alors que la tolérance à l'entreposage est augmentée. Le lavage dans le procédé de fabrication du surimi améliore donc la tolérance à l'entreposage et l'addition de sucres permet de recouvrer la perte de stabilité à la congélation (SHIMIZU et FUJITA, 1985).

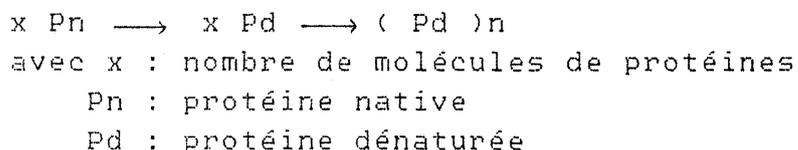
IV.- MECANISME DE LA GELIFICATION

IV.1.- Mécanisme général de la gélification

Un gel, selon HERMANSSON (1978), peut être défini comme un état intermédiaire entre une solution et un précipité maintenu par un équilibre très précis entre les interactions protéines-protéines et protéines-solvant. Les transitions thermiques de "sol" en gel sont le reflet du dépliement de la structure des protéines (YASUI et al., 1979).

Note : La définition du gel que donne HERMANSSON est très large et peut effectivement s'appliquer au réseau protéique du surimi après traitement thermique, et de fait, tous les auteurs de travaux sur le surimi s'accordent à parler de phénomène de gélification. Mais pour les "puristes", le terme de gel qualifiant ce type de produit serait un abus de langage. Cependant, étant donné qu'aucune vérification sur la non-existence des transitions thermiques du surimi en gel n'a été réalisée, nous considérerons néanmoins, ainsi que l'indiquent de nombreux auteurs, qu'un certain état de gélification apparaît dans le surimi.

Contrairement à la coagulation où l'agrégation des protéines se fait au hasard, la gélification met en oeuvre l'agrégation ordonnée des protéines qui sont ou non dénaturées, formant un réseau tridimensionnel (GOSSETT et al., 1984). FERRY (1948) caractérise l'agrégation des protéines pouvant donner lieu au phénomène de gélification en 2 phases successives, la dénaturation puis l'agrégation des protéines, selon l'équation ci-dessous :



Un réseau avec un certain degré d'organisation ne peut être obtenu que si l'étape d'agrégation est beaucoup plus lente que l'étape de dénaturation afin de donner le temps aux molécules de s'orienter mutuellement avant l'agrégation (GOSSETT et al., 1984).

L'agrégation suit une cinétique de premier ordre. Aux températures inférieures à 50°C, la dénaturation est importante et l'agrégation lente, alors qu'aux températures supérieures à 55°C l'agrégation est rapide avec une modification de la structure de la partie terminale de la molécule de myosine (ZIEGLER et ACTON, 1984).

La gélification du surimi peut être obtenue en 2 phases : une phase de maturation (suwari en japonais, setting en anglais) à une température inférieure à 50°C et une phase de cuisson proprement dite à une température supérieure à 50°C.

IV.2.- Influence de la maturation

La maturation peut être considérée comme une phase de transition des molécules protéiques, d'une conformation hélicoïdale ordonnée à des configurations en pelotes statistiques dans lesquelles les molécules de protéines sont enroulées ; les liaisons disulfures, hydrophobes... peuvent être formées en plus grande quantité durant un chauffage ultérieur (LANIER et al., 1980). La maturation peut se produire à température ambiante et même à 0°C.

Un processus rapide de chauffage à des températures internes supérieures ou égales à 55°C donne un gel opaque plus ferme qu'avec la seule phase de maturation, mais le gel est plus cassant et moins cohésif (LANIER et al., 1982). La maturation permet un arrangement régulier des protéines musculaires (NIWA et NAKAJIMA, 1975). Au fur et à mesure de la maturation, les protéines forment une structure finement dispersée sans beaucoup de libération d'eau. Cette structure est conservée même après chauffage, une telle structure est certainement essentielle pour l'élasticité du gel (TAGAKI, 1973 ; NIWA et al., 1983). Apparemment, la maturation est principalement responsable de l'augmentation de la déformabilité des gels, et une cuisson ultérieure provoque une augmentation de la force.

IV.3.- Influence des protéines sarcoplasmiques

Le procédé de lavage pour la fabrication du surimi est indispensable car il permet notamment d'éliminer quasi-totalement les protéines sarcoplasmiques solubles dans l'eau. En effet, de nombreux auteurs mentionnent l'effet inhibiteur des protéines sarcoplasmiques sur la formation du gel, car la fraction sarcoplasmique ne possède pas de capacité à gélifier mais uniquement à coaguler à des températures supérieures à 80°C (GRABOWSKA et SIKORSKI, 1976), aussi se lie-t-elle à l'actomyosine dénaturée et coagule (KUDO et al., 1973 ; SHIMIZU et NISHIOKA, 1974 ; NISHIMOTO et KOREEDA, 1979 ; LEE et TOLEDO, 1976). De plus, les protéines sarcoplasmiques présentent un faible pouvoir liant par rapport aux protéines myofibrillaires (MACFARLANE et al., 1977 ; WEINBERG, 1983).

IV.4.- Influence de la myosine

Les diagrammes de gélification de la myosine sont sensiblement similaires à ceux de la pâte de poisson. La myosine joue en effet un rôle essentiel dans la gélification du surimi (TAGUCHI et al., 1983 ; IWATA et al., 1977). La gélification de la myosine pourrait faire intervenir 2 réactions : d'une part l'agrégation de la "tête globulaire" de la molécule et d'autre part le dépliement de la fraction hélicoïdale de la partie terminale de la myosine. Les températures de transition thermique observées (43° et 55°C) pour la gélification de la myosine indiquent deux modifications de conformation (ISHIOROSHI et al., 1979).

IV.5.- Influence de l'actine

L'actine seule n'a pas d'effet, mais lorsqu'elle est combinée avec la myosine, elle a une action significative sur la gélification (SAMEJIMA et al., 1969, 1981).

Tandis que la myosine est essentielle pour les propriétés du gel après traitement thermique, l'actine est un composant essentiel du kamaboko permettant au matériel non cuit d'avoir une certaine pâteosité ou consistance (AKAHANE et al., 1984).

IV.6.- Influence du pH

De nombreux auteurs notent un pH optimum pour la rigidité des gels de myosine et d'actomyosine entre 5,0 et 6,3 avec un pH optimum pour la myosine de 6,0 à 6,2 (YASUI et al., 1979 ; SAMEJIMA et al., 1981 ; ZIEGLER et ACTON, 1984). Les gels de myosine formés aux pH voisins de 5,0 montrent plus de synérèse et les gels formés aux pH supérieurs à 6,0 sont plus translucides (ISHIOROSHI et al., 1979).

IV.7.- Effet du chlorure de sodium

Les protéines solubilisées par l'addition de sel, partiellement dépliées inter-agissent de façon non covalente pour former un gel fin, élastique et translucide. Un degré suffisant de solubilisation de la myosine semble nécessaire pour obtenir une gélification suffisante.

Le pourcentage de sel optimum pour la force du gel se situe à 5 % alors que pour la solubilité des protéines, ce pourcentage est de 3 % (OKADA, 1985) ; l'optimum de la force ionique se situe entre 0,5 à 1 (SAMEJIMA et al., 1981).

Le sel diminue également la stabilité des protéines à la chaleur. En effet, les températures de transition thermique du muscle de poisson et du surimi déterminées par calorimétrie différentielle à balayage sont abaissées en présence de sel (QUINN et al., 1980 ; WU et al., 1985a).

IV.8.- Liaisons formées durant le traitement thermique

Les liaisons formées durant la maturation, la cuisson et le refroidissement sont diverses.

La maturation des protéines met en oeuvre plus principalement des liaisons hydrophobes (NIWA, 1975, NIWA et al. 1981, 1982). Ces forces d'attraction intervenant durant la maturation donnent des structures relativement molles mais déformables (MONTEJANO et al., 1984b).

Alors que pendant la cuisson, des liaisons hydrophobes participeraient à la formation du gel, durant le refroidissement, les liaisons seraient des liaisons polaires et des liaisons hydrogènes. Ces dernières contribuent fortement à l'élasticité des gels après refroidissement (NIWA et al., 1982). LIU et al. (1982) notent que, bien que l'oxydation des groupes sulfhydryles puisse faciliter l'étape d'agrégation (qui est caractérisée par SAMEJIMA et al., 1981 par la formation de ponts intermoléculaires disulfures), les interactions hydrophobes sont les forces prédominantes.

Puisque les liaisons hydrogènes semblent importantes pour l'élasticité du gel mais qu'elles ne seraient pas formées durant la maturation, il faudrait pouvoir expliquer pourquoi un gel est plus élastique avec une maturation préalable plutôt que sans maturation. Une hypothèse serait que la maturation peut permettre un démasquage plus important de certains groupements facilitant le positionnement des liaisons hydrophobes "fixées" durant le traitement thermique et la formation de liaisons hydrogènes plus nombreuses lors du refroidissement.

IV.9.- Effet du modori

Dans certains cas, le gel est partiellement détruit quand la température de chauffage est comprise entre 55° et 70°C. Ce phénomène de désagrégation est appelé modori ou himodori en japonais (returning en anglais), il serait associé à l'action de protéases thermostables ou à une interaction non enzymatique entre certaines protéines et les protéines myofibrillaires. Le facteur protéolytique serait une enzyme alcaline dont l'activité optimale est à pH 8 et à une température

de 65°C (DENG, 1981). Elle est inactivée par un chauffage rapide à 85°C (LANIER et al., 1978). Le mécanisme du modori n'est toutefois pas élucidé de façon satisfaisante (TAGUCHI et al., 1983).

La présence d'une telle activité protéasique ne pose pas de problèmes pour fabriquer des analogues de fruits de mer à base de surimi car le process emploie généralement une montée en température qui inactive rapidement les protéases (LANIER, 1986).

V.- INFLUENCE DES ESPECES ET DES CARACTERES BIOLOGIQUES SUR LA QUALITE DU SURIMI

V.1.- Influence des espèces

Les courbes de la force du gel du surimi en fonction de la température sont très spécifiques, car il existe des variations importantes au niveau des vitesses et amplitudes de réaction de formation du gel et de désagrégation (phénomène de modori) en fonction des espèces. Ainsi, SHIMIZU et al. (1981), d'après une étude sur une cinquantaine d'espèces, les différencient en quatre groupes ; les espèces pour lesquelles :

- la maturation et le phénomène de modori sont difficiles : ce sont des espèces telles que les requins ;

- la maturation est difficile et la désagrégation du gel est facile : c'est le cas essentiellement des poissons à muscles rouges autres que la sardine (*Sardinops melanosticta*)

- la maturation et la désagrégation sont faciles : ce sont des espèces telles que la sardine, l'Alaska pollack ou la morue du Pacifique occidental (*Theragra chalcogramma*) et des poissons vivant en eau froide ;

- la maturation est facile et la désagrégation est difficile : c'est le cas du chinchard japonais (*Trachurus japonicus*) et de l'exocet ou poisson volant (*Gypselurus opisthopus*).

De plus, l'intervalle de température pour lequel les modifications de la force du gel apparaissent est différent selon les espèces (UEDA et al., 1968).

CHENG et al. (1979b) observent de même que la capacité à former un gel à partir des muscles de poisson hachés mécaniquement varie beaucoup selon les espèces. Ainsi les différences entre les paramètres de texture (fermeté, cohésion, élasticité...), la capacité de rétention d'eau et la teneur en protéines solubles des gels cuits sont hautement significatives entre les espèces alors que la solubilité des protéines de la chair hachée non cuite ne l'est pas. La texture du gel

serait liée aux modifications des protéines musculaires durant le chauffage mais non aux propriétés fonctionnelles initiales de la chair hachée.

En étudiant les comportements viscosimétriques des solutions d'actomyosine et de chaînes lourdes de myosine, NIWA et al. (1980) suggèrent que les différences d'élasticité des gels de poisson en fonction des espèces peuvent être probablement attribuées aux différences de structure entre les chaînes lourdes qui composent la myosine. Toutefois la spécificité des espèces ne peut pas être due uniquement à ces différences, des interactions avec d'autres composants affecteraient également l'élasticité.

Il doit être noté que la maturation est associée à l'interaction entre la myosine et l'actine et que les chaînes légères de la myosine des espèces de poisson faciles à maturer se dissocient très facilement.

HASTINGS et al. (1985), à partir d'une étude de calorimétrie différentielle à balayage, ont indiqué que les protéines des poissons d'eaux chaudes (25 à 30°C) sont plus thermostables que celles des poissons d'eau froide (2 à 8°C).

V.2.- Influence des individus

Si la capacité à former un gel est fonction des espèces, pour une même espèce et un même état de fraîcheur, cette capacité varie d'individus à individus car des facteurs biologiques tels que l'âge, la saison, la méthode de pêche, le lieu de pêche interviennent (SHIMIZU, 1985).

La capacité à former un gel est sensiblement identique entre un poisson jeune et adulte, par contre la susceptibilité du gel au phénomène de modori est considérablement plus importante dans le cas des poissons jeunes.

SUZUKI (1981) indique que la qualité, dans le cas du chinchard, est mauvaise si la taille des poissons n'excède pas 10 cm car la baisse de l'état de fraîcheur est dans ce cas là très rapide.

V.3.- Influence de la saison, du lieu de pêche, de la réfrigération...

Pendant la période du frai, la capacité à gélifier diminue ; la cause réelle n'est pas encore connue. La capacité à former un gel et la stabilité durant l'entreposage sont meilleures durant la période pré-ponte que lors de la période post-ponte (TANIKAWA, 1971). Le pH durant la ponte est plus élevé, les tissus tendent à retenir plus d'eau, ce qui rend

plus difficile son élimination. Pour améliorer cette élimination de l'eau, il faut diminuer le pH et augmenter la salinité de l'eau de lavage.

Selon les lieux de pêche le pH varie de même que la teneur en graisses et l'activité des protéinases musculaires. Dans le cas d'une mort lente par asphyxie, non seulement la capacité à former un gel est plus faible, mais aussi la susceptibilité au modori est plus importante que dans le cas d'une mort instantanée.

Durant l'entreposage à l'état réfrigéré, le maintien de la qualité technologique des protéines avant la fabrication du surimi paraît différent selon les espèces. En effet ISHIKAWA et al. (1977) notent sur la sardine une perte très rapide de la qualité du gel après un jour de réfrigération sous glace. De même, HAARD et WARREN (1985) démontrent sur le petit cabillaud la possibilité d'obtenir un gel ferme et élastique dans les premiers jours seulement de conservation en glace. Alors que des études réalisées sur le tacaud indiquent un bon maintien des capacités gélifiantes des protéines myofibrillaires même après un entreposage prolongé à l'état réfrigéré, l'altération intervenant durant ce stockage réfrigéré principalement au niveau des composés solubles qui sont éliminés par la suite lors des différents lavages au cours de la fabrication du surimi (VERREZ et al., 1987).

VI.- INFLUENCE DE L'ADDITION D'AGENTS DE TEXTURE SUR LES CARACTERISTIQUES DU GEL

L'addition de substances gélifiantes permet d'améliorer ou de modifier la texture des produits à base de surimi et de diminuer les coûts de revient étant donné que cette addition permet d'incorporer une quantité d'eau non négligeable.

VI.1.- Effet des protéines végétales et du blanc d'oeuf

Les protéines du blanc d'oeuf et les protéines de soja ou de blé (de structure globulaire) s'agrègent indépendamment des protéines myofibrillaires du surimi (structure native fibrillaire). Bien que ces additifs soient considérés comme augmentant la fermeté et l'élasticité du gel, ils ne contribuent pas au réseau protéique constitué par les protéines myofibrillaires du surimi, mais se comportent plutôt comme des "bouchetrous" (BURGARELLA et al., 1985a ; ISO et al., 1985 ; ARECHE et FUJII, 1979).

Dans le cas du blanc d'oeuf, l'effet sur la force du gel est maximum à un taux de 12 % d'une solution de blanc d'oeuf, à 11 % en protéines. Une addition supplémentaire de blanc d'oeuf diminue la force du gel et le niveau minimum est obtenu lorsque le blanc d'oeuf est ajouté à 60 %. En pratique commerciale, le blanc d'oeuf est ajouté à un pourcentage inférieur à 17 % sous sa forme naturelle, ce qui est équivalent à 2 % sous sa forme déshydratée (AKAHANE et al., 1981). L'albumine réduirait la force du gel en interférant avec la formation de la matrice rigide du réseau constitué par les protéines de poisson (LEE et KIM, 1985 ; BURGARELLA et al., 1985b).

Le gluten doit être utilisé à une teneur inférieure à 4 % par rapport à la matière sèche du surimi. Si le pourcentage de gluten augmente, le kamaboko s'assombrit et la flaveur devient inacceptable. Les qualités du gluten dépendent de son procédé de déshydratation. L'addition d'amidon au surimi augmente la force de façon beaucoup plus importante que le gluten (IKEUCHI, 1964).

Suivant le type de poudres commerciales de soja, la texture des produits finis varie d'un gel mou et fragile à un gel ferme et caoutchouteux (OKADA, 1985).

VI.2.- Effet de l'amidon

L'amidon est constitué par l'amylose, polymère non branché du glucose et par l'amylopectine, composant branché de l'amidon à poids moléculaire élevé. L'amylose augmente la force du gel. L'amylopectine donne un caractère collant à la pâte mais la cuisson donne un gel très cassant avec un faible pouvoir de rétention d'eau ; l'amylopectine semble inhiber la formation d'un gel élastique.

Le même effet d'inhibition d'un gel élastique a été observé dans le cas d'une addition d'amidons dispersables dans l'eau froide, prégélatinisés avec des alcalis ou en partie détruits mécaniquement (OKADA, 1963). L'amidon prégélatinisé est réparti si finement à travers la masse protéique qu'il rompt la continuité de la structure du gel ; il donne un coagulum lâche où l'eau est fortement liée mais où l'intégrité de la structure protéique est perdue (LANIER, 1986 ; WU et al., 1985b).

