

Contrat d'étude MRT : AFREM, ENITIAA, IFREMER

Etude et expérimentation d'un pasteurisateur industriel pour la
préparation de plats cuisinés en cycle court

CONVENTION: AFREM - IFREMER

15.09.90 - 15.09.91

Rapport final

Connaissance de la matière première et étude des barèmes de traitement thermique de cuisson sous- vide du poisson en cycle court

Laboratoire Génie Alimentaire
Ifremer

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA CUISSON SOUS-VIDE DU POISSON

Les industries alimentaires transforment des matières premières de qualité très variable. Leurs produits sont en majorité destinés à une consommation "grand public", ce qui implique des délais de conservation longs, en général supérieurs à 6 jours, et pouvant aller jusqu'à 42 jours sur dérogation ministérielle.

Actuellement cet aspect est primordial pour les transformateurs de poissons. En effet ceux-ci disposent généralement d'une matière première de qualité très inégale, pour des raisons tenant à la fois de la diversité biologique présentée par les poissons, et de la qualité du traitement du poisson après la capture.

Les industriels doivent donc pasteuriser leurs produits, pour en garantir la salubrité (absence de pathogénicité), et assurer à leur production un maintien satisfaisant de la qualité durant le délai de conservation choisi (absence d'altération).

Il est possible d'envisager l'optimisation des traitements thermiques industriels. Mais nos essais tendent à montrer une instabilité des filets de poissons cuits sous vide à basse température (+ 65°C), au cours du stockage au froid. Cela signifie que la baisse des températures de cuisson n'est pas encore possible. Celle-ci passe par une maîtrise de la qualité de la matière première, et par l'étude approfondie des facteurs d'instabilité des produits stockés au froid, à savoir :

- La thermorésistance des micro-organismes dans le produit, qui est pour le moment très mal connue;
- Les processus d'altération du produit, tant sur le plan microbien que sur le plan enzymatique;
- Le comportement des constituants du produits vis-à-vis du traitement thermique choisi.

Dans ce vaste champ d'exploration, la cuisson sous-vide n'est qu'un "outil" parmi d'autres. Ce procédé a contribué à prouver que la notion d'optimisation des cuissons était concevable, mais elle n'en constitue pas la solution.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE

LE POISSON MATIERE PREMIERE DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE :
DES HETEROGENEITES A MAITRISER

INTRODUCTION	1
I - <u>L'HETEROGENEITE BIOLOGIQUE</u>	2
I.1 - <u>Composition chimique de la chair de poisson</u>	2
I.1.1 - Les lipides	2
I.1.2 - Les glucides	3
I.1.3 - Les protéines	3
I.1.3.1 - Les protéines du tissu conjonctif	3
I.1.3.2 - Les protéines sarcoplasmiques	3
I.1.3.3 - Les protéines fibrillaires	4
I.1.4 - L'eau	5
I.1.4.1 - L'eau liée	5
I.1.4.2 - L'eau multimoléculaire	5
I.1.4.3 - L'eau d'interposition	6
I.1.4.4 - L'eau libre	6
I.2 - <u>Anatomie et structure de la chair de poisson</u>	7
I.2.1 - Les muscles	7
I.2.2 - Le tissu conjonctif	8
I.3 - <u>La flore microbienne naturelle du poisson</u>	8
II - <u>EVOLUTION BIOCHIMIQUE NATURELLE DU MUSCLE APRES LA CAPTURE</u>	9
III - <u>HETEROGENEITE TECHNOLOGIQUE</u>	10
III 1 - <u>Influence de la technique de pêche</u>	10

III.2 - <u>Importance du travail du poisson</u> <u>à bord des bateaux</u>	10
III.2.1 - L'éviscération	10
III.2.2 - Le lavage	11
III.2.3 - La conservation au froid	11
III.3 - <u>Importance du travail à terre</u>	12
CONCLUSION	13

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DE LA CUISSON SOUS-VIDE DU POISSON : UNE OPTIMISATION DES TRAITEMENTS EST-ELLE POSSIBLE ?

I - <u>LE CONTEXTE DE LA CUISSON SOUS-VIDE</u>	15
II - <u>LA TECHNIQUE DU SOUS-VIDE</u>	16
II.1 - <u>Le conditionnement sous-vide</u>	16
II.1.1 - Action inhibitrice	16
II.1.2 - Action sélective	16
II.2 - <u>La cuisson sous-vide</u>	17
II.2.1 - Contraintes et difficultés de la technique	17
II.2.2 - Moyens d'optimisation des traitements thermiques	18
II.2.2.1 - Amélioration des conditions de prétraitement du poisson	19
II.2.2.2 - Etude précise et approfondie thermorésistance des micro- organismes dans les milieux alimentaires.	19
III - <u>ETUDE EXPERIMENTALE</u>	20
III.1- <u>Matériel et méthode</u>	20
III.1.1 - La matière première	20
III.1.2 - Le traitement thermique	21
III.1.2.1 - Préparation des échantillons	21
III.1.2.2 - Matériel de cuisson-refroidissement	21
III.1.2.3 - Cuisson des échantillons	22
III.1.3 - Le suivi des températures	22

III.2- <u>Résultats</u>	23
III.2.1 - Le suivi des températures	23
III.2.1.1 - Les cuissons à + 65°C	23
III.2.1.2 - Les cuissons à + 85°C	23
III.2.2 - Les analyses bactériologiques	24
III.2.2.1 - Le traitement à + 65°C	24
III.2.2.2 - Le traitement à + 85°C	24
III.2.3 - Les mesures physico-chimiques	25
III.2.3.1 - L'eau et la matière sèche	25
III.2.3.1.1 - Introduction	25
III.2.3.1.2 - Méthode de calcul	25
III.2.3.1.3 - Résultats	25
III.2.3.2 - Le pH	26
 CONCLUSION	 28

TROISIEME PARTIE

LES MOYENS D'EVALUATION DE LA TEXTURE : ADAPTATION AU POISSON

INTRODUCTION	30
I - <u>LES MOYENS DISPONIBLES</u>	31
I.1 - <u>L'analyse organoleptique</u>	31
I.1.1 - Les différentes approches	31
I.1.1.1 - L'approche affective	31
I.1.1.2 - L'approche analytique	31
I.1.2 - Choix de la méthode	31
I.1.3 - Mise au point de la méthode	31
I.1.3.1 - Choix du groupe	31
I.1.3.2 - Choix du vocabulaire	32
I.1.3.3 - Choix du test	33
I.1.3.4 - Conditions des mesures	33
I.1.3.4.1 - L'environnement	33
I.1.3.4.2 - La présentation des échantillons	34
I.2 - <u>L'évaluation instrumentale de la texture</u>	34
I.2.1 - Généralités - Bases théoriques	34
I.2.1.1 - Définition de la rhéologie	34
I.2.1.2 - Comportement rhéologique des produits alimentaires	35
I.2.1.2.1 - les comportements fondamentaux	35
I.2.1.2.2 - les corps visco-élastiques	37
I.2.1.2.3 - les comportements non monotones	37
I.2.1.3 - Les modèles mathématiques	37
I.2.2 - Les mesures rhéologiques	38
I.2.2.1 - Choix de la méthode	38
I.2.2.2 - Choix de l'appareil de mesure	39
I.2.2.2.1 - Introduction	39
I.2.2.2.2 - L'appareil INRA	39
I.2.2.3 - Choix de la présentation du produit	40
II - <u>ETUDE EXPERIMENTALE</u>	40
II.1 - <u>Les analyses sensorielles</u>	40
II.1.1 - L'analyse préliminaire	40
II.1.2 - Les analyses	40
II.1.2.1 - Préparation	40
II.1.2.2 - Traitement des informations	41
II.1.2.2.1 - Les variables	41
II.1.2.2.2 - Les échantillons	42

II.2 - <u>Les mesures instrumentales</u>	42
II.2.1 - Enregistrement et prétraitement des mesures	43
II.2.2 - Résultats	43
CONCLUSION	44
CONCLUSION GENERALE	46

INTRODUCTION GENERALE

Les plats cuisinés sous-vide connaissent un fort développement depuis une dizaine d'années. Les plats à base de viande occupent une place prépondérante (64 % du marché en 1988). Mais la consommation des plats à base de poisson (30 % en 1988) est en très forte progression (+ 25 % en 1987).

Ceci influe sur la production qui est passée, pour les plats cuisinés sous-vide à base de poisson de 35 % avant 1985 (60 % pour les viandes) à 48 % en 1987 (44 % pour les viandes).

Dans le domaine de la cuisson sous-vide il existe deux écoles :

- l'une, essentiellement représentée par les restaurateurs, souhaite préserver les qualités gustatives des produits. Elle préconise des cuissons à basse température (65-68°C). Les produits fabriqués sont consommés dans un délai de 6 jours.
- l'autre, représentée par les industriels, se réfère à des produits, destinés à la grande distribution, qui nécessitent des délais de conservation plus longs (jusqu'à 21 jours). Et elle remarque qu'une conservation prolongée des produits est incompatible avec des traitements à basse température.

Il n'est pas question ici d'opposer ces deux points de vue. Nous pensons au contraire qu'ils illustrent parfaitement la réalité de l'industrie alimentaire : un traitement technologique peut être mené selon des méthodes différentes, suivant les objectifs de l'opérateur.

Nous nous sommes attachés, durant ce stage au Centre IFREMER de NANTES, à trouver, dans le domaine du poisson, des voies de rapprochement. Pour cela nous avons établi les raisons pour lesquelles les industriels devaient préférer des traitements à haute température, et nous avons analysé les précautions qu'ils devaient prendre pour espérer optimiser ces traitements. Enfin nous nous sommes intéressés aux moyens de contrôle dont ils disposent.

Ce mémoire reprend cette démarche.

Dans une première partie nous verrons les causes de variabilité de la qualité du poisson, et quels en sont les facteurs importants.

Ensuite nous nous placerons en industriel transformateur de cette matière première, et nous verrons les possibilités d'optimisation des traitements thermiques.

Enfin, dans une troisième partie, nous étudierons et nous testerons des méthodes de contrôle des produits finis.

PREMIERE PARTIE

**LE POISSON MATIERE PREMIERE
DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE :
DES HETEROGENEITES A MAITRISER**

INTRODUCTION

Le poisson, comme toute denrée alimentaire, présente une qualité variable. Les raisons en sont multiples, mais il est possible de les classer en deux ensembles :

- L'influence du milieu naturel de vie :

Cela regroupe notamment les effets :

- * du milieu : température, salinité, qualité micro-biologique...
- * du mode de vie : sédentarité ou non, alimentation...
- * du stade de la vie : âge, saison...

Les conséquences de cette influence naturelle constituent ce que nous appellerons l'hétérogénéité biologique.

- L'influence de l'intervention de l'homme

Nous entendons par là la pêche (extraction du milieu naturel), et la préparation du poisson mort en vue de sa vente.

Cette influence est à l'origine d'une hétérogénéité que nous qualifierons de technologique.

Cette première partie a pour but d'appréhender l'importance relative de ces deux catégories, et d'en quantifier l'effet résultant sur la qualité du poisson arrivant chez un industriel.

I - L'HETEROGENEITE BIOLOGIQUE

I.1 - COMPOSITION CHIMIQUE DE LA CHAIR DE POISSON

La composition chimique moyenne de la chair de poisson est présentée dans le tableau n°1.

Nous devons remarquer tout d'abord la grande variabilité des valeurs ; elles dépendent :

- des espèces,
- des individus,
- de l'endroit où est fait l'analyse,

et seraient liées au mode de vie, au cycle sexuel, à la saison... (SAINCLIVIER, 1983 ; DUNAJSKI, 1979 ; JACQUOT, 1961).

Mais ces chiffres appellent quelques précisions car à l'état brut ils ne signifient pas grand chose.

I.1.1. - Les lipides

On distingue classiquement les poissons gras des poissons maigres, en fonction de la teneur en lipides de la chair.

Le tableau n°2 reprend la composition de la partie comestible, nous comprenons le muscle, de différents types de poissons (JACQUOT, 1961).

On peut voir que les teneurs en eau et en lipides varient en sens inverse. La somme des deux avoisinerait $78 \% \pm 2$ (PICLET, 1987).

C'est pour ces composants que les facteurs extérieurs sont les plus importants : à l'intérieur de chaque groupe les valeurs varient beaucoup avec le cycle sexuel, la température de l'eau, la salinité, le lieu de pêche...

On distingue :

- les lipides "circulants" : ce sont essentiellement des phospholipides, des acides gras libres, des stérols et leurs esters... Leur teneur globale n'excède pratiquement jamais 1 %. Au-delà de ce taux on trouve des lipides de réserve.
- les lipides de réserve : ce sont surtout des triglycérides. Chez les poissons gras les formes lipidiques de réserve se retrouvent dans le muscle, tandis que pour les poissons maigres l'organe de stockage est le foie (ANONYME).

Actuellement, les poissons d'élevage peuvent présenter jusqu'à 20 % des lipides (VALLET, communication personnelle). Pour ces poissons le facteur prépondérant de variation de cette teneur semble être le régime alimentaire, associé à l'âge du poisson.

	JACQUOT (1961)	STANSBY (1962)	DUNAJSKI (1979)
eau	66-84 %	28-90 %	53-81 %
protéines	15-24 %	6-28 %	13-24 %
lipides	0,1-22 %	0,2-64 %	0,1-31 %
sucres	0,3 % glycogène		
cendres	0,8-2 %	0,4-15 %	

Tableau n°1 : Composition chimique moyenne de la chair de poisson

	EAU	PROTEINES	LIPIDES	CENDRES
Poisson gras	68,6 %	20 %	10 %	1,4 %
Poisson semi-gras	77,2 %	19 %	2,5 %	1,3 %
Poisson maigre	81,2 %	16,4 %	0,5 %	1,3 %

Tableau n°2 : Composition chimique comparative de muscles de poissons gras et maigres.
(d'après JACQUOT, 1961).

	Muscle de mammifère (1)	Muscle de poisson (2)
Protéines sarcoplasmiques	25-30 %	15-22 %
<u>Protéines intracellulaires</u>		
Protéines myofibrillaires	50 %	65-75 %
dont myosine	54 %	50-60 %
actine	27 %	15-25 %
<u>Protéines extracellulaires</u>		
Protéines conjonctives	10-15 %	3-10 %

Tableau n°3 : Répartition des différentes catégories de protéines dans le muscle
(1) CHEPTEL et CHEPTEL (1976-a)
(2) ANONYME

I.1.2 - Les glucides

Ces composants ont été découverts tardivement dans les muscles de poissons, car dans les conditions habituelles de la pêche, ils ont pratiquement disparu au moment où le poisson est embarqué.

Contrairement à une idée encore largement répandue, le muscle de poisson est au moins aussi riche en glycogène que celui des mammifères. La teneur en ce composé varie énormément et peut aller jusqu'à 2,5 % (ANONYME).

En outre le muscle de poisson au repos contient normalement quelques mg de glucose libre et des traces de ribose.

Le mécanisme de dégradation glucidique est identique à ce qu'il est chez les animaux à sang chaud : le poisson ne présente donc aucune originalité à cet égard (ANONYME).

I.1.3 - Les protéines

Selon leur situation dans l'organisme les protéines peuvent être classées en protéines extracellulaires et protéines intracellulaires. Elles sont divisées en 3 groupes fonctionnels différents et leur répartition est donnée dans le tableau n°3.

I.1.3.1- Les protéines du tissu conjonctif

Ce tissu enveloppe le muscle d'une membrane qui présente des prolongements et des épaisissements entre les myotomes (SIKORSKI et al, 1984). Il a un rôle de soutien et de maintien des masses musculaires.

Les protéines constitutives sont, par ordre d'importance décroissante, le collagène, l'élastine, la kératine. Le collagène est une protéine qui contient beaucoup de glycine, proline et hydroxyproline. Ce sont ces deux derniers acides aminés qui apportent rigidité et résistance au tissu conjonctif (CHEPTEL et CHEPTEL, 1976a).

Or le collagène du poisson contient moins de proline et d'hydroxyproline que celui des mammifères (DUNAJSKI, 1979 ; SIKORSKI, 1984) : le collagène du poisson est moins stable à la chaleur et plus facilement hydrolysé que celui des animaux à sang chaud.

I.1.3.2- Les protéines sarcoplasmiques

Ces protéines sont les seules hydrosolubles. Elles sont obtenues par pression de la chair ou par extraction en solution faiblement ionique (< 0,15) (SUZUKI, 1981 ; PICLET, 1987).

Leur teneur dans les poissons qui migrent est le double de celle des poissons sédentaires (démersaux). Elles sont plus diversifiées que chez les mammifères, et spécifiques de l'espèce parce que libérées de l'influence de certains facteurs, alimentaires par exemple (PICLET, 1987).

Ce sont essentiellement la myoglobine, que l'on rencontre dans les muscles rouges qui ont un rôle dans le métabolisme énergétique important (ANONYME), les albumines et les globulines (DYER, 1961 ; JACQUOT, 1961).

I.1.3.3- Les protéines myofibrillaires

Elles comprennent des protéines dites de structure, actine, myosine, actomyosine, et des protéines régulatrices, troponines, tropomyosine, actinines.

Les premières sont aussi les protéines contractiles du muscle, tandis que les secondes assurent la régulation enzymatique de la contraction.

Actine et myosine sont semblables à leurs homologues isolées des muscles des autres animaux supérieurs : leurs paramètres moléculaires et leurs compositions en acides aminés sont identiques, et leurs pH isoélectriques respectifs (myosine : 5,3 et actine : 4,7) sont également voisins (ANONYME).

Mais la myosine extraite du muscle de poisson est connue comme étant moins stable à la chaleur que celle des mammifères (CONNELL, 1961). Les variations entre espèces sont grandes : la myosine purifiée à partir de la chair de cabillaud est particulièrement instable et a tendance à former des agrégats (CONNELL, 1960). Cette propriété est peut être due à des différences dans les liaisons intramoléculaires, et expliquerait que la myosine de poisson se dénature plus facilement que celle des viandes après congélation (ANONYME).

La teneur moyenne en azote des protéines musculaires de poisson est 16,8 %, contre 16 % pour la viande. Cette valeur s'explique par une fréquence plus grande en acides diamminés (lysine surtout). En outre ces protéines sont plus riches en acides aminés soufrés (cystéine surtout) (ANONYME). Ceci se traduit par la présence accrue de radicaux -SH et -NH₂ qui, avec les radicaux -COOH, conditionnement l'équilibre aqueux du tissu.

Remarque :

Les protéines ne sont pas les seuls composants azotés présents dans le poisson. La chair contient également des éléments non protéiques qui représentent 9 à 18 % de l'azote total chez les poissons osseux, et plus de 30 % chez les poissons cartilagineux (ANONYME). Ce groupe comporte à la fois des peptides et des acides aminés libres, dont la répartition est caractéristique de

l'espèce (ce sont surtout des produits du catabolisme protéique, carnosine, ansérine par exemple), et un certain nombre de composés communs à toutes les espèces, mais en proportions variables (oxyde de triméthylamine, urée, créatine, ammoniacque, métabolites issus de la dégradation des acides nucléiques).

I.1.4 - L'eau contenue dans la chair

L'eau est le composant fondamental de la matière vivante. Par sa teneur, bien sûr, qui est de loin la plus élevée comparée aux autres constituants. Mais surtout, et c'est un aspect essentiel, par ses rôles. Ceux-ci sont multiples et liés aux propriétés physiques et physico-chimiques de la molécule d'eau (H₂O) (annexe n°1).

Pour tenter de comprendre la répartition de l'eau dans la matière vivante nous allons nous intéresser à une isotherme de sorption type (figure n°1).

I.1.4.1- L'eau liée :

La section A correspond à une eau fortement liée, en une couche monomoléculaire, aux groupements polaires de certains composés, et notamment les groupements -NH₃⁺ et -COO⁻ des protéines.

L'énergie de cette liaison va de 1 à 15 Kcal/mole. Ce sont des valeurs élevées qui expliquent que cette eau soit très difficile à extraire et ne soit disponible, ni comme milieu de réaction ni comme réactif (CHEPTEL et CHEPTEL, 1976a).

Cette catégorie d'eau ne représente que 4 à 10 g pour 100 g de protéines chez le poisson (SAINCLIVIER, 1983).

Au delà de la section A, on trouve de l'eau de moins en moins liée, dans la mesure où ces molécules ne sont pas en contact "direct" avec les groupements polaires très attractifs. On les divise en plusieurs groupes en fonction du type de liaisons dans lesquelles elles sont engagées.

I.1.4.2- L'eau multimoléculaire :

4 à 10 g pour 100 g de protéines chez le poisson (SAINCLIVIER, 1983). Ces molécules se fixent en couches successives sur la couche monomoléculaire, grâce à des liaisons hydrogènes (liaisons à forte énergie également). Elles participent également à des liaisons avec les groupements hydrophiles de molécules organiques solubles (certaines protéines, sels...) (CHEPTEL et CHEPTEL, 1976a).

L'activité de l'eau (a_w) est définie par l'abaissement de la pression partielle de vapeur d'eau au-dessus d'un aliment :

$$a_w = \frac{P_w}{P_w^\circ} \quad (\text{à une température donnée})$$

P_w = pression partielle de vapeur d'eau au-dessus d'une solution ou d'un aliment

P_w° = pression partielle de vapeur de l'eau pure

Cet abaissement s'explique par la présence des constituants chimiques qui mobilisent partiellement l'eau, et diminuent ainsi sa capacité à se vaporiser et sa réactivité.

a_w reflète donc la plus ou moins grande disponibilité de l'eau vis-à-vis des réactions chimiques et biochimiques.

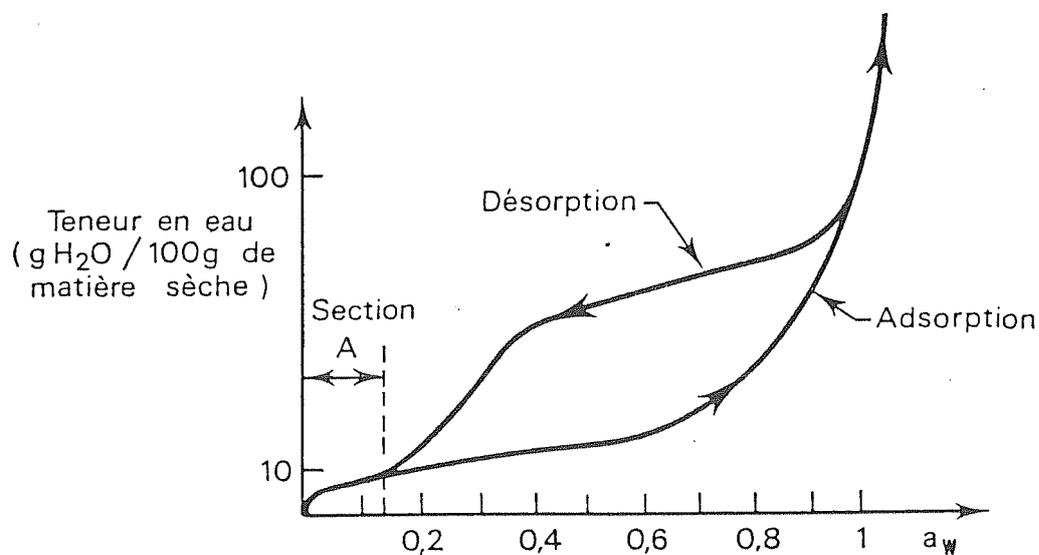


Figure n°1 : isotherme de sorption type
(d'après CHEPTEL et CHEPTEL, 1976-a)

I.1.4.3- L'eau d'interposition :

20 à 60 g pour 100 g de protéines chez le poisson (SAINCLIVIER, 1983). On la trouve dans les structures en feuillets où elle participe à la construction de films plus ou moins mobiles. Elle migre à des vitesses différentes selon l'orientation que les structures, dans lesquelles elle se trouve engagée, présentent par rapport à la cause de déshydratation.

On regroupe souvent ces trois premières catégories d'eau plus ou moins fortement liées sous le vocable "eau d'absorption". Celle-ci constitue une faible partie des 350 à 450 g d'eau pour 100 g de protéines que l'on trouve dans la chair de poisson (SAINCLIVIER, 1983). En ce qui concerne la viande, il ne semble pas que cette catégorie d'eau puisse être affectée par les traitements technologiques (HAMM, 1960).

I.1.4.4- L'eau libre

L'eau libre représente la majeure partie de l'eau des aliments frais. Elle constitue la base des liquides organiques et se trouve en grande partie sous forme de gels, localisée, dans les muscles, entre les fibres et entre les couches de tissu conjonctif.

HAMM (1960) définit le pouvoir de rétention d'eau (PRE) comme la faculté du muscle à conserver, dans des conditions bien définies, son eau propre ou de l'eau ajoutée. Il est essentiellement lié à la mobilité de l'eau et aux interactions eau-protéines et protéines-protéines qui déterminent des espaces dans lesquels les molécules d'eau peuvent migrer et se fixer (figure n°2).