Il n'y a pas d'effet synergique entre l'amidon et le blanc d'oeuf pour augmenter la force (LEE et KIM, 1985).

L'amidon est inefficace pour augmenter l'élasticité des gels (HAMADA et INAMASU, 1984), par contre il en augmente la fermeté (KANEKO et al., 1970) ainsi que la palatabilité et l'apparence si le surimi est cuit à une température suffisamment élevée pour gélatiser l'amidon.

De même que le blanc d'oeuf et les protéines végétales, il semble que l'amidon et les protéines du poisson réagissent indépendamment durant le processus thermique. En effet, si on observe une modification du comportement de la gélification de l'amidon en présence du surimi - les températures de transition thermique de l'amidon étant plus élevées dans le système surimi-amidon qu'amidon seul - par contre l'amidon ne modifie pas les températures de transition du surimi (WU et al., 1985c). D'autre part, il a été établi par de nombreux auteurs que les sucres et le sel - ingrédients du surimi - augmentent la température de gélatinisation de l'amidon.

L'amidon est noyé dans la matrice protéique sous forme de granules partiellement gélatinisés, le gel devient plus ferme quand la densité de la matrice protéique augmente comme le résultat du transfert d'eau de la matrice aux grains d'amidon durant la gélatinisation. Le processus de gélatinisation est facilité par la présence de régions amorphes dans le granule (BILIADERIS et al., 1980).

Parmi les amidons, l'amidon de pomme de terre augmente de façon importante la rigidité finale du gel d'actomyosine. Sa viscosité au cours du traitement thermique augmente plus rapidement que pour d'autres types d'amidon, il absorbe l'eau et gélatinise rapidement. L'amidon de pomme de terre a une structure relativement non substituée qui permet une proportion élevée de liaisons hydrogènes intra- et inter-moléculaires (LABUZA et BUSK, 1979). Cependant il est bien connu que l'amidon de pomme de terre rétrograde facilement durant l'entreposage congelé, l'eau libre augmente ainsi que le caractère caoutchouteux de la texture (LEE et KIM, 1985 ; OKADA, 1985).

VI.3.- Effet des graisses

Des graisses et huiles sont souvent additionnées à 3 % ou 4 % par rapport au poids du surimi. LEE et ABDOLLAHI (1981) suggèrent que l'addition de graisses plastiques modifient les gels de protéines de poisson en évitant le développement d'une texture spongieuse :

- par l'amélioration de la stabilité à l'entreposage ;
- en augmentant la déformation ce qui rend les gels moins caoutchouteux ;
- en empêchant l'amollissement de la texture lié au traitement thermique dans la zone de température de 60°C - 70°C (phénomène de modori) ;
- en minimisant les variations de texture liées à la cuisson.

VII.- HISTORIQUE DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL DU SURIMI

Ce chapitre a été rédigé à partir des synthèses sur le surimi de SUZUKI (1981), LEE (1984) et OKADA (1985).

Le mot kamaboko apparaît pour la première fois en 1155 dans un vieux document japonais. Quelques siècles plus tard, en 1528, un livre de cuisine décrit le procédé de fabrication du kamaboko.

La production commerciale a débuté au 19ème siècle sur une petite échelle en utilisant la pêche locale.

La fabrication industrielle a commencé au début du 20ème siècle lorsque la technique de pêche par chalutage a été introduite au Japon. L'historique du développement industriel du surimi peut être divisé en quatre périodes principales :

- de 1900 à 1945, le développement progressif du chalutage de fond depuis 1904 permet d'accroître l'approvisionnement en matière première. Les usines de transformation s'accroissent en nombre mais pas en capacité car la production, faute de moyens de conservation, est au jour le jour. La conservation en glace du poisson permet son traitement dans des zones plus éloignées de la côte.

- de 1946 à 1960, on assiste au succès de la saucisse de poisson (chair de poisson broyée avec des graisses, épices et autres ingrédients, embossée dans des boyaux synthétiques et pasteurisées dans l'eau à des températures un peu inférieures à 100°C).

L'industrie traditionnelle du kamaboko se modernise sous cette influence ; les usines augmentent leurs capacités et s'équipent de façon moderne. Les prototypes de la plupart des équipements industriels utilisés aujourd'hui sont apparus vers 1950.

- de 1961 à 1975. Le développement en parallèle de ces deux industries de transformation du poisson entraîne un manque en matière première. Les poissons entreposés congelés, en particulier l'Alaska pollack (*Theragra chalcogramma*) perdent très rapidement leur capacité à former un gel. Aussi, lorsqu'en 1959, une équipe de chercheurs autour de NISHIYA (de la station expérimentale des pêches d'Hokkaido) découvre la possibilité de conserver, pendant plus d'un an à -25°C, la chair de poisson hachée et lavée, grâce à l'addition de cryoprotecteurs, une nouvelle industrie se crée : l'industrie du surimi congelé, événement capital pour le développement de l'industrie du kamaboko au Japon.

La production à bord du surimi congelé a débuté en 1965, et actuellement la moitié de la production du surimi est réalisée sur des bateaux-usines.

- de 1976 à nos jours. La diminution des ressources en matière première, la régression économique mondiale, la méfiance des consommateurs vis à vis de certains additifs ont touché le marché des saucisses de poisson et de kamaboko.

Depuis 1975, l'innovation en matière de fabrication d'analogues de fruits de mer compense le déclin de l'industrie du kamaboko traditionnel.

Dans le tableau ci-dessous sont indiqués les chiffres marquants des quatre périodes décrites précédemment.

1900-1945	Quelques centaines de tonnes de kamaboko en 1910 à 185 000 T en 1940
1946-1960	268 000 T en 1954 à 408 000 T en 1960 de kamaboko 2 000 T en 1954 à 101 000 T en 1960 de saucisses de poisson
1961-1975	Record de production de kamaboko en 1973 : 1 187 000 T dont 179 000 T de saucisses de poisson
1975	Production d'analogues de pattes de crabe : 1 300 T en 1975 à 71 000 T en 1984 Exportations de 400 T de produit à base de surimi en 1977 à 32 000 T en 1984

Tableau IV - Traduction en chiffres des étapes de développement du surimi.

A présent les pays occidentaux qui n'ont pas eu l'habitude de transformer le poisson mis à part le concentré de protéines de poisson, se lancent dans la fabrication du surimi qu'ils considèrent comme étant une étape de fractionnement du poisson, la récupération en parallèle des protéines sarcoplasmiques, des enzymes, des lipides, des substances à haute valeur ajoutée présents dans les eaux de lavage étant envisagée pour valoriser au maximum le poisson (GREEN et LANIER, 1985).

Les travaux envisagés dans cette étude veulent s'inscrire au sein même de ce développement en apportant des informations sur la texture et la microstructure du surimi de chinchard européen avant et après traitement thermique. Les essais envisagés d'optimisation de certains paramètres technologiques

afin d'obtenir un produit souhaité ferme et élastique après traitement thermique pourront permettre de comprendre l'influence de chacun de ces paramètres sur la texture. Des études complémentaires sur l'influence de la durée d'entreposage à l'état congelé du surimi, de l'addition de substances cryoprotectrices et d'agents de texture pourront également aider à établir des conditions de préparation précises en fonction des caractéristiques de texture du produit fini souhaitées.

MATERIELS ET METHODES

I.- FABRICATION DU SURIMI

Le surimi est fabriqué à partir de chinchards achetés à un mareyeur au Marché d'Intérêt National de Nantes, présentés entiers, sous glace.

Le tableau V résume pour chaque lot de fabrication soit manuelle, soit sur prototype, l'état de fraîcheur du poisson, sa taille moyenne, le pH, la teneur en lipides avant et après lavage, le pourcentage en eau du surimi ainsi que les différents rendements au cours de la fabrication (les rendements en surimi sont d'autant meilleurs que la taille initiale des poissons est élevée).

L'étêtage et l'éviscération se font toujours de façon manuelle.

I.1.- Fabrication manuelle

Après le filetage et l'élimination de la peau manuellement, les filets sont hachés à l'aide d'un hachoir ménager (Philips) dont les perforations ont un diamètre de 5 mm.

Le lavage de la chair intervient immédiatement après. Il se déroule en trois opérations de lavage successives de 15 minutes de telle façon que la pulpe soit lavée au total par 20 fois son poids d'eau à 0-4°C. Entre chaque lavage, la chair est égouttée, puis essorée à l'aide d'une presse à vis manuelle de 1,5 à 2 kg de capacité (presse PANTIN). Lors du dernier lavage, 0,05 % de NaCl (poids/poids) est additionné à l'eau de lavage pour faciliter l'essorage final qui se fait à l'aide de la presse à vis.

I.2.- Fabrication sur prototype

Parallèlement à ce travail de thèse, la technologie a évolué grâce au dynamisme de "l'équipe surimi", et ainsi un pilote de fabrication du surimi (fig. 5) utilisant des machines déjà existantes sur le marché a été mis en place à l'IFREMER. Pour la 3ème série d'expériences de l'étude de l'optimisation des paramètres technologiques ainsi que pour l'étude des combinaisons des cryoprotecteurs, le surimi a été fabriqué sur cette chaîne pilote.

Une fois étêté et éviscéré, le poisson est lavé (laveuse AURIOL) et la chair est récupérée en passant le poisson dans une désarêteuse (BAADER 694 - le diamètre des perforations du cylindre est de 3 mm).

Le lavage de la chair se fait dans un tank réfrigéré avec agitateur. C'est une opération discontinue qui comprend trois cycles de lavage dans le cas du chinchard. L'eau est ajoutée dans la proportion de 3 pour 1 de chair (poids/poids).

Le transfert de la pulpe lavée d'un tank à l'autre se fait par l'intermédiaire d'une pompe à vis excentrée et, entre chaque lavage la pulpe est essorée dans une passoire horizontale modifiée formée d'un tambour perforé à l'intérieur duquel tournent 2 pales dont la vitesse de rotation est variable suivant la nature du poisson.

Après le dernier lavage, la chair, égouttée est reprise par une pompe et envoyée sur un système de raffinage à passoire horizontale et verticale.

L'essorage final est réalisé par le transfert du produit raffiné par une pompe, dans une centrifugeuse-décanteuse continue à bol plein et à vis convoyeuse.

I.3.- Addition des cryoprotecteurs

Le sel et des agents cryoprotecteurs sont additionnés à la chair lavée et essorée avant congélation. A l'exception de la série de manipulations sur l'étude de différentes combinaisons d'additifs dans le surimi en fonction de la durée d'entreposage, le sel et les cryoprotecteurs sont ajoutés dans les proportions suivantes par rapport au poids de la chair lavée et essorée :

chlorure de sodium (sel de ménage) : 3 %
 saccharose (sucre en poudre de cuisine) : 4 %
 sorbitol (ROQUETTE) : 4 %
 polyphosphates alcalins de sodium et de potassium
 pH \approx 8,9, P₂O₅ \approx 56 % (mélange pour charcuterie
 BOVIDA) : 0,3 %

Lors des premières manipulations, le mixer-mélangeur (ROBOT-COUBE) ne permettait pas de travailler en réfrigération et sous vide. Pour pallier ces deux inconvénients, le broyage était effectué dans une pièce réfrigérée à + 4°C et la pâte était ensuite désaérée dans une scelleuse sous vide (ROSCHEMATIC). Pour la suite des manipulations, un broyeur (STEPHAN) réfrigéré, fonctionnant sous vide a été utilisé. Ces deux types de broyeurs sont à couteaux horizontaux et fonctionnent à une vitesse de 1 500 tours/minute. La durée de broyage est un des paramètres technologiques étudiés.

I.4.- Congélation de surimi et entreposage à l'état congelé

Le surimi est emballé par fraction de 0,5 à 1 kg dans des sachets en complexe polyamide/polyéthylène et emballé sous vide. Le surimi est congelé dans un congélateur à plaques à - 40°C pendant 1 heure 30 et stocké à - 22°C ou à - 30°C (fig. 6)

II.- FABRICATION DU GEL DE SURIMI

Après 5 h de décongélation à 0 /+ 4°C, le surimi dont la température à coeur est de l'ordre de - 3°C, est broyé en présence de 4 % d'amidon de pomme de terre, de 4 % de blanc d'oeuf déshydraté (poids/poids surimi) et de la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une teneur en eau de la pâte avant chauffage d'environ 78 %. Ce broyage est fait dans les mêmes conditions que pour le broyage avant congélation du surimi, seule la durée, qui est un paramètre technologique diffère.

Afin que le traitement thermique soit bien défini, et compte-tenu des caractérisations envisagées, la présentation sous forme de saucisses aux dimensions contrôlées nous a paru la plus satisfaisante.

L'embossage de la pâte est réalisé à l'aide d'un poussoir manuel à vis de type charcuterie, dans des boyaux naturels de porc de 30/34 mm de diamètre. La maturation des échantillons se fait dans une étuve à 45°C pendant au maximum 2 heures (courbe de montée en température : fig. 7). La cuisson s'effectue dans un bain-marie thermostaté chauffé par ailettes (MEMMERT - écart de variation de température de $\pm 0,5^\circ\text{C}$). La durée et la température de cuisson sont des paramètres étudiés.

Les saucisses sont refroidies à l'eau courante et conservées une nuit à + 4°C avant la caractérisation du produit obtenu.

III.- METHODE D'OPTIMISATION : L'ANTICOMPLEX.

III.1.- Description générale et intérêts de la méthode

L'ANTICOMPLEX (TRAN et al., 1987) est une méthodologie développée actuellement à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) au centre de Nantes et qui permet de définir

les conditions optimales d'un processus technologique avec un nombre limité de déterminations. Il s'agit d'une méthode par série d'expérimentations.

Lorsqu'un processus dépend de n paramètres, une condition optimale correspond à un jeu particulier de valeurs de ces paramètres selon un critère global d'évaluation défini par l'expérimentateur. Nous supposons que dans les zones d'étude des paramètres, il n'existe qu'une seule condition optimale.

Cette méthode est basée sur certains principes des méthodes d'optimisation des fonctions mathématiques, et elle a une finalité comparable aux plans d'expérience. Les points forts de cette méthode sont :

- la possibilité d'obtenir rapidement une zone réduite localisant de façon satisfaisante la condition optimale ;
- les expériences se font par série, et l'analyse des résultats après chaque série uniquement ;
- la discrétisation des paramètres : ils ont des domaines continus d'études mais ils ne peuvent prendre qu'un nombre fini de valeurs ;
- l'algorithme est particulièrement conçu pour éviter les faux-optima.

III.2.- Déroulement des opérations

Pour chacun des n paramètres ($n = 5$ dans notre cas) sont définies une zone d'étude initiale continue et les valeurs discrètes "permises" dans cette zone (déterminées par le pas choisi). La méthode commence par la détermination au hasard d'une première série de m points ($m = 20$ dans notre cas) prenant les valeurs permises pour chacun des n paramètres : chaque point correspond donc à une expérience à réaliser.

Une fois les expériences réalisées, l'algorithme classe les points selon le critère d'évaluation. Une pondération privilégiant les meilleurs points permet de calculer un barycentre pondéré correspondant à l'optimum que choisirait l'algorithme si l'expérimentateur décidait de s'arrêter à ce stade.

Des traitements statistiques effectués paramètre par paramètre, comparent les écarts-types des ($m/2 = 10$) meilleurs points classés et ceux des m points pour définir, dans les cas favorables, des réductions de zone. En fonction de ces réductions, les nouvelles zones sont centrées sur les valeurs du barycentre.

Ce barycentre étant un point intéressant à tester, la seconde série est définie par le tirage au sort de $(m - 1)$ points différents entre-eux par la valeur d'au moins un paramètre.

tre et du barycentre. Une fois ces nouvelles expériences réalisées, l'ensemble du traitement est réitéré sur les m meilleurs points de toutes les séries réalisées. En procédant de cette façon avec plusieurs séries de m expériences, l'algorithme tend à réduire à chaque fois les zones d'étude des paramètres jusqu'à l'obtention de zones satisfaisant aux critères d'arrêt.

La méthode est très rapide car elle s'applique en permanence sur les meilleurs points obtenus. Elle a également des critères permettant de bloquer certaines variables près de la solution optimale pour améliorer la convergence de la phase finale. Par ailleurs, pour éviter au maximum les problèmes des faux-optima, les critères de changement de zones sont suffisamment robustes pour permettre dans les cas difficiles les élargissements des bornes.

IV.- APPRECIATION DE LA TEXTURE

IV.1.- Test de pliage

En tant que test de contrôle courant du "ashi", de la capacité gélifiante, les Japonais utilisent le test dit test de pliage, selon la méthode décrite par NISHIYA (1963). Elle consiste à plier une rondelle de kamaboko de 30 mm de diamètre et de 3 mm d'épaisseur en 2 puis en 4 en observant s'il y a rupture ou non. Les produits sont classés de AA à D.

Nous désirions utiliser ce test pour définir nos produits, mais nous nous sommes aperçus que le kamaboko de chin-chard donne un gel très élastique se trouvant toujours dans nos essais dans la classe supérieure (AA).

Or SUZUKI (1981) en suivant la relation existant entre le test de pliage et une cotation sensorielle notée de 0 à 10, constate qu'à un produit de grade AA peut correspondre une note de 5 (moyennement ferme) à 10 (très ferme). Ainsi, si le test de pliage définit bien des produits de qualité moyenne à basse (A à D), il n'est pas assez sensible lorsqu'il s'agit de différencier des kamabokos de bonne élasticité.

Aussi, avons-nous modifié ce test en intégrant à la fois l'élasticité (par le test de pliage) et la fermeté de la rondelle par comparaison avec 3 témoins pour les échantillons correspondant à la catégorie AA. Les échantillons sont notés de 1 à 7 par un jury de cinq à six personnes selon les critères suivants :

- D=7 : se brise par simple pression des doigts ;
- C=6 : se brise en morceaux lorsque la rondelle est pliée en 2 ;

- B=5 : certaines cassures après avoir plié la rondelle en 2 ;
 A=4 : aucune rupture après avoir plié la rondelle en 2
 AA : aucune rupture après avoir plié la rondelle en 2 puis en 4, la fermeté est alors testée :
 = 3 : moyennement ferme
 = 2 : ferme
 = 1 : très ferme.

IV.2.- Mesures mécaniques

La résistance mécanique des gels de surimi se fait toujours, pour des raisons de facilité et d'homogénéité, sur des échantillons cylindriques de 20 mm de hauteur et de 20 mm de diamètre, taillées à l'emporte-pièce selon les dimensions choisies par LEE et ABDOLLAHI (1981) qui ont travaillé sur des gels de protéines de poisson. La vitesse de déformation est constante et égale à 20 mm/min quelle que soit la mesure effectuée.

Les mesures ont été réalisées avec l'appareil de traction-compression JJ LOYD type T 5001 avec lequel nous avons fait des mesures de compression simple jusqu'à rupture.

Le cylindre est comprimé entre 2 plaques rectangulaires (10,00 x 12,65 cm²) jusqu'à sa rupture (aux environs de 90 %). Les conditions de mesure sont les suivantes:

- cellule de mesure de capacité maximum 5 kN
- sensibilité de la cellule x 0,04
- rapport papier/déplacement de la traverse de 5/1
- nombre d'échantillons = 15

HAMANN et WEBB (1979), travaillant sur les gels de poisson, notent une bonne relation entre la détermination sensorielle de l'élasticité, la fermeté, la cohésion et la force du gel, et la force maximale de compression. FOX et al. (1983) indiquent que la pénétrométrie et la compression jusqu'à rupture sont 2 techniques équivalentes.

Dans le domaine de la texture, les termes employés pour apprécier le produit et le mode de calcul varient d'un auteur à l'autre. Ainsi, pour SZCZESNIAK et al. (1963) et LANIER et al. (1981), la force maximale de compression indique la dureté, tandis que pour HOWGATE (1977), elle rend compte de la fermeté. Pour LEE et TOLEDO (1976), pour du poisson haché, cette même force ramenée au taux de compression détermine un module d'élasticité alors que pour LEE et ABDOLLAHI (1981), travaillant sur des gels de poisson, cette force définit la cohésion. De même

WEINBERG et ANGEL (1984) indiquent que la force de compression donne le degré de cohésion ou la qualité de liaison de l'échantillon.

Nous avons choisi de prendre en compte deux critères :

- **L'indice de cohésion (IC)** en N/mm² qui combine la force de rupture et la déformation à la rupture (utilisé par LEE et TOLEDO, 1976 qui l'utilisaient comme module d'élasticité pour du poisson haché).

$$IC = FR / DR \times A \quad \text{avec } A = \begin{array}{l} \text{surface initiale de} \\ \text{l'échantillon en mm}^2 \end{array}$$

FR = force de rupture en N
DR = déformation du cylindre par rapport à la hauteur initiale.

Lorsqu'elle sera considérée individuellement, la déformation à la rupture (DR) sera exprimée en pourcentage de hauteur résiduelle, c'est à dire :

$$\frac{\text{Déformation à la rupture} - \text{Hauteur initiale}}{\text{Hauteur initiale}}$$

Hauteur initiale

- **La pente initiale de compression (PIC)** en N/mm qui correspond à la rigidité du produit (GILL et al., 1979 ; JOHNSON et al., 1981 ; GOSSETT et al., 1984) est déterminée d'après les enregistrements de la force développée en fonction du déplacement de la traverse, et donc du degré de compression.

IV.3.- Appréciation de la liaison de l'eau

La rétention d'eau du gel de surimi est évaluée par pression selon une méthode empirique dérivée de celle de GOUTEFONGEA (1960). Elle est caractérisée par la fraction extraite (FE) par pression de 5 g de produit haché à la moulinette entre six feuilles de papier pour chromatographie (WATHMANN 3MM) pendant 5 minutes sous une masse de 2,400 kg sur une surface de 23,76 cm² (fig. 8 de l'appareillage) sur une moyenne de 7 échantillons.

Ces conditions de mesure ont été déterminées en fonction des caractéristiques de nos échantillons :

- 5 g de produit car selon la figure 9, une masse initiale de 5 g correspond au début du plateau, les variations sont minimisées et une limitation inhérente à la méthode permet de compresser des échantillons de 6 g au maximum ;

- une masse additionnelle au piston de 1,750 kg est suffisante pour atteindre le plateau (fig. 10), la masse totale pesant sur les grains de kamaboko haché est de 2,400 kg ;

- 5 minutes de pression : le palier est atteint au bout d'une heure environ (fig. 11), mais l'échantillon a tendance à sécher si l'écart de température entre les mesures est trop long.

V.- APPRECIATION DE LA MICROSTRUCTURE

Trois techniques d'observation microscopique sont utilisées : photonique, électronique à balayage et électronique à transmission, nécessitant des préparations différentes.

V.1.- Microscopie photonique sur matériel congelé

a - Les échantillons congelés sont coupés à l'aide d'un cryotome (BRIGHT) à $- 20^{\circ}\text{C}$; l'épaisseur de la coupe est réglée à $8\ \mu\text{m}$.

b - La fixation des protéines des coupes sur lame se fait par trempage dans une solution de glutaraldéhyde à 4 % (MONTEJANO et al., 1984a) dans un tampon cacodylate 0,2 M, pH 7,2 pendant 15 minutes. Afin d'assurer une bonne fixation, on doit veiller à ce que l'équilibre des pressions osmotiques soit respecté et donc, si l'échantillon contient du saccharose, du sorbitol et (ou) du chlorure de sodium, ces substances sont ajoutées à la solution de fixation à la même teneur que dans l'échantillon.

Après la fixation, les lames sont rincées à l'eau distillée.

c - Une coloration au vert rapide (fast-green FCF à 0,2 % acidifié à raison de 0,2 à 0,5 ml d'acide acétique / 100 ml d'eau) et à l'iodure de potassium iodé 0,02 M est réalisée sur les coupes. Le vert rapide colore en vert les protéines et l'iode en bleu-violet l'amidon.

La coloration est effectuée en 30 secondes, la lame est ensuite lavée très rapidement à l'eau distillée.

d - Les coupes sont conservées montées entre lame et lamelle dans un baume d'inclusion (résine EUKITT). Avant d'être montées, les coupes colorées sont déshydratées par trois bains successifs, extrêmement rapides, dans l'alcool à 100 %. La résine étant soluble dans le toluène, les coupes sont ensuite plongées dans trois bains de toluène.

e - Les observations et prises de vue sont réalisés en fond clair.

V.2.- Microscopie photonique sur matériel frais

a - Les échantillons, de très petite taille, sont fixés selon les conditions explicitées en V.1.b, la fixation se fait à 4°C pendant 2 heures.

b - Les échantillons fixés sont déshydratés par passage dans des bains de concentrations croissantes en acétone :

- 20 min dans acétone à 30 %
- 20 min dans acétone à 60 %
- 20 min dans acétone à 80 %
- 2 bains de 30 min dans acétone à 95 %
- 3 bains dans acétone à 100 %

c - Les échantillons sont ensuite inclus dans une résine. Avant imprégnation dans la résine, l'Epon, il est nécessaire de remplacer l'acétone par l'oxyde de propylène, les échantillons fixés et déshydratés sont donc plongés successivement :

- 30 min dans le mélange 50 % acétone - 50 % oxyde de propylène
- 30 min dans le mélange 100 % oxyde de propylène
- 30 min dans le mélange 50 % oxyde de propylène - 50 % Epon

L'imprégnation se fait dans 3 bains successifs, d'une durée de 1 heure, 2 heures et pour le dernier 12 à 24 heures dans l'Epon à 100 %.

Les échantillons, avant d'être positionnés et inclus dans les gélules sont recoupés afin d'avoir un volume d'environ 1 mm³. L'Epon dans lequel sont immergés les échantillons est polymérisé progressivement à l'étuve : une nuit à 37°C, une journée à 48°C et au moins 4 jours à 72°C.

Composition de l'Epon :

- 21,75 ml d'épikote 812
- 15 ml de DDSA (dodécényl succinyl anhydre)
- 11,1 ml de MNA (méthyl nadic anhydre) = durcisseur
- DMP 30 (2,4,6 tri-diméthylamino méthyl phénol) à 1,5 % du poids des 3 autres constituants = accélérateur de polymérisation.

d - Les coupes sont réalisées à l'ultramicrotome avec un couteau de verre. Les coupes semi-fines (2 µm d'épaisseur) sont placées sur une lame de verre.

e - Pour éliminer le milieu d'inclusion, les lames sont plongées dans le mélange de MAXWELL (1978) 2 min au maximum et sont ensuite rincées à l'eau courante.

Composition du mélange de MAXWELL :

20 g d'hydroxyde de potassium

100 ml de méthanol

50 ml d'oxyde de propylène

(La réaction est exothermique)

f - Les coupes sont colorées 5 min dans le mélange suivant : 1 % de fast-green dans solution alcoolique à 70°C et de l'iodure de potassium iodée à 0,02 M, rincées et conservées non montées. Une lamelle est déposée juste avant l'observation.

g - Les observations sont effectuées de la même façon que pour les lames du matériel congelé.

V.3.- Microscopie électronique à balayage

La fixation et la déshydratation sont effectuées de la même façon que le V-2-a et -b.

Avant la déshydratation, l'échantillon est rompu après congélation dans l'isopentane (- 150°C) refroidi à l'azote liquide. Après la déshydratation, l'acétone est chassée de l'échantillon par échange avec du CO₂ liquide. Le CO₂ est ensuite éliminé en contournant le point critique (32°C - 1100 à 1200 bars) pour éviter l'interface liquide - gaz , génératrice d'artefacts.

L'échantillon séché est fixé sur un support en laiton. Les produits biologiques étant peu conducteurs, il est recouvert d'une couche conductrice d'or d'environ 20 nm d'épaisseur dans un évaporateur cathodique (JEOL - JFC 1100).

Les observations se font avec un microscope à balayage JEOL JSM 50 A (15 nm de résolution), à une tension de 20 keV.

V.4.- Microscopie électronique à transmission

La fixation, la déshydratation et l'inclusion dans la résine sont réalisées de la même façon que le V-2-a, -b, et -c.

Dans le cas du matériel congelé, la fixation commence à des températures négatives avec une solution de glutaraldéhyde très refroidie afin de fixer autant que possible l'échantillon en son état congelé.

Les coupes ultra-fines (0,1 µm environ) sont faites avec l'ultramicrotome (JEOL JUM 7) équipé d'un couteau de diamant et sont recueillies sur des grilles de 200 mesh membranées de collodion et de carbone. Ces grilles sont mises à sécher à l'étuve.

L'observation ne peut se faire sans contraster les coupes. En effet, il faut augmenter le contraste pour arrêter le plus possible d'électrons incidents par la fixation de métaux lourds qui devient la trajectoire des électrons incidents à la suite de chocs dits "élastiques" selon la formule suivante :

$$C = \text{Log} \left(\frac{N_0 - N}{N_0} \right)$$

N_0 : nombre d'électrons incidents
 N : nombre d'électrons ayant traversé chaque point de l'image

Pour les protéines, le contraste se fait par une première coloration négative à l'acétate d'uranyl (à 2,8 % dans l'alcool méthylique à 50 %) à 48°C pendant 30 min à l'abri de la lumière. Le premier rinçage se fait à l'alcool méthylique à 50 % et ensuite la grille est rincée à l'eau distillée au minimum 5 fois par bain de 5 min. La deuxième coloration est au citrate de plomb en absence de CO_2 (des pastilles de potasse sont disposées à proximité des grilles pour absorber le CO_2 de l'air ambiant) à la température du laboratoire durant 5 min. 5 rinçages à l'eau distillée sont effectués. Les coupes sont séchées avant d'être observées au microscope électronique à transmission JEOL JEM 100S à une tension de 80 keV.

VI.- TECHNIQUES ANNEXES

VI.1.- Détermination de l'état de fraîcheur

Nous utilisons le barème de cotation de l'IFREMER en notant sur deux individus une dizaine de caractères externes et internes par examen sur le poisson cru (tab. VI). L'état de fraîcheur est défini par l'indice d'altération qui est la moyenne des notes obtenues.

VI.2.- Mesure du pH

Le pH est mesuré directement sur le muscle haché de poisson avec une électrode pour produit pâteux, le pH déterminé est celui de la phase liquide.

VI.3.- Teneur en lipides

Il s'agit de l'épuisement par un solvant des matières grasses de l'extrait sec obtenu préalablement par dessiccation à l'étuve. L'extracteur utilisé est un extracteur "BBS" dérivé de l'appareil de Soxhlet comprenant le ballon taré au préalable, la

nacelle d'extraction liquide : solide dont l'extrémité inférieure est obturée par une plaque en verre frité, le support, le réfrigérant et le chauffe-ballon.

La matière sèche (correspondant à environ 10 g de produit séché une nuit à l'étuve à 105°C) est introduite dans la nacelle avec environ 40 ml de diéther. L'extraction est effectuée à 60°C durant 6 heures. La plus grande partie du solvant est recueillie dans l'enceinte de condensation. Le ballon est ensuite passé seul à l'étuve à 105°C pendant 30 min, refroidi au dessiccateur et pesé.

La teneur en lipides de l'échantillon est donnée en pourcentage du poids sec ou du poids frais.

VI.4.- Teneurs en matières sèches

Toutes les déterminations des teneurs en matières sèches sont réalisées sur 3 à 5 g de produit séché à l'étuve à 105°C pendant 24 h.

Nous déterminons en particulier la matière sèche du surimi avant (SA) et après (SC) traitement thermique, la matière sèche de la fraction non extraite par pression lors de la mesure du pouvoir de rétention d'eau ainsi que la matière sèche soluble (SS) de la fraction extraite qui est évaluée ainsi :

$$SS = 1 - (1 - FE) \times SP / SC$$

avec FE = fraction extraite par pression

SP = teneur en matière sèche de la fraction non extraite

SC = teneur en matière sèche du produit avant pression

VI.5.- Pertes dues au traitement thermique

Le rendement après traitement thermique (RC) (ou les pertes au chauffage PC = 1 - RC) est déterminé par le rapport des masses après et avant chauffage.

A partir des teneurs en matières sèches avant (SA) et après (SC) chauffage, il est possible de calculer les pertes relatives de matières sèches (PS) (ou le rendement en matières sèches RC = 1 - PC) et les pertes relatives en eau (PE) (LAROUCHE, 1981) :

$$PS = 1 - SC \times (1 - PC) / SA$$

$$PE = 1 - (1 - SC) \times (1 - PC) / (1 - SA)$$

La fraction extraite permet d'évaluer la liaison de l'eau dans le produit obtenu mais elle est insuffisante par elle-même pour caractériser la modification de la liaison de l'eau au cours du traitement. Il est nécessaire pour l'appréhender de

définir la fraction totale extraite (FTE) en intégrant à la fois les pertes au chauffage et le pouvoir de rétention d'eau (BOUTON et HARRIS, 1972 ; LAROCHE, 1981). Nous serons amenés à considérer cette valeur, bien qu'elle ne caractérise pas le produit étudié, lorsque les variations de la fraction extraite et des pertes au chauffage seront opposées.

VI.6.- Electrophorèse des protéines myofibrillaires

a - *Extrait protéique*

L'extrait des protéines myofibrillaires du surimi est réalisé selon la méthode de JIANG et al. (1985) qui a été légèrement modifiée.

15 g de surimi sont broyés dans un broyeur réfrigéré (WARING BLENDOR) muni d'un plateau anti-mousse avec 80 ml d'une solution de NaCl à 5 %. Le broyat est centrifugé à 2500 trs/min à + 4°C pendant 30 min ; 5 ml de surnageant sont dialysés toute une nuit à + 4°C contre de l'eau distillée.

Le dialysat est incubé à 45°C pendant 2 heures en présence de 5 ml d'une solution à 2 % de sodium dodécyl sulfate (SDS) et 5 % de 2-mercaptoethanol dans un tampon phosphate 0,01 M, pH 7,0.

b - *Electrophorèse sur gel de polyacrylamide*

Les conditions d'électrophorèse ont été déterminées selon la méthode de WEBER et OSBORNE (1969).

L'électrophorèse est réalisée dans une unité d'électrophorèse GRADIPORE avec des gels de polyacrylamide à gradient de porosité (PHARMACIA PAA 4/30).

10 µl (correspondant à environ 0,035 mg de protéines) d'un mélange 50/50 de l'extrait protéique et d'une solution de glycérol à 40 % dans un tampon phosphate 0,01 M, pH 7,0 sont déposés avec un répartiteur d'échantillons en dessous d'une goutte de tampon au sommet de la plaque de gel. Afin de suivre l'évolution du front de migration, un mélange 2 : 2 : 1 extrait protéique : glycérol : bleu de bromophénol à 0,05 % est également déposé.

Le tampon d'électrophorèse est un tampon phosphate 0,01 M, pH 7,0 avec 0,1 % de SDS.

Le courant d'électrophorèse est de 80 V pendant 30 min et de 200 V pendant 2 heures.

c - Révélation et densité optique des bandes
d'électrophorèse

Les gels sont fixés dans une solution d'acide sulfosalicylique à 10 % pendant 30 min puis colorés dans une solution de bleu de Coomassie à 0,1 %, de méthanol à 25 % et d'acide acétique à 10 % pendant toute une nuit.

Les gels sont ensuite mis à décolorer dans une solution de méthanol à 25 % et d'acide acétique à 10 % pendant 24 h. La densité optique des bandes d'électrophorèse colorées est mesurée à 280 nm avec un photomètre intégrateur-enregistreur VERNON.

RESULTATS ET DISCUSSION

I.- RECHERCHE DES CONDITIONS OPTIMALES DE PREPARATION.