Le facteur principal de variation du PRE est le pH : pour la viande, le PRE présente un minimum aux environs de pH = 5,0, correspondant au pH isoélectrique des protéines musculaires, et deux maxima, l'un acide, l'autre basique (figure n°3) (GOUTEFONGEA, 1969 ; HAMM, 1960).

Parmi les aminoacides polaires intervenant dans les liaisons avec l'eau on trouve les diacides (acides aspartique et glutamique), des diamines (lysine, arginine) et des acides aminés soufrés (cystéine notamment). La chair de poisson est riche en lysine, ce qui expliquerait son degré d'hydratation plus élevé et sa plus grande laxité comparée à la viande (PRICE, 1971).

On estime que les protéines sarcoplasmiques ne retiennent que 3 % (PRICE, 1971) à 5 % (HAMM, 1960) de l'eau. Ce sont surtout les protéines myofibrillaires qui participent à la rétention d'eau (PRICE, 1971 ; HAMM, 1960).

I.2 - ANATOMIE ET STRUCTURE DE LA CHAIR

I.2.1 - Les muscles

La partie du poisson couramment consommée est constituée par les muscles des filets. Leur proportion est variable puisqu'ils représentent 35-40 % du poids du poisson entier pour le lieu noir, le merlan, le cabillaud... et jusqu'à 65-70 % chez le hareng et l'anchois.

Ce sont principalement des muscles longs divisés en feuillettes, ou myotomes, de forme approximativement conique dont le sommet est dirigé vers la tête.

Nous pouvons les diviser en deux groupes :

- Les grand latéraux :

ce sont deux muscles en forme de fuseau disposés le long et de chaque côté de la colonne vertébrale.

- Les muscles des nageoires :

ils n'ont pas de rôle propulseurs mais sont très actifs dans leur rôle stabilisateur et directionnel.

Ce sont les muscles carénaux dorsaux et ventraux.

Sur une coupe longitudinale représentant la disposition des feuillettes dans les muscles, les myomères forment des dessins en W parallèles reliés aux septa médians longitudinaux, alors que sur une coupe transversale ils décrivent des courbes complexes (figure n°4).

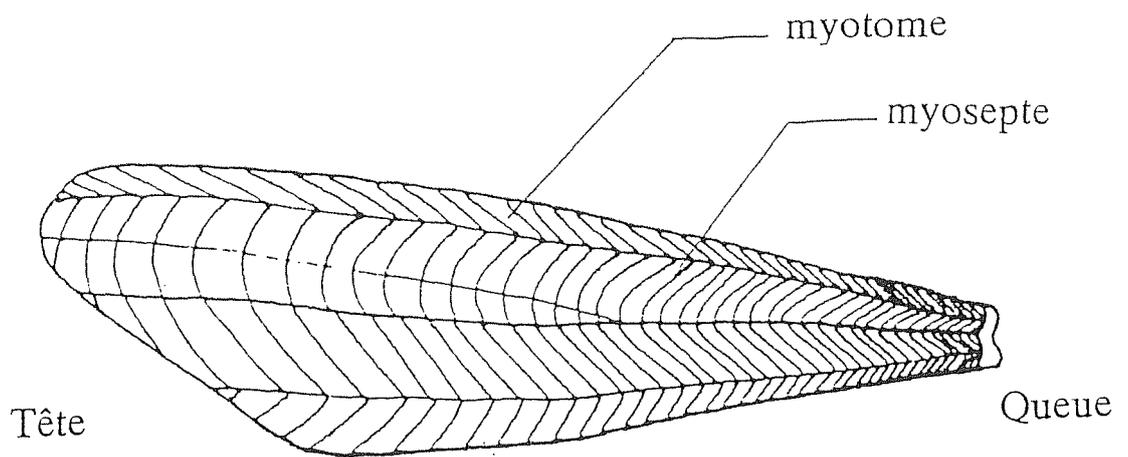
La forme des myotomes est une caractéristique de l'espèce, mais varie également avec la place du myotome dans le muscle (DUNAJSKI, 1979). La structure serait en relation avec la manière dont le poisson nage.

Chaque myotome est composé de fibres musculaires courtes (1 à 3 mm). Celles-ci s'étendent entre deux myoseptes (cloison conjonctive séparant deux myotomes), plus ou moins parallèlement au grand axe du muscle.

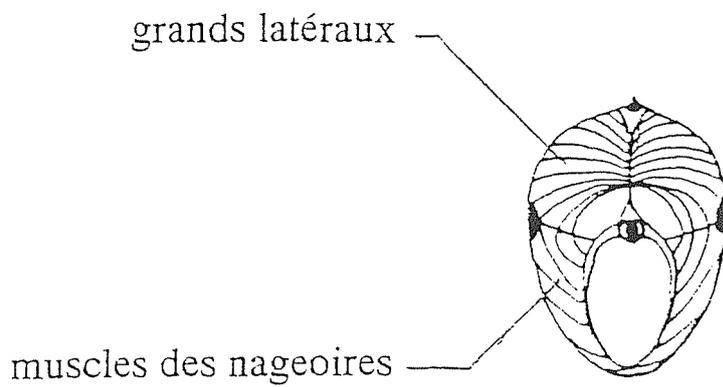
Le diamètre des fibres est lui aussi variable, lié à l'espèce, à l'âge, à la fonction du muscle et à la localisation dans le muscle (LOVE, 1958).

Les fibres musculaires présentent une structure identique à celles des muscles de mammifères.

Les muscles des espèces de haute mer (pélagiques) qui fournissent de gros efforts, sont très irrigués. La chair est alors teintée par la myoglobine ; ce sont des poissons à chair rouge. A l'inverse les poissons vivant sur les fonds à proximité des côtes ont une chair blanche.



(1) Coupe longitudinale



(2) Coupe transversale

Figure n°4 : structure métamérique des muscles de poisson
(d'après DUNAJSKI, 1979)

Remarque

Les muscles rouges, anatomiquement bien définis, ne doivent pas être confondus avec la "chair rouge" dont nous venons de parler. En général ils forment une lame musculaire depuis la partie thoracique jusque vers la queue. Leur métabolisme spécifique fait qu'ils sont rarement consommés.

I.2.2 - Le tissu conjonctif

La proportion de tissu conjonctif dans le poisson est moindre que chez les mammifères, mais il est plus uniformément réparti (DUNAJSKI, 1979) : il enveloppe le muscle d'une sorte de membrane très fine en relation avec les myoseptes qui divisent le muscle. La résistance de ces deux éléments (membrane et myoseptes) conditionne l'intégrité des filets (SIKORSKI, 1984). Cette résistance semble varier avec l'espèce considérée. Lorsqu'elle est brisée les myotomes peuvent glisser les uns par rapport aux autres (clivage).

I.3. LA FLORE MICROBIENNE NATURELLE DU POISSON

La contamination naturelle du poisson est étroitement liée à la qualité du milieu dans lequel il vit (GILLEPSIE, 1975 ; SHEWAN, 1977 ; LISTON, 1980).

Sur le poisson vivant ou fraîchement pêché, les micro-organismes se rencontrent essentiellement sur les surfaces externes (peau et épithélium des branchies, qui constituent des barrières naturelles à l'invasion microbienne), et dans les intestins ; la chair est normalement stérile. (SHEWAN, 1962).

La charge microbienne est variable :

10^2 à 10^7 germes/cm² de peau

10^3 à 10^9 germes/g de branchies ou intestins

Mais les charges réduites (10 à 100 germes/cm de peau) s'observent surtout sur les poissons des eaux froides et propres (LISTON, 1980 ; HUSS et ESKILDSEN, 1974), tandis que les fortes contaminations se retrouvent surtout sur des poissons capturés en eaux polluées et/ou chaudes tropicales (SHEWAN, 1977).

La flore est essentiellement constituée de bactéries GRAM⁻.

On trouve :

- En surface : en majorité des Pseudomonas, mais aussi des bactéries des genres Moraxella, Flavobactérieum, Vibrio, Acinétobacter.
- Dans les intestins : des Entérobactéries et les genres Vibrio, Lactobacillus, Pseudomonas et parfois Clostridium.

Dans les eaux chaudes, la prépondérance des GRAM⁺ (surtout Micrococcus) avancée par GILLESPIE (1975) est contestée par LIMA DOS SANTOS (1978).

Hormis les poissons pêchés en eaux polluées (la présence de germes tels que Vibrio parahaemolyticus, Clostridium botulinum, Salmonella et Shigella est directement liée à leur présence dans les eaux et les sédiments), les analyses confirment que la chair de poisson est saine, et que la flore naturelle n'est que très rarement pathogène.

II - EVOLUTION BIOCHIMIQUE NATURELLE DU MUSCLE APRES LA CAPTURE

Les mécanismes biochimiques rencontrés dans le muscle de poisson suivent en général le même schéma que dans le muscle des mammifères (figure n°5).

La mort du poisson provoque l'arrêt de la circulation sanguine. Les tissus, et en particulier les muscles, ne sont plus oxygénés. Le métabolisme s'en trouve perturbé : la dégradation du glycogène en glucose, puis CO₂ et H₂O, ne se fait plus par la voie des acides carboxyliques (cycle de Krebs) ; le pyruvate produit est dégradé en acide lactique (annexe n°2). Le tissu musculaire s'acidifie et la quantité d'énergie utilisable (ATP) diminue.

La baisse du pH est cependant limitée par le pouvoir tampon du muscle et le pH atteint bientôt une valeur limite (pH ultime) d'autant plus rapidement que la quantité de glycogène disponible est grande.

Cette acidification du milieu est importante car elle inhibe l'activité d'enzymes endogènes (protéases notamment) et la croissance bactérienne.

La perméabilité sélective de la membrane du réticulum sarcoplasmique vis-à-vis des ions calcium (Ca⁺⁺) disparaît à la mort du poisson. Dès lors ces ions peuvent diffuser librement hors du réticulum sarcoplasmique, et provoquent la formation du complexe actomyosine à l'origine de la contraction musculaire. Si l'ATP n'est plus présent en quantité suffisante, cette contraction devient irréversible : c'est la rigidité cadavérique (Rigor-Mortis) qui s'accompagne d'un raccourcissement des muscles (DUNAJSKI, 1979).

La Rigor-Mortis apparaît généralement de 1 à 7 heures après la mort, selon la capacité qu'ont les tissus à resynthétiser de l'ATP par des voies annexes.

POISSON FRAIS PECHE

muscles relâchés et extensibles
protéines musculaires (actine et myosine) non couplées
pH autour de 7

POISSON MORT

muscles en anaérobie
métabolisme perturbé : perte en ATP et production d'acide lactique
les ions Ca^{++} sortent passivement du Reticulum Sarcoplasmique

Couplage actine-myosine

Contraction musculaire irréversible en absence d'ATP

POISSON en RIGOR-MORTIS

muscles contracturés et inextensibles
dégradation partielle des myoseptes
pH ultime autour de 6,2-6,5

action enzymatique (protéases surtout)
d'autant plus intense que le pH ultime est proche de 7

Résolution de la Rigor-Mortis

POISSON A CHAIR TENDRE
CONSOMMABLE

pH autour de 7
action enzymatique
(enzymes endogènes et bactériennes)

Autolyse

1 à 7 heures
à
15-20°C

au plus
24 heures
à
15 - 20°C

Moins de 3 jours
à 0°C

Figure n°5 : évolution naturelle du muscle de poisson après la capture
(inspiré de SIKORSKI, 1980)

III - HETEROGENEITE TECHNOLOGIQUE

III.1 - LA TECHNIQUE DE PECHE

Il existe de nombreuses techniques de pêche et les matériels utilisés ne sont pas équivalents quant au stress subi par le poisson :

- la pêche industrielle occasionne fréquemment des lésions cutanées qui sont autant de points de passage privilégiés pour la flore microbienne présente en surface.
- Si le poisson se débat lors de la capture il épuise ses réserves en glycogène. Après la mort l'acide lactique est alors produit en plus faible quantité, et le pH ultime atteint est plus proche de 7 que la normale.
Les enzymes endogènes (protéases notamment) sont moins inhibées et les microorganismes se trouvent en milieu plus favorables (pH moins acide, rétention d'eau accrue et présence de métabolites issus de la dégradation des protéines). Un tel poisson présente une chair beaucoup plus fragile qu'un poisson qui ne s'est pas débattu.

III.2 - LE TRAVAIL DU POISSON A BORD DES BATEAUX

Le poisson qui arrive à bord doit être préparé puis réfrigéré pour être conservé dans de bonnes conditions jusqu'au déchargement.

III.2.1- L'éviscération

Pour le poisson cette opération est encore plus importante que pour les animaux à sang chaud. En effet, les poissons ne jeûnent pas avant la capture, et pour cause, et les viscères sont pleins et fragiles.

Elle prévient la décomposition autolytique par action des enzymes digestives (SHEWAN, 1961), et elle élimine une source de contamination très importante. Elle doit être la plus précoce possible. A bord des chalutiers cette opération, parfois mécanisée est fréquemment manuelle, et malheureusement pas toujours aussi soignée qu'il le faudrait : ABGRALL et al. (1988) ont trouvé une augmentation significative de la contamination entre un lot "bien éviscéré" et un autre "mal éviscéré".

Selon les cas les poissons peuvent être ensuite étêtés uniquement, ou bien filetés.

III.2.2- Le lavage

Après éviscération les poissons sont lavés à l'eau de mer. Cette opération élimine à la fois une grande partie des micro-organismes présents en surface, jusqu'à 80 à 90 % selon GEORGALA (1957), et une source de contamination importante constituée par des résidus de sang, mucus et viscères qui adhèrent à la surface.

Les poissons "bien lavés" sont beaucoup moins contaminés que les poissons "mal" ou "pas lavés", de 3 à 30 fois moins dans l'étude faite par ABGRALL et al (1988).

III.2.3- La conservation au froid

Les poissons ainsi préparés peuvent être :

- conservés sous glace (0°C),
- congelés.

D'une façon générale les bactéries pénètrent plus vite dans les filets que dans les poissons entiers, et dans les deux cas l'essentiel de l'activité est localisé en surface (LISTON, 1980).

Mais la technique de filetage-congélation à bord des navires est très performante : les filets sont généralement obtenus rapidement (30 à 60 minutes après la mort) et congelés aussitôt. C'est le "congelé mer", qui présente la meilleure qualité actuellement.

Les poissons entiers congelés sont d'une qualité intermédiaire qui dépend de l'état de conservation avant congélation.

Les poissons entiers et les filets conservés sous glace présentent une qualité microbiologique variable qui dépend (ABGRALL et al, 1988) :

- de la température de conservation : elle semble varier en fonction du positionnement du lot dans la cale du bateau.
- de l'écrasement du lot : les poissons situés dans les niveaux inférieurs sont soumis à l'écrasement et sont en contact avec l'eau de fusion, très contaminée, venant des étages supérieurs.
- de la durée de conservation sous glace : à contamination initiale égale les poissons pêchés en début de marée seront plus contaminés que les poissons pêchés en fin de marée.
- la qualité de la glace : il semble que la glace fabriquée à terre soit contaminée lors de son stockage. Les conditions de stockage à bord amplifient encore le phénomène.

Initialement la flore de la glace n'est pas constituée par des germes d'altération. Ceux-ci n'apparaissent qu'au bout de 5-6 jours de stockage. Un poisson stocké dans de la glace très contaminée s'altère plus rapidement : la durée de conservation serait réduite de 2 à 4 jours au-delà du 7ème jour (CAMPELLO, 1980).

Au cours de la conservation sous glace on observe une sélection de certains germes aux dépens d'autres : les Pseudomonas deviennent prédominants grâce à leur aptitude à croître à basse température et à utiliser des substances azotées non protéiques (LISTON, 1980). Ces substances, rappelons-le, sont nombreuses chez le poisson et leur quantité augmente par action des protéases, quand celles-ci ne sont pas inhibées par un pH ultime bas.

Il faut noter également que beaucoup de pêcheurs des Territoires et Départements d'Outre-Mer n'embarquent pas de glace à bord de leurs navires.

III.3 - LE TRAITEMENT A TERRE

Le débarquement est l'occasion de ruptures de la chaîne du froid, pour les poissons conservés sous glace (figure n°6), et de manipulations brutales qui fragilisent encore le poisson. ABGRALL et al (1988) a trouvé qu'au cours de la rupture de la chaîne du froid (criée et mareyage) la flore psychrotrophe (qui se développe préférentiellement aux basses températures, entre 10 et 15°C), de la chair de poisson entier était multipliée par un facteur 7, et celle des filets par plus de 200.

Ceci résulte d'une part du maintien à température ambiante qui peut aller jusqu'à 10-12 heures, et d'autre part d'une contamination par contact avec les surfaces et le matériel qui portent des milliers de germes (ABGRALL et al. 1988).

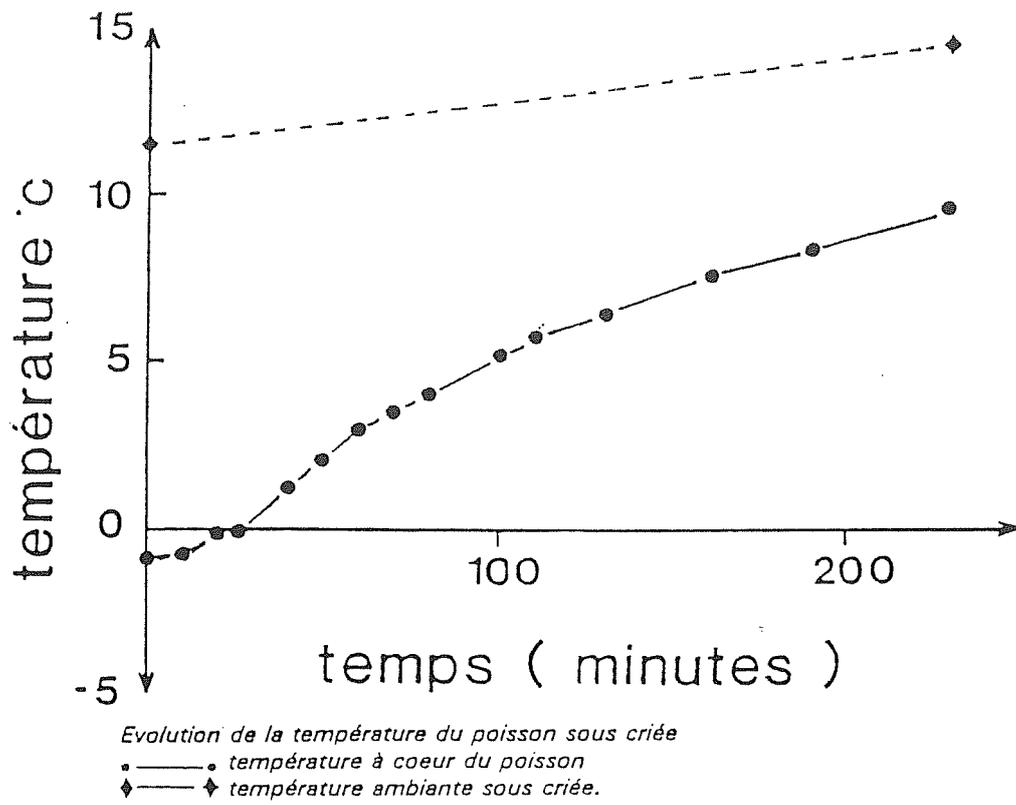


Figure n°6 : évolution de la température du poisson sous criée (d'après ABGRALL et al., 1988)

CONCLUSION

En conclusion de cette partie sur la matière première que constitue le poisson, nous pouvons dire que la qualité des pêches est très aléatoire, surtout sur le plan microbiologique : à la veille de la construction de l'Europe, les marins-pêcheurs sont en dessous des normes en ce qui concerne l'hygiène à bord (ANONYME, 1989).

La variabilité apportée par les diverses manipulations après la capture est beaucoup plus importante que l'hétérogénéité intrinsèque du poisson.

Bien que la flore apportée soit rarement pathogène, la présence de germes de contamination fécale n'est pas à exclure (ABGRALL et al., 1988). La flore d'altération est, par contre, très abondante.

L'amélioration de cette situation est indispensable, parce que la mise en place du marché unique va s'accompagner de normes réglementaires strictes, et parce qu'elle défavorise les industriels.

Elle passe par des conditions d'hygiène plus rigoureuses pendant le prétraitement du poisson, et, pourquoi pas, la réorganisation de certaines parties de la filière.

DEUXIEME PARTIE

**ETUDE DE LA CUISSON SOUS VIDE
DU POISSON :**

**UNE OPTIMISATION DES TRAITEMENTS
EST-ELLE POSSIBLE ?**

I - LE CONTEXTE DE LA CUISSON SOUS-VIDE

La cuisson sous-vide a été développée en France par un cuisinier, Georges PRALUS, dès 1974.

Les restaurateurs, sensibles aux multiples avantages qu'offre cette technique (annexe n°3), l'ont rapidement adoptée. L'image "Gastronomie et Qualité" s'est alors rapidement imposée parmi les professionnels. Les industriels, conscients de l'avantage, en terme de marketing, que revêtait cette image, se sont lancés dans la fabrication de plats cuisinés sous-vide.

Les restaurateurs disposent généralement d'une matière première de très bonne qualité et les délais de consommation sont courts (inférieurs à 6 jours). Ils cherchent en premier lieu à conserver les qualités gustatives de leurs produits. Dans ce contexte la notion de sécurité microbiologique passe au second plan, et ils préconisent des cuissons à basse température.

Pour les industriels la réalité est toute autre : ils maîtrisent mal la qualité de leurs achats et les circuits de distribution. Malgré tout ils doivent, pour vendre, fabriquer des produits d'une qualité aussi constante que possible, et ils ne peuvent prendre aucun risque sur le plan sanitaire. Les traitements thermiques doivent alors avoir une certaine efficacité pasteurisatrice. En outre, la nécessité de rentabiliser le matériel et les installations commande de choisir des températures qui permettent des traitements courts. Mais ces traitements se font aux dépens des qualités organoleptiques des produits.

Il y a là une contradiction : les industriels peuvent-ils adopter une méthode de fabrication qui à la fois conserve les qualités organoleptiques des produits, tout en assurant la sécurité des consommateurs ?

Certains auteurs (PINEL, 1985 ; GOUSSAULT, 1988) ont préconisé dans ce but l'optimisation des cuissons. C'est ainsi qu'à côté de la cuisson classique, sous-vide à haute température (supérieure à 80°C), est apparue depuis trois ans une cuisson sous-vide à basse température (inférieure à 68°C).

Mais cette dernière technique n'a pas obtenu le succès escompté en Grandes et Moyennes Surfaces. (TJOMB, 1990).

Les raisons majeures de cet échec sont que la qualité de la matière première livrée aux industriels connaît des fluctuations importantes, et que la chaîne du froid n'est pas totalement fiable. Tant que ces deux aspects ne seront pas mieux maîtrisés, il ne sera pas réaliste de vouloir faire de la cuisson sous-vide à basse température dans un cadre industriel.

Ne vaut-il pas mieux, dans ce cas, accepter une distribution des compétences ? :

- Cuisson sous-vide à basse température : pour les produits de très bonne qualité et à délai de consommation courts, ne pouvant excéder 6 jours.
Cette technique est à réserver à l'approvisionnement des restaurateurs et à la cuisine d'assemblage.
- Pasteurisation sous-vide à haute température : pour les produits à DLC plus longue, jusqu'à 21 jours, distribués en grand public.
- Stérilisation : pour les produits à conservation très longue.

C'est dans ce cadre que l'optimisation des cuissons peut amener des améliorations de process, et par voie de conséquence un meilleur compromis entre qualités organoleptiques et microbiologiques.

II - LA TECHNIQUE DU SOUS-VIDE

II.1 - LE CONDITIONNEMENT SOUS-VIDE

C'est un procédé d'emballage sous film plastique imperméable aux gaz et aux lipides, sous pression réduite. Dans son emballage le produit est à l'abri des recontaminations. Ce type de conditionnement agit de deux façons sur la microflore :

II.1.1 - Action inhibitrice

La pression partielle en oxygène (O_2) est très faible et diminue au cours du temps, pendant que la quantité de gaz carbonique (CO_2) augmente (respiration tissulaire surtout).

Ceci provoque une inhibition de la flore totale, très marquée surtout pour les germes aérobies d'altération superficielle, *Pseudomonas* en particulier (VALIN et LACOURT, 1980). Il faut signaler qu'en pratique alimentaire du sous-vide la teneur en oxygène atteint rarement des valeurs pouvant contribuer à l'inhibition des germes putréfiants (valeurs inférieures à 1 %). C'est donc bien plutôt le CO_2 qui exerce une action déterminante sur ces germes en agissant comme bactériostatique aux basses températures (BUREAU et al, 1987).

II.1.2 - Action sélective :

On note une multiplication des bactéries anaérobies facultatives, bactéries lactiques et Entérobactéries (VALIN et LACOURT, 1980).

Les staphylocoques sont, eux, très ralentis et seraient inhibés par les germes lactiques (KENNEDY et al, 1980).