L'optimisation des paramètres technologiques de fabrication de kamaboko est effectuée en utilisant la méthode ANTICOMPLEX par série d'expérimentations développée actuellement au Centre INRA de Nantes (TRAN et al., 1987).

I.1.- Choix des paramètres technologiques

Les paramètres technologiques de la préparation de kamaboko peuvent être divisés en 2 groupes, un lié à la composition et l'autre, lié à la fabrication proprement dite. Il ne nous a pas paru réaliste d'étudier l'ensemble de ces paramètres simultanément, aussi avons-nous fixé pour toutes ces expériences la nature et la concentration des cryoprotecteurs et des agents de texture utilisés.

Les 5 paramètres technologiques qui ont été pris en compte sont:

- la durée de broyage avant congélation (BAC) variant de 30 à 300 secondes par pas de 30 sec., soit 10 valeurs permises ;
- la durée de broyage après congélation (BPC) variant de 15 à 150 secondes par pas de 15 sec., soit 10 valeurs permises ;
- la durée de maturation à 45°C (DM) de 0 à 120 min. par pas de 15 min., soit 9 valeurs permises ;
- la durée de chauffage (DC) de 15 à 120 min. par pas de 15 min., soit 8 valeurs permises ;
- la température de chauffage (TC) de 60°C à 85°C par pas de 5°C, soit 6 valeurs permises.

I.2.- Fonction d'évaluation pour l'ANTICOMPLEX

L'ANTICOMPLEX nous permet de déterminer les conditions qui fournissent le produit recherché et dont les caractéristiques sont appréciées par une fonction d'évaluation préalablement définie.

Trois critères qui définissent au mieux la texture et les particularités du kamaboko ont été retenus pour déterminer la fonction d'évaluation, ce sont :

- le test de pliage (TP), il offre une appréciation assez globale de la texture du produit ;

- l'indice de cohésion (IC) ;
- la pente initiale de compression (PIC) indique la rigidité du produit.

Selon une étude de corrélation entre les différentes variables sur les m points de la première série (tableau ci-dessous) la fraction extraite par pression (FE) est bien corrélée avec le test de pliage et la pente initiale de compression ; résultat en accord avec celui de HOLMQUIST et al. (1984). Afin d'éviter la redondance et de donner une part trop importante aux critères de rigidité, fermeté et élasticité par rapport à la cohésion, la fraction extraite par pression n'a pas été prise en compte. Il est nécessaire de distinguer la cohésion d'une part et la rigidité d'autre part pour caractériser le comportement du produit (VERREZ et al., 1986).

	PIC	TP	FE	IC
PIC	1			
TP	-0,745	1		
FE	-0,819	0,824	1	
IC	-0,098	-0,041	-0,443	1

Seuils de signification à 5% = 0,444 et à 1% = 0,561

Les caractéristiques des m points de chaque série sont appréciées par une fonction d'évaluation préalablement définie selon les caractéristiques optimales souhaitées : produit élastique, ferme mais pas trop dur et présentant une bonne cohésion.

Les valeurs optimales pour ces trois critères sont celles du kamaboko de tacaud servant de référence pour le test de pliage (échantillon ferme, TP = 1), c'est à dire PIC = 0,75 N/mm et IC = 0,75 N/mm². Cependant pour le test de pliage, la valeur optimale n'a pas été prise égale à 1 mais à 0 (note déterminant le maximum de fermeté).

Lorsque les valeurs obtenues sont supérieures à ces optima, nous retenons pour la fonction d'évaluation les valeurs symétriques par rapport à ces optima. Un changement d'échelle permet ensuite de donner à chaque critère un poids comparable dans la fonction globale d'évaluation. Pour le test de pliage, afin d'avoir une note proportionnelle à la qualité, la valeur prise en compte par la fonction d'évaluation est (7 - la valeur du test de pliage), ainsi la valeur optimale est de 7.

Et, à chaque critère pondéré, le même rapport d'importance a été attribué pour le calcul des barycentres.

Ainsi à chaque point correspond une note globale

définie par la fonction d'évaluation et permettant de classer les points les uns par rapport aux autres.

I.3.- Détermination des conditions optimales.

Nous avons procédé à 3 séries de 20 points chacune. (voir les tableaux VII à XVII donnant les conditions expérimentales des points réalisés, les restrictions des zones d'étude, le classement des points après chaque série et la valeur des barycentres ainsi que les valeurs des variables de texture et d'hydratation pour les 60 points effectués). Si l'on ramène les barycentres de la 2ème et 3ème série pour chaque paramètre de fabrication aux valeurs "permises" les plus proches, nous voyons que ces paramètres prennent des valeurs optimales identiques. Aussi l'arrêt de l'expérimentation pour l'optimisation a été décidé à la fin de la troisième série.

Ces derniers barycentres calculés, ramenés aux valeurs permises les plus proches, correspondent aux conditions optimales préconisées par l'algorithme pour ce processus technologique, c'est à dire :

Temps de broyage avant congélation (BAC) = 210 s
 Temps de broyage après congélation (BPC) = 120 s
 Durée de maturation (DM) = 45 min
 Durée de chauffage (DC) = 30 min
 Température de chauffage (TC) = 80°C

La figure 12 représente les variations des bornes des zones d'études des paramètres ainsi que l'évolution des valeurs des barycentres des séries. Plus le paramètre influence le résultat obtenu, plus la réduction est importante. La durée de broyage avant congélation n'est pas affectée et les bornes définies pour le 4ème tirage (expérience non effectuée) après traitement des résultats des 3 séries sont identiques à celles de la 3ème série, seule la température de 80°C reste permise.

La 4ème série a 960 combinaisons possibles selon les valeurs encore permises des paramètres (10 pour BAC, 6 pour BPC, 4 pour DM, 4 pour DC et 1 pour TC). Il y a donc un facteur de réduction de 45 par rapport aux 43 200 combinaisons initiales après seulement 3 séries de 20 points.

Pour le paramètre BAC, la méthode est incapable de réduire ses bornes ce qui démontre de façon assez sûre que l'influence de ce paramètre sur le processus technologique est faible, voire nulle.

Le paramètre BPC a une importance comparable à celle de DC et DM, mais la faible réaaugmentation de sa zone d'étude pour la 4ème série pourrait indiquer une difficulté de l'algorithme à définir la valeur optimale.

DC et DM sont importants (4 solutions encore permises sur 9 et 8 respectivement) car les réductions de zones sont assez régulières et les bornes définies après chaque série sont le plus souvent incluses dans les précédentes.

Le paramètre TC joue le rôle le plus déterminant car sa zone d'étude diminue jusqu'au blocage à une valeur unique de 80°C. Malgré tout, il faut mentionner que ce blocage est facilité par le plus faible nombre de valeurs permises initialement, notamment par rapport aux paramètres DM et DC (6 pour TC alors que respectivement 9 et 8 pour DM et DC). Cependant, ce blocage aurait pu conduire à une convergence plus rapide pour les autres paramètres si d'autres séries avaient été réalisées après la 3ème série.

Pour illustrer l'évolution de la restriction des bornes, la figure 13 représente les projections de chaque condition expérimentale (chaque point) dans le plan 1-2 (correspondant à 57 % de l'inertie totale) de l'analyse en composantes principales normées dans l'espace des paramètres technologiques.

Si nous considérons sur la figure 14 la projection des échantillons sur le plan 1-2 (77 % de l'inertie) de l'espace des variables de texture, il apparaît encore une dispersion importante. Parmi les sources de variations possibles, bien que les données de la littérature (NISHIMOTO et KOREEDA, 1979 ; LANIER, 1984 ; LEE, 1984) n'indiquent pas de modifications significatives en fonction du stockage à l'état congelé du surimi, la durée d'entreposage est un paramètre de fabrication qui aurait pu être envisagé et que nous pouvons essayer, dans la mesure du possible, de prendre en compte dans la suite de notre discussion.

Il faut également mentionner qu'il y a eu au cours de cette expérience quelques modifications de la technologie, d'une part le broyeur (celui utilisé pour la première série n'était ni sous vide, ni réfrigéré) et d'autre part le pilote IPREMER qui a remplacé la fabrication manuelle pour la 3ème série.

En outre, nous ne pouvons pas dissocier l'influence relative du choix initial des agents de texture sur le résultat final de la détermination des conditions optimales. En particulier, les conditions optimales ne sont indépendantes du type d'amidon utilisé. Pour cette étude, c'est l'amidon de pomme de terre qui avait été retenu (d'après les résultats

bibliographiques) ; la température d'éclatement du grain natif est relativement basse (aux environs de 65°C), cependant cette température est augmentée en présence de saccharose et de sorbitol qui augmentent la pression osmotique (rapporté par de nombreux auteurs, en particulier WU et al., 1985a et 1985c). Nous sommes ainsi amenés à penser que le type d'amidon peut modifier les conditions technologiques optimales, en particulier celles du traitement thermique

I.4.- Influence des paramètres technologiques.

Comme il est probable que, dans les prochaines années, on assiste à une diversification importante des produits à base de surimi, il sera sans doute nécessaire d'obtenir des produits de texture différente selon l'utilisation envisagée. Il nous semble donc important, dans cette perspective, de considérer maintenant l'influence des paramètres technologiques retenus sur les caractéristiques du produit obtenu.

Les résultats caractérisant les échantillons peuvent être séparés en trois groupes :

- les paramètres technologiques : aux paramètres considérés pour la détermination des conditions optimales, nous pouvons rajouter la durée de stockage à l'état congelé du surimi ;
- les variables de texture et d'hydratation ;
- les résultats complémentaires ou redondants.

Pour étudier les relations entre les différents paramètres, nous avons utilisé comme outil mathématique l'analyse en composantes principales normées (ACP) dans l'espace des paramètres technologiques d'une part et dans l'espace des variables de texture d'autre part.

I.4.1.- Variations des résultats obtenus

Les caractéristiques des distributions des valeurs obtenues sont indiquées dans le tableau XVIII. L'hypothèse de normalité de la distribution des résultats est acceptable sauf en ce qui concerne le test de pliage et la teneur en matière sèche du surimi avant traitement thermique.

Le test de pliage est particulièrement efficace pour définir les produits de qualité moyenne mais il ne permet pas de différencier des produits de bonne qualité, aussi avons-nous modifié ce test en intégrant la notion de fermeté. Mais

dès la 2ème série, il n'était plus possible de distinguer ainsi les échantillons, aussi avons-nous attribué à tous la meilleure note.

La matière sèche avant chauffage est une teneur fixée à 78 % et elle se situe pour la totalité des 60 points constituant les 3 séries entre 76,6 % et 78,8 %. La 3ème série présente une variation plus importante. Du fait des pertes en matières sèches variables selon les échantillons, ce défaut de normalité n'est plus observé après chauffage.

Les coefficients de variation des résultats obtenus sont élevés sauf en ce qui concerne les teneurs en matière sèche du surimi avant traitement thermique (résultat attendu, SA étant fixée) et la déformation à la rupture, les échantillons se rompent sensiblement tous à plus de 80 % de compression.

I.4.2.- Espace des paramètres technologiques

La distribution de l'inertie totale du système est telle qu'il n'apparaît pas de facteur particulièrement prépondérant (fig. 15). Le premier axe ne représente que 29 % de cette inertie, et le 6ème axe en représente encore plus de 8 %. Les paramètres les mieux représentés sur les axes sont :

Axe 1 (29 %) : la durée du traitement thermique (DC = 49 % et DM = 31 %) et du broyage après congélation (BPC = 67 %)

Axe 2 (19 %) : la température de chauffage (TC = 48 %) et la durée de broyage avant congélation (BAC = 51 %) ;

Axe 3 (17 %) : la durée de stockage (DS = 52 %) et du broyage avant congélation (BAC = 24 %) ;

Axe 4 (16 %) : la durée de stockage (DS = 38 %) et de maturation (DM = 22 %) ;

Axe 5 (11 %) : la température et la durée de chauffage (TC = 21 % et DC = 22 %) ;

Axe 6 (8 %) : le broyage après congélation (BPC = 28 %).

La représentation des variables supplémentaires de texture et d'hydratation dans cet espace varie entre 18 % et 69 % (tab. XIX et fig. 16). La variable la moins bien représentée est la teneur en matière sèche du surimi avant chauffage, ce qui semble normal d'après ce que nous avons dit précédemment. Les mieux représentées sont les variables traduisant plutôt l'hydratation, c'est à dire la fraction extraite et la perte en matière sèche.

Dans la mesure où l'ACP ne fait pas apparaître de facteur prépondérant, nous devons considérer les coefficients de corrélations entre les paramètres technologiques et les paramètres étudiés (tab. XX), pour essayer de mettre en évidence l'influence de chacun des paramètres technologiques contrôlés sur les variations des résultats obtenus.

I.4.2.1.- *Broyage avant congélation*

Il n'apparaît pas de corrélations significatives entre les différents résultats obtenus et la durée de broyage avant congélation. Si le broyage avant congélation est indispensable pour mélanger les cryoprotecteurs, il n'a donc qu'une influence limitée sur les caractéristiques du produit. Cette analyse corrobore les résultats de l'optimisation où l'influence de ce paramètre technologique paraissait faible sinon nulle.

I.4.2.2.- *Durée de stockage à - 22°C*

La durée de stockage du surimi a été de 18 à 51 jours maximum (soit 7 à 8 semaines). Cette durée a une influence marquée sur les caractéristiques du produit obtenu, ce qui indique que malgré la présence des cryoprotecteurs les protéines subissent des modifications importantes. La résistance mécanique du produit obtenu diminue alors que la durée augmente. Elle s'accompagne également d'une augmentation de la fraction extraite et d'une diminution des pertes au chauffage. Globalement, il y a une augmentation de la fraction totale extraite, mais les modifications intervenant au cours de l'entreposage congelé réduiraient les pertes. Bien que LANIER (1984) n'observe pas de modification significative des capacités gélifiantes des surimis de merluche écureuil (*Urophycis chuss*) et de merlu argenté (*Merluccius bilinearis*) pendant un entreposage de 3 mois à - 22°C ; et de même IWATA et al. (1968, 1971) qui indiquent que le surimi fabriqué à partir de poissons frais conserve sa capacité à former un gel pendant plus d'un an à - 20°C, toutefois, lorsque le surimi est stocké à -10°C, cette capacité diminue progressivement et le surimi devient inutilisable après 3 mois.

Les résultats obtenus montrant l'influence de la durée d'entreposage, il nous a paru intéressant de considérer dans une étude ultérieure l'influence des cryoprotecteurs utilisés et leurs combinaisons, et notamment la présence ou non de sel avant congélation durant un entreposage prolongé du surimi.

I.4.2.3.- *Broyage après congélation*

L'augmentation de la durée de broyage après congélation entraîne une augmentation de la teneur en matière sèche du kamaboko par diminution de la quantité de matière sèche perdue (PS). Elle s'accompagnerait également d'une augmentation de la rigidité.

Nous attribuons en partie cette augmentation de la rigidité à l'augmentation de la matière sèche. LAROCHE (1977) a observé des résultats analogues. De plus de nombreux auteurs (OKADA, 1964 ; ACTON et al., 1981 ; HAMADA et INAMASU, 1983) notent que la force du gel augmente avec la concentration en protéines myofibrillaires ; la densité de liaisons augmente lorsque la teneur en protéines myofibrillaires par unité de volume augmente alors que la teneur en eau diminue.

I.4.2.4.- *Durée de maturation*

Les paramètres de cohésion (force de rupture et déformation à la rupture) augmentent avec la durée de maturation à 45°C, résultat en accord avec les données bibliographiques (TAGAKI, 1973 ; LANIER et al., 1980 ; HAMADA et INAMASU, 1983 ; MONTEJANO et al., 1984b). Les forces d'attraction intervenant durant la maturation donnent des structures relativement molles mais déformables.

La durée de maturation a également une influence marquée sur les capacités d'hydratation, en effet la fraction extraite diminue avec la durée de maturation alors que les pertes au chauffage augmentent. Si nous considérons la fraction totale extraite, il n'apparaît plus de relation significative.

NIWA et al. (1983) observent que, au cours de la maturation, les protéines forment une structure en réseau finement dispersée sans libération d'eau importante et que cette structure, essentielle pour l'élasticité du gel, est conservée après chauffage. Les modifications des protéines intervenant au cours de la maturation conduiraient donc à une structure favorisant l'échange de liquide avec le milieu extérieur, mais elles n'ont pas d'influence marquée sur la liaison de l'eau.

1.4.2.5.- *Température de chauffage*

L'augmentation de la température de chauffage entraîne une augmentation de la pente initiale de compression (rigidité), du test de pliage et une diminution de la fraction extraite.

MONTEJANO et al. (1983) indiquent également que la rigidité est augmentée lorsque le surimi est chauffé à des températures supérieures aux températures de maturation. Ils observent également une diminution de la cohésion des gels cuits à des températures élevées. Ces mêmes auteurs (1984b) notent aussi que la maturation est principalement responsable de l'augmentation de la déformabilité des gels et une cuisson ultérieure provoque une augmentation de la force. CHENG et al. (1979a) notent aussi, pour du poisson haché, une augmentation de la fermeté du gel avec la température de chauffage.

La fraction extraite diminue avec l'augmentation de la température de chauffage. Ce résultat est contraire à ceux obtenus avec la viande, alors que 65 % de la rétention d'eau de la viande (HAMM, 1960) seraient dues aux protéines myofibrillaires, constituant protéique essentiel du surimi ; dans le cas du surimi, celles-ci représentent pratiquement l'unique constituant protéique. Nous pouvons penser que ce phénomène particulier au surimi proviendrait de l'un ou des deux agents de texture ajoutés, la rétention d'eau serait d'autant meilleure que la coagulation thermique du blanc d'oeuf et la gélatinisation de l'amidon seraient plus importantes avec l'augmentation de la température de chauffage.

1.4.2.6.- *Durée de chauffage*

La durée de chauffage présente l'influence la plus marquée sur la teneur en matière sèche du produit chauffé et sur la perte en matière sèche. Il s'agit d'une diffusion des substances solubles vers le milieu extérieur (sucres, sel).

La diminution de la matière sèche va de pair avec celle de la force de rupture (voir 1.4.2.3).

1.4.3.- *Espace des variables de texture*

Alors que dans l'espace des paramètres technologiques il n'apparaissait pas de facteur prépondérant pour décrire l'inertie du système, il n'en est pas de même dans l'espace des variables de texture (fig. 17).

Le premier axe, qui correspond à 57 % de l'inertie du système prend en compte la force de rupture (58 %), la déformation à la rupture (54 %), la pente initiale de compression (63 %), la matière sèche soluble (57 %) et la fraction extraite (91 %). Le deuxième axe (21 %) serait un axe matière sèche, avec la teneur en matière sèche du produit chauffé (71 %) et la matière sèche soluble (34 %). Le troisième axe, moins de 13 % de l'inertie, est lié à la déformation à la rupture (33 %) et à la pente initiale de compression (30 %).

Les coefficients de corrélation entre les variables de texture sont indiqués dans le tableau XXI. Les deux seules corrélations qui ne soient pas significatives concernent la matière sèche du produit chauffé avec d'une part la déformation à la rupture et d'autre part la matière sèche soluble.

Les relations entre les trois paramètres mécaniques considérés, si elles sont significatives, sont malgré tout relativement lâches. Sur un nombre plus limité d'échantillons (VERREZ et al., 1986), nous avons conclu qu'il était nécessaire de distinguer la cohésion (FR et DR) d'une part et la rigidité (PIC) d'autre part pour caractériser le comportement des produits. Des études ultérieures devraient confirmer s'il existe ou non une relation entre ces paramètres.

La fraction extraite caractérisant la liaison de l'eau dans le produit est étroitement corrélée avec les résultats de mesures mécaniques et avec la matière sèche soluble. CHENG et al. (1979b) mettent également en évidence une relation entre la force maximale de cisaillement et le pouvoir de rétention d'eau.

Les paramètres technologiques, considérés comme des variables supplémentaires dans cet espace, bien que relativement mal représentées (fig. 18), confirment les relations observées précédemment. La température de chauffage et la durée de stockage sont reliées à l'axe 1, la durée de chauffage à l'axe 2 et la durée de maturation à l'axe 3. Les pertes en eau et les pertes globales sont faiblement liées à l'axe 1, la perte de matière sèche est bien représentée sur l'axe 2.

I.4.4.- Conclusions

Les résultats obtenus sont extrêmement dispersés du fait de l'hétérogénéité des produits probablement liée à la variation de paramètres non maîtrisés. Car, si la durée d'entreposage à l'état congelé considérée dans les calculs et l'exploitation permet d'en expliquer une partie, nous pensons qu'une part importante de la variation non expliquée peut être

liée aux variations saisonnières, à l'"historique" de la matière première avant la fabrication du surimi, aux conditions d'embossage...

Il faut remarquer que les rendements ne sont pas influencés par la température de chauffage mais uniquement par la durée de chauffage pour le rendement en matière sèche (probablement lié uniquement à la perte en cryoprotecteurs), et pour le rendement au chauffage par les durées de chauffage et de maturation ainsi que par le broyage après congélation.

Les paramètres technologiques caractérisant le traitement thermique, c'est à dire la durée de maturation, la température et la durée de cuisson ont une influence sur les caractéristiques de texture du produit mais cette influence est plus limitée que ce que nous pouvions attendre de l'étude bibliographique.

Les caractéristiques de texture sont relativement bien reliées entre elles. Le pourcentage de déformation à la rupture présente dans toutes ces expériences une variation faible. Les relations étroites entre la fraction extraite et les résultats des mesures mécaniques confirment l'importance de la liaison de l'eau sur la texture des produits.

La durée de stockage à l'état congelé a une influence marquée sur l'ensemble des résultats obtenus. Il nous a paru donc intéressant de considérer plus en détail les cryoprotecteurs et leurs combinaisons ainsi que la présence ou non de sel dont l'addition dans le surimi avant l'entreposage congelé est relativement contreversée.

I.5.- Quelques points technologiques vus à travers la microscopie.

I.5.1.- Fibres musculaires du chinchard avant transformation

"Le poids des mots, le choc des photos" est un slogan publicitaire journalistique fort connu du grand public ! Ici, les mots manquent pour traduire le degré d'organisation d'une fibre musculaire révélé par le microscope électronique à transmission en tout point identique aux schémas illustrant les "bouquins du parfait potache" !...

En effet, comme nous l'avons rappelé dans la revue bibliographique (comparer fig. 2 avec fig. 19), nous retrouvons la structure bien connue des fibres musculaires constituées par de très nombreuses myofibrilles organisées par les myofilaments parallèles d'actine et de myosine.

Une coupe transversale d'une fibre musculaire (fig. 20) montre un faisceau de myofilaments. Les myofibrilles sont entourées d'un cytoplasme qui contient les organites cellulaires et de nombreux noyaux (non visibles sur ces coupes).

I.5.2.- Observations générales du surimi et du kamaboko

Nous avons comparé des surimis et des kamabokos de chinchard (*Trachurus trachurus*) et de tacaud (*Trisopterus luscus*) à l'aide des trois techniques d'observation utilisées. En définitive, il est impossible de les différencier au niveau de la microstructure. De même, OKADA et MIJITA (1956) n'observent pas de différence significative entre les kamabokos préparés à partir de diverses espèces de poisson.

Le microscope électronique à balayage permet de visualiser la structure du produit en 3 dimensions. Le surimi (fig. 21 et 22) présente une structure que l'on pourrait qualifier de "feuilletée" correspondant très certainement aux couches d'écoulement de la pâte ; alors que le kamaboko (fig. 23) présente une structure plutôt spongieuse formée d'agrégats et de micropores où l'eau est probablement incluse. MONTEJANO et al. (1984b) décrivent également cette caractéristique des gels de surimi : des agrégats et des pores où l'eau captée y est maintenue. Nous notons également la présence de nombreuses "microbulles" dues en partie au broyage à l'air ambiant.

Au microscope électronique à transmission, le surimi paraît très uniforme et homogène : la structure myofibrillaire de la chair hachée, lavée, raffinée, centrifugée et broyée avec du sel est totalement dispersée et solubilisée (fig. 25).

Cependant SATO et al. (1984a) observent même dans des surimis broyés avec du sel (kaen-surimi) des résidus de bandes Z et un réseau de filament entrelacés. Nous avons pensé d'après ces différences d'avec nos propres observations, que le surimi utilisé pour ces travaux japonais n'était peut-être pas raffiné ou aussi raffiné, aussi avons-nous décidé de vérifier cette hypothèse en fabriquant du surimi non raffiné.

Le kamaboko forme, d'après nos observations au microscope électronique à transmission, un réseau homogène d'agrégats de protéines (fig. 26). Bien que le kamaboko ne soit pas constitué d'une seule phase, la texture est relativement homogène (OKADA, 1963 ; MIKAYE, 1965). SATO et al. (1984b) observent, de même que dans le surimi, des restes de myofibrilles non solubilisées et des éléments figurés tels que des débris de collagène. En établissant une corrélation entre

la microstructure et la structure, ils en déduisent que la microstructure et la force des gels de surimi varient selon l'état des protéines. En effet, les gels présentant une force importante paraissent être les plus homogènes et contenir le moins d'impuretés.

I.5.3.- Importance de l'étape de raffinage

Lorsque l'étape de raffinage n'est pas réalisée et bien que la pâte ait été broyée avec du sel, la structure du surimi a perdu toute son homogénéité, les myofibrilles restent visibles en paquets quelque peu désorganisés et à demi solubilisés ; des "éléments non identifiés" (débris cellulaires, éléments de la peau, fragments d'arêtes...) sont également observés (fig. 27). L'absence de raffinage ne permet également pas d'éliminer les protéines insolubles tel que le collagène.

Nous retrouvons donc des structures myofibrillaires telles que l'indiquent certains travaux japonais (SATO et al., 1984a ; NIWA, 1985). Ce résultat nous amène donc à penser que les surimis étudiés par les Japonais ont subi un raffinage moins poussé que celui réalisé à l'IFREMER sinon aucun raffi-

nage. Il est à remarquer que le broyage de la chair de poisson non raffinée avec du sel ne disperse ni ne solubilise totalement les myofibrilles. MIKAYE (1965) avait déjà suggéré que le traitement physique du broyage traditionnel ne disperserait pas les filaments. Mais notre observation est néanmoins inattendue dans la mesure où le sel ne paraît pas jouer ici son rôle "solubilisant" vis à vis des protéines myofibrillaires (il s'agit peut-être d'un problème de diffusion dans le milieu - diffusion facilitée par le raffinage). L'étape de raffinage semble donc capitale pour disperser la structure myofibrillaire et permettre la solubilisation des filaments de myosine et d'actine au cours du broyage.

I.5.4.- Effet du chlorure de sodium

Autant le réseau paraît "homogène" dans le surimi broyé avec du sel (fig. 25) - les myofibrilles étant totalement dispersées et solubilisées - autant le surimi broyé sans sel paraît "hétérogène" (fig. 28). Les myofibrilles non solubilisées par le sel semblent plus dispersées que lorsque l'étape de raffinage n'est pas réalisée (fig. 27) - on peut

alors observer des paquets de myofibrilles, ce qui confirme le rôle capital du raffinage dans la dispersion mécanique des myofibrilles.

I.5.5.- Influence du broyage à l'air ou sous vide

Le broyage à l'air ambiant facilite l'incorporation d'air dans la pâte et c'est ainsi qu'en microscopie électronique à balayage un nombre important de bulles est observé dans le surimi (comparer fig. 22 et 24). Un tel broyage pourrait avoir une incidence sur la texture, l'air inclus introduisant des zones à résistance moindre à la compression. Alors que nous notons la disparition de la plupart des bulles dans le surimi broyé sous vide (fig. 24).

II.- INFLUENCE DE DIFFERENTES COMBINAISONS DE CRYOPROTECTEURS DANS LE SURIMI DURANT L'ENTREPOSAGE CONGELE

L'étude des paramètres technologiques a indiqué qu'une partie de la variation des caractéristiques de texture des gels de surimi, non expliquée par les 5 paramètres technologiques étudiés, pourrait être due à la durée d'entreposage du surimi à l'état congelé bien que de nombreux auteurs n'observent pas de modification significative après 3 mois d'entreposage à - 20°C (conditions d'entreposage de cette expérience) (cf. I.4.2.2).

La composition du surimi, avant congélation, utilisé pour l'optimisation des conditions technologiques était fixée à 4 % de saccharose, 4 % de sorbitol, 3 % de chlorure de sodium et 0,3 % de polyphosphates.

L'action cryoprotectrice des sucres sur le système protéique musculaire du poisson est reconnue (NOGUCHI et al., 1976 ; TRAN et HAN-CHING, 1981 ; VERREZ et HAN-CHING, 1985). Par contre l'effet du chlorure de sodium sur la dénaturation des protéines par le froid est relativement controversé. En effet, SNOW (1950) note le rôle cryoprotecteur du sel à faible concentration ; de même IWATA et OKADA (1971) remarquent que le surimi avec 2,5 % de NaCl et 5 % de sucres conserve de bonnes propriétés fonctionnelles après 2,5 à 3 mois à - 10°C alors que le surimi sans sel avec le même pourcentage en sucres et 0,2 % de pyrophosphate de sodium a une durée d'entreposage maximum d'un mois et demi, tandis que DASSOW (1982) indique que les qualités du gel obtenu après un stockage de 12 mois à - 18°C sont inférieures pour le surimi avec du sel.

Aussi, il a paru intéressant d'orienter une étude sur l'influence des différentes combinaisons de ces additifs sur la texture du surimi de chinchard durant un entreposage congelé à - 30°C. Cette étude s'est poursuivie sur 6 mois et différentes combinaisons ont été testées :

N° de la combinaison	% sorb.	% sac.	% NaCl	% PP
1	4	4	3	0,3
2	4	4	-	0,3
3	4	4	3	-
4	8	-	3	-
5	8	-	-	0,3
6	10	-	3	-
7	6	-	3	-

Tous les échantillons ont été préparés à partir d'une fabrication unique sur la chaîne pilote selon les conditions technologiques optimales (voir I.3).

Etant donné que nous nous sommes fixés d'étudier la relation entre la nature et la teneur en additifs et la durée de congélation, il nous a paru logique de ramener après congélation toutes les combinaisons à 8 % de sucres (mis à part la combinaison n°6 qui est déjà à 10 % de sorbitol), 3 % de NaCl et 0,3 % de polyphosphates afin de maintenir la proportion en matières sèches (pulpe de poisson lavée/additifs) constante et d'éviter un facteur de variation supplémentaire en comparant des gels avec et sans polyphosphates. De plus, l'incorporation systématique de 3 % de NaCl est nécessaire pour obtenir un gel après traitement thermique.

La texture et les variables d'hydratation sont évaluées tous les deux mois sur les gels avec et sans agents de texture (4 % de blanc d'oeuf déshydraté et 4 % d'amidon de pomme de terre).

Pour faciliter la discussion, nous considérerons, pour l'analyse de variance, l'ensemble et certaines combinaisons afin de comparer l'effet des différents additifs :

comparaison 1 : combinaisons n° 2,3,4 et 5

comparaison 2 : combinaisons 1,2 et 3

(influence sel et polyphosphates, seuls ou en mélange)

comparaison 3 : combinaisons 4,6 et 7

(teneurs différentes en sorbitol)

comparaison 4 : combinaisons 1,2,3,4 et 5

Nous discuterons ensuite brièvement sur l'influence de l'addition d'agents de texture.

II.1.- Influence de l'entreposage congelé

II.1.1.- Microstructure à l'état congelé des 7 combinaisons

Les observations au microscope photonique des coupes de surimi congelé réalisées sur les 7 combinaisons de surimi congelé (fig. 29 à 36 sauf fig. 32) indiquent des différences de nombres, de tailles et de formes des cristaux de glace. Pour toutes les combinaisons, les coupes sont faites au niveau du centre d'une plaque de surimi d'environ 1 cm d'épaisseur et congelée dans un congélateur à plaques à -40°C .

Ces différences entre les combinaisons, quoique visibles, sont difficilement reliables à des "principes généraux" ainsi qu'aux courbes (temps - température à coeur) lors de la congélation des plaques. L'orientation, quelque peu différente entre les échantillons, du plan de coupe pourrait en être à l'origine.

Le saccharose paraît cependant favoriser la formation de nombreux cristaux de glace de taille élevée. Alors que l'action du sel sur la cristallisation durant la congélation et l'entreposage à l'état congelé n'est pas ici mis en évidence.

Lorsque nous comparons ces échantillons congelés à -40°C avec un surimi sans sel congelé très rapidement par immersion dans l'azote liquide (fig. 32), nous y remarquons uniquement la présence d'un nombre restreint de cristaux de petite taille. Cela confirme bien le fait établi que la taille et le nombre des cristaux sont en relation avec la vitesse de congélation.

Au microscope électronique à transmission, la comparaison des surimis congelés avec du sel (fig. 39 à 42) avec le surimi non congelé comportant également du chlorure de sodium (fig. 25) paraît indiquer la présence d'agrégats de protéines formés au cours de l'entreposage congelé ; la structure "homogène" qui avait été soulignée dans le cas du surimi frais à quelque peu disparue. Ces agrégats sont vraisemblablement le fait d'un début de dénaturation des protéines myofibrillaires. En effet, les profils d'électrophorèse réalisés sur les extraits protéiques des différents surimis, après 2, 4 et 7 mois d'entreposage à -30°C , indiquent une certaine dénaturation non spécifique à une combinaison particulière.

Par contre, après comparaison des surimis sans sel, congelés et frais (comparer fig. 37 et 38 avec fig. 28), nous notons "l'absence" d'agrégats de protéines myofibrillaires ; mais cette "non-présence" est peut-être factice du fait que le surimi sans sel non congelé est déjà "hétérogène" car, bien que les myofibrilles aient été dispersées par l'étape de raffinage, elles ne sont pas solubilisées. Par ailleurs, l'électrophorèse des extraits protéiques des surimis sans sel indique le même type de dénaturation que les surimis avec sel, un début de dénaturation aurait donc également eu lieu sans modification perceptible au niveau de la microstructure.

II.1.2.- Influence de la durée d'entreposage.

(tab. XXII à XXV résumant les valeurs prises par les variables de texture et d'hydratation pour les 3 durées d'entreposage congelé)

L'analyse de variance (tab. XXVI) pour l'ensemble des 7 combinaisons montrent que les variables de texture à l'exception de la déformation à la rupture n'évoluent pas significativement sur 6 mois d'entreposage. Le pourcentage de déformation résiduelle à la rupture augmente avec la durée, le produit devient plus cassant. KIM et al. (1986) indiquent également qu'un nombre croissant de cycles de congélation/décongélation réduisent la force et la déformation du gel de surimi.

Les pertes en matières sèches diminuent avec la durée de stockage et en parallèle la rétention d'eau augmente. Or, cette évolution est contradictoire à ce que nous avons préalablement observé dans le cas des échantillons pour l'optimisation des paramètres technologiques où la rétention d'eau diminuait avec la durée de stockage (durée au maximum de 8 semaines à - 20°C). Mais il faut noter que dans cette présente étude, la fraction extraite n'est pas significativement différente entre la 8ème et la 16ème semaine d'entreposage, l'augmentation n'est significative qu'à la 24ème semaine. De même LEE et TOLEDO (1976) ont noté une diminution du fluide expressible au cours de l'entreposage congelé de poisson haché.

Nous avons considéré l'ensemble des combinaisons, il y a beaucoup de variations entre les échantillons. Si, nous nous basons uniquement sur les échantillons d'une part avec agents de texture et d'autre part sans agents, le pourcentage de déformation reste la seule variable significative.