La conservation sous-vide ne semble pas favoriser les Salmonelles, lors du stockage au froid (KENNEDY et al, 1980) : leur vitesse de multiplication est lente au froid et en anaérobiose, mais elle peut être suffisante pour être responsable, après un stockage prolongé, d'altérations du type putréfaction (ROSSET et LAMELOISE, 1989).

Enfin Clostridium botulinum, germe anaérobie, peut se développer jusqu'à +3,3°C, mais la production de toxine est très ralentie au dessous de +10°C : elle ne commence qu'au bout de 14 jours à +10°C et l'altération organoleptique intervient avant que des quantités notables de toxine soient produites (DAVIS, 1985 ; GOLA et ROSSI, 1985). En outre, en cas de rupture de la chaîne du froid la dégradation des qualités organoleptiques est telle (aspect et odeur désagréables) que la consommation des produits touchés, viande ou poisson, est impossible (HAUSCHILD et al, 1985).

De la bibliographie citée précédemment il ressort que le conditionnement sous-vide doit s'accompagner d'une baisse de la température en dessous de +3,3°C pour limiter le risque pathogène (annexe n°4).

ROSSET, chef du Centre National d'Etudes et de Recherches pour l'Alimentation Collective (CNERPAC), va même plus loin : "le vide d'air par lui-même ne constitue pas un procédé de conservation. Il n'est qu'un adjuvant, efficace certes mais un adjuvant seulement, aux méthodes de conservation réelles qui existent : le (très) froid, le (très) chaud et le (très) sec".

II.2 - LA CUISSON SOUS-VIDE

II.2.1 - Contraintes et difficultés de la technique

Le conditionnement sous-vide avant cuisson rapproche les plats cuisinés des conserves. Mais les températures de cuisson sont inférieures à +100°C. A ces températures les formes végétatives sont en général détruites, mais les formes sporulées résistent : nous sommes en présence de conserves mal stérilisées.

La mise en oeuvre de tels produits nécessite donc l'application de règles d'hygiène rigoureuses (ANONYME, 1986) :

- l'utilisation d'une matière première de très bonne qualité (achats stockés à température adéquate, toujours inférieure à +3°C, et utilisation rapide),
- propreté irréprochable du personnel, des matériels et des locaux. Cela passe par l'utilisation de vêtements spécifiques, le lavage des mains, le port de gants, de coiffure, le nettoyage et la désinfection. Cela peut aller jusqu'à la construction de "Salles blanches" déjà utilisées dans certaines grosses unités,

- après cuisson, réfrigération précoce et rapide. La législation impose que la température à coeur descende en dessous de +10°C en moins de 2 heures (voir l'Arrêté du 26 juin 1974, annexe n° 5),
- respect de la chaîne du froid tout au long du circuit de distribution.

Nous avons dit précédemment les difficultés de l'industrie face à ces obligations, et notamment dans le domaine de la cuisson du poisson :

- l'approvisionnement en produits de la mer connaît des contraintes spécifiques, liées aux techniques de pêches en particulier, qui rendent aléatoire la qualité de la matière première,
- les industriels sont tenus pour responsables du comportement du produit durant le délai de conservation, alors même que le produit a quitté l'usine, et que les distributeurs ne respectent pas toujours strictement la chaîne du froid.

Cela signifie que l'industriel doit se garder sur deux fronts :

- il doit fabriquer des produits en conformité avec les normes réglementaires. Celles-ci se basent sur l'absence de germes pathogènes dans les produits car le critère prépondérant pour le législateur est, et restera, la sécurité du consommateur. Dans l'état actuel de nos connaissances le germe pathogène, non sporulant, le plus résistant aux températures de pasteurisation est *Streptococcus faecalis*. Il est donc normal que le règlementation prennent ce germe comme référence pour juger la qualité hygiénique des plats cuisinés.
- il doit assurer une bonne conservation à ses produits et donc appliquer un traitement thermique capable de réduire la flore d'altération, de loin la plus nombreuse nous l'avons vu, dans des proportions compatibles avec le délai de consommation prévu.

Ces deux objectifs ne sont bien sûr pas incompatibles, et il semble bien que le caractère prépondérant de l'un ou de l'autre dépende essentiellement de la température de traitement.

II.2.2 - Les moyens d'optimisation des traitements

Si on admet que l'aspect sanitaire prime, cela ne signifie pas que toute optimisation des pasteurisations est impossible. Il y a pour cela plusieurs voies possibles. Deux d'entre elles donnent déjà des résultats.

II.2.2.1 - Amélioration des conditions hygiéniques de prétraitement du poisson

Cette pratique peut donner des résultats spectaculaires. En effet si la population initiale de streptococcus feacalis est :

$$N_0 = 10^5 \text{ germes par gramme}$$

avec une population finale après traitement fixée à

$$N = 10^{-3} \text{ germe par gramme,}$$

le taux de réduction de la population souhaité est donc $n = 8$ (contre $n = 13$ dans les normes réglementaires voir annexe n°6) et la valeur pasteurisation (VP) minimale à appliquer est alors :

$$P = \frac{10}{70} = 24 \text{ minutes (BOUJELBEN, 1988).}$$

L'application de ce barème de pasteurisation ne réduit pas la durée de vie du produit.

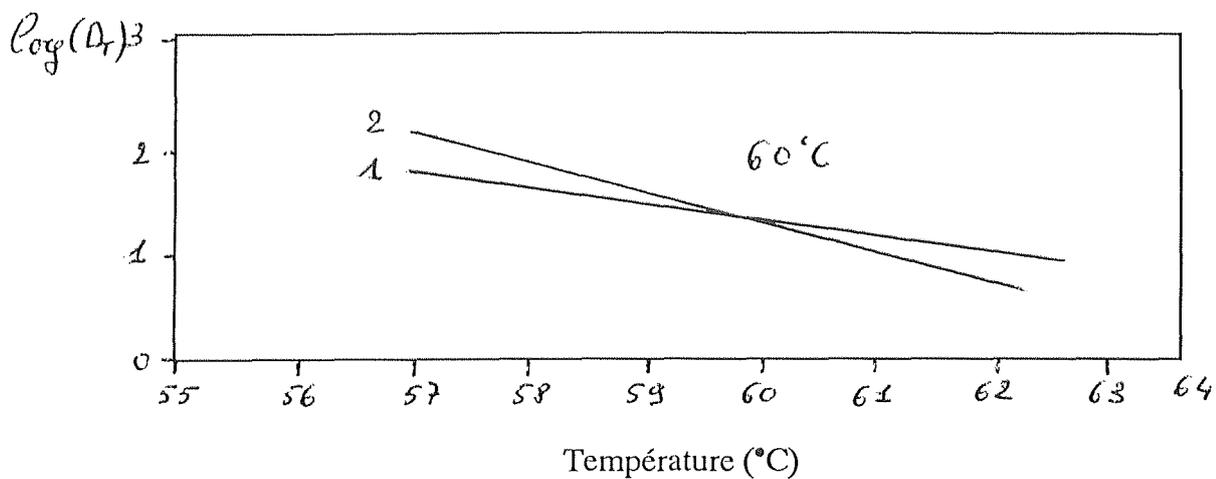
Dans la pratique certains industriels fabriquent des produits à VP faible (autour de 10 minutes) qui peuvent se conserver jusqu'à 21 jours par dérogation (KNOCKAERT, 1989).

Cela exige bien sûr une parfaite maîtrise des approvisionnements, un stockage réduit, un atelier pratiquement stérile (salle blanche) un matériel de cuisson et de prise de température à coeur fiable (KNOCKAERT, 1989).

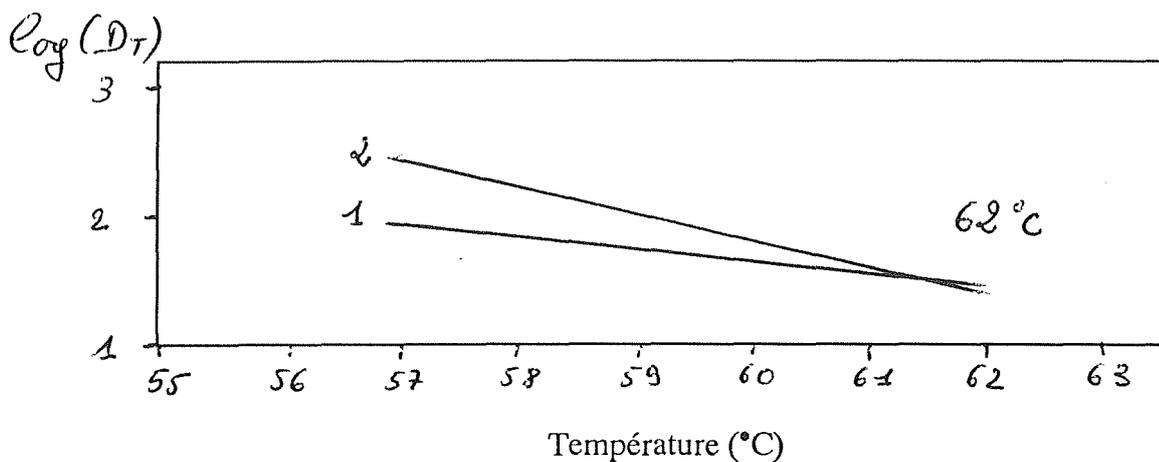
II.2.2.2 - Etude précise et approfondie de la thermorésistance des bactéries dans les milieux alimentaires :

Cette voie constitue une voie fondamentale. En effet l'influence du milieu sur la résistance des micro-organismes à la chaleur sont insuffisamment connus (MAILLARD-MULAK, 1990). Cela impose une certaine prudence dans le choix des traitements à appliquer (BEAUFORT et ROSSET, 1989) et des investigations sérieuses peuvent amener des améliorations sensibles.

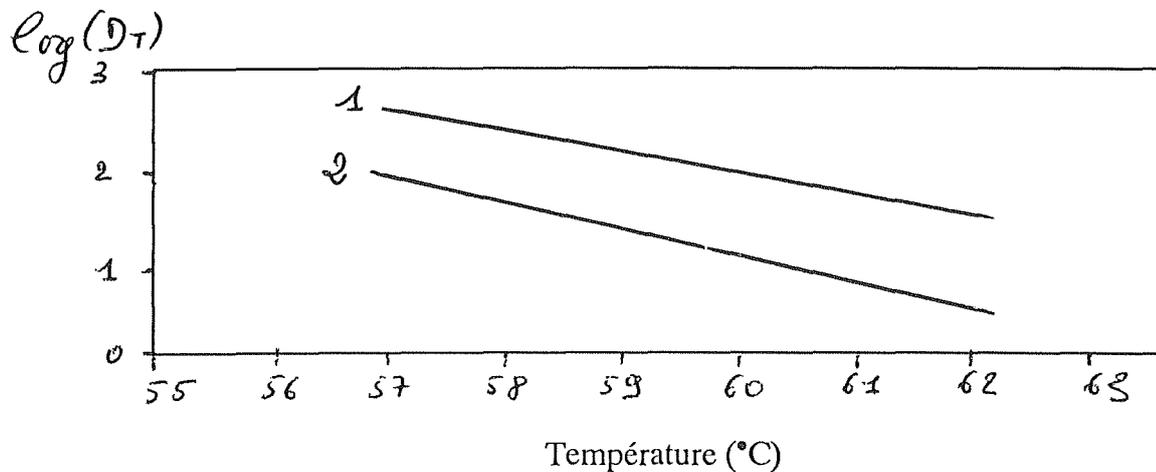
Par exemple, dans les filets de poissons, dans les gammes habituelles de température de pasteurisation (65 à 90°C), le germe non sporulé le plus résistant serait Pseudomonas paucimobilis, tandis que dans les terrines de poisson, si la température à coeur en fin de cuisson ne dépasse pas 62°C, Streptococcus feacium est le germe non sporulé le plus résistant (figure n° 7) (MAILLARD-MULAK, 1990).



1 - Destruction thermique dans le tampon phosphate



2- Destruction thermique dans une terrine à base de poisson



3 - Destruction thermique dans un filet de lieu noir

Figure n°7 : Courbe de thermorésistance de *Pseudomonas paucimobilis* (1) et *Streptococcus fraciium* (2) dans différents milieux (d'après MAILLARD-MULAK, 1990)

Les valeurs obtenues pour *Pseudomonas paucimobilis* (tableau n° 4) peuvent surprendre, dans la mesure où les *Pseudomonas* sont habituellement considérés comme des germes thermosensibles rapidement détruits à des températures inférieures à +60°C (ROZIER et al, 1985). Mais les références concernant ce germe et sa thermorésistance sont rares. Il semble qu'il y ait deux raisons majeures à cela :

- la flore microbienne est souvent très variée, alors que les études n'impliquent généralement qu'un nombre réduit de souches (20 à 100). Ceci peut conduire à des conclusions erronées, étant donné que seuls les groupes bactériens les plus importants sont à même d'être identifiés (LIMA DOS SANTOS, 1978).
- les milieux de culture et d'isolement conditionnent énormément les résultats obtenus (DABBAH et al., 1971 ; MOATS et al., 1971 ; CRAVEN et BLANKENSHIP, 1983).

III - ETUDE EXPERIMENTALE

Dès lors qu'il était admis que l'industriel doit pasteuriser ses produits, et que cela nécessite généralement un traitement supérieur au seuil optimum de la qualité organoleptique, il nous a paru intéressant de caractériser l'influence de la température de cuisson.

III.1 - MATERIEL ET METHODE

Le schéma des diverses expériences effectuées pendant ce stade se trouve en annexe n°14.

III.1.1- La matière première

Pour ne pas multiplier les effets nous n'avons traité qu'une matière première, la plus homogène possible. C'est pourquoi nous avons utilisé des poissons :

- d'élevage, ce qui simplifie l'approvisionnement et assure une relative homogénéité ; les conditions de vie en cage favorisent certains individus "dominants" qui seront plus gros que les autres. Par contre les conditions d'abattage et de préparation sont parfaitement maîtrisées et identiques pour tous.
- de grande taille, pour minimiser le nombre d'individus.

Ainsi nous avons travaillé 36 truites Fario, di et triploïdes, d'un poids vif allant de 3 à 4 kg, réparties en deux approvisionnements de 20 puis 16 individus en provenance de la Salmoniculture Expérimentale Marine IFREMER-INRA (SEMII).

	Pseudomonas paucimobilis			Streptococcus faecium		
	A	B	C	A	B	C
D ₆₀ (min)	23,1	83,9	41,2	21,6	17,3	64
z (°C)	7,7	5,8	9,1	4,7	4,3	4,4

Tableau n°4 : valeur de D60 et de z pour les deux germes les plus thermorésistants dans les 3 milieux testés

A = tampon phosphate

B = lieu noir

C = terrine à base de poisson

(d'après MAILLARD-MULAK, 1990)

Les truites étaient abattues la veille de leur arrivée au centre IFREMER de Nantes. Dès réception elles étaient filetées dans la salle de mareyage (10-15°C) ; cette opération prenait environ deux heures. Les filets étaient conditionnés sous-vide en sachets individuels et congelés aussitôt après par voie cryogénique au gaz carbonique (CO₂) ; cette phase durait environ une heure. Enfin les filets congelés étaient stockés en chambre froide à -30°C.

Les filets, dont les poids variaient de 750 g à 1 kg environ, attendaient d'être utilisés au fur et à mesure des besoins : les premiers sortis l'ont été cinq jours après congélation, et les derniers ont attendus environ trois semaines en chambre froide.

III.1.2- LE TRAITEMENT THERMIQUE

Nous avons effectué quatre séries identiques de cuisson, espacées chacune d'une semaine.

Nous avons comparé les effets de cuissons effectuées dans des bains à +65°C et +85°C.

III.1.2.1 - Préparation des échantillons

Les jours de cuisson, la quantité nécessaire de filets était mise à décongeler dans un décongélateur à air pulsé, en hygrométrie saturée. Ils en étaient sortis lorsque la température à coeur atteignait environ +4°C, ce qui était réalisé au bout d'une heure.

Les échantillons étaient alors préparés dans la salle de mareyage (5 - 10°C) : ils étaient coupés, pesés et mis en sachets. L'ensemble était ensuite scellé sous-vide.

III.1.2.2 - Matériel de cuisson - refroidissement

Nous avons utilisé comme cuiseur un bain-marie d'un volume total de 50 litres qui contenait environ 40 litres d'eau. Le chauffage de l'eau se faisait par le fond par des résistances électrique. Il n'y avait pas de système d'agitation de l'eau. Un panier permettait de manipuler tous les échantillons en même temps. Les échantillons étaient maintenus verticaux par un système de tiges horizontales.

Le refroidissement était assuré dans un bac contenant de l'eau à 0°C (glace fondante) et muni d'un système de renouvellement d'eau.

III.1.2.3 - Cuisson des échantillons

Tous les échantillons devant subir une même température, ont été cuits ensembles. Ceci nous donne un rapport eau/produits d'environ 5 (40 kg d'eau pour 8 kg d'échantillons).

L'efficacité pasteurisatrice du traitement a été choisie intermédiaire entre :

- les recommandations règlementaires qui préconisent un traitement de "sécurité", avec une valeur pasteurisatrice (VP) minimale de 40 minutes.
- les pratiques industrielles qui donnent couramment des produits à VP = 10 minutes.

La qualité de la matière première nous permettait de nous situer en deçà des 40 minutes, mais pour les hautes températures (à partir de 75-80°C) l'accroissement de la valeur pasteurisatrice est très rapide : il paraît difficile de bien maîtriser la fin de la cuisson. Il nous a semblé raisonnable, dans ces conditions, d'appliquer une valeur pasteurisatrice de 20 minutes pour tenter d'obtenir deux lots de produits homogènes.

Les produits étaient plongés dans le bain-marie lorsque la température de celui-ci était stabilisée à la valeur de consigne. A la fin du temps de cuisson le panier contenant les produits était transféré dans le bac d'eau froide. Pour tenir compte de la valeur pasteurisatrice du refroidissement qui varie avec la température à coeur atteinte, les produits étaient sortis du bain-marie pour des valeurs de VP différentes :

- VP = 19 minutes à 65°C
- VP = 10 à 12 minutes à 85°C

Lorsque la température à coeur était passée en dessous de +50°C, la cuisson était considérée comme stoppée et les échantillons stockés à 0 +3°C.

III.1.3- Le suivi des températures

Les températures étaient enregistrées grâce à du matériel ELLAB. Deux sondes placées à deux endroits différents du bain donnaient la température de celui-ci.

Deux sondes étaient placées à coeur des échantillons. Les sondes, filiformes, étaient fixées sur les sachets grâce à des presse-étoupes. Ce système de fixation a donné entière satisfaction quant à l'étanchéité.

L'appareil de mesure affichait la température, par cycle, pour chacune des sondes, et l'imprimait toutes les minutes. La valeur pasteurisation (P 70/10) était également calculée et imprimée, de sorte que le degré de cuisson était constamment connu.

Rappel :

Le "coeur" du produit est par définition, le point le plus lent à atteindre la température de cuisson désirée. Sa situation varie avec le type d'échange thermique mis en jeu (conduction, convection, rayonnement), et la structure du produit.

Dans le cas qui nous occupe, nous pourrions considérer en première approximation que :

- les échantillons sont homogènes quant à la progression de la chaleur,
- l'échange thermique se fait exclusivement par conduction.

Le coeur du produit est dans ce cas le centre géométrique du produit.

III.2 - RESULTATS

III.2.1- Le suivi des températures

Pour toutes les cuissons, l'immersion des produits dans le bain provoque une baisse de la température du fluide, de 3 à 9°C environ selon les cas. Cette chute ne semble pas perturber l'augmentation de température dans les produits.

III.2.1.1 - Les cuissons à + 65°C (figures n° 9 et 10)

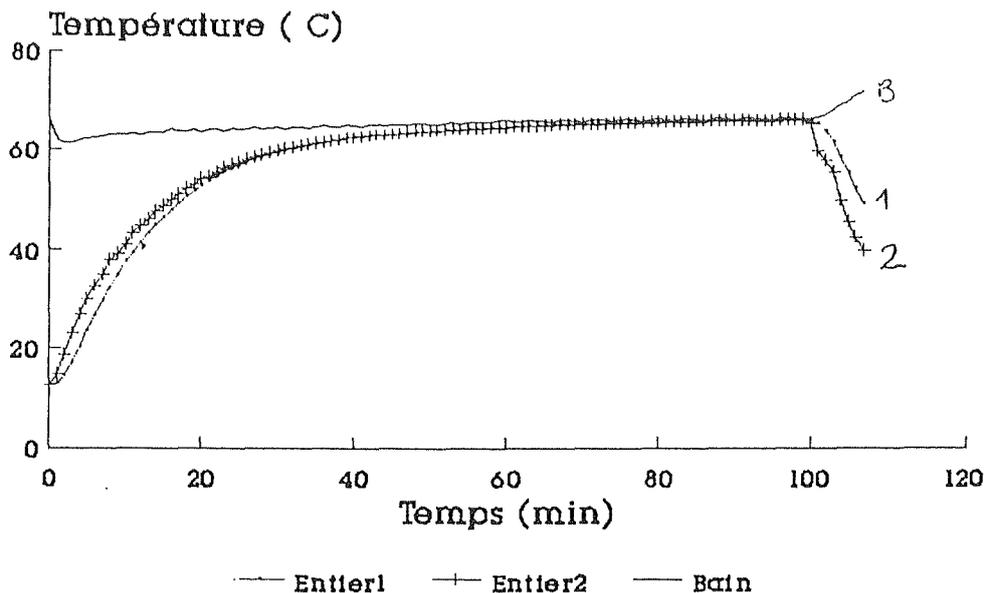
Suivant les cuissons, la progression des températures est relativement variable. En tenant compte de la température initiale (de 10 à 15°C) et de la température réelle du fluide (66°C à 69°C) nous pouvons penser que les variations sont surtout dues à la place des sondes dans le produit : elles n'étaient vraisemblablement pas toutes à coeur.

III.2.1.2 - Les cuissons à + 85°C (figures n° 11 et 12)

La variabilité dans la progression de la température à coeur est encore plus nette à haute température. La première cuisson est la plus courte, mais certains produits étaient manifestement mal cuits.

On observe un décrochement, sur une sonde à coeur, au cours de la troisième cuisson ; nous avons déplacé les fils de sondes, la sonde s'est alors elle-même déplacée vers un endroit plus froid : elle n'était pas à coeur au début de l'expérience.