Donc en réalité, l'altération des capacités gélifiantes des protéines myofibrillaires durant un entreposage à - 30°C semble très réduite, le produit devenant seulement plus cassant. Nous avons déjà souligné que l'électrophorèse sur gel de poly-

crylamide à gradient de porosité indique qu'il y a une certaine dénaturation, générale et non pas spécifique, à une combinaison particulière des protéines myofibrillaires au cours du temps. En effet, les pics des principales fractions protéiques tendent à se décomposer et à se scinder en de nombreux petits pics (fig. 43 et 44 : exemples de profils d'électrophorèse obtenus en fonction du temps pour les combinaisons 1 et 2). Cependant, ces modifications de la structure même des protéines ne paraissent pas avoir de conséquence importante pour altérer les propriétés gélifiantes recherchées.

II.1.3.- Différences entre les combinaisons de cryoprotecteurs

Mise à part la rigidité, si l'on considère l'ensemble des combinaisons, les variables de texture ne sont pas significativement différentes en fonction de la combinaison de cryoprotecteurs employée (tab. XXVI). Par contre, les variables d'hydratation sont plus significatives, peut-être est-ce dû principalement à une variation importante de la matière sèche du surimi avant traitement thermique. En effet, à l'exception de la comparaison 2, les différences de teneurs en eau des échantillons avant traitement thermique sont significatives ; ainsi, les différences entre les échantillons varient de 1,5 % à 3,5 % en matière sèche pour les préparations des surimis testés après une durée d'entreposage respectivement de 24 et 8 semaines.

La combinaison 1 - combinaison témoin - donne en moyenne sur toute la durée d'entreposage un gel doté d'une force de rupture plus importante mais d'une texture moins rigide.

Le fait que le sel soit ajouté au surimi avant congélation diminuerait la rigidité quelque soit la nature du sucre. Les pertes en eau seraient réduites et la rétention d'eau augmentée. Par contre, lorsque le mélange polyphosphates/sel est additionné avant congélation, la rétention d'eau serait diminuée. Nous pouvons formuler une hypothèse pour expliquer ce résultat : lorsque les polyphosphates sont additionnés avant congélation, seuls ou en mélange avec le sel, en s'hydrolysant durant le stockage, ils perdent leur capacité de liaison de l'eau. Alors que lorsque le sel est additionné seul avant congélation, les polyphosphates sont ajoutés après l'entreposage et possèdent alors toute leur capacité de lier l'eau.

Par contre, les polyphosphates ajoutés seuls avant congélation semblent augmenter la cohésion en fonction de la durée de stockage.

Ainsi, contrairement à certains résultats bibliographiques déjà cités, le chlorure de sodium additionné avant congélation n'accélérait pas la dénaturation des protéines myofibrillaires par le froid.

Quant aux variables d'hydratation, le mélange des sucres semblerait diminuer les pertes au chauffage et les pertes en eau par rapport au sorbitol sans adjonction de saccharose qui augmenterait ces pertes et diminuerait la matière sèche soluble. Nous pouvons supposer que ceci est dû soit à une différence malgré tout de cryoprotection ou, peut-être plus vraisemblablement à une dissolution plus importante du sorbitol par rapport au saccharose dans l'eau de cuisson. En effet, nous notons que la vitesse initiale de solubilisation du sorbitol à 4°C est de 2,375 fois plus importante que celle du saccharose (diffusion plaquette Roquette frères).

En fait, la nature du sucre est indépendante du pouvoir cryoprotecteur du sorbitol et du saccharose. NOGUCHI et al. (1976) indiquent que leur action dépendrait d'un mécanisme commun.

Nous ne pouvons retenir de renseignement à propos de l'influence de la teneur en sucre sur le degré de cryoprotection car lorsque les variables sont significatives (comparaison 3 : teneurs en sorbitol de 6, 8 et 10 %), le classement suit en parallèle l'ordre des teneurs en matières sèches avant traitement thermique ; la teneur en matières sèches étant reliée très fortement aux variables de texture.

En résumé :

- le sel n'aurait pas d'action négative sur la conservation des protéines myofibrillaires par le froid ;
- le degré de cryoprotection serait indépendant de la nature du sucre, sorbitol ou saccharose ;
- étant donné que les polyphosphates ne semblent pas avoir une action cryoprotectrice marquée et, qu'additionnés avant congélation ils abaissent la rétention d'eau, il serait préférable de les ajouter après congélation s'ils paraissent nécessaires pour une bonne rétention d'eau. Néanmoins, SUZUKI (1981) indique que les polyphosphates sont additionnés au surimi congelé pour maintenir un pH voisin de 7,0, ce qui augmente la stabilité de l'actomyosine durant l'entreposage.

II.2.- Influence de l'addition d'agents de texture

II.2.1.- Sur les qualités de texture et d'hydratation

A l'exception du pourcentage de déformation à la rupture, l'influence de l'addition d'agents de texture est très nette en ce qui concerne les paramètres de texture et d'hydratation (tab. XXVI).

Ainsi le mélange 4 % amidon/4 % blanc d'oeuf, quels que soient les cryoprotecteurs, augmente très significativement la fermeté, la rigidité et la force à la rupture (ainsi que l'indice de cohésion bien que le pourcentage de déformation intervenant dans son calcul soit non significatif).

Une étude réalisée parallèlement à l'INRA, sur l'effet du blanc d'oeuf et de l'amidon de pomme de terre étudiés individuellement ou en mélange à des teneurs de 4 à 300 % par rapport au poids du surimi initial, montre que les échantillons préparés avec des mélanges, en quantité égale, de ces deux additifs présentent des comportements différents selon le critère considéré. En ce qui concerne l'indice de cohésion et la fraction extraite, leurs valeurs sont comparables à celles obtenues avec le blanc d'oeuf seul. Si la rigidité du produit est comparable à celle obtenue uniquement avec l'amidon pour les deux concentrations les plus faibles (4 + 4 %) et (8 + 8 %) d'amidon et de blanc d'oeuf, le résultat avec des concentrations plus élevées est plus proche de ceux obtenus avec l'addition de blanc d'oeuf seul. Les auteurs ont pensé que la coagulation du blanc d'oeuf immobilise le liquide présent dans la structure et que, de ce fait, il n'y a plus suffisamment d'eau disponible pour permettre la gélatinisation de l'amidon, ce qui expliquerait ainsi la diminution de la rigidité.

De nombreux auteurs (HAMADA et INAMASU, 1984 ; ISO et al., 1985 ; LEE et KIM, 1985 ; OKADA, 1985 ; WU et al., 1985) ont également constaté que l'amidon emprisonné dans la matrice protéique sous forme de granules partiellement gélatinisés augmente la fermeté et la cohésion des gels de surimi. Par contre, l'albumine du blanc d'oeuf réduirait la force du gel (BURGARELLA et al., 1985a) en interférant avec la formation de la matrice rigide des protéines myofibrillaires. Il n'y aurait pas de synergisme entre l'effet de l'amidon et du blanc d'oeuf (LEE et KIM, 1985).

HAMADA et INAMASU (1984) indiquent que l'amidon est inefficace pour augmenter l'élasticité contrairement à LEE et KIM (1985) qui émettent l'hypothèse que les granules d'amidon partiellement gélatinisés peuvent contribuer à l'élasticité du

gel en fonctionnant comme des masses élastiques. Nous observons que le test de pliage (il varie ici de AA à B) est amélioré par la présence d'agents de texture, ce qui indiquerait néanmoins une élasticité plus élevée alors qu'ISO et al. (1985) notent au contraire qu'en général les gels cassent plus facilement lorsque la teneur en additifs augmente.

La capacité de rétention d'eau est améliorée par l'addition d'amidon et de blanc d'oeuf, de même que les rendements au chauffage, en eau et en matière sèche. Les granules d'amidon en gélatinisant lient une importante part d'eau rendant ainsi le kamaboko plus rigide. AKAHANE et al. (1981) ont montré un parallélisme entre la force du gel et les résultats de la calorimétrie différentielle à balayage, indiquant que l'état de capture des molécules d'eau dans le réseau doit contribuer aux propriétés du gel.

Mais il est à noter que la matière sèche du surimi avant traitement thermique, fixée à 21,5 %, est significativement plus faible dans les surimis sans agents de texture. Or, étant donné que la force du gel (HAMADA et INAMASU, 1983 ; CARDINAL et al., 1985), la cohésion et la capacité de rétention d'eau (VERREZ et al., 1987) augmentent avec la teneur en matière sèche, il faut peut-être nuancer les résultats que nous venons de discuter.

Cependant d'une façon générale les qualités du surimi par les agents de texture sont nettement améliorées dans les conditions utilisées.

II.2.2.- Sur la microstructure du gel - Relation avec la texture

En microscopie photonique, la coloration verte des protéines par le fast-green est relativement uniforme et si nous décelons la présence de précipités, il ne s'agit pas d'agrégats de protéines de blanc d'oeuf puisque ces précipités sont également visibles pour les surimis et les gels de surimi sans agents de texture. Les grains d'amidon colorés en bleu-violet par l'iode restent à l'état de grains partiellement gélatinisés et encapsulés dans les pores du kamaboko sans participer au gel protéique comme l'avaient également noté OKADA et MIJITA (1956). (fig. 45 à 48).

Au microscope électronique à balayage, le kamaboko avec des agents de texture semble avoir une structure "moins tourmentée", plus lisse que celle obtenue sans agent de texture (comparer fig. 49 et 50). Cette différence pourrait s'expliquer du fait de la présence de blanc d'oeuf, agent liant, qui permettrait de lier les agrégats de protéines

myofibrillaires entre eux et de lisser la structure. Si nous observons les gels de surimi au microscope électronique à transmission (fig. 51 à 54), la remarque précédente est plus difficile à associer à cette observation qui donne, non plus une certaine notion de relief, mais une image de la structure intime au niveau d'une coupe. Cependant, l'ultrastructure semblerait avoir une certaine tendance à être plus compacte lorsqu'il y a addition d'agents de texture.

Les grains d'amidon partiellement gélatinisés pourraient ainsi jouer sur la fermeté des gels en fonctionnant comme des masses d'arrêt, de freins lors d'une compression et non pas réagir comme des masses élastiques ainsi que l'indiquaient LEE et KIM (1985). Car nous observons sur ce type de kamaboko et dans les conditions technologiques dans lesquelles nous travaillons une augmentation de la fermeté et de la rigidité et non pas de l'élasticité. Nous aurions pu penser que ces granules partiellement empesés puissent introduire des zones de rupture mais les gels avec agents de texture manifestent au contraire une cohésion plus élevée.

Un espace est décelé entre les grains d'amidon et le réseau protéique, il s'agit probablement d'un espace interstitiel créé par un appel d'eau du grain natif en cours d'empesage. En effet, l'amidon de pomme de terre lie l'eau principalement par des liaisons hydrogènes et forme des "pools" d'eau liée et une structure de gel molle qui peut retenir l'eau par la fraction la plus apolaire de l'amylose considérée comme insoluble (LABUZA et BUSK, 1979). Nous pouvons penser que lors de la maturation le réseau protéique se forme et durant la cuisson l'amidon gonfle en liant une importante part d'eau sans participer au réseau de protéines uniforme et homogène déjà constitué. Au cours du refroidissement, il y aurait probablement rétrogradation, recristallisation et rétractation des grains d'amidon avec départ d'eau.

En résumé, les particularités de la microstructure du kamaboko avec agents de texture sont : une structure "lissée" par le rôle de "bouche-trous" du blanc d'oeuf et la formation d'un réseau de protéines musculaires indépendamment des granules d'amidon partiellement gélatinisés pouvant jouer le rôle d'éléments résistants à la compression. La distinction entre les protéines myofibrillaires et les protéines du blanc d'oeuf est impossible à observer.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude permet de poser les premiers jalons dans la connaissance du surimi au niveau français à partir d'une espèce, le chinchard, disponible en stock important dans les eaux proches du territoire.

L'optimisation des paramètres technologiques pour un produit de texture définie a montré l'influence relative des différents paramètres, et en particulier celle des traitements thermiques et de la durée de broyage du surimi avec les agents de texture et l'eau. Par contre, le broyage de la chair hachée lavée avec les cryoprotecteurs semble avoir une influence faible voire nulle sur les caractéristiques de texture étudiées. L'étude détaillée de l'influence et de l'effet de chacun des paramètres technologiques pourrait être utilisée pour définir de nouvelles conditions de travail selon les caractéristiques de produit fini souhaitées (forte élasticité, moindre fermeté...).

Une partie de la variation des résultats n'a pu être expliquée ni par les paramètres technologiques étudiés, ni en tenant compte de la durée de stockage à l'état congelé du surimi, des variations dues aux conditions d'embossage, à l'histoire de la matière première (saison, âge, temps de conservation en glace...) peuvent être évoquées. Dans une optique industrielle, une fabrication à bord des bateaux permettrait sans doute de limiter une part de la variation des lots de surimi commercialisés.

Les techniques de microscopie ont permis de mettre en évidence l'importance essentielle du raffinage pour une dispersion rigoureuse des myofibrilles et pour ultérieurement une solubilisation totale des protéines myofibrillaires. Cette étape de fabrication réussie au niveau du pilote IFREMER permet dès lors d'augmenter la fermeté du gel comme l'indiquent certains travaux japonais.

L'étape de lavage en éliminant la majeure partie des dénaturants favorise une conservation efficace du surimi à l'état congelé ; le surimi de chinchard entreposé durant 6 mois à -30°C conserve toutes ses capacités gélifiantes. Les polyphosphates ne semblent pas indispensables pour le maintien de la texture au cours de la conservation dans les conditions utilisées, il paraîtrait plus intéressant de les ajouter au surimi après la conservation à l'état congelé si le produit fini nécessite le recours aux polyphosphates en raison de leurs capacités de liaison d'eau... Le pouvoir cryoprotecteur des sucres semble indépendant de la nature, que ce soit le saccharose ou le sorbitol. La teneur minimale en sucres pour une conservation adéquate

du surimi reste à préciser pour que soit fait, d'un point de vue industriel, le choix du sucre et de sa teneur en fonction du pouvoir sucrant et des caractéristiques organoleptiques désirées.

Les agents de texture (amidon de pomme de terre et blanc d'oeuf déshydraté) testés améliorent la texture du surimi après traitement thermique. Le blanc d'oeuf coagulé joue le rôle de "bouche-trous" en liant les agrégats de protéines myofibrillaires entre eux, augmentant ainsi la cohésion du surimi après traitement thermique. La gélatinisation partielle de l'amidon indépendamment de la formation du réseau de protéines myofibrillaires est peut-être nécessaire pour la fermeté du produit. Dès lors, si un remplacement de ce type d'amidon, qui a l'inconvénient de rétrograder durant la congélation du produit fini, est prévu et si une fermeté comparable est envisagée, il faudrait songer à des amidons modifiés ou à des féculés stabilisés dont la courbe de gélatinisation se rapproche le plus possible de celle de l'amidon de pomme de terre à l'état natif.

Afin d'obtenir un gel aux caractéristiques très ciblées, il est aussi envisageable, outre le fait de varier les conditions technologiques et la composition en agents de texture, d'opérer à des mélanges de surimis fabriqués à partir d'espèces différentes de poisson (surimi à maturation rapide, lente, gel plus ou moins ferme et élastique...). Dans cette optique, il serait souhaitable de dresser un catalogue, un inventaire des caractéristiques fonctionnelles du surimi par espèces biologiques et de rechercher à un niveau plus fondamental pourquoi de telles différences existent entre les espèces.

Dans les pays occidentaux, le surimi a le succès dû à sa nouveauté, mais il faut dès à présent songer à son utilisation non pas spécialisée dans le domaine des produits de la mer mais ouverte et généralisée aux autres secteurs de l'industrie agro-alimentaire. De plus, le surimi ne peut être considéré comme le seul produit résultant de cette transformation du poisson, mais plutôt comme un des produits intermédiaires de sa fragmentation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACTON J.C., HANNA M.A., SATTERLEE L.D., 1981.- Heat-induced gelation and protein-protein interaction of actomyosin.-J. Food Bioch., 5, 101-113.
- ADU G.A., BABBITT J.K., CRAWFORD D.L., 1983.- Effect of washing on the nutritional and quality characteristics of dried minced rockfish flesh.- J. Food Sci., 48 (4), 1053-1055.
- AKAHANE T., CHIHARA S., YOSHIDA Y., TSUCHIYA T., NOGUCHI S., OOKAMI H., MATSUMOTO J.J., 1981.- Application of differential scanning calorimetry to food technological study of fish meat gels.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 47 (1), 105-111.
- AKAHANE T., CHIHARA S., YOSHIDA Y., TSUCHIYA T., NOGUCHI S., OOKAMI H., MATSUMOTO J.J., 1984.- Roles of constituent proteins in gel properties of cooked meat gels.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 50 (6), 1029-1033.
- ANONYME, 1961.- Fish as Food - Vol. I - Production, biochemistry and microbiology.- Ed. BORGSTROM G., Academic Press, New-York, 725p.
- ARECHE N.T., FUJII Y., 1979.- Effects of vegetable protein added to frozen surimi on the properties of its kamaboko.- Bull. Tokai Reg. fish. Res. Lab., 100, 1-7.
- BABBITT J., REPPOND K., HARDY A., 1985.- Effect of washing on the composition and functional stability of minced pollack flesh.- Proceedings on Engineered Seafood including Surimi, nov 19-21, Seattle, ed. MARTIN R., 117-128.
- BILIADERIS C.G., MAURICE T.J., VOSE J.R., 1980.- Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry.- J. Food Sci., 45, 1669-1674.
- BLOCH, 1801.- Hist. Nat. des Poissons.- Tome IV, 225-232.
- BOUTON P.E., HARRIS P.V., 1972.- The effect of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat.- J. Food Sci., 37, 140-144.