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Première cuisson 65 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Deuxième cuisson 65 C

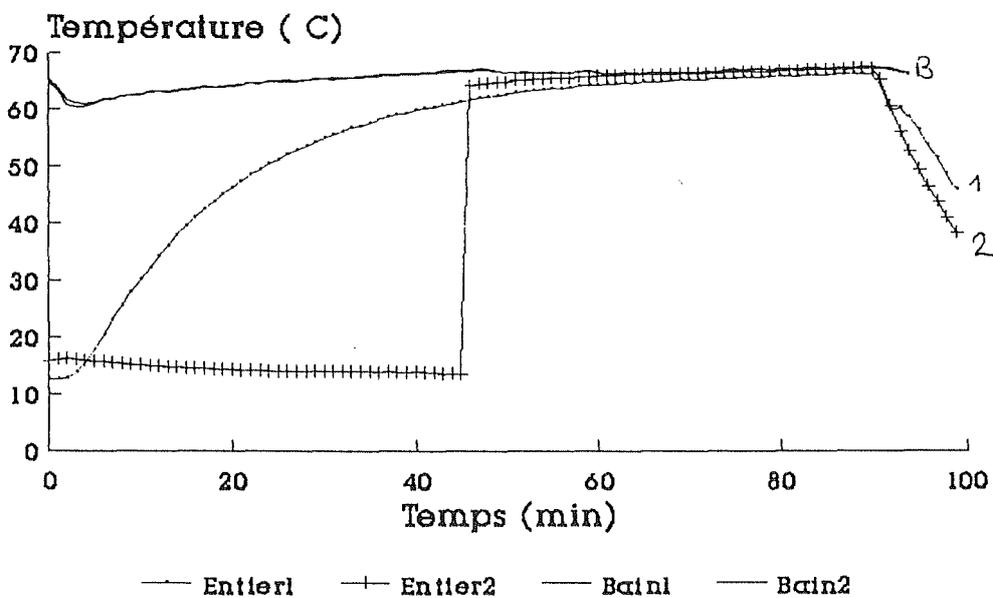
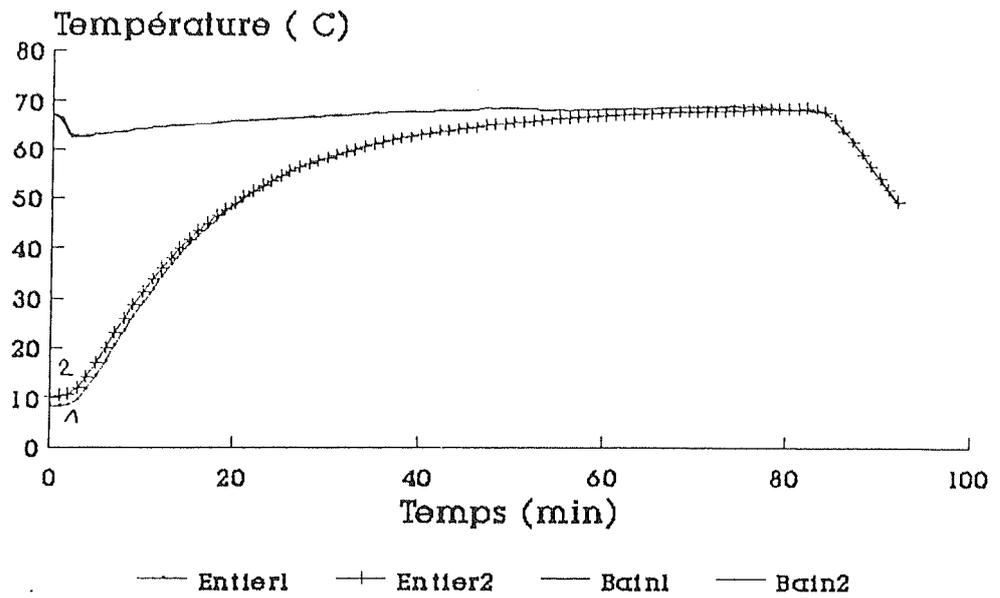


Figure n°9 : évolution des températures
cuisson à 65°C

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Troisième cuisson 65 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Quatrième cuisson 65 C

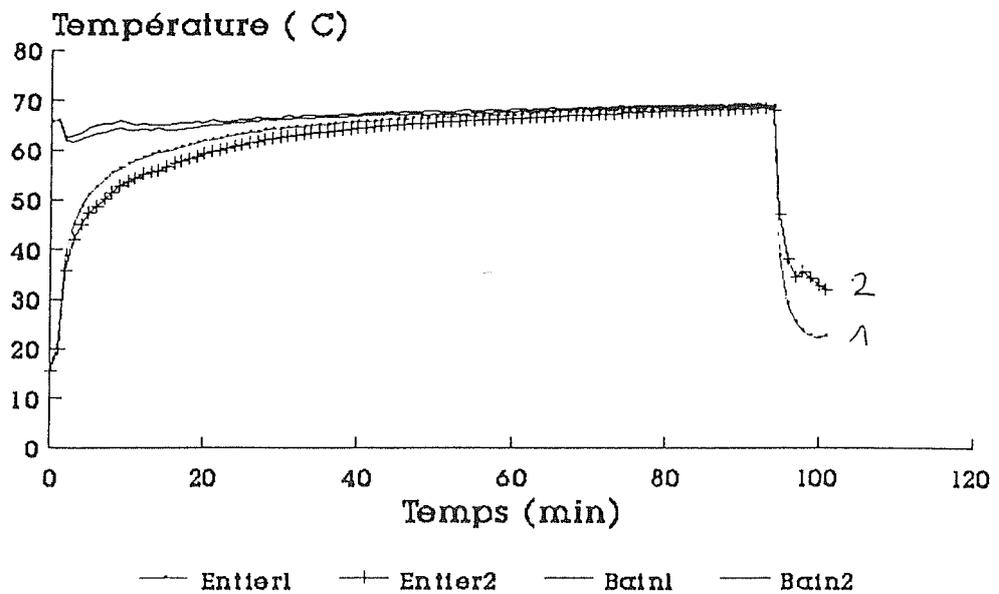
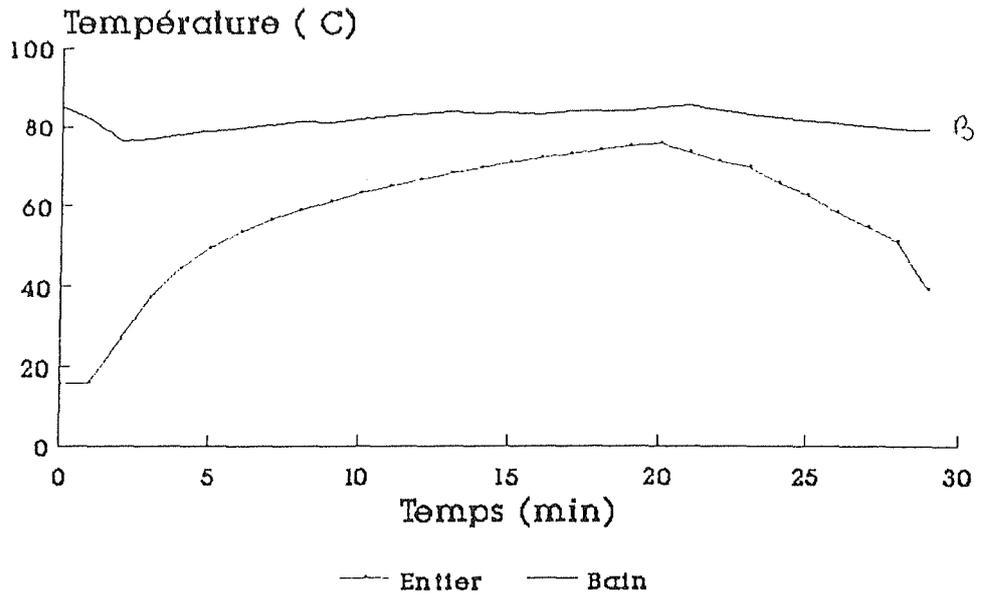


Figure n°10 : évolution des températures
cuisson à 65°C

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Première cuisson 85 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Deuxième cuisson 85 C

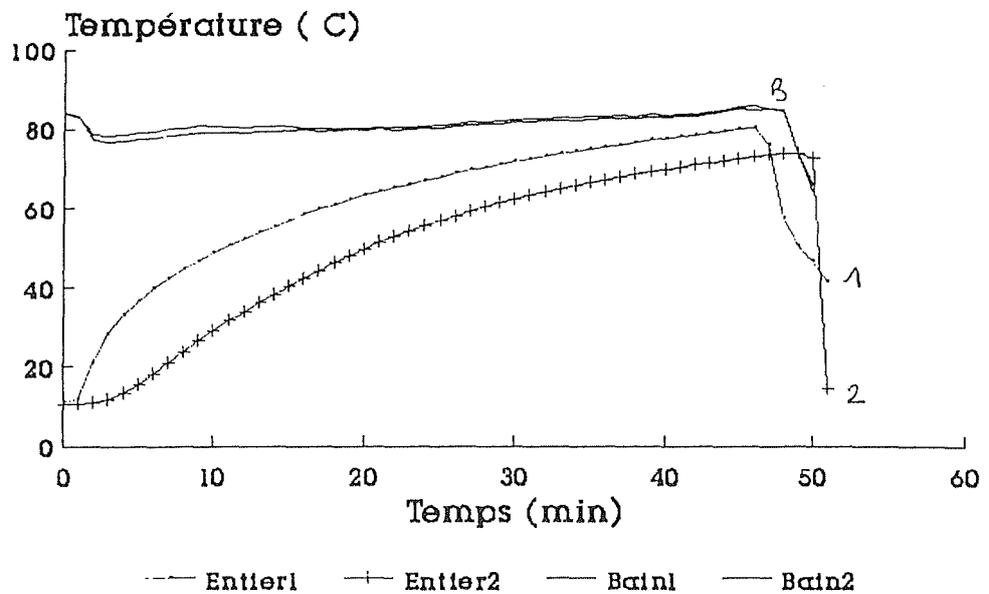
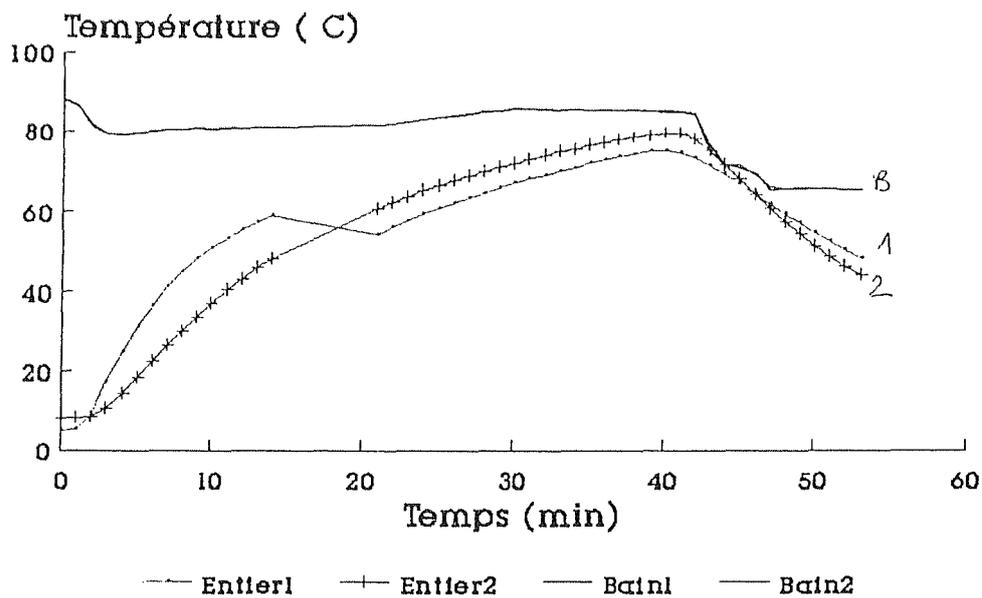


Figure n°11 : évolution des températures
cuisson à 85°C

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Troisième cuisson 85 C



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE Quatrième cuisson 85 C

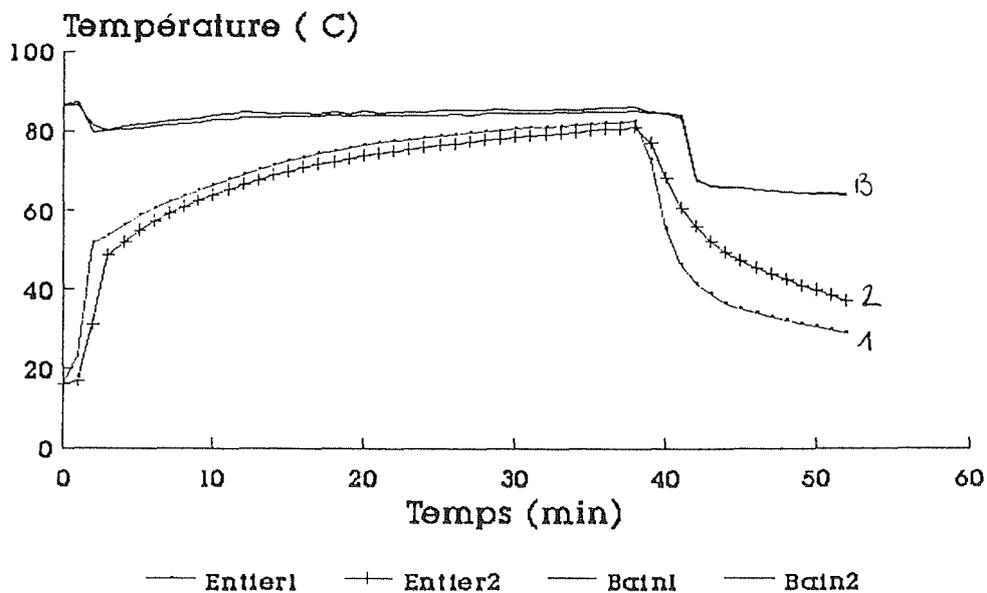


Figure n°12 : évolution des températures
cuisson à 85°C

Cela pose une fois de plus le problème du système de prise de température à coeur des produits. Aujourd'hui il n'existe pas de système fiable pour la mesure de la température à coeur. Celui que nous avons utilisé (sondes filiformes) ne déroge pas à la règle.

Différents paramètres de cuisson sont consignés dans le tableau n° 5. Il faut surtout noter la variabilité de la valeur pasteurisatrice (P 70/10) atteinte en fin de cuisson. Cela met en lumière l'importance des temps intermédiaires, notamment la sortie du bain chaud et le trempage dans le bain froid. Ce temps doit être le plus court possible quand les températures atteintes à coeur sont hautes. (La valeur pasteurisatrice d'une minute à 70°C est 1, mais elle est de 10 à 80°C et de 100 à 90°C.

III.2.2- Les analyses bactériologiques

Ces analyses avaient pour objectif d'une part de vérifier l'efficacité du traitement thermique, et d'autre part de contrôler la conservation des produits dans le temps.

Pour cela nous avons dénombrer la flore totale aérobie mésophile, selon le protocole utilisé en routine à l'IFREMER (annexe n° 7). Ces analyses ont été faites sur le produit cru, et le produit cuit à J₀ (jour de la cuisson), J₇, J₁₄ et J₂₁.

Les résultats sont donnés dans le tableau n° 6, et représentés sur les figures n° 13 et 14.

Les résultats obtenus sur le produit cru confirmant que la matière première utilisée était de très bonne qualité (moins de 10 000 germes par gramme).

III.2.2.1 - Traitement à + 65°C

La première et la quatrième cuisson s'avèrent d'une efficacité négligeable.

A 21 jours tous les échantillons sont à plus d'un million de germes par gramme. Ceci laisse un doute quant à la température de stockage qui, malheureusement, était variable entre + 2 et + 6°C.

III.2.2.2 - Traitement à + 85°C

Les températures à "coeur" atteintes ici sont comprises entre + 73,8 et + 81°C, soit 10 à 13°C de plus que lors des traitements à + 65°C.

L'évolution microbiologique des produits obtenus est plus variable que pour ceux cuits à + 65°C.

La cuisson n° 1 semblait courte par rapport aux trois suivantes : il est clair, à la vue des courbes de croissance, qu'elle n'a pas eu la même efficacité pasteurisatrice.

n° de cuisson	1	2	3	4	1	2	3	4
température de cuisson (°C)	65				85			
temps de cuisson (min)	107	99	92	101	29	51	53	52
température à coeur (°C)	65,7	66,3	68	68,5	75,3	73,8	74,7	81
temps d'obtention (min)	97	88	79	92	20	48	39	38
valeur pasteurisatrice atteinte à coeur P (min)	20	16	23	31	20	24	26	147
température du fluide (°C)	66,4	67,4	68,4	69,2	84,5	84,6	84,9	85,3

Tableau n°5 : paramètres des cuissons

	Cuisson 1	Cuisson 2	Cuisson 3	Cuisson 4
CRU	975	1750	6350	3500
65°C				
J ₀	475	0	0	110
J ₇	600	50	110	25
J ₁₄	6.10 ⁴	9,75.10 ⁵	2,25.10 ⁵	0
J ₂₁	1,5.10 ⁸	2,5.10 ⁶	9.10 ⁶	6,5.10 ⁷
85°C				
J ₀	0	0	0	25
J ₇	1,7.10 ⁶	60	3600	0
J ₁₄	3,5.10 ⁸	5.10 ⁵	3000	175
J ₂₁	1,55.10 ⁷	4.10 ⁶	1,75.10 ⁵	0

Tableau n°6 : Résultats des analyses microbiologiques (nombre de germes par gramme)

EVOLUTION MICROBIOLOGIQUE DU PRODUIT CUIT A 65 C (STOCKAGE A 0/+3 C)

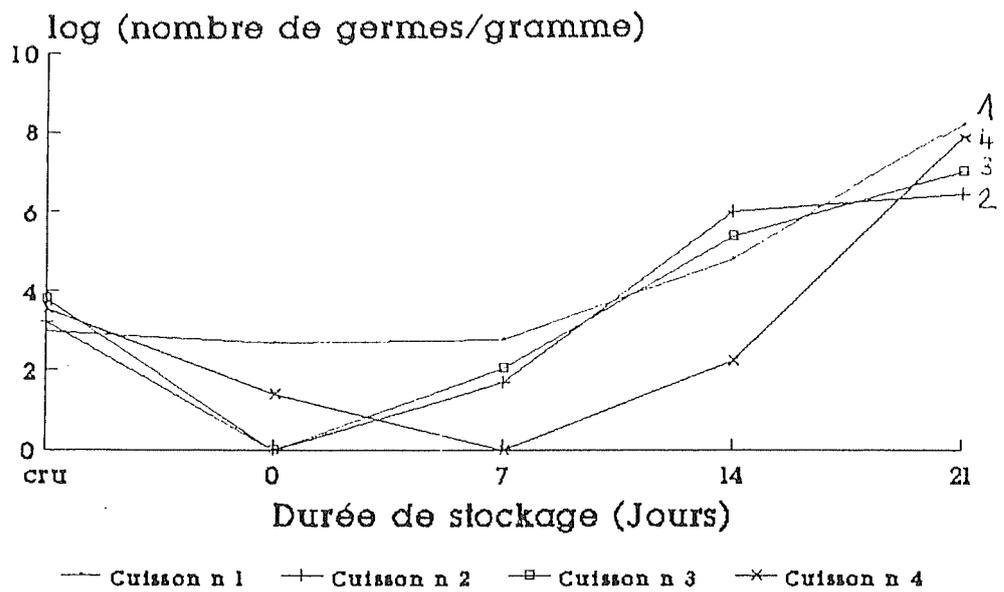


Figure n°13 : résultats d'analyses microbiologiques

EVOLUTION MICROBIOLOGIQUE DU PRODUIT CUIT A 85 C (STOCKAGE A 0/+3 C)

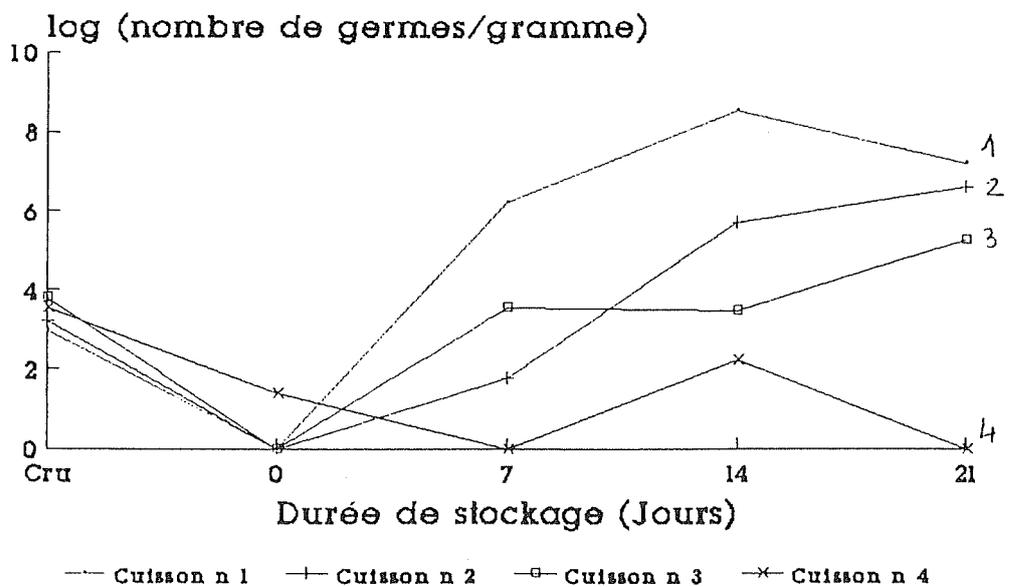


Figure n°14 : résultats d'analyses microbiologiques

Pour les cuissons 3 et 4 les croissances paraissent moins rapides, comme si les micro-organismes survivants présentaient un temps d'adaptation au froid plus long.

III.2.3- Les mesures physico-chimiques

III.2.3.1 - L'eau et la matière sèche

III.2.3.1.1 - Introduction

Le pouvoir de rétention d'eau dépend en premier lieu du pH du muscle, mais aussi de l'état des réseaux protéiques capables de retenir l'eau. Ceux-ci subissent des transformations plus ou moins importantes lors de cuissons. C'est pourquoi nous allons tenter de voir si le PRE nous permet de détecter des variations en relation avec les températures de cuisson.

La mesure du PRE fait appel à de très nombreuses méthodes (pression, centrifugation, chauffage, gonflement, extraction capillaire) (LAROUCHE, 1981). Chacune d'entre elles a été mise au point dans le cadre d'une expérimentation particulière. Ce sont des méthodes arbitraires, qui donnent des résultats qui peuvent être très différents d'une technique à l'autre. Mais ces résultats sont généralement bien corrélés (GOUTEFONGEA, 1963). Les méthodes les plus utilisées sont celles ayant recours à la centrifugation et à la compression. Ce sont ces deux techniques que nous utiliserons en parallèle (protocoles en annexe n° 8).

III.2.3.1.2 - Méthode de calcul

La méthode de calcul est étroitement dépendante de la technique utilisée.

Après centrifugation nous n'avons accès qu'à la fraction extraite (FE - figure n° 15). Le passage en étuve nous permet de connaître la quantité d'eau extraite (EE), et de la ramener à la quantité de produit déposée sur le filtre. Nous appellerons ce résultat CRE.

Le calcul après pression se fait sur la fraction non extraite rapportée au poids de l'échantillon, et donne le PRE.

III.2.3.1.3 - Résultats (Tableau n° 7)

Pris globalement (toutes cuissons et jours d'analyse confondus) le PRE des produits cuits à + 85°C est supérieur à celui des produits cuits à + 65°C. Pour le CRE la tendance est inversée, mais la signification est la même : les manipulations

HYDRATATION APRES CUISSON

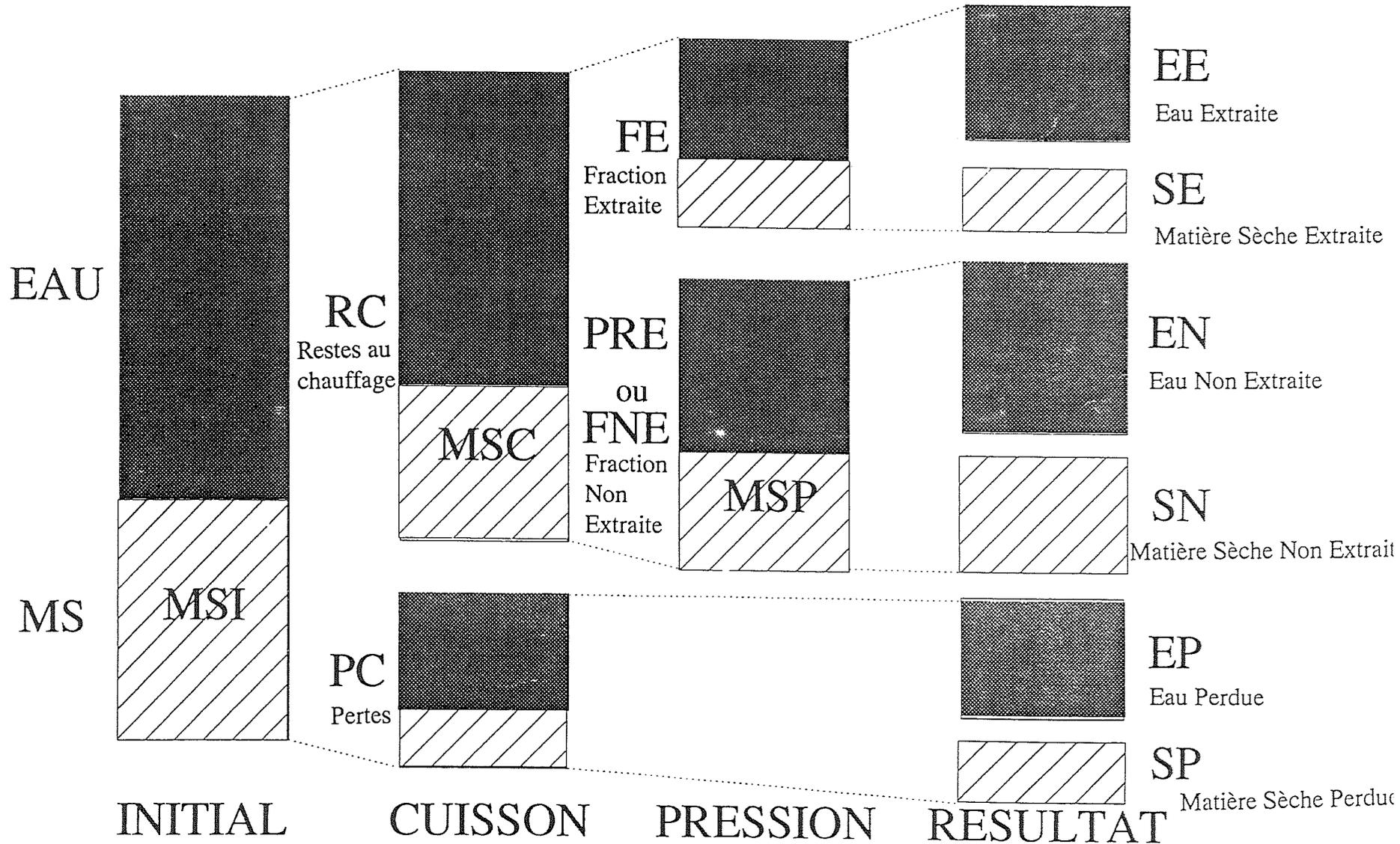


Figure n°15 : composition du produit en fonction de l'opération réalisée

MS = Matière sèche
 PRE = Pouvoir de rétention d'eau
 calculé par pression
 FNE = Fraction non extraite = PRE
 ramené au produit cuit
 CRE = Pouvoir de rétention d'eau
 calculé par centrifugation
 PCRE = CRE ramené au produit cuit
 CRE1 = CRE calculé après étuvage

COMPARAISON 65-85 °C

	MS		PRE		FNE	
	85	65	85	65	85	65
moy	0,315	0,310	0,730	0,718	0,646	0,646
et	0,009	0,015	0,015	0,016	0,019	0,020
nb	36	36	36	36	36	36
t observée	1,9522		-	3,4225	-	0,0124

	CRE		CRE1		R CRE		R CRE1	
	85	65	85	65	85	65	85	65
moy	0,176	0,205	0,140	0,159	0,731	0,720	0,763	0,763
et	0,018	0,021	0,021	0,025	0,021	0,023	0,027	0,027
nb	26	26	26	26	26	26	26	26
t observée	-	5,2954	-	2,9335	-	1,7262	-	0,193

	MSD		RC		RC = rendement au chauffage
	85	65	85	65	
moy	0,286	0,278	0,884	0,900	MSD = Matière sèche calculé après pression
et	0,010	0,011	0,023	0,020	
nb	36	36	36	36	
t observée	-	2,9908	-	3,0329	

Tableau n°7 : Résultats analyses physico-chimiques.
 Les valeurs sont comparées deux à deux par un test t de Student

(centrifugation ou pression) extraient moins de liquide sur les échantillons + 85°C comparés à + 65°C. Un test t de student permet la comparaison des moyennes et montre que la différence est significative au risque 1 %.

Par contre si on rapporte ces résultats au produit initial (cru) : on obtient deux valeurs (FNE remplace PRE, et RCRE remplace CRE) dont la différence n'est pas significative.

Autrement dit, on perd plus de liquide à la cuisson à + 85°C et la pression, ou la centrifugation, en extrait moins. Globalement, la quantité d'eau qui a quitté le produit, à la suite des deux opérations, est la même.

Si maintenant on s'intéresse à l'évolution de certains paramètres durant le stockage (figures n° 16, 17 et 18) nous voyons que pour les produits cuits à + 65°C :

- la matière sèche chauffée (MSC)
- la fraction non extraite (FNE)
- la matière sèche non extraite (SN)

tendent toutes trois à diminuer durant le stockage, tandis que pour les produits à + 85°C, elles restent pratiquement constantes.

Il semblerait donc qu'au cours du stockage au froid, il y ait solubilisation de matière sèche dans les produits cuits à + 65°C.

Les rendements au chauffage sont significativement différents au risque 1 %. Les produits cuits à + 85°C exsudent plus que ceux portés à + 65°C. Mais la matière sèche déterminée après cuisson est la même dans les deux lots : les exsudats sont proportionnellement aussi chargés en substances dissoutes dans l'un et l'autre cas.

Une dernière grandeur a été calculée : la matière sèche restant après pression, rapportée au produit chauffé (MSD). Pour la viande elle est généralement bien corrélée avec la force. Ici la différence significative obtenue entre les deux lots (toutes cuissons confondues) montre que le liquide extrait par pression est plus chargé à + 65°C. Ceci va dans le sens de ce que nous écrivions précédemment : une partie de la matière sèche se solubiliserait dans les produits à + 65°C stockés au froid, ce qui n'est pas perceptible pour les produits cuits dans un bain à + 85°C.

III.2.3.2 Le pH

La figure n° 19 montre que les valeurs de pH mesurés après cuisson sont très dispersées, mais surtout situées au dessus de la ligne figurant la moyenne des pH initiaux. Les chiffres (tableau n° 9) montrent qu'il y a effectivement augmentation significative du pH pendant la cuisson. C'est un phénomène connu sur la viande : certains auteurs pensent qu'il augmente dans tous les cas, d'autres pensent qu'il ne croit que lorsque le pH initial est inférieur à 6,4, et qu'il diminue dans le cas contraire.

MATIERE SECHE CHAUFFEE

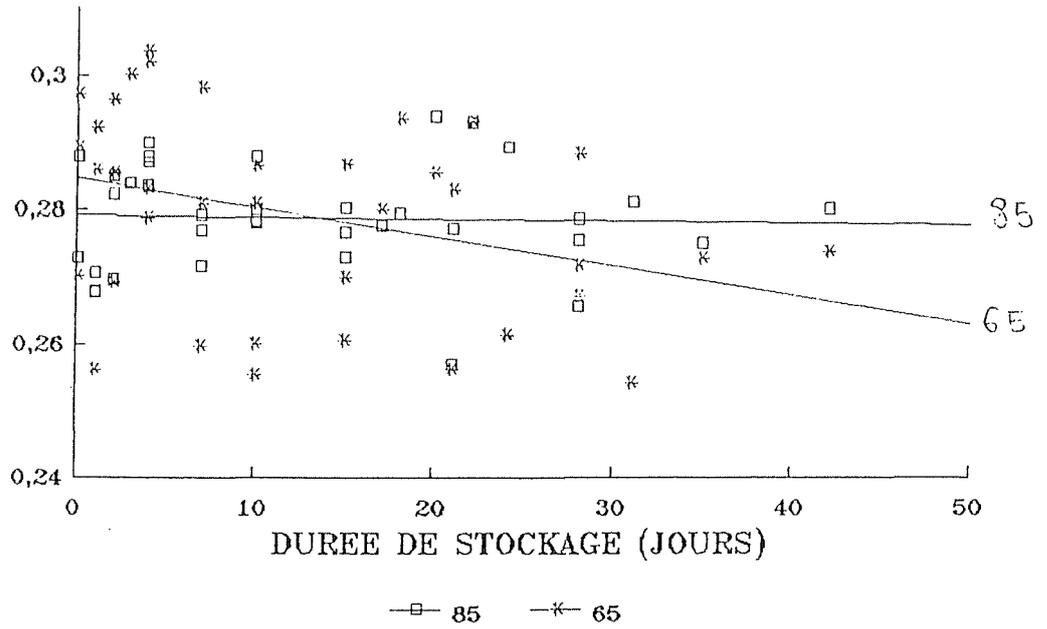


Figure n°17

MATIERE SECHE NON EXTRAITE

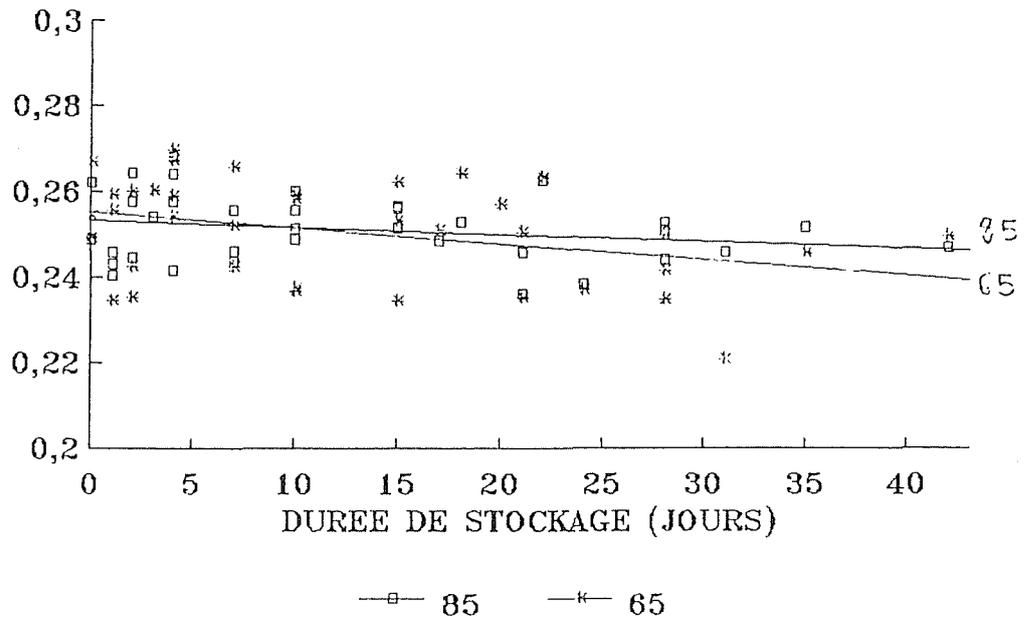


Figure n°18

pH - DISPERSION DES RESULTATS APRES CUISSON

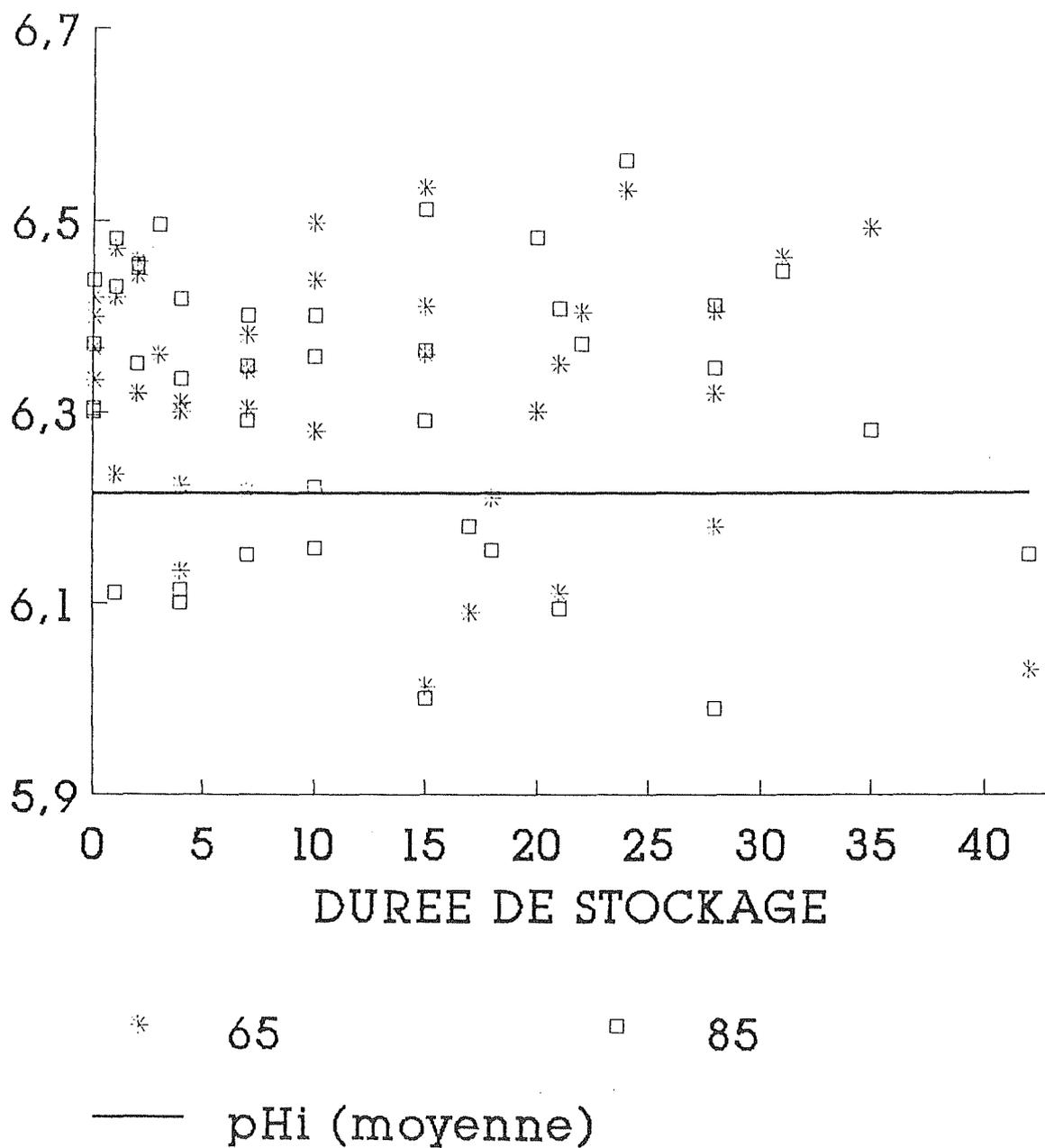


Figure n°19

Nous n'observons pas de différence entre les températures de cuisson.

Notons les différences de pH initial suivant les séries. Si nous ajoutons que le hasard des approvisionnements a fait que la durée du stockage des filets congelés a été :

- 5 jours pour la première cuisson
- 4 jours pour la seconde
- 11 jours pour la troisième
- 25 jours pour la quatrième

nous remarquons une corrélation négative (tableau n° 8).

La différence de pH initial observée entre les séries, n'apparaît plus après cuisson.

Enfin il n'y a pas de liaison significative entre le pH et la durée de stockage à $0 + 3^{\circ}\text{C}$, après cuisson.

Variation du pH initial

		AS			TC		
		pHi	65	85	pHi	65	85
t observé	moy	6,22	6,33	6,35	6,22	6,29	6,29
	et	0,07	0,11	0,12	0,07	0,21	0,20
	nb	66	21	28	66	35	36
	pHi	-	5,225	6,787	-	2,702	2,621
	65		-	0,732		-	0,102
85			-			-	

Ensemble.

		pHi	65	85
moy		6,22	6,33	6,32
et		0,07	0,17	0,18
nb		66	94	96
pHi		-	5,143	4,567
65			-	0,332
85				-

AS : échantillons d'analyse sensorielle
 TC : échantillons de mesure en cisaillement

pHi - comparaison des ser

		S1	S2	S3	S4
t observé	moy	6,22	6,27	6,22	6,16
	et	0,07	0,06	0,05	0,04
	nb	15	17	17	17
	S1	-	2,196	0,016	2,808
	S2		-	2,719	6,267
S3			-	3,792	
S4				-	

pHi	temps de stockage congelé
6,22	5
6,27	4
6,22	11
6,16	25

Sortie régression:

Constante 1226,604
 Ecart type d'estimation Y 4,930796
 R au carré 0,826801
 Nombre d'observations 4
 Degrés de liberté 2

Coefficient(s) X -195,473
 Ecart type de coef 63,26215

Tableau n° 8 : variations du pH initial

Les valeurs sont comparées par un test t de student

CONCLUSION

Les résultats obtenus sont bien sûr à confirmer : ils ne portent que sur un nombre restreint d'échantillons, et n'ont été pratiqués que sur un type de produit.

La température du fluide chauffant paraît avoir une influence sur le comportement au stockage : le produit plongé à + 85°C semble plus stable du point de vue microbiologique et biochimique.

Deux paramètres pourraient expliquer cela et méritent d'être étudiés :

- les enzymes endogènes (protéases notamment) ne sont peut-être pas suffisamment inhibées lors de la cuisson à + 65°C, et reprennent leur activité lors du stockage. Il y aurait alors solubilisation de certaines protéines, qui seraient ensuite extraites avec l'eau exprimée par la pression.

- les micro-organismes survivants peuvent être différents selon le domaine de température utilisé, et d'une adaptabilité différente au froid. Ceci pourrait expliquer la croissance relativement plus lente des micro-organismes, sur les produits traités à + 85°C.

TROISIEME PARTIE

**LES MOYENS D'EVALUATION DE LA TEXTURE :
ADAPTATION AU POISSON**

INTRODUCTION

"La texture est l'ensemble des propriétés rhéologiques et de structure d'un produit alimentaire, perceptible par les mécanorécepteurs, les récepteurs tactiles, éventuellement visuels et auditifs" (AFNOR, 1977).

L'analyse organoleptique constitue donc la première méthode d'évaluation de la texture, et plus généralement des qualités gustatives des aliments (LARMOND, 1971 ; TOURAILLE, 1988). Elle se fonde sur l'évaluation psychologique des sensations physiologiques induites par la consommation d'un produit alimentaire. Cela signifie que les réponses varient avec les individus, leur état de santé, leur âge... Nous verrons qu'il est nécessaire de prendre certaines précautions lors de la mise en oeuvre de cette méthode.

Ces précautions rendent parfois difficile l'utilisation de cette méthode, qui peut alors être complétée par une évaluation instrumentale de la texture. Mais les mesures physiques ne prennent en compte qu'un nombre limité de paramètres, qui peuvent ne pas représenter correctement l'ensemble des variables intégrées par l'analyse sensorielle. La validation de ces mesures passe par l'étude de leur corrélation avec les résultats d'analyse sensorielle.

I - LES MOYENS DISPONIBLES

I.1 - L'ANALYSE ORGANOLEPTIQUE

I.1.1 - Les différentes approches

L'analyse organoleptique est la méthode par laquelle un groupe d'individus jugent, par leurs cinq sens, les caractéristiques gustatives des produits qu'ils consomment.

La mise en oeuvre de cette méthode permet deux approches (CARDELLO et al, 1982a ; CLEMENT, 1989) (figure n° 20).

- l'une "affective" ou "hédonique" :

elle consiste à demander à une large population de quantifier la satisfaction qu'elle éprouve à la consommation de produits, et de dire sa préférence. Le but final est d'estimer, par une méthode statistique, l'attitude de la population entière concernée.

La difficulté réside ici dans la représentativité de la population sondée.

- l'autre analytique :

dans ce cas, un groupe restreint de personnes bien entraînées analyse les qualités gustatives de produits (flaveur, texture). Ces personnes différencient les produits (analyse discriminative) et caractérisent les différences observées (analyse descriptive).

I.1.2 - Choix de la méthode

Le choix entre les deux possibilités précédemment citées dépend de la question posée (CARDELLO et al., 1982a). Pour notre part, l'objectif est analytique : nous voulons, dans le cadre de l'étude sur la cuisson sous-vide du poisson, caractériser les conséquences des traitements thermiques appliqués.

C'est pourquoi nous nous sommes intéressés plus particulièrement à ce qu'il est convenu d'appeler "l'analyse sensorielle".

I.1.3 - Mise au point de la méthode

I.1.3.1- Choix du groupe

Le jury constitue "l'outil analytique". Sa fiabilité et sa sensibilité conditionnent la validité des résultats obtenus (LARMOND, 1971).

C'est pourquoi une sélection semble indispensable (BRUNON et VAISEY, 1969 ; AMERINE et al., 1965).

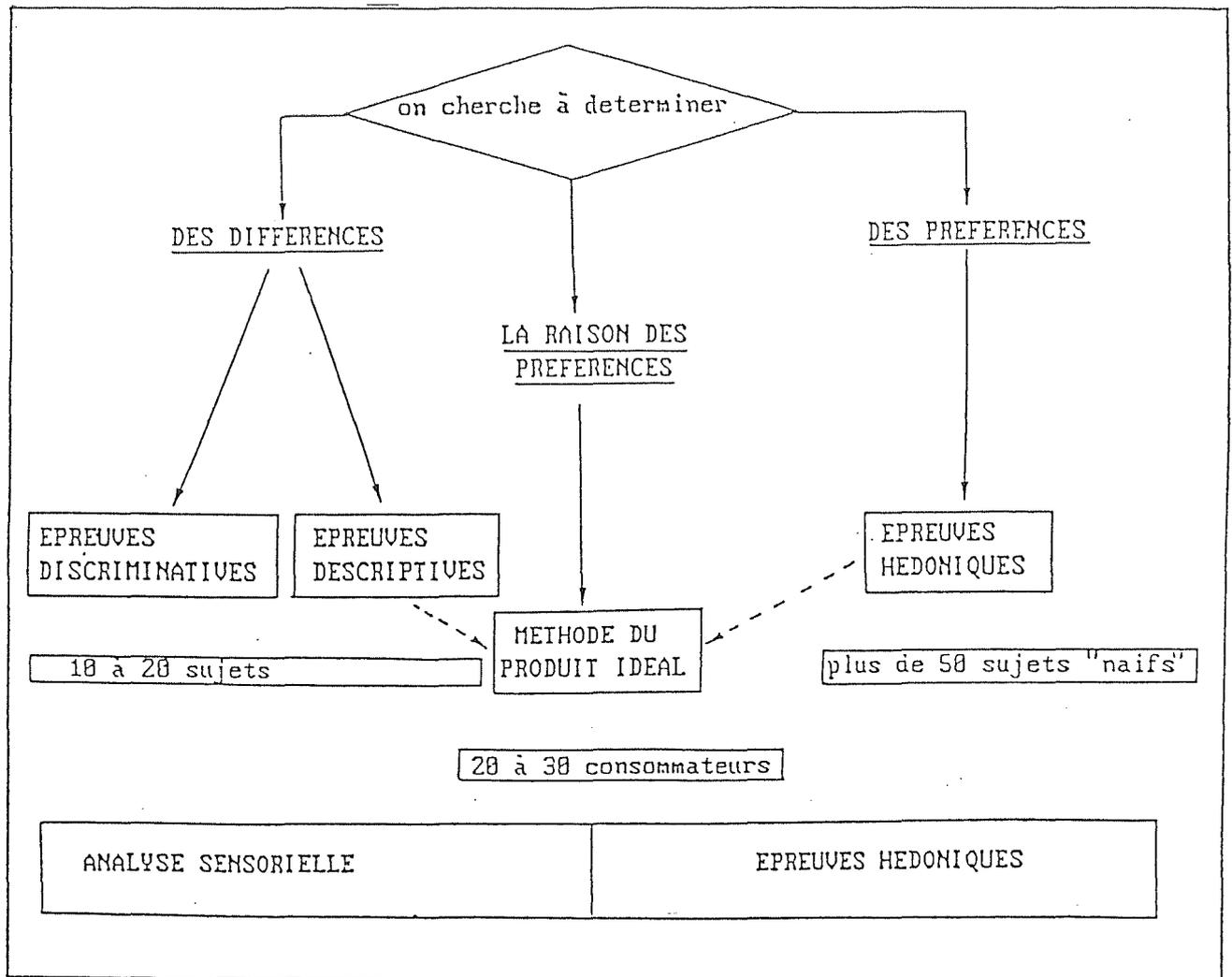


Figure n°20 : diagramme de choix des épreuves sensorielles
(d'après CLEMENT, 1989)

Cette sélection peut se faire de deux façons (SAUVAGEOT, 1982) : l'une prend en compte des données non sensorielles (état de santé, sexe, âge...), tandis que l'autre explore certaines aptitudes sensorielles au moyen d'une batterie de tests, qui varient selon les produits à tester.

Mais le facteur limitant fréquent, et auquel nous n'échapperons pas dans cette étude, est la disponibilité du jury : BOISSEAU (1976) considérait que, compte-tenu des congés, des maladies, des travaux urgents..., il fallait disposer d'un capital de trois dégustateurs par place au minimum, pour faire fonctionner le jury cinq à six fois par mois.

Par conséquent, plus que sur la sélection, c'est sur l'entraînement du groupe que devront porter les efforts de l'organisateur (TOURAILLE, 1988).

Cette phase est essentielle car au minimum le juge doit savoir (SAUVAGEOT, 1982) :

- manipuler le produit en question,
- analyser ses propres perceptions,
- communiquer ses perceptions au moyen d'une terminologie adaptée.

Elle peut être plus ou moins poussée selon la finesse de l'analyse souhaitée ; elle peut porter sur l'ensemble des qualités gustatives (flaveur, texture, aspect) ou bien sur l'une ou l'autre uniquement (SAWYER et al., 1984).

Le nombre de juges dépend de l'hétérogénéité du groupe, et du type de produit testé (LARMOND, 1971). Il ne sera jamais inférieur à huit personnes, au risque de voir les résultats trop largement influencés par un seul individu (TOURAILLE, 1988).

I.1.3.2. - Choix du vocabulaire

Quelque soit le domaine dans lequel on se trouve, le vocabulaire varie avec les individus, leur formation, les disciplines dans lesquelles ils exercent. Il existe plusieurs termes pour désigner telle propriété, et un même terme peut être utilisé différemment par plusieurs personnes.

Pourtant l'expérimentateur doit comprendre chacun des juges pour interpréter son analyse (SAUVAGEOT, 1988). Cela signifie que le vocabulaire doit être précis, et commun à tous les intervenants de l'analyse (expérimentateur et juges). Beaucoup de gens se sont intéressés à cet aspect, et actuellement presque toutes les branches de l'alimentation possèdent un vocabulaire adapté à leur produit (SAUVAGEOT, 1988).

Pour le poisson les auteurs anglo-saxons ont mis au point des listes de termes caractérisant la flaveur, la texture... Le nombre de termes peut aller de 6 à 80... (SCOTT et al., 1986 ; SAWYER et al., 1984 ; CARDELLO et al. 1983).

L'établissement de ces listes se fait généralement grâce à des analyses préliminaires correspondant exactement aux produits testés. Dans les publications que nous avons lu la nécessité de pratiquer cette analyse préliminaire à chaque changement de produit n'est pas évoquée. Malgré tout certains auteurs la pratiquent systématiquement et elle est décrite dans leurs publications (CARDELLO et al., 1982b, 1983 ; PRELL et SAWYER, 1988, SAWYER et al., 1981, 1988).

I.1.3.3- Choix du test

Il existe toute une panoplie de tests sensoriels. Nous ne parlerons ici que de ceux qui ne nécessitent pas une formation intensive du jury. En effet nous sommes ici dans le cas d'un jury entraîné au jugement du poisson, sous toutes ces formes, mais dont la fréquence des réunions ne permet pas une expérience parfaite quant à l'analyse des sensations reçues.

- Le test triangulaire : parmi les trois échantillons présentés, deux sont identiques. Le juge doit détecter le troisième et expliciter les différences.
- Le test par paires : les échantillons sont présentés deux par deux, et doivent être comparés sur la base de critères définis à l'avance et intégrés dans un questionnaire. Ce test est celui que nous utiliserons.
- Les comparaisons multiples : plusieurs échantillons sont soumis à l'analyse avec un témoin. Celui-ci permet de détecter les déviations qui peuvent exister entre les différentes séances d'analyse.
- Le test de rang : les échantillons sont classés par les juges, selon un seul critère bien défini.

I.1.3.4- Conditions des mesures

I.1.3.4.1 - L'environnement

Dès lors que l'on s'attache au caractère analytique des dégustations, il est légitime de prétendre les pratiquer dans un laboratoire d'analyses sensorielles. Cette pièce doit alors être aménagée spécialement pour assurer un environnement propice à la concentration des juges (LARMOND, 1971 ; TOURAILLE, 1988 ; CLEMENT, 1989).

Sa conception doit permettre de contrôler un maximum de facteurs extérieurs, notamment :

- les odeurs : l'air entrant doit pouvoir être filtré et ne pas amener d'odeurs parasites dans la pièce. Sans en être éloignée, la préparation des échantillons ne doit pas avoir lieu dans la pièce où se trouvent les juges.

- l'éclairage : il doit être uniforme. L'emploi de lampes de couleur permet d'uniformiser l'aspect d'un échantillon, quand seules flaveur ou texture sont en question.

Elle doit comporter un certain nombre de box individuels pour éviter que les juges ne soient perturbés ou influencés par leurs voisins.

I.1.3.4.2 - La présentation des échantillons

Le principe fondamental qui valide toute analyse sensorielle est le test en aveugle. Il est impératif que l'anonymat des échantillons soit assuré sous peine de voir les résultats biaisés. Les échantillons doivent être identifiés d'une manière neutre et établie à l'avance.

De même il est souhaitable de laisser l'ordre de présentation des échantillons au hasard.

I.2 - L'EVALUATION INSTRUMENTALE DE LA TEXTURE

Les techniques instrumentales sont encore très peu utilisées pour apprécier la texture du poisson. Quand elles le sont, elles permettent tout au plus de mesurer, et de comparer, certains paramètres (LEE et TOLEDO, 1976 ; OLSON et al, 1976 ; FEINSTEIN et BUCR, 1984 ; HATAE et al, 1984 ; ISO et al, 1984a, 1984b, 1986 ; KANO et al, 1988).

Nous allons voir dans un premier temps, qu'alliées à la rhéologie, ces mesures peuvent permettre d'estimer les modifications, à l'échelle microscopique, provoquées par un traitement technologique quelqu'il soit, et en particulier la cuisson.

Nous nous intéresserons ensuite aux méthodes et aux appareils conçus pour l'estimation de la texture de la viande. Nous essaierons de les adapter au produit particulier qu'est le poisson.

I.2.1 - Bases théoriques de la rhéologie

I.2.1.1- Définition de la rhéologie

Ce terme a été créé par EC. BINGHAM en 1928 pour désigner "la science qui étudie les déformations et l'écoulement de la matière".

Cette définition, sommaire parce qu'il était difficile à l'époque d'entrevoir toutes les possibilités qu'offrait cette science fondamentale, a été modifiée et complétée au fur et à mesure des progrès réalisés. Mais tout comme la suivante :

"la rhéologie est une branche de la physique qui étudie l'écoulement ou les déformations des corps sous l'effet des contraintes qui leur sont appliquées, compte-tenu de la vitesse d'application de ces contraintes, ou plus généralement de leur variation en fonction du temps" (MANDEL, 1969), elle ne s'intéressait qu'aux matériaux inertes.

Ce n'est qu'il y a environ 30 ans que les industries alimentaires ont commencé à prendre conscience des possibilités d'investigation qu'elle offre. De ce point de vue la définition donnée par LEFEBVRE (1988) :

"l'objet de la rhéologie est l'étude des processus par lesquels les matériaux dissipent ou emmagasinent l'énergie mécanique qu'ils reçoivent",

est intéressante parce qu'elle illustre parfaitement la capacité de cette science de tenir compte de l'aspect dynamique inhérent aux produits alimentaires.

C'est ici qu'il faut voir l'origine de notre intérêt pour cette science fondamentale car ces processus dépendent d'une part des modalités et de l'intensité de la perturbation mécanique à laquelle est soumis le matériaux, d'autre part à la structure de celui-ci (LEFEBVRE, 1988) : si nous voulons comprendre ce qui se passe dans le produit lors du traitement thermique, et appréhender les changements occasionnés par celui-ci, nous devons passer par la rhéologie.

Remarque :

Des méthodes et des notions relevant de la rhéologie sont en usage depuis longtemps dans un certain nombre de domaines des Sciences et de la Technologie Alimentaire. Cependant, trop souvent ces méthodes sont mises en oeuvre de façon mal appropriée ou empirique, de telle sorte que les résultats en sont peu sûrs ou de portée très limitée et leur interprétation difficile voire impossible, car leurs utilisateurs ne maîtrisent pas les principes sur lesquels elles reposent et les concepts de base de la rhéologie, ou ne s'en soucient pas (LEFEBVRE, 1988).

I.2.1.2- Comportements rhéologiques des produits alimentaires

I.2.1.2.1 - Les comportements fondamentaux

La réponse d'un matériau, en terme de déformation, peut suivre deux lois fondamentales :

1. la déformation est finie (c'est un solide), instantanée (le comportement est indépendant du temps) et totalement réversible (l'énergie mécanique reçue est intégralement restituée lorsque la contrainte est supprimée) (figure n° 21).

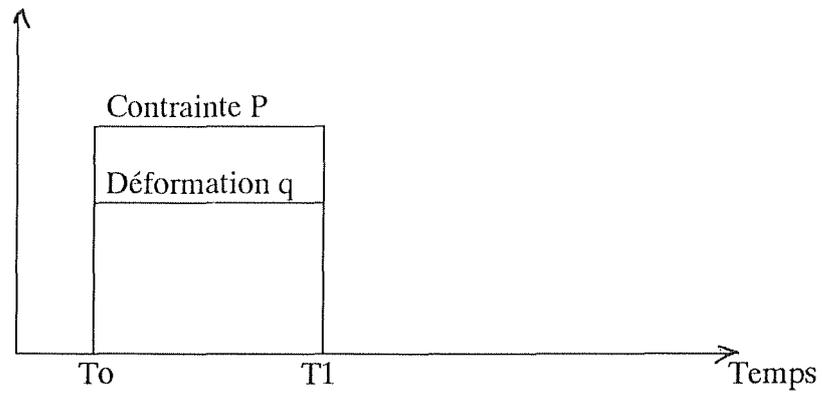


Figure n° 21 : Comportement du solide purement élastique

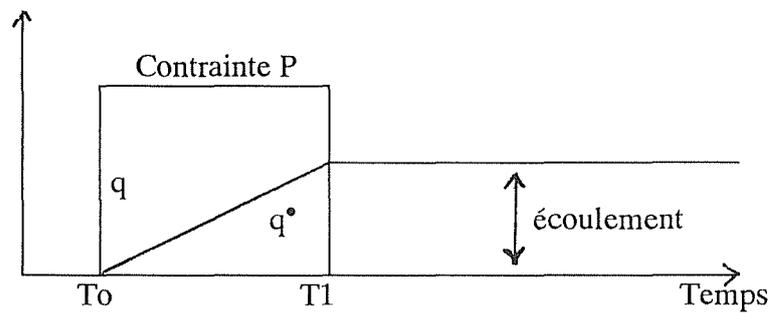


Figure n° 22 : Comportement du liquide purement visqueux

Nous sommes en présence d'un solide purement élastique. Son modèle mécanique est le ressort. L'élasticité idéale est une approximation valable pour la plupart des solides sous contrainte suffisamment faible (MANDEL, 1969) et pour autant que les déformations relatives demeurent également faibles, inférieures à 1 % (CHEPTEL et CHEPTEL, 1976b). Elle se traduit par une relation entre contrainte (P) et déformation (q) :

$$P = f(q)$$

Pas nécessairement linéaire, cette relation l'est si la contrainte est modérée, et nous sommes alors dans le domaine de la loi HOOKE : $P = G.q$.

La constante G, appelée module d'élasticité, est une caractéristique du matériau.

2. La déformation augmente indéfiniment et proportionnellement au temps (écoulement par lequel la dissipation de l'énergie est instantanée). La déformation est, dans ce cas, irréversible (l'énergie mécanique reçue est intégralement dissipée en chaleur) (figure n° 22).

Nous avons alors affaire à un liquide purement visqueux. Son modèle mécanique est l'amortisseur à liquide, où la seule résistance qui s'oppose au mouvement du piston est la viscosité du liquide (CHEPTEL et CHEPTEL, 1976b).

La viscosité pure se traduit pour une équation mettant cette fois en relation la contrainte (P) et la vitesse de déformation (q°) :

$$P = f(q^\circ)$$

Cette relation est linéaire dans les domaines de contraintes faibles :

$$P = \eta q^\circ$$

et constitue la loi de NEWTON. La constante η , appelée coefficient de viscosité, est une caractéristique du matériau.

Ces comportements peuvent s'expliquer de la façon suivante :

L'application de la contrainte (perturbation mécanique) provoque dans tout les cas une réponse mécanique de la part du matériau : c'est la déformation, dont les modalités varient.

Si les éléments constitutifs du matériau ne peuvent glisser les uns par rapport aux autres, il n'y a pas dissipation de l'énergie mécanique. Le matériau peut donc la restituer intégralement lorsque la contrainte cesse. Il revient alors à son état initial. La déformation est réversible, et le matériau est considéré comme élastique.

Si par contre des glissements sont possibles, les frottements qui ont lieu à cette occasion, transforment l'énergie mécanique en chaleur. Cette forme d'énergie n'étant pas restituable, le matériau est incapable de revenir à son état initial. La déformation est irréversible, et le matériau visqueux.

I.2.1.2.2 - Les corps visco-élastiques

La plupart des matériaux, et en particulier les produits alimentaires, sont des systèmes complexes : leurs composants sont nombreux et les liaisons qu'ils établissent entre eux sont multiples. Certaines de ces liaisons autorisent des glissement des molécules entre elles, d'autres sont beaucoup plus rigides. Le degré de souplesse de ces différentes liaisons conditionne le comportement du produit, qui se situera entre élasticité pure et viscosité.

On comprend alors que le comportement du matériau complexe varie de façon imprévisible, avec l'intensité de la contrainte, mais également avec la direction de la contrainte : la souplesse des liaisons n'est pas équivalente dans les trois dimensions.

I.2.1.2.3 - Les comportements non monotones

Ce type de comportements rhéologiques s'observent lorsque l'énergie mécanique emmagasinée excède l'énergie de cohésions du matériau, ou bien quand les frottements ne suffisent plus à la dissipation de l'énergie en chaleur. Le surplus d'énergie mécanique provoque alors une rupture dans le matériau.

Les modèles mécaniques utilisés pour représenter ces comportements sont le patin () et la butée ().

I.2.1.3- Les modèles mathématiques

La combinaison en série et/ou en parallèle d'éléments élastiques (ressorts), visqueux (amortisseurs) et d'éléments figurant la rupture (patin, butée) permet de reproduire les comportements de la plupart des produits alimentaires. La complexité du produit augmente le nombre et l'agencement des éléments.

Ainsi l'eau pure peut être considérée comme un corps visqueux sous certaines conditions de température, tandis que la présence de molécules dans une solution lui confèrent un caractère visco-élastique (CHEPTEL et CHEPTEL, 1976b).

Le muscle, de mammifère ou de poisson, peut être considéré comme un mélange contenant de l'eau et des molécules de tailles variées. Plusieurs modèles mathématiques ont été proposés pour reproduire son comportement. Le propre d'un modèle étant de reproduire l'ensemble des situations possibles, pour un produit donné, ils sont souvent modifiés pour faire face à une situation nouvelle.

Le modèle qui servira de base à notre étude est en cours d'élaboration à l'INRA de NANTES (LAROUCHE, résultats non publiés). Sa représentation actuelle est donnée par la figure n° 23.

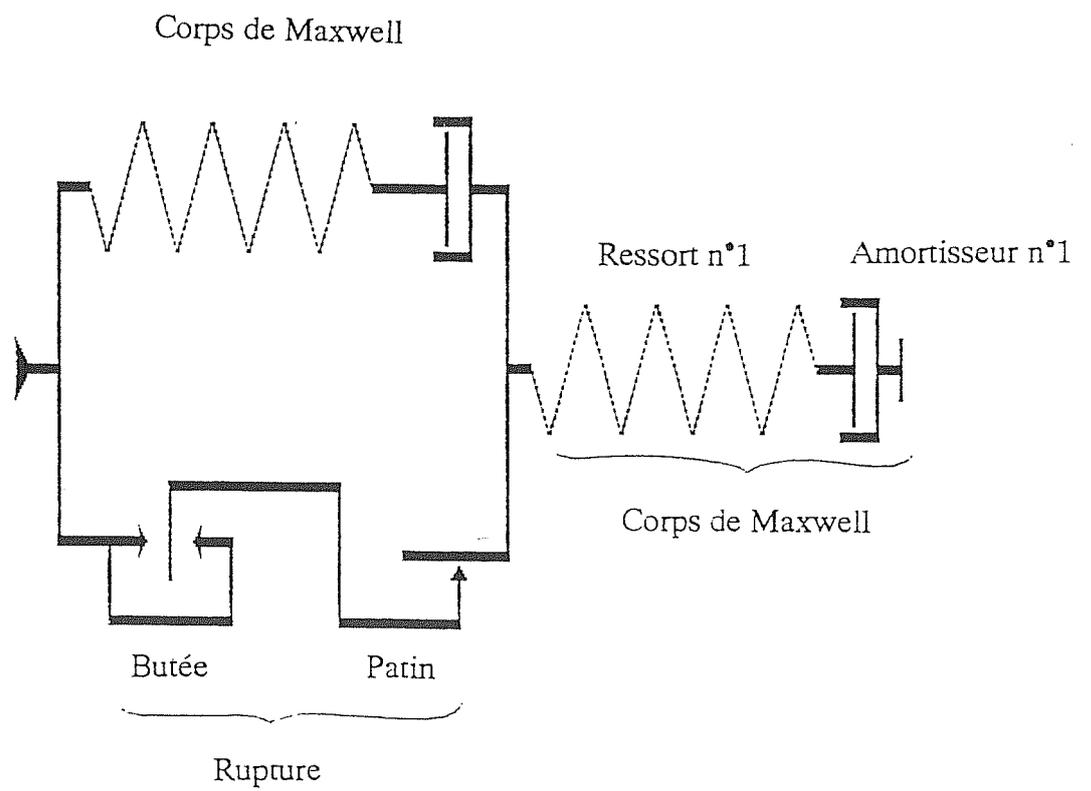


Figure n°23 : modèle mathématique utilisé

I.2.2 - Les mesures rhéologiques

La détermination des propriétés rhéologiques des aliments peut s'effectuer de deux manières :

- l'une utilise des tests fondamentaux, pour tenter d'appréhender les propriétés intrinsèques du produit. Celles-ci ne dépendent ni de la géométrie de l'échantillon, ni des conditions d'application des contraintes, ni de l'appareillage utilisé. Dans ces conditions sont mesurés le module d'élasticité, le coefficient de viscosité, le module de cisaillement...
- l'autre utilise des tests empiriques, qui constituent à appliquer, dans une ou plusieurs directions, une ou plusieurs contraintes. On enregistre alors l'évolution d'un ou plusieurs paramètres (force, déplacement...) au cours du temps. On peut ensuite calculer des grandeurs caractéristiques (force ou profondeur de pénétration, énergie d'extrusion...). Les résultats obtenus sont tributaires des conditions opératoires (taille de l'échantillon, énergie mise en jeu...).

I.2.2.1- Choix de la méthode

L'approche fondamentale n'est envisageable que pour des systèmes relativement simples et qui peuvent être considérés, en première approximation, comme isotropes dans les trois dimensions.

Les systèmes complexes et anisotropes ne peuvent être étudiés que par investigations dans toutes les directions. La comparaison des modèles mathématiques ainsi obtenus doit conduire à l'élaboration d'un modèle unique, capable de reproduire toutes les situations rencontrées.

Bien sûr, si cette solution est concevable, elle n'en est pas moins longue et difficile à mettre en oeuvre. Il est donc nécessaire de chercher des simplifications pour limiter les investigations à quelques directions particulières.

Le muscle strié de mammifère se prête parfaitement à ce genre de simplification. En effet les fibres musculaires sont parallèles, et s'allongent selon le grand axe du muscle. Cette structure macroscopique est l'image d'une disposition identique à l'échelle microscopique. Le muscle présente donc une anisotropie longitudinale telle, qu'elle conditionne dans une très large mesure son comportement rhéologique global.

Pour le muscle de poisson le problème est plus délicat. En effet les fibres musculaires sont courtes, et si elles sont parallèles au grand axe du muscle, la structure d'ensemble n'en présente pas moins des images contournées. La réduction de l'étude à une seule direction est donc difficile, comme l'est la détermination des directions secondaires.

I.2.2.2- Choix de l'appareil de mesure

I.2.2.2.1 - Introduction

Par sa nature, l'évaluation instrumentale de la texture ne peut intégrer que certains paramètres physiques du produit testé ; la mastication, quant à elle, fait intervenir des modifications d'ordre chimiques et physiques. Cette réduction du nombre de paramètres pris en compte réduit la corrélation avec l'analyse sensorielle, et le risque est grand de mesurer des variables inutiles.

Parmi les paramètres importants à ne pas omettre, se trouve la vitesse de déplacement de l'outil assurant la contrainte. En effet, si au premier abord cette variable n'est pas dominante, certains auteurs ont montré que les résultats obtenus peuvent s'inverser en fonction de la vitesse de déplacement (SHAMA et SHERMAN, 1973).

Les vitesses qui interviennent dans la bouche sont importantes et peu d'appareils peuvent les mettre en oeuvre. L'idéal serait, selon VOISEY (1975) de travailler à plusieurs vitesses, pour ensuite extrapoler le comportement aux vitesses de mastication.

Certains auteurs ont imaginé des appareils "imitatifs" qui recréent en partie le travail effectué dans la cavité buccale lors de la mastication. Malheureusement les phénomènes qui interviennent sont d'une complexité qui rend l'analyse théorique insurmontable. La multiplication des contraintes ne permet pas de discerner les applications et les effets de chacune.

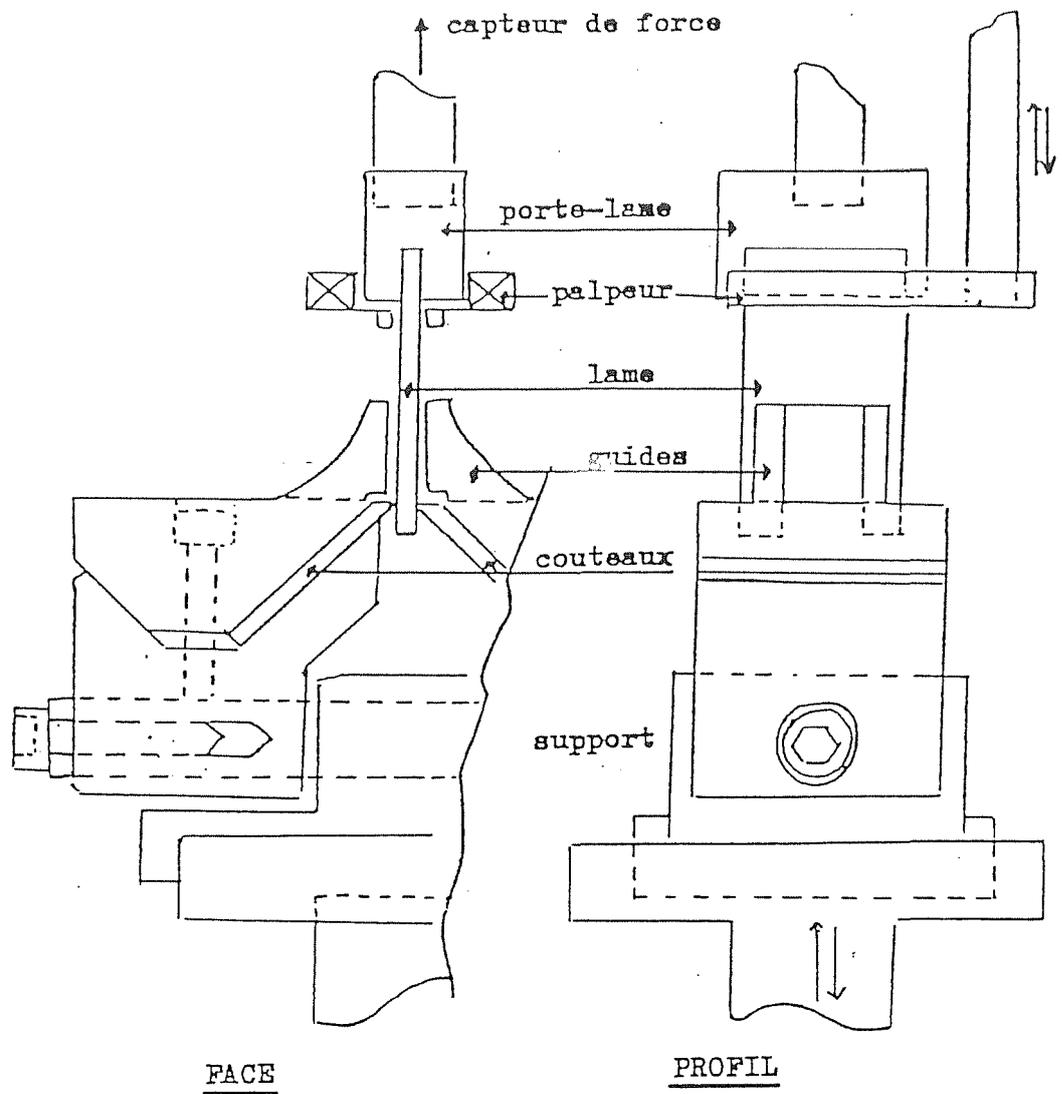
Il semble préférable de se limiter à l'application d'une contrainte simple (compression ou cisaillement notamment). Mais il faut prendre garde de maîtriser parfaitement son application (direction, vitesse), sous peine de ne pouvoir analyser les résultats obtenus.

Nous avons mis en annexe une documentation sur les appareils "imitatifs" (masticomètres) les plus utilisés, et les appareils INRA. Cette documentation est issue de la thèse de NOEL : "Etudes des propriétés rhéologiques des corps semi-solides mesurées à des fréquences de 0,5 à 20 Hz" (1980) (annexe n° 9).

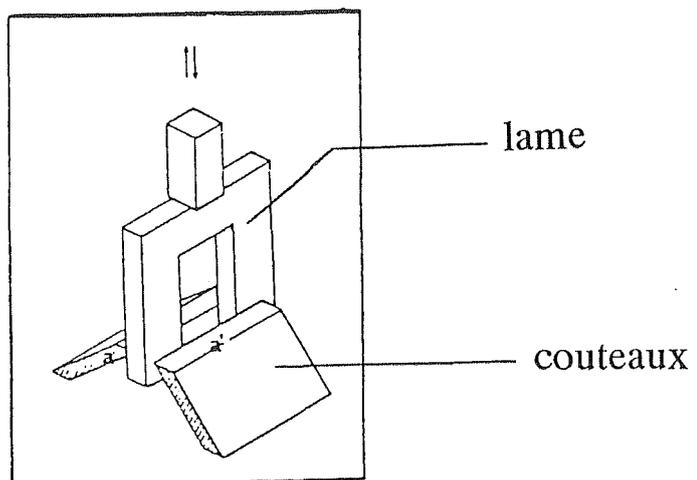
I.2.2.2.2 - L'appareil INRA

Il ressort de cette documentation que l'appareil INRA est un des seuls à permettre le contrôle rigoureux de la contrainte, si les précautions d'usages sont prises. Aujourd'hui, l'appareil fonctionnel à l'INRA de Nantes permet le cisaillement, avec une lame de 3 mm d'épaisseur, et la compression, avec deux outils de surfaces différentes (1 et 2 cm) (figure n° 24). La vitesse de déplacement est de 3 mm/s et ne peut être modifiée.

L'appareil est couplé avec un micro-ordinateur qui permet l'acquisition des données et un pré-traitement des résultats.



1 - Vue d'ensemble



2- Vue de l'outil de cisaillement

Figure n°24 : appareil INRA

I.2.2.3- Choix de la présentation du produit

Certains auteurs ont pratiqué des tests sur du muscle haché (HSIEH et REGENSTEIN, 1989 ; LAROCHE, résultats non publiés). Cela présente l'avantage d'homogénéiser le produit, et les corrélations avec l'analyse sensorielle sont bonnes.

Il est difficile à l'heure actuelle de se faire une opinion sur cette méthode. Elle fait perdre des informations qui nous semblent essentielles (orientation, état de fibres), mais elle simplifie le travail analytique. Et la question est bien de savoir s'il vaut mieux un travail simplifié, mais facile à interpréter, plutôt qu'une somme d'informations difficiles à analyser...

Nous avons tout de même choisi de ne pas nous priver des informations concernant la structure du produit. Nous avons travaillé des échantillons entiers.

II - ETUDE EXPERIMENTALE

II.1 - LES ANALYSES SENSORIELLES

II.1.1 - L'analyse préliminaire

Nous avons pratiqué cette analyse pour établir un vocabulaire commun à tous les juges.

L'IFREMER dispose d'un groupe de 50 personnes bien entraînées à la dégustation de poissons. Nous en avons conviées 20 à venir goûter deux échantillons de filets de truites Fario, l'un cuit à + 65°C, l'autre à + 85°C.

La discussion qui a suivi a permis de formaliser les perceptions de chacun des juges, et de trouver un ensemble de termes clairs pouvant s'y appliquer.

C'est à partir des observations faites au cours de cette première analyse, que le questionnaire définitif, proposé au jury lors des séances ultérieures, a été conçu (annexe n° 10).

II.1.2 - Les analyses

II.1.2.1 - Préparation

Nous avons établi une liste de dix personnes, parmi les plus disponibles, pour assister, le plus assidûment possible, aux séances. Mais, il nous a fallu souvent faire appel à d'autres personnes pour emplir les dix box que compte le laboratoire d'analyse de l'IFREMER.

Nous avons pratiqué des tests par paire :

Les juges étaient appelés à analyser deux échantillons, homologues en ce qui concerne le jour de cuisson et la durée de stockage au froid, et différents par la température de traitement (+ 65°C et + 85°C).

Les échantillons étaient identifiés par un code à trois chiffres tirés au hasard par l'opérateur avant la séance, et présentés aux juges dans un ordre laissé au hasard.

Les échantillons étaient réchauffés selon une procédure précise (annexe n° 11).

II.1.2.2 - Traitement des informations

Le questionnaire comportait 16 variables. La somme d'informations était telle que nous avons choisi, dans un premier temps, de les traiter par une méthode descriptive : l'analyse en composantes principales (ACP) (annexe n° 12).

Ainsi, nous avons observé graphiquement :

- la dispersion des échantillons,
- la corrélation entre les différents variables,
- les tendances dues à la température, au numéro de cuisson, à la durée de stockage.

II.1.2.2.1 - Les variables

Si nous nous intéressons aux plans (1-2), (figures n° 25) nous pouvons dégager trois groupes de variables distincts :

- le premier en rapport avec la texture préliminaire (TEX2, TEX3) que nous pourrions qualifier de Texture "visuelle" ou "manuelle",
- le second en rapport avec la texture en bouche (EAU, CHA1 et CHA2),
- l'autre en rapport avec la flaveur (ODE1, ODE3, GOU3), qui peut être désigné sous le terme "Flaveur globale",

L'axe n° 3 semble expliquer l'aspect visuel du produit (SRF1, SRF2 et SRF3).

Certaines variables semblent redondantes :

- la flaveur globale pourrait être quantifiée par une seule variable,

Plot of Simple Correlations

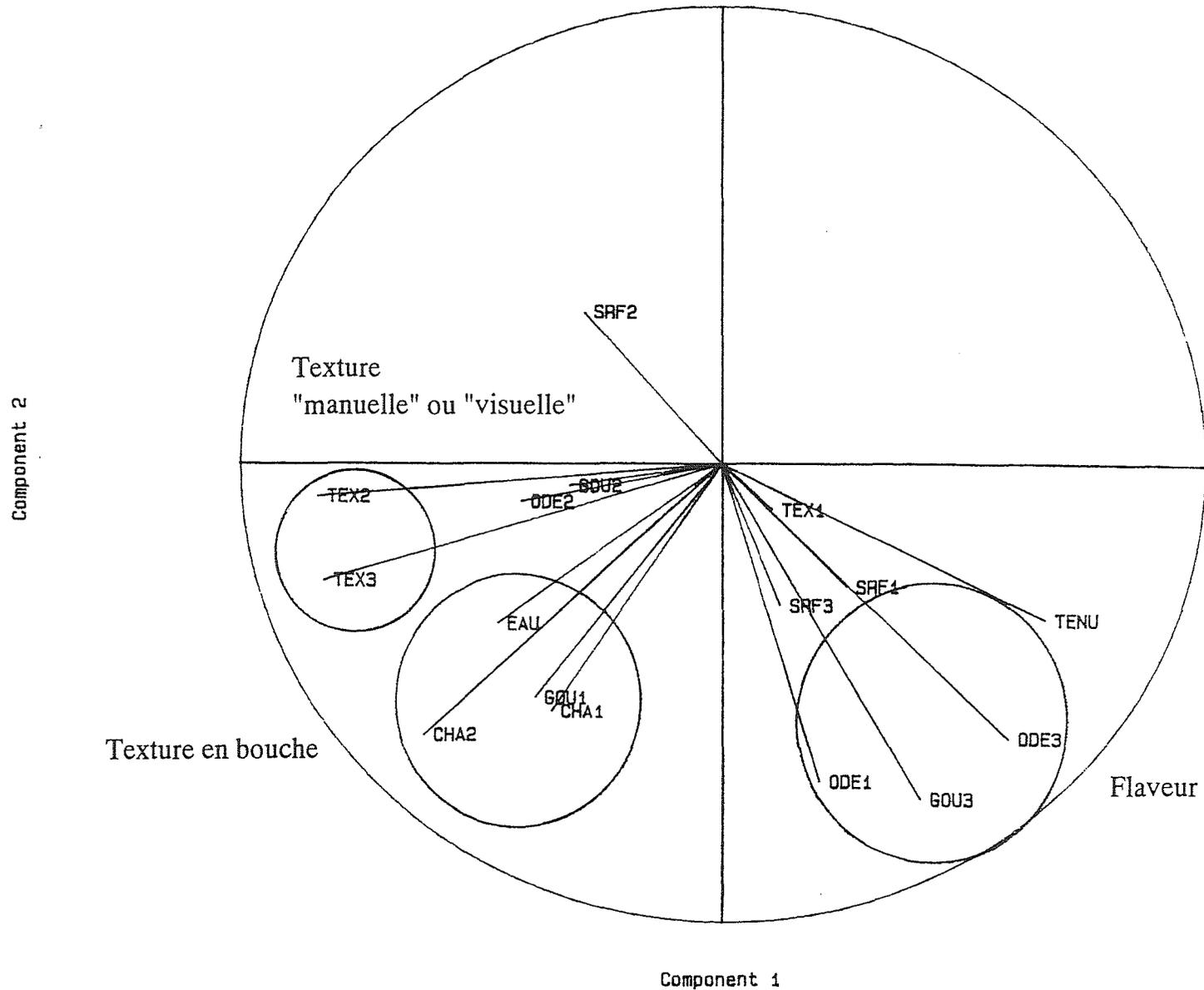


Figure n°25 : représentation des variables dans le plan (1-2) déterminé par ACP

- les variables GOU1, ODE2, TEX1, GOU2 et TENU ne semblent pas apporter d'informations supplémentaires.
- les variables SRF1, SFR2 ET SRF3 peuvent être groupées en une seule qui quantifierait l'aspect visuel du produit.

L'analyse pourrait donc se limiter à 3 ou 4 variables :

- texture apparente
- texture en bouche
- flaveur
- aspect

Le travail du jury, et le dépouillement, s'en trouveraient facilités.

Cela confirme ce qu'affirment certains auteurs, à savoir que l'analyse sensorielle du poisson est dépendant² de deux variables principales : flaveur et texture. La prédominance de l'une ou de l'autre dépend surtout de l'état de fraîcheur du poisson (BREMNER, 1977, 1978 ; LASLETT et BREMNER, 1979 ; WESSON et al., 1979).

II.1.2.2.2 - Les Echantillons

Les échantillons sont très dispersés (figures n° 28, 29)

Il n'apparaît pas de tendance particulière :

- pas d'effet température

Par contre, il paraît intéressant de noter que la durée de stockage longue (7 correspond à J21) se retrouve surtout dans la zone "Flaveur globale" (ODE1, ODE3, GOU3).

La température de cuisson concernée est essentiellement + 65°C sauf un cas : un échantillon + 85°C de la cuisson n° 1.

Ceci confirmerait que la cuisson n° 1 a bien été insuffisante pour les échantillons cuits à + 85°C, mais aussi que les échantillons traités à + 65°C sont instables en stockage prolongé au froid.

II.2 - LES MESURES INSTRUMENTALES

Le protocole mis en place pour ces mesures est consigné en annexe n° 13.

Durant les expérimentations nous avons dû remplacer le capteur de force, endommagé lors d'une manipulation, par un capteur d'une précision beaucoup moins bonne. L'échelle de mesure du

Représentation des individus sur les axes 1 et 2

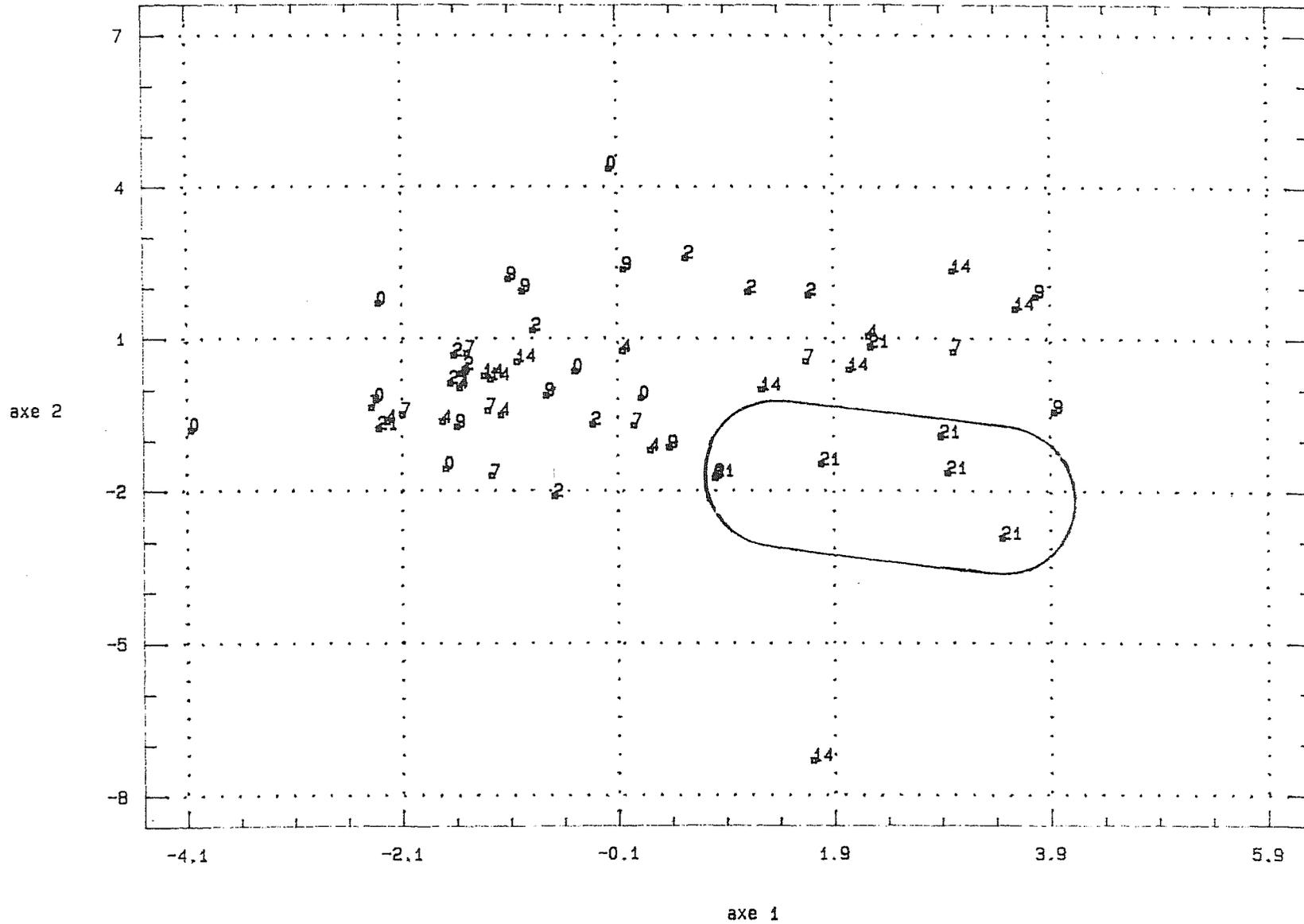


Figure n°28 : dispersion des échantillons dans le plan (1-2)

Plot of Principal Components

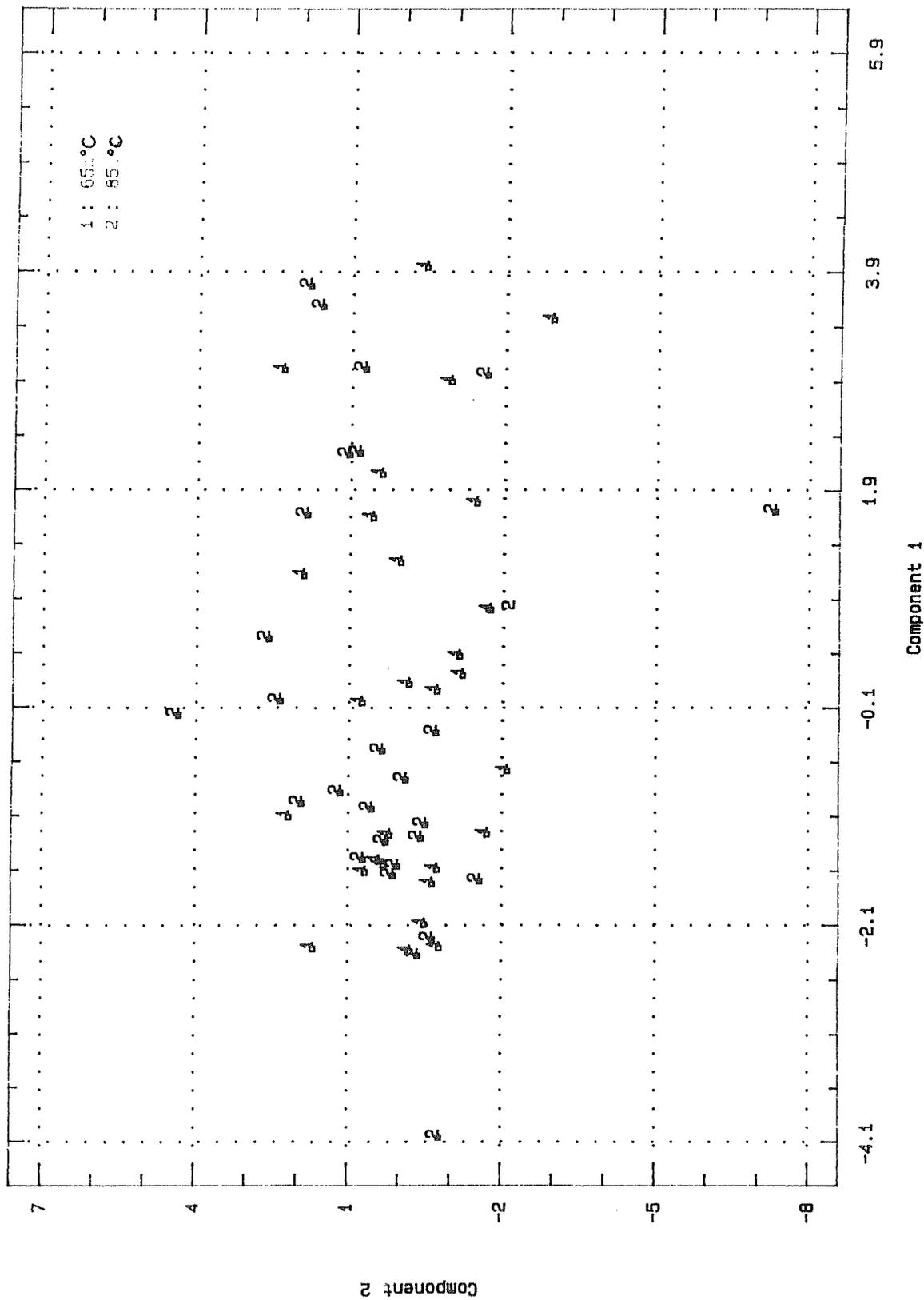


Figure 29 : dispersion des échantillons dans le plan 1d

premier allait de 0 à 20 déca-newtons, tandis que le second pouvait mesurer des forces allant jusqu'à 100 déca-newtons. Ce facteur d'imprécision supplémentaire nous amène à prendre des précautions quant à la signification des résultats obtenus.

II.2.1 - Enregistrement et prétraitement des mesures

Le logiciel conçu pour cet appareil permet d'enregistrer 25 mesures par échantillon, en cisaillement ou compression.

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de travailler en cisaillement.

Le modèle mathématique utilisé peut reproduire trois types de situations (figure n° 31).

- la force maximale est proportionnelle à l'épaisseur initiale, et la droite passe par l'origine.

C'est le cas n° 1 : $F = aX$, qui correspond au comportement "élastique" (il n'y a élasticité réelle que si on observe un retour à l'état initial).

- la force maximale est proportionnelle à l'épaisseur initiale jusqu'à une valeur seuil, au-delà de laquelle elle reste constante. C'est le modèle à seuil qui correspond au comportement "plastique", ou bien à un comportement à "rupture visqueuse".

- la force maximale est proportionnelle à l'épaisseur initiale, mais la droite ne passe pas par l'origine. C'est le cas n° 2 de la figure n° 31 : $F = aX + b$, généralement observé pour la viande (SALE et TOURAILLE, 1973). Il correspond à un comportement à rupture faiblement "visqueuse" : la viscosité du produit est trop faible pour observer la rupture.

Pour chaque mesure l'appareil enregistre l'épaisseur initiale et la force maximale. Le logiciel calcule ensuite les paramètres des régressions correspondant aux trois modèles (tableau n° 10).

Dans ce travail, nous nous sommes attachés à l'étude d'un paramètre particulier : la force atteinte pour un déplacement de 10 mm (F_{10} mm).

II.2.2 - Résultats

Les graphiques présentés illustrent la grande dispersion des résultats. Les deux droites figurent les tendances (calculées par régression) du comportement des produits.

Ce ne sont que des tendances : elles doivent être confirmées par des travaux ultérieurs, et n'ont, pour le moment, aucune signification en dehors de l'expérience actuelle. Mais elles permettent quelques réflexions, et la détection de pistes de travail.

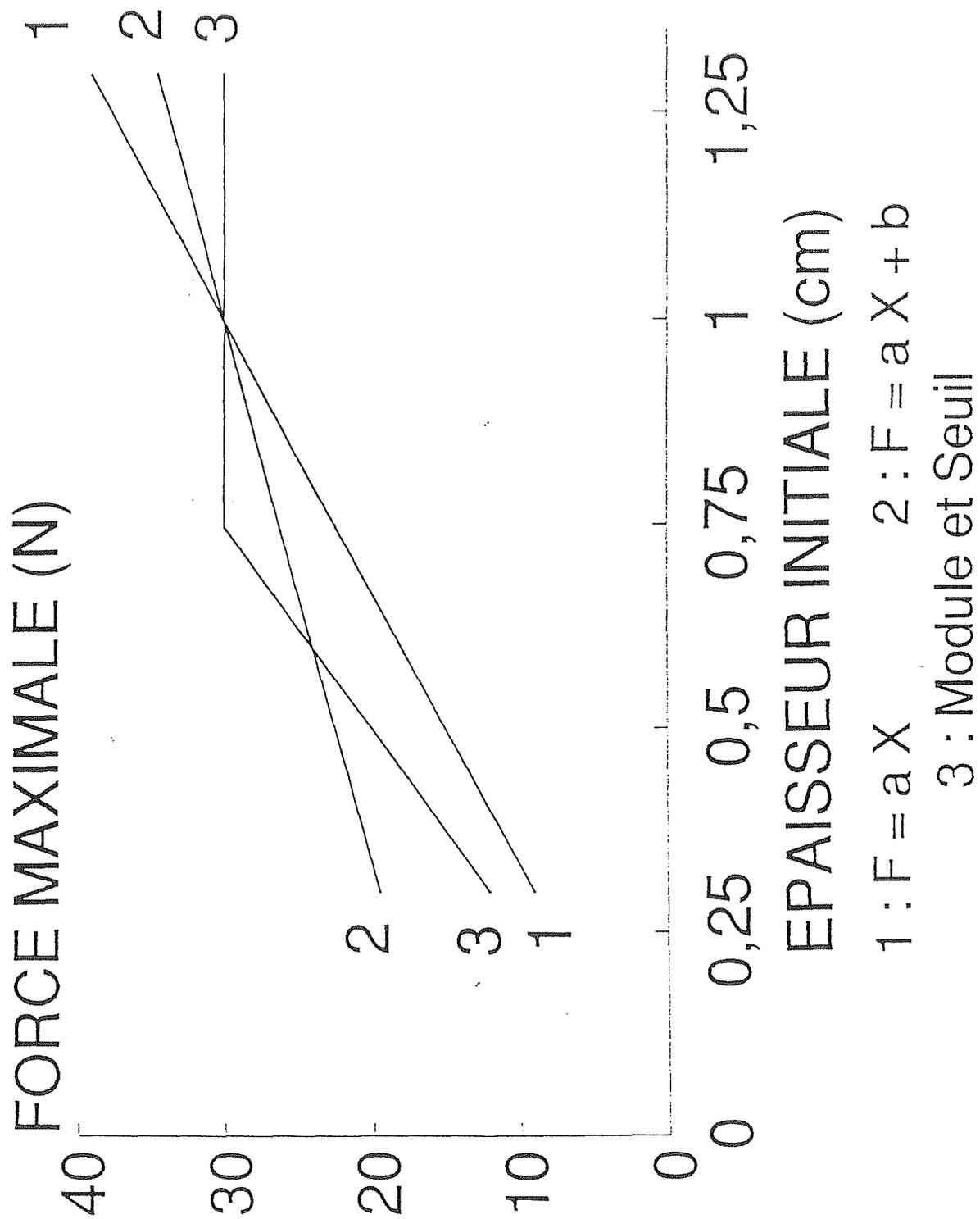


Figure n°31 : les trois comportements reproductibles avec le modèle mathématique utilisé

Echantillon 5022B760

ste

st_gen

Code outil = c2

*** Mercredi 20 Juin 1990 - 09:25 ***

Mesure	Epaisseur	Force max	Travail	Forme
1	8.36	20.49	24.49	0.137
2	8.60	24.59	30.28	0.139
3	8.60	29.89	34.57	0.128
4	9.88	24.63	41.92	0.164
5	9.96	27.31	39.69	0.141
6	9.96	34.96	53.74	0.147
7	10.60	28.57	40.32	0.130
8	10.84	32.71	52.53	0.145
9	11.08	40.37	78.94	0.173
10	11.88	49.37	100.44	0.169
11	12.04	38.40	80.04	0.171
12	12.28	48.45	112.96	0.186
13	12.68	41.65	93.91	0.176
14	12.76	44.17	99.60	0.175
15	12.76	51.30	134.19	0.203
16	12.84	49.77	117.53	0.182
17	13.40	41.31	129.26	0.229
18	14.36	43.83	144.56	0.223
19	14.52	47.17	143.93	0.207
20	14.92	50.64	159.59	0.208
21	15.96	41.79	153.59	0.227
Moyenne	11.82	38.64	88.86	0.174
Ec.Type	2.16	9.69	45.23	0.032
C.V.	18.26	25.07	50.90	18.601
Variance	4.44	89.39	1948.66	0.000

regression FORCE - EPAISSEUR $Y = 3.594 * X + 14.113$
Erreur standard estimation = 1.772 ET pente = 0.617 ET ordor = 18.338
 $r = 0.801$ $r^2 = 0.641$ test F = 1.788 test t pour a = 5.829
 $Y = 5.483 * X$ t pour non a = 0.241 ET pente = 0.602
Pour 1 cm $V(ax+b) = 50.057$ ET = 8.539 $V(ax) = 54.828$ ET = 2.370

regression TRAVAIL - EPAISSEUR AU CARRE $Y = 1.420 * X + 16.472$
Erreur standard estimation = 11.404 ET pente = 0.112 ET ordor = 24.912
 $r = 0.946$ $r^2 = 0.894$ test F = 8.443 test t pour a = 12.666
 $Y = 1.662 * X$ t pour non a = 0.640 ET pente = 0.518
Pour 1 cm $V(ax+b) = 30.669$ ET = 20.026 $V(ax) = 16.621$ ET = 5.161

regression ALLURE - EPAISSEUR $Y = 0.014 * X + 0.081$
Erreur standard estimation = 0.000 ET pente = 0.001 ET ordor = 0.043
 $r = 0.909$ $r^2 = 0.826$ test F = 4.757 test t pour a = 9.507
 $Y = 0.024 * X$ t pour non a = 0.357 ET pente = 0.002
Pour 1 cm $V(ax+b) = 0.218$ ET = 0.020 $V(ax) = 0.245$ ET = 0.009

MODELE A SEUIL : epaisseur critique = 7.36 mm
module = 6.215 ET module = 0.613 avec 12 mesures
seuil = 45.737 ET seuil = 4.051 avec 9 mesures

**Tableau n°10 : exemple de tableau récapitulatif produit
par le logiciel de calcul en mesure de
texture de cisaillement**

Nous observons tout d'abord qu'il n'y a pas de différence de force, que le chauffage soit effectué à + 65°C ou 85°C, et la durée de stockage n'a pas d'influence (figure n° 32).

Les résultats confirment, heureusement, que les constituants du produit, ici du poisson, agissent en sens opposés sur les mesures instrumentales, et sur la texture :

- la présence d'eau tend à diminuer la force nécessaire à la déformation (figures n° 33 et 34).
- la teneur en matière sèche tend à la faire augmenter (figure n° 35).

Nous pouvons diviser l'eau présente dans le produit cuit en deux parties :

- l'eau extraite à la pression, qui n'influe presque pas sur la force de déformation ; cette eau quitte rapidement le produit lors de la déformation, et ne joue effectivement pas un rôle important dans la résistance du produit.
- l'eau non extraite par la pression : celle-ci reste dans le produit malgré la contrainte, et sa présence semble avoir plus d'influence pour les produits cuits à + 65°C.

Cela peut être rapproché des conclusions obtenues précédemment, à savoir que les produits cuits à + 65°C peuvent s'avérer plus instables au stockage que les produits cuits à 85°C. Ici l'eau non extraite peut être le solvant de matière sèche "dégradée", présente en plus grande quantité dans les produits à + 65°C. Cette mise en solution, d'une plus grande quantité de matière sèche durant le stockage devrait s'accompagner d'une diminution de la force (F10 mm) au cours du stockage. Cette diminution devrait être plus marquée pour les produits à + 65°C. Nous avons vu que ceci ne s'observe pas (figure n° 32).

Il y a deux solutions à ce problème :

- ou bien les hypothèses formulées sont fausses, mais il y a lieu de les vérifier.
- ou bien la mesure de la force par cisaillement ne permet pas de discriminer suffisamment les deux traitements, et dans ce cas, il faudra trouver un autre test. Mais la sensibilité du capteur est malheureusement à mettre en cause également.

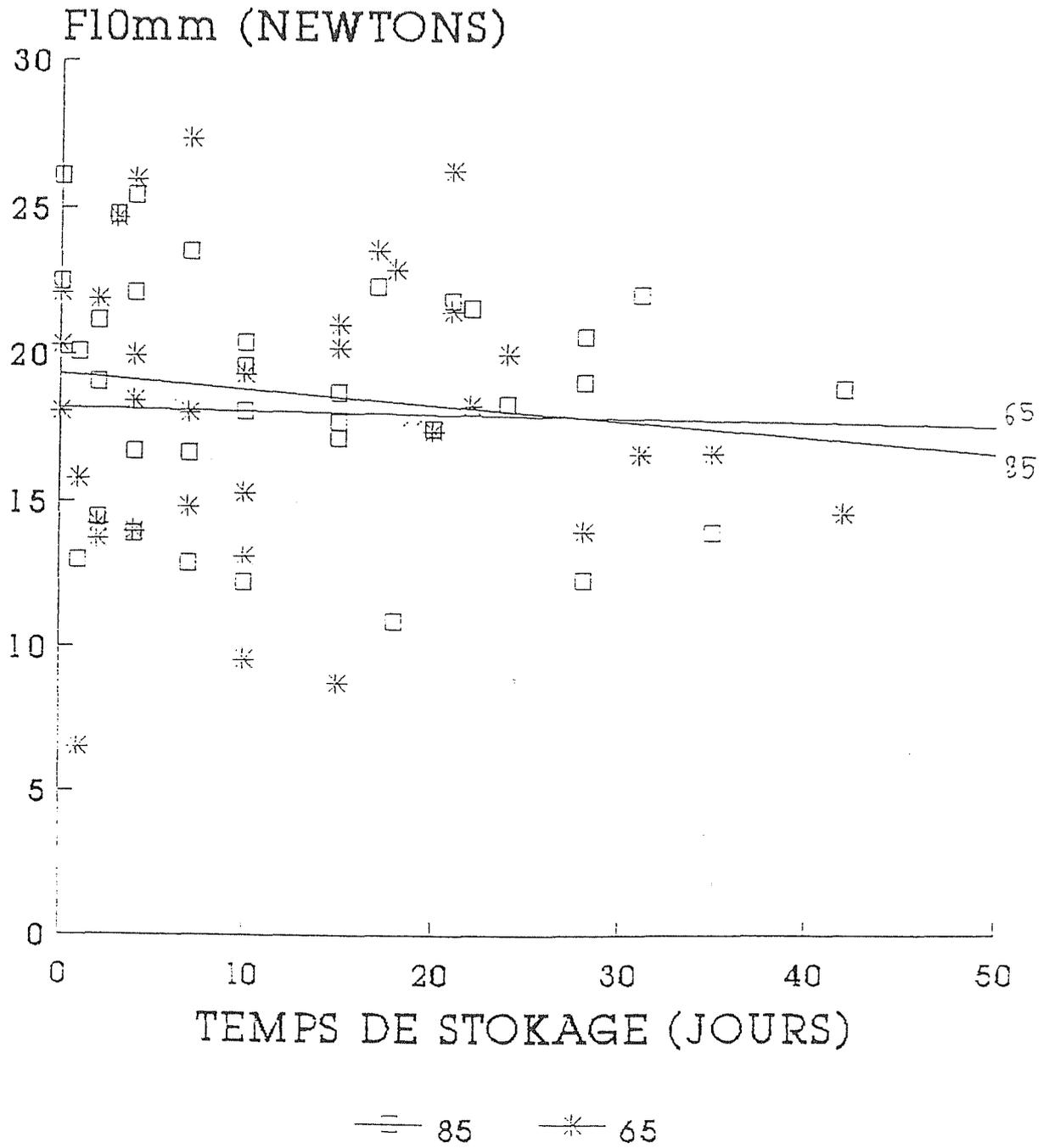


Figure n°32

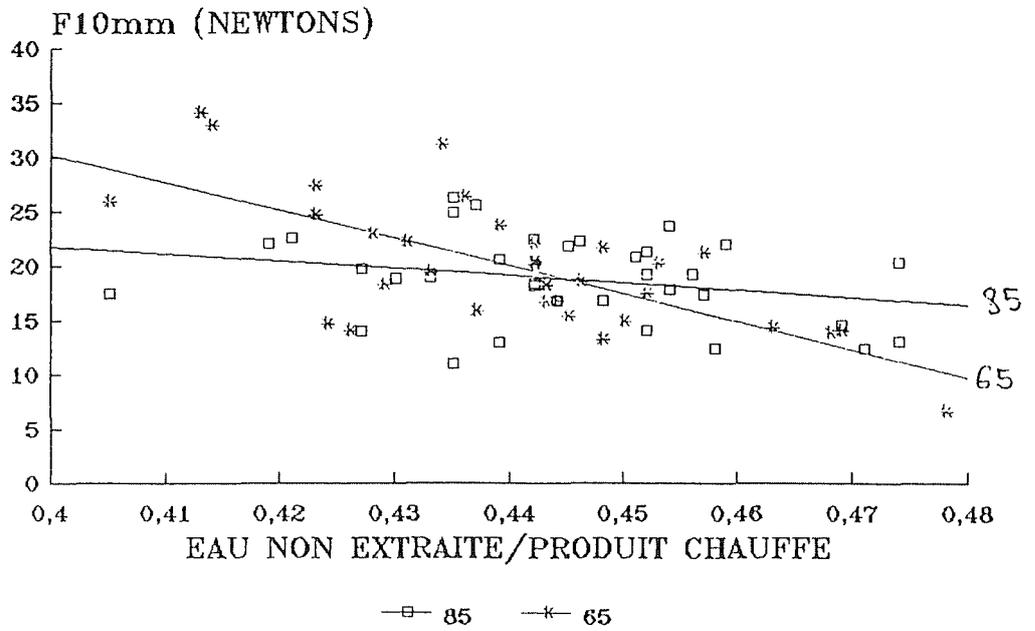
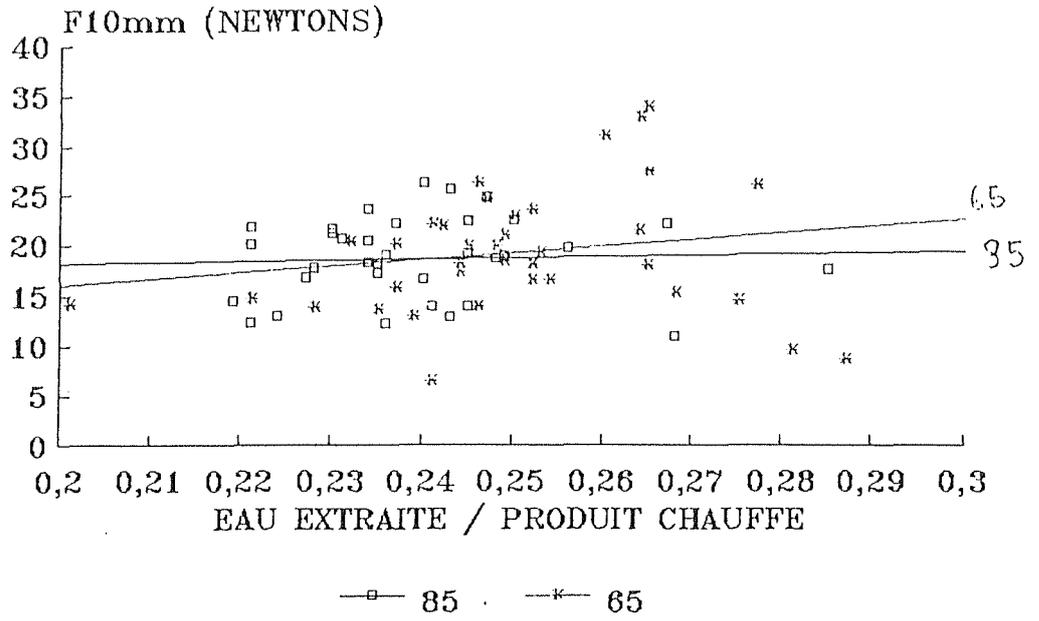


Figure n°33

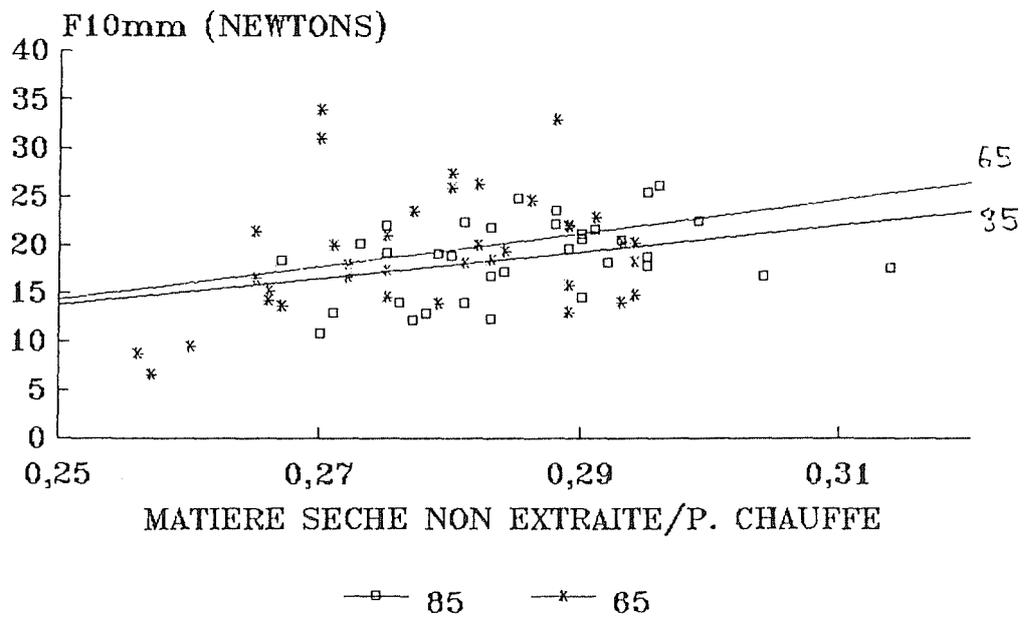
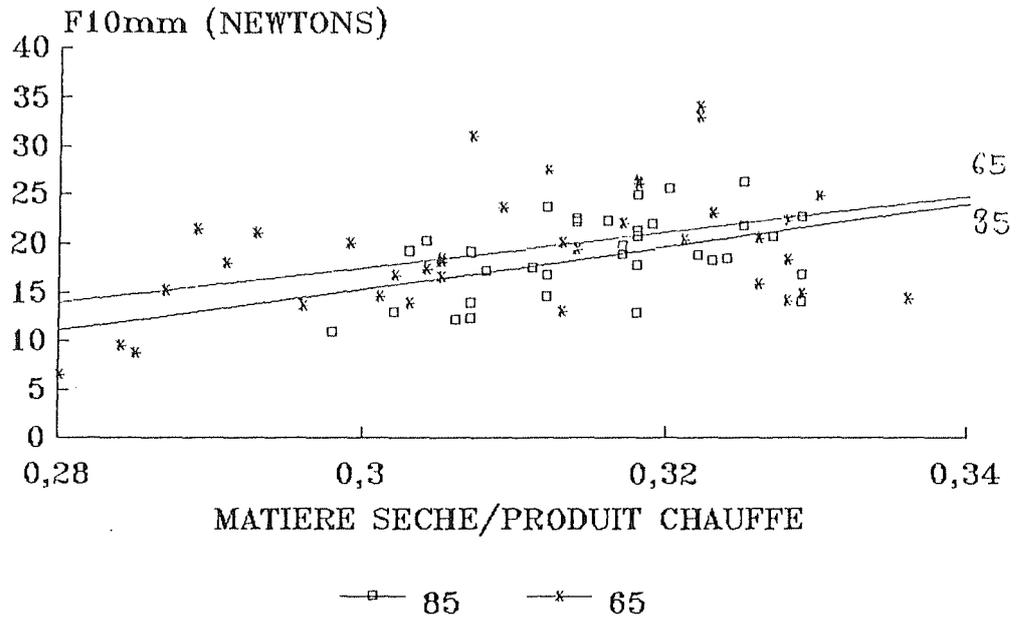


Figure n°35

CONCLUSION

L'évaluation de la texture ne montre pas de différences significatives entre les produits cuits à + 65°C et ceux cuits à + 85°C. Le paramètre "fin de cuisson" était l'obtention d'une valeur pasteurisatrice de 20 minutes dans les deux cas. Nous pouvons penser qu'il y a, dans notre cas, correspondance entre les notions de valeur pasteurisatrice (VP) et de valeur cuisatrice (VC).

L'analyse organoleptique, malgré la difficulté de mise en place et la masse d'informations obtenues, semble indiquer une tendance à l'instabilité des produits cuits à + 65°C.

Les mesures instrumentales ne sont pas assez précises pour permettre de confirmer ou d'infirmer cette observation.

Il sera nécessaire de renouveler ces expériences avec un appareil d'une précision en rapport avec le domaine de forces mesurées sur le poisson, et en utilisant les deux contraintes possibles : cisaillement et compression.

Quoiqu'il en soit, les conclusions temporaires de cette partie "mesure de la texture" vont dans le sens de celles tirées en fin de seconde partie. Cela justifie des études ultérieures plus approfondies dans les domaines de la thermorésistance des micro-organismes, et de l'activité des enzymes endogènes (protéases notamment) du poisson.

CONCLUSION GENERALE

L'étude bibliographique que nous avons effectuée indique que les traitements thermiques à appliquer au poisson dépendent de deux séries de facteurs de variation de la qualité de sa chair :

- l'hétérogénéité biologique, intrinsèque au poisson, liée à son mode de vie, son environnement...
- l'hétérogénéité technologique, liée au prétraitement du poisson après sa capture.

Le second groupe de facteurs de variabilité est prépondérant pour les industriels. En effet il oblige ceux-ci à appliquer des traitements thermiques de sécurité, pour se garder du risque sanitaire (pathogénicité des germes), mais aussi assurer une destruction suffisante de la flore d'altération du poisson.

Nos essais tendent à montrer que les poissons, cuits sous-vide à basse température (+ 65°C), s'avèrent instables durant le stockage prolongé au froid, malgré une qualité initiale bonne.

L'optimisation des cuissons passe donc par une maîtrise de la qualité de la matière première, mais également par l'étude approfondie des facteurs d'instabilité des produits stockés au froid.

L'un des moyens de contrôle de la cuisson consiste à évaluer la texture du poisson cuit. Nos expérimentations avaient pour but de concevoir des tests, organoleptiques et instrumentaux, adaptés à la matière première particulière qu'est le poisson. Elles n'ont pas aboutit à la définition d'un test. Mais nous pouvons d'ores et déjà dire que les analyses organoleptiques sont lourdes à mettre en place, et qu'il nous semble préférable de ne les utiliser que comme méthode de référence, pour valider les mesures instrumentales.

Le mérite de la cuisson sous-vide a été de poser le problème de l'optimisation des traitements thermiques. Les industriels, qui ont suivi l'expérience de la restauration, ont pris conscience qu'il était possible de fabriquer des produits de bonne qualité, tant sur le plan sanitaire que sur le plan gustatif. Mais rien, dans la mise en oeuvre et le principe de la cuisson sous-vide ne justifie son utilisation industrielle dans le but de baisser les températures de traitement. Les industriels doivent pasteuriser leurs produits, pour garantir une conservation acceptable pendant le délai qu'ils ont choisi. C'est dans ce cadre de la pasteurisation qu'il faut concevoir la notion d'optimisation des traitements thermiques. Le procédé de cuisson sous-vide est un outil de plus pour les industries alimentaires, elle n'est pas la solution miracle à ce problème.

BIBLIOGRAPHIE

ABGRALL (B), DERENNES (M), BOURGEOIS (C) (1988)
"Contribution à la maîtrise de la qualité du poisson frais",
Bretagne Agro-Alimentaire, n°2, mars-avril 1988, pp.2-11.

AMERINE (MA), PANGBORN (RM), ROESSLER (EB) (1965)
"Principles of sensory evaluation of food", Ed. Academic Press,
New-York.

ANONYME

"Le poisson matière première de l'industrie alimentaire", rapport
IFREMER.

ANONYME (1986)

"Cuisson sous vide: compte-rendu", Revue Française de Diététique,
n°117, pp.16-18.

ANONYME (1989)

"La conservation par le froid des poissons et des produits de la
mer", Revue Pratique du Froid et du Conditionnement d'Air, 22 mai
1989, pp.109-121.

BEAUFORT (A), ROSSET (R) (1989)

"Durée de vie des plats cuisinés sous-vide réfrigérés", Industries
Alimentaires et Agricoles, juin 1989, pp.475-477.

BOISSEAU (M) (1976)

"Evaluation sensorielle de denrées alimentaires: une expérience
industrielle, les produits laitiers" Journée d'Etudes APRIA
"Evaluation sensorielle des denrées alimentaires", 18 mai 1976,
Paris, pp.77-93, cité par SAUVAGEOT.

BOUJELBEN (M) (1988)

"Pasteurisation des plats cuisinés de poisson", mémoire IPSA-
IFREMER.

BRUNON (R), VAISEY (M) (1969)

"Training for peak sensory performances", présenté à la 12ème
Conférence Nationale du Canadian Institut of Food Technology, 13
juin 1969, Ottawa, cité par LARMOND.

BUREAU (G), PASCAT (B), TISSOT (L) (1987)

"Conditionnement et qualité: conditionnement sous vide ou sous
atmosphère modifiée et qualité bactériologique", Viandes et
Produits Carnés, 8, n°5, pp.166-167.

CAMPELLO (F) (1980)

"Altération des produits animaux et leur préservation", cycle de
perfectionnement ADRIA, Quimper, Cité par ABGRALL.

**CARDELLO (AV), MALLER (O), KAPSALIS (J), SEGARS (RA), SAWYER (FM),
MURPHY (C), MOSKOVITZ (HR) (1982a)**

"Perception of texture by trained and consumer panelist", Journal
of Food Science, 47, n°4, pp.1186-1197.

CARDELLO (AV), SAWYER (FM), MALLER (O), DIGMAN (L) (1982b)

"Sensory evaluation of the texture and appearance of 17 species of
North Atlantic fish", Journal of Food Science, 47, n°6, pp.1818-
1823.

**CARDELLO (AV), SAWYER (FM), PRELL (P), MALLER (O), KAPSALIS (J)
(1983)**

"Sensory methodology of the classification of fish according to
edibility characteristics", Lebensmittel-Wiss. und Technology, 16,
pp.190-196.

CHEPTEL (JC), CHEPTEL (H) (1976a)

"Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments", Vol.n°1, Technique et Documentation, Entreprise Moderne d'Édition, Paris.

CHEPTEL (JC), CHEPTEL (H) (1976b)

"Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments", Vol.n°2, Technique et Documentation, Entreprise Moderne d'Édition, Paris.

CLEMENT (JF) (1989)

"L'évaluation sensorielle pour une meilleure maîtrise de la qualité", Revue des ENIL n°138, pp.33-35.

CONNELL (JJ) (1960)

"Studies on the proteins of fish skeletal muscle. 7. Denaturation and aggregation of Cod myosin", Biochem. Journal, 75, pp.530-538, cité par DAVIES.

CONNELL (JJ) (1961)

"The relative stabilities of the skeletal-muscle myosins of some animals", Biochem. Journal, 80, pp.503-509, cité par DAVIES.

CONNELL (JJ), HOWGATE (PF) (1971)

"Consumer evaluation of fresh and frozen fish" in "FAO Technical Conference on fish inspection and quality control", KREUZER (R), Ed. Fishing News Books Ltd, Londres, pp.155, cité par SAWYER, 1988.

CRAVEN (SE), BLANKENSHIP (LC) (1983)

"Increased heat resistance of Salmonellae in beef with added soy proteins", Journal of Food Protection, 46, n°5, pp.380-384, cité par MAILLARD-MULAK.

DABBAH (R), MOATS (WA), EDWARDS (UM) (1971)

"Heat survivor curves of food borne bacteria suspended in commercial sterilized whole milk", Journal of Dairy Science, 54, n°12, pp.1772-1779, cité par MAILLARD-MULAK.

DAVIES (JR), BARDSEL (RG), LEWARD (DA) (1988)

"Myosin thermal stability in fish muscle", Journal of Food Science and Agriculture, 45, n°1, pp.61-68.

DAVIS (J) (1985)

"A leap forward in fresh fish marketing: the darfresh packaging concept" in "Aptitude à la conservation des poissons et produits de la mer réfrigérés et congelés", Institut International du Froid, Paris, pp.403-408.

DUNAJSKI (E) (1979)

"Texture of fish muscle", Journal of Texture Studies, 10, n°4, pp.301-318.

DYER (WJ) (1962)

"Fish proteins with special reference to freezing" in "Fish as Food", BORGSTROM (G), Ed. Acad. Press, New-York, vol.n°1, pp.275-328, cité par SAINCLIVIER.

FEINSTEIN (GR), BUCK (EM) (1984)

"Relationship of texture to pH and collagen content of Yellowtail Flounder and Cusk", Journal of Food Science, 49, n°1, pp.298-299.

GEORGALA (1957), cité par SHEWAN (1961).

GILLESPIE (B) (1975)

"The bacterial flora of some Queensland fish and his ability to cause spoilage", Journal of Applied Bacteriology, 39, pp.91-100, cité par BOUJELBEN et MAILLARD-MULAK.

GOLA (S), ROSSI (M) (1985)

"Vacuum packaging of fresh fish: effect of oxygen permeability of packaging material on the development of botulinal toxin" in "Aptitude à la conservation des poissons et produits de la mer réfrigérés et congelés", Institut International du Froid, Paris, pp.211-215.

GOUSSAULT (B) (1988)

"Cuisson sous-vide: vers les basses températures ?", RIA n°404, pp.30-33.

GOUTEFONGEA (R) (1963)

"Comparaison de différentes méthodes de mesure du pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc. Liaison avec le pH", Annales de Zootechnie, 12, n°2, pp.125-132.

GOUTEFONGEA (R) (1969)

"Etude du pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc. 1. Variation en fonction du pH", Annales de Biologie Animale Biochimie et Biophysique, 9, pp.111-116, cité par LAROCHE.

HAMILTON (M), BENNETT (R) (1983)

"An investigation