- BROTSKY E., SCHWARTZ W., 1980.- Use of polyphosphates in minced fish.- Ed. Roy MARTIN, Third National Technical Seminar on mechanical recovery and utilization of fish flesh, Raleigh, 1 -3 déc., , 299-312.
- BURGARELLA J.C., LANIER T.C., HAMANN D.D., 1985a.- Effects of added egg white or wey protein concentrate on thermal transitions in rigidity of croaker surimi.- J. Food Sci., 50, 1588-1594.
- BURGARELLA J.C., LANIER T.C., HAMANN D.D., WU M.C., 1985b.-Gel strength development during heating of surimi in combination with egg white or whey protein concentrate.-J. Food Sci., 50, 1595-1597.
- BUTTKUS H., 1970.- Accelerated denaturation of myosin in frozen solutions.- J. Food Sci., 35, 558-562.
- CARDINAL M., DUMAY E., CHEFTEL J.C., 1985.- Influence de facteurs chimiques et technologiques sur la texture de gels de pulpe de cabillaud.- Ind. Agro. Ali., 102 (12), 1273-1281.
- CHEFTEL J.C., CHEFTEL H., 1977.- Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments - Vol. 1.- Tech. et Doc., LAVOISIER, Paris, 381p.
- CHEFTEL J.C., CUQ J.L., LORIENT D., 1985.- Protéines alimentaires -Biochimie - Propriétés fonctionnelles - Valeurs nutritionnelles - Modifications chimiques.-Tech.et Doc., LAVOISIER, Paris, 309p.
- CHENG C.S., HAMANN D.D., WEBB N.B., 1979a.- Effect of thermal processing on minced fish gel texture.- J. Food Sci., 44, 1080-1086.
- CHENG C.S., HAMANN D.D., WEBB N.B., SIDWELL V., 1979b.-Effects of species and storage time on minced fish gel texture.- J. Food Sci., 44, 1087-1092.
- CONNELL J., 1960.- Changes in actin of cod flesh during storage at - 14°C.- J. Sci. Food and Agri., 11, 515-519.

- CONNELL J., 1962.- Changes in amount of myosin extractable from cod flesh during storage at -14°C .- J. Sci. Food and Agri., 13, 607-617.
- DASSOW J., 1982.- Improving the keeping quality of frozen pollock surimi.- Marine Fish. Review, 44 (2), 22.
- DENG J., 1981.- Effect of temperatures on fish alkaline protease, protein interaction and texture quality.- J. Food Sci., 46 (1), 62-65.
- FERRY J.D., 1948.- Protein gels.- Advances in Protein Chemistry, 3, 1-78.
- FLICK J., HEBARD C.E., WARD D.R., 1982.- Chemistry and biochemistry of marine food products.- Ed. R. MARTIN, Avi Publishing Comp., 474p.
- FOX J.B., JENKINS R.K., ACKERMAN S.A., 1983.- Texture of emulsified cooked meat products by three different methods of measurement.- J. Food Sci., 48, 1025-1030.
- GILL T.A., KEITH R.A., SMITH LALL B., 1979.- Textural deterioration of red hake and haddock muscle in frozen storage as related to chemical parameters and changes in the myofibrillar proteins.- J. Food Sci., 44, 661-667.
- GOSSETT P.W., RIZVI S.S.H., BAKER R.C., 1984.- Quantitative analysis of gelation in egg protein systems.- Food Technol., 5 (8), 67-74.
- GOUTEFONGEA R., 1960.- Description d'un nouvel appareil pour mesurer le pouvoir de rétention d'eau de la viande.- 6^{ème} Meat Research Meeting Institutes, Utrecht.
- GRABOWSKA J., SIKORSKI Z., 1974.- The emulsifying capacity of fish proteins.- Proceedings of the IV International Congress of Food Sci. and Techn. vol.II, 13-17.
- GRABOWSKA J., SIKORSKI Z.E., 1976.- The gel forming ability of fish myofibrillar proteins.- Lebensmit. Wiss. und Techn., 9, 33.
- GREEN D., LANIER T., 1985.- Fish as the "soybean of the sea".- Proceedings on Engineered Seafood including Surimi, nov. 19-21, Seattle, ed. MARTIN R., 42-52.

- HAARD N., WARREN J., 1985.- Influence of holding fillets from undersize atlantic cod (*Gadus morhua*) at 0°C or - 3°C on the yield and quality of surimi.- Proceedings on Engineered Seafood including Surimi, nov. 19-21, Seattle, ed. MARTIN R., 92-116.
- HAMADA M., INAMASU Y., 1983.- Influences of temperature and water content on the viscoelasticity of kamaboko.- Bull jap. Soc. scien. Fish., 49 (12), 1887-1902.
- HAMADA M., INAMASU Y., 1984.- Influences of temperature and starch on the viscoelasticity of kamaboko.- Bull. jap. Soc. scien. Fish., 50 (3), 537-540.
- HAMANN D.D., WEBB N.B., 1979.- Sensory and instrumental evaluation of material properties of fish gels.- J. Texture Studies, 10 (2), 117-130.
- HAMM R., 1960.- Biochemistry of meat hydration.- Adv. Food Res., 10, 355-463.
- HAN-CHING L., 1984.- Valorisation du poisson et perspectives de développement de nouveaux produits : la texturation de chair de poisson.- Sci. Pêche, n°347.
- HASTINGS R.J., RODGER G.W., PARK R., MATTHEWS A.D., ANDERSON E.M., 1985.- Differential scanning calorimetry of fish muscle : the effect of processing and species variation.- J. Food Sci., 50, 503-506.
- HERMANSSON A.M., 1978.- Physico-chemical aspects of soy proteins structure formation.- J. Texture Studies, 9, 33.
- HOLMQUIST J.F., BUCK E.M., HULTIN H.O., 1984.- Properties of kamaboko made from red hake (*Urophycis chuss*) fillets, mince or surimi.- J. Food Sci., 49 (1), 192-196.
- HOWGATE P., 1977.- Aspects of fish texture.- Dans "Sensory Properties of Foods", ed. BURCH D.S., Applied Sci. Pub. Ltd., Londres, 249-269.
- IKEUCHI T., 1964.- Enhancing effects of various jelly-forming substances on kamaboko jelly.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 30 (1), 75-81, jap..

- ISHIKAWA S., NAKAMURA K., FUJII Y., 1977.- Fish jelly product (kamaboko) and frozen minced meat (frozen surimi) made of sardine -1- Freshness and handling of the fish material affecting on its kamaboko forming ability.- Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 90, 59-66, jap.
- ISHIOROSHI M., SAMEJIMA K., YASUI T., 1979.- Heat-induced gelation of myosin : factors of pH and salt concentrations.- J. Food Sci., 44, 1280-1284.
- ISO N., MIZUNO H., SAITO T., LIN C.Y., FUJITA T., NAGAHISA E., 1985.- The effects of additives (egg white and soy bean protein) on the rheological properties of kamaboko.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 51 (3), 485-488.
- IWATA K., OKADA M., FUJII Y., MIMOTO K., 1968.- Influences of storage temperatures on quality of frozen Alaska pollock surimi.- Reito, 43, 1145. Cité par LEE (1984).
- IWATA K., OKADA M., 1971.- Protein denaturation in stored frozen, Alaska pollack muscle -I- Protein extractability and kamaboko forming ability of frozen surimi.- Bull. jap. Soc. scien. Fish., 37, 1191. Cité par SIKORSKI et al. (1976).
- IWATA K., KANNA K., OKADA M., 1977.- Kamaboko formation of mackerel and red sea bream myosins.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 43 (2), 237.
- JIANG S.T., TSAO C.Y., HO M.L., 1985.- Effect of the temperature fluctuation on the meat quality of frozen mackerel (*Scomber topeinocephalus*).- Inst. Interna. du Froid, Aberdeen, 1-3 octobre, 45-50.
- JOHNSON E.A., PELEG M., SAWYER F.M., 1981.- Mechanical methods of measuring textural characteristics of fish flesh.- Dans "Progrès dans les traitements par le froid des poissons", Inst. Inter. du Froid (Paris), 93-103.
- KANEKO Y., ITO T., TAGAKI O., FUKUSHIMA K., 1970.- Effects of starch on the texture of kamaboko.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 36 (1), 88-95, jap.

- KIM B.Y., HAMANN D.D., LANIER T.C., WU M.C., 1986.- Effects of freeze-thaw abuse on the viscosity and gel-forming properties of surimi from two species.- J. Food Sci., 51 (4), 951-956.
- KING F., ANDERSON M., STEINBERG M., 1962.- Reaction of cod actomyosin with linoleic and linolenic acids.- J. Food Sci., 27, 363-366.
- KUDO G., OKADA M., MIYAUCHI D., 1973.- Gel forming capacity of washed and unwashed flesh of some Pacific coast species of fish.- Marine Fish. Review, 35 (12), 11-15.
- LABUZA T.P., BUSK G.C., 1979.- An analysis of the water binding in gels.- J. Food Sci., 44, 1380-1385.
- LAIRD W., MACKIE I., HATTULA T., 1980.- Studies of the changes in the proteins of cod-frame minces during frozen storage at -15°C.- Advances in Fish Science and Technology, Jubilee Conf. of the Torry Research Station, July 23-27, Aberdeen, 428-434.
- LANDAIS I., 1984.- L'aptitude de certaines espèces à la fabrication du kamaboko.- Rapport Interne ISTPM, Nantes, 50p.
- LANIER T.C., CHENG C.S., HAMANN D.D., THOMAS F.B., 1978.- Factors affecting proteolytic breakdown of texture in minced fish gels-A project status report.- Proceeding 3rd An. Trop. Subtrop. Fish Technol. Conf. Amer., 240-250.
- LANIER T.C., LIN T.S., HAMANN D.D., THOMAS F.B., 1980.- Gel formation in comminuted fish systems.- Third National Technical Seminar on Mechanical Recovery and Utilization of Fish Flesh, Dec. 1-3, Raleigh, 181-207.
- LANIER T.C., LIN T.S., HAMANN D.D., THOMAS F., 1981.- Effects of alkaline protease in minced fish on texture of heat-processed gels.- J. Food Sci., 46 (6), 1643-1645.
- LANIER T.C., LIN T.S., LIU Y.M., HAMANN D.D., 1982.- Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croaker.- J. Food Sci., 47 (6), 1921-1925.

- LANIER T., 1984.- Suitability of red hake, *Urophycis chuss* and silver hake, *Merluccius bilinearis*, for processing into surimi.- Marine Fish. Review, 46 (2), 43-48.
- LANIER T.C., 1986.- Functionnal properties of surimi.- Food Technol., mars, 107-114.
- LAROCHE M., 1977.- Influence des teneurs en eau, en chlorure de sodium et de calcium, sur le comportement mécanique de protéines de soja filées.- Ann. Technol. Agric., 26 (3), 305-315.
- LAROCHE M., 1981.- Libération et migration du jus pendant le chauffage de la viande.- Thèse docteur-ingénieur, ENSIA, Massy.
- LEE C.M., 1984.- Surimi process Technology.- Food Technol., 38 (11), 69-80.
- LEE C.M., 1985.- Countercurrent and continuous washing systems.-Proceedings of the International Symposium on Engineered Seafood Including Surimi, nov. 19-21, Seattle (E.U.), ed. MARTIN R., 292-297.
- LEE C.M., 1986.- Surimi manufacturing and fabrication of surimi-based products.- Food Techn., mars, 115-124.
- LEE C., ABDOLLAHI A., 1981.- Effect of hardness of plastic fat on structure and material properties of fish protein gels.- J. Food Sci., 46 (6), 1755-1759.
- LEE C.M., KIM J.M., 1985.- Texture and freeze-thaw stability of surimi gels in relation to ingredients and formulation. - Proceedings of the International Symposium on Engineered Seafood Including Surimi, nov. 19-21, Seattle, ed. MARTIN R., 168-187.
- LEE C.M., TOLEDO R.T., 1976.- Factors affecting textural characteristics of cooked comminuting fishmuscle.- J. Food Sci., 41, 391-397.
- LETACONNOUX R., 1951.- Contribution à l'étude des espèces du genre *Trachurus* et spécialement *T. trachurus*.- Mem. off. Sci. Tech. Pêches marit., n°15.
- LINNE, 1758.- voir BLOCH (1801).

- LIU Y.M., LIN T.S., LANIER T.C., 1982.- Thermal denaturation and aggregation of actomyosin from Atlantic croaker.- J. Food Science, 47, 1916-1920.
- LOCKWOOD S.J., JOHNSON P.O., 1977.- Horse mackerel, *Trachurus trachurus*.- Lab. Leaflet, n°38, MAFF, Lowestoft, 18p.
- LOVE R.M., 1980.- Biological factors affecting processing and utilization.- "Advances in Fish Science and Technology", ed. Fishing News Books, Farnham, England, 130-138.
- LUDORFF W., MEYER V., 1973.- Fiche und Ficherzengnisse.- Ed. PARAY P., Berlin. Cité par SAINCLIVIER (1983).
- MACFARLANE J.J., SCHMIDT G.R., TURNER R.H., 1977.- Binding of meat pieces : a comparason of myosin, actomyosin and sarcoplasmic proteins as binding agents.- J. Food Sci., 42 (6), 1603-1605.
- MAXWELL M.H., 1978.- Two simples and rapid methods used for the removal of resins from 1,0 μ m thick epoxy sections.- J. Microsc., 112, 253-255.
- MIKAYE M., 1965.- Studies on fish meat jellies (fish sausage) - VI-Electron microscopic observations on muscle destruction during the processing of fish sausage.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 31 (6), 464-470.
- MIYAUCHI D., KUDO G., PATASHNIK M., 1973.- Surimi : a semi processed wet fish protein.- Marine Fish. Review, 35 (12), 7-9.
- MONTEJANO J.G., HAMANN D.D., BALL H., LANIER T.C., 1984a.- Thermally induced gelation of native and modified egg white. Rheological changes during processing ; final strengths and microstructures.- J. Food Science, 49, 1249-1257.
- MONTEJANO J.G., HAMANN D.D., LANIER T.C., 1983.- Final strengths and rheological changes during processing of thermally induced fish muscle gels.- J. Rheol., 27 (6), 557-579.

- MONTEJANO J.G., HAMANN D.D., LANIER T.C., 1984b.- Thermally induced gelation of selected comminuted muscle systems - Rheological changes during processing final strengths and microstructure.- J. Food Science, 49, 1496 -1505.
- NECIBI M.M., 1982.- Essais d'utilisation des cryoprotecteurs : application au hachis de poisson.- Mémoire de fin d'études, ISTPM, Institut National Agronomique de Tunis, 110 p.
- NICOLLE J.P., KNOCKAERT C., 1982.- Notes techniques - Fumage du thon - Utilisation du chinchard et du mullet.- Sci. et Pêche, Bull. Inf. Doc. de l'ISTPM, n°326.
- NISHIMOTO J.I., KOREEDA N., 1979.- Protein denaturation and the change of gel forming capacity in the rinsed fish muscle during frozen storage.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 45 (8), 989-993, jap..
- NISHIYA K., 1963.- Process of frozen Alaska polack surimi.- Special Report on Symposium on cold storage of fish meat, 211 -222, en jap.. Cité par KUDO et al. (1973).
- NIWA E., 1975.- Role of hydrophobic bonding in gelation of fish flesh paste.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 41 (8), 907-910, jap.
- NIWA E., 1985.- Fonctionnal aspect of surimi.- Proceedings of the International Symposium on Engineered Seafood Including Surimi, nov. 19-21, Seattle, ed. MARTIN R., 141-147.
- NIWA E., KOSHIBA K., MATSUZAKI M., NAKAYAMA T., HAMADA I., 1980.-Species-specificities of myosin heavy chain in setting and returning.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 46 (12), 1497-1500.
- NIWA E., MATSUBARA Y., HAMADA I., 1982.- Hydrogen and polar bondings in fish flesh gel and setting gel.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 48 (5), 255-261.
- NIWA E., NAKAJIMA G., 1975.- Differences protein structure between elastic kamaboko and brittle one.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 41 (5), 579.

- NIWA E., NAKAYAMA T., HAMADA I., 1983.- Effect of setting on the network structure of protein in fish flesh gel.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 49 (2), 245-249, jap..
- NIWA E., SATO K., SUZUKI R., NAKAYAMA T., HAMADA I., 1981.- Fluorimetry of the setting of fish flesh sol-supplement.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 47 (10), 1389.
- NOGUCHI S., OOSAWA K., MATSUMOTO J., 1976.- Studies on the control of denaturation of fish muscle proteins during frozen storage. 6-Preventive effect of carbohydrates.- Bull. jap. Soc. scien. Fish., 42 (1), 77-82.
- OGUNI M., KUBO T., MATSUMOTO J.J., 1975.- Studies on the denaturation of fish muscle proteins -I- Physico-chemical and electron microscopical studies of freeze denatured carp actomyosin.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 4 (11), 1113-1123.
- OKADA M., 1963.- Elastic property of kamaboko (fish meat jelly).- Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 36, 122-126.
- OKADA M., 1964.- Effect of washing on the jelly forming ability of fish meat.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 30 (3), 255-261.
- OKADA M., 1985.- Ingredients on gel texture.- Proceedings of the International Symposium on Engineered Seafood Including Surimi, nov. 19-21, Seattle (E.U.), ed. by MARTIN R., 515-530.
- OKADA M., MIJITA M., 1956.- Photomicrographic examination of fish meat jelly.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 22 (4), 265-268, jap.
- POULTER R., LAWRIE R., 1979.- Studies on fish muscle proteins - Nutritional consequences of adding low concentration of formaldehyde and/or linoleic acid to cod muscle. - Lebensmit. Wiss. und Techn., 12, 47-51.
- QUINN J.R., RAYMOND D.P., HARWALKAR V.R., 1980.- Differential scanning calorimetry of meat proteins as affected by processing treatment.- J. Food Sci., 45, 1146-1149.

- RAO S.B., 1983.- Denaturation of *Labeo rohita* (rohu) actomyosin on frozen storage-Preventive effect of carbohydrates.- *Fish Techn.*, 20 (1), 29-33.
- SAINCLIVIER M., 1983.- L'industrie alimentaire halieutique - premier volume - Le poisson matière.- *Bull. Sci. et Tech. de l'ENSA et du Centre de Recherches de Rennes.*
- SAMEJIMA K., HASHIMOTO Y., YASUI T., FUKAZAWA T., 1969.- Heat gelling properties of myosin, actin, actomyosin and myosin-subunits in a saline model system.- *J. Food Sci.*, 34, 242-245.
- SAMEJIMA K., ISHIOROSHI M., YASUI T., 1981.- Relative roles of the head and tail portion of the molecule in the heat-induced gelation of myosin.- *J. Food Sci.*, 46, 1412-1418.
- SATO S., TSUCHIYA T., MATSUMOTO J., 1984a.- Electron microscopic study of fine structures of kamaboko fish jellies.- *Bull. jap. Soc. sci. Fish.*, 50 (11), 1869 - 1876 (Jap.).
- SATO S., TSUCHIYA T., MATSUMOTO J., 1984b.- Electron microscopic study of dispersion profiles of proteins in frozen surimi (fish mince).- *Bull. jap. Soc. sci. Fish.*, 50 (12), 2117 -2126.
- SHIMIZU Y., 1985.- Biochemical and functional properties of material fish.- *Proceedings of the International Symposium on Engineered Seafood Including Surimi, Seattle, ed. by MARTIN R., nov. 19-21, 148-167.*
- SHIMIZU Y., FUJITA T., 1985.- Stability of unwashed and washed fish mince during frozen storage.- *Bull. jap. Soc. sci. Fish.*, 51 (7), 1187-1194.
- SHIMIZU Y., MACHIDA R., TAKENAMI S., 1981.- Species variations in the gel-forming characteristics of fish meat paste. - *Bull. jap. Soc. sci. Fish.*, 47 (1), 95-104, jap..
- SHIMIZU Y., NISHIOKA F., 1974.- Interactions between horse mackerel actomyosin and sarcoplasmic proteins during heat coagulation.- *Bull. jap. Soc. sci. Fish.*, 40 (2), 231-234, jap..

- SNOW J., 1950.- Proteins in fish muscle -III- Denaturation of myosin by freezing.- J. Fish. Res. Board. Can., 7, 599.
Cité par SIKORSKI et al. (1976).
- SOUDAN F., ANQUEZ M., BENEZIT A., 1965.- La conservation par le froid des poissons, crustacés et mollusques.- Encyclopédie du Froid, BAILLIERE et Fils, Paris, 514p.
- SUZUKI T., 1981.- Fish and krill protein.- Processing Technology Applied Science Publishers, 1-147.
- SVENSSON S., 1984.- Sorbitol and sucrose as stabilizing agents in frozen fish mince.- 16 th Annual Meeting of Western European Fish Technologists' Association, Madrid.
- SZCZESNIAK A.S., BRANDT M.A., FRIEDMAN H.H., 1963. - Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and the sensory methods of texture evaluation.- J. Food Sci., 28 (4), 397-403.
- TAGAKI I., 1973.- On rheological properties and structure of kamaboko -VII- Influence of suwari upon viscoelastic properties and structures of fish muscle paste and kamaboko.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 39 (3), 299-305.
- TAGUCHI T., TANAKA M., SUZUKI K., 1983.- "Himodori" (thermally induced disintegration) of oval filefish myosin gel.- Bull. jap. Soc. sci. Fish., 49 (8), 1281-1283, jap..
- TANIKAWA E., 1971.- Japanese style fish meat pastes.- Dans "Marine Products in Japan", Koseish-koseikaku company, 340-372.
- TRAN V., HAN-CHING L., 1981.- Essais préliminaires d'utilisation des cryoprotecteurs dans les pulpes de poisson.- Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 45 (3), 215-237.
- TRAN V., MORAT J.L., BERTRAND D., 1987.- Une méthode sérielle de recherche des conditions optimales d'un processus technologique : l'ANTICOMPLEX.- En prép..

- TROUVERY M., 1978.- Contribution à l'étude de la biologie du chinchard et plus particulièrement *Trachurus trachurus* (LINNE, 1758) dans le Golfe de Gascogne et sur le plateau celtique. Thèse de 3ème cycle en océanographie, université Paris VI.
- UEDA T., SHIMIZU Y., SHIMIDU W., 1968.- Species difference in fish muscle -I- The gel forming ability of heated ground muscles.-Bull.jap. Soc. sci. Fish., 34 (4), 357-361.
- VERREZ V., HAN-CHING L., 1985.- Identification of synergism for different protein cryoprotectors and influence of some denaturing agents.- 15ème réunion ATOEPP/WEFTA, 17-19 sept. Hambourg, 11 p.
- VERREZ V., LAROCHE M., HAN-CHING L., 1986.- Evaluation of texture parameters for horse mackerel kamaboko (*Trachurus trachurus*).- 16ème réunion ATOEPP/WEFTA, 10-12 juin, Helsinki.
- VERREZ V., CHOPIN C., HAN-CHING L., 1987.- Propriétés gélifiantes des protéines myofibrillaires du poisson (surimi), l'exemple du tacaud (*Trisopterus luscus*).- Cahiers de l'ENSBANA, à publier.
- WEBER K., OSBORN M., 1969.- The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis.- The J. Biol. Chem., 244 (16), 4406-4412.
- WEINBERG Z.G., 1983.- A comparison of the binding properties of fish flesh.- J. Food Technol., 18, 441-451.
- WEINBERG Z.G., ANGEL S., 1984.- Research note : stress relaxation and tensile strength testing of a processed fish product. J. Texture Studies, 15, 59-69.
- WOYEWODA A.D., BLIGH E.G., 1986.- Effect of phosphate blends on stability of cod fillets in frozen storage.- J. Food Sci., 51 (4), 932-935.
- WU M.C., AKAHANE T., LANIER T.C., HAMANN D.D., 1985a.- Thermal transitions of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croaker as studied by differential scanning calorimetry.- J. Food Sci., 50 (1), 10-13.

- WU M.C., HAMANN D.D., LANIER T.C., 1985b.- Rheological and calorimetric investigations of starch-fish protein systems during thermal processing.- J. Texture Studies, 16, 53-74.
- WU M.C., LANIER T.C., HAMANN D.D., 1985c.- Thermal transitions of admixed starch/fish protein systems during heating.- J. Food Sci., 50 (1), 20-25.
- YASUI T., ISHIOROSHI M., NAKANO H., SAMEJIMA K., 1979. - Changes in shear modulus, ultrastructure and spin-spin relaxation times of water associated with heat-induced gelation of myosin.- J. Food Sci., 44, 1201-1204.
- ZIEGLER G.R., ACTON J.C., 1984.- Mechanisms of gel formation by proteins of muscle tissue.- Food Technol., mai (5), 77-82.

In confidence not to be quoted without prior
reference to the author.

16ème Réunion ATOEPP/WEFTA
10 - 12 Juin 1986
HELSINKI

EVALUATION OF TEXTURE PARAMETERS
FOR HORSE MACKEREL KAMABOKO
(*Trachurus trachurus*)

V. VERREZ, M. LAROCHE* and L. HAN-CHING

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation
de la Mer
Centre de Nantes - rue de l'Ile d'Yeu - BP 1049
44037 NANTES Cédex 01
FRANCE

* Institut National de la Recherche Agronomique
rue de la Géraudière
44072 NANTES Cédex
FRANCE

Kamaboko obtained after cooking of surimi (washed fish mince) is interesting for different points of view and particularly for its texture properties. Japanese define a "good kamaboko" by its "ashi", that means by its firmness and elasticity.

To undertake the optimization of technological conditions for kamaboko preparation, we have evaluated these texture characteristics by fitting the methods usually used by Japanese for these products. These methods are mainly the folding test, a sensory method, which measures elasticity and a objective method to determine jelly strength.

For our study we have evaluated :

- elasticity with the folding test of Nishiya (1963) after modification ;
- cohesion index and initial slope by a compression test ;
- fraction of water released by pressure.

This third measurement gives an evaluation on the water binding capacity in the final product.

Our proposal here is to discuss on the correlation and the importance of these types of measurements.

Materials and Methods.

The trials have been carried by drawing lots of twenty conditions from a factorial field of five technological parameters (VERREZ and al. 1987) : length of grinding before and after frozen storage of surimi, temperature of cooking, length of setting at 45°C and cooking.

The samples of horse mackerel kamaboko have been fabricated by the usual way, that is :

- flesh separation and flesh washing
- blending with 3 % NaCl and cryoprotective agents (4 % sorbitol, 4 % sucrose and 0,3 % polyphosphates)
- frozen storage of surimi at - 20°C
- blending after thawing with texture additives (4 % potato starch and 4 % egg white)
- setting at 45°C
- cooking in a bain-marie.

4 measurements have been done :

- The folding test (FT) which consists to fold a slice of kamaboko in twice and then in 4 to note if there is breaking or not. But we have modified this test because all our products are of first grade (texture point of view). So we have evaluated in the same time the rigidity of the slice, we have assigned a note from one (for a rigid product) to 3 (for a poor rigid product) ;

- The cohesion index (CI) used by LEE and TOLEDO (1976) as modulus of elasticity on fish mince was calculated as the ratio of the compressive stress to the corresponding strain from the force-deformation curve at failure.

$$CI = \frac{BF}{A}$$

D

with BF : breaking force (N)

and D : percentage of sample's deformation at the breaking on the basis of initial height

A : area of sample (mm²).

- The initial slope of compression (ISC) which corresponds to the rigidity of the product (GILL et al. 1979).

- The fraction of water released by pressure (FWP) of 5 g of kamaboko between two sheets of paper during 5 min. under a pressure of 80 g/cm² (according to GOUTEFONGEA modified method, 1960).

Résultats.

Correlation's studies between the measured parameters prove that 2 groups of results exist : ISC, FT and FWP on the one hand and BF, CI and D on the other hand.

Considering the folding test modifications needed to differentiate the samples which are all of AA grade (very good elasticity), finally the note (1 to 3) points out, in fact, the rigidity ; so the being correlation between ISC and FT is unstable. FWP is also in close correlation with ISC and FT, so with the rigidity ; the water binding capacity seems important for this texture's property.

Cohesion index (CI) is related with BF and D since these latest parameters are included in the CI calculation. CI is more connected with BF probably because D undergoing very little variations. BF and D are also correlated positively.

The principal component analysis with ISC, FWP, BF and D as principal variables and FT and CI as further variables gives a good representation, we find again the 2 distinct groups.

So these 4 parameters (FT, FWP, ISC and CI) give 2 types of information : rigidity and cohesion of kamaboko. These informations are usefull for a good understanding of the behavior of horse mackerel kamaboko during processing.

References.

GILL.T.A., KEITH R.A., SMITH LALL B., 1979.- Textural deterioration of red hake and haddock muscle in frozen storage as related to chemical parameters and changes in the myofibrillar proteins.- J. Food Science, 44, 661-667.

GOUTEFONGEA R. 1960.- Description d'un nouvel appareil pour mesurer le pouvoir de rétention d'eau de la viande.- 6è Meat Res. Meet. Institutes, UTRECHT.

LEE C.M., TOLEDO R.T., 1976.- Factors affecting textural characteristics of cooked comminuted fish muscle.- J. Food Science, 41, 391 397.

NISHIYA K., 1963.- Process of frozen Alaska pollack surimi.- In Special Report of Symposium on Cold Storage of Fish Meat, 211-222 (Jap.)

VERREZ V., HAN-CHING L., TRAN V., MORAT J.L., LAROCHE M., 1987.- Texture du kamaboko de chinchard (*Trachurus trachurus*) 1. Recherche des conditions optimales de préparation.- (No yet published)

	Initial Slope of Compression (ISC)	Folding Test (FT)	Fraction Water released by Pressure (FWP)	Breacking Force (BF)	% of Deformation (D)	Cohesion Index (CI)
ISC	1					
FT	- 0,745	1				
FWP	- 0,819	0,824	1			
BF	0,191	- 0,195	- 0,432	1		
D	0,011	- 0,206	- 0,276	0,634	1	
IC	- 0,098	- 0,041	- 0,443	0,995	0,587	1

Linear correlation's index between the texture parameters :

Significance points : 5 % = 0,444

1 % = 0,561

TABLE DES MATIERES

	n° page
AVANT-PROPOS	2
ABREVIATIONS ET SYMBOLES UTILISES	3
RESUME	5
SUMMARY	7
INTRODUCTION	8
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	10
I.- TECHNOLOGIE DU SURIMI	10
I.1.- Obtention de la chair hachée	10
I.2.- Lavage de la chair hachée	10
I.3.- "Raffinage" de la pulpe lavée	12
I.4.- Essorage final	12
I.5.- Addition des cryoprotecteurs	12
II.- COMPOSITION DU POISSON ET DU SURIMI	13
II.1.- Structure de la chair de poisson	13
II.1.1.- Peau, squelette et "viscères"	13
II.1.2.- Les muscles	13
II.1.3.- Le tissu conjonctif	14
II.2.- Composition du poisson	14
II.2.1.- L'eau	15
II.2.2.- Les protéines	15
II.2.3.- Les matières grasses	16
II.2.4.- Les glucides	17
II.2.5.- Les matières minérales	17
II.3.- Particularités biologiques du chinchard <i>Trachurus trachurus</i>	17
II.4.- Composition du surimi	18
III.- ENTREPOSAGE DU SURIMI A L'ETAT CONGELE IMPORTANCE DE L'ADDITION DES CRYOPROTECTEURS	18

III.1.- Mécanismes de dénaturation des protéines	18
III.2.- Influence de l'addition de cryoprotecteurs	19
 IV.- MECANISME DE LA GELIFICATION	 21
IV.1.- Mécanisme général de la gélification	21
IV.2.- Influence de la maturation	22
IV.3.- Influence des protéines sarcoplasmiques	22
IV.4.- Influence de la myosine	23
IV.5.- Influence de l'actine	23
IV.6.- Influence du pH	23
IV.7.- Effet du chlorure de sodium	23
IV.8.- Liaisons formées durant le traitement thermique	24
IV.9.- Effet du modori	24
 V.- INFLUENCE DES ESPECES ET DES CARACTERES BIOLOGIQUES SUR LA QUALITE DU SURIMI	 25
V.1.- Influence des espèces	25
V.2.- Influence des individus	26
V.3.- Influence de la saison, du lieu de pêche, de la réfrigération...	26
 VI.- INFLUENCE DE L'ADDITION D'AGENTS DE TEXTURE SUR LES CARACTERISTIQUES DU GEL	 27
VI.1.- Effet des protéines végétales et du blanc d'oeuf	27
VI.2.- Effet de l'amidon	28
VI.3.- Effet des graisses	29
 VII.- HISTORIQUE DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL DU SURIMI	 30

MATERIELS ET METHODES

I.- FABRICATION DU SURIMI	33
I.1.- Fabrication manuelle	33
I.2.- Fabrication sur prototype	33
I.3.- Addition des cryoprotecteurs	34

I.4.- Congélation du surimi et entreposage à l'état congelé	35
II.- FABRICATION DU GEL DE SURIMI	35
III.- METHODE D'OPTIMISATION : l'ANTICOMPLEX	35
III.1.- Description générale et intérêts de la méthode	35
III.2.- Déroulement des opérations	36
IV.- APPRECIATION DE LA TEXTURE	37
IV.1.- Test de pliage	37
IV.2.- Mesures mécaniques	38
IV.3.- Appréciation de la liaison de l'eau	39
V.- APPRECIATION DE LA MICROSTRUCTURE	40
V.1.- Microscopie photonique sur matériel congelé	40
V.2.- Microscopie photonique sur matériel frais	41
V.3.- Microscopie électronique à balayage	42
V.4.- Microscopie électronique à transmission	42
VI.- TECHNIQUES ANNEXES	43
VI.1.- Détermination de l'état de fraîcheur	43
VI.2.- Mesure du pH	43
VI.3.- Teneur en lipides	43
VI.4.- Teneurs en matières sèches	44
VI.5.- Pertes dues au traitement thermique	44
VI.6.- Electrophorèse des protéines myofibrillaires	45

RESULTATS ET DISCUSSION

I.- RECHERCHE DES CONDITIONS OPTIMALES DE PREPARATION	
I.1.- Choix des paramètres technologiques	47
I.2.- Fonction d'évaluation pour l'ANTICOMPLEX	47
I.3.- Détermination des conditions optimales	49
I.4.- Influence des paramètres technologiques	51
I.4.1.- Variations des résultats obtenus	51

I.4.2.- Espace des paramètres technologiques	52
I.4.2.1.- Broyage avant congélation	53
I.4.2.2.- Durée de stockage à - 22°C	53
I.4.2.3.- Broyage après congélation	54
I.4.2.4.- Durée de maturation	54
I.4.2.5.- Température de chauffage	55
I.4.2.6.- Durée de chauffage	55
I.4.3.- Espace des variables de texture	55
I.4.4.- Conclusions	56
I.5.- Quelques points technologiques vus à travers la microscopie	57
I.5.1.- Fibres musculaires du chinchard avant transformation	57
I.5.2.- Observations générales du surimi et du kamaboko	58
I.5.3.- Importance de l'étape de raffinage	59
I.5.4.- Effet du chlorure de sodium	59
I.5.5.- Influence du broyage à l'air ou sous vide	60
II.- INFLUENCE DE DIFFERENTES COMBINAISONS DE CRYOPROTECTEURS DANS LE SURIMI DURANT L'ENTREPOSAGE CONGELE	60
II.1.- Influence de l'entreposage congelé	62
II.1.1.- Microstructure à l'état congelé des 7 combinaisons	62
II.1.2.- Influence de la durée d'entreposage	63
II.1.3.- Différences entre les combinaisons de cryoprotecteurs	64
II.2.- Influence de l'addition d'agents de texture	66
II.2.1.- Sur les qualités de texture et d'hydratation	66
II.2.2.- Sur la microstructure du gel relation avec la texture	67
CONCLUSION GENERALE	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	71
ANNEXE : exposé 16ème réunion ATOEPP/WEFTA	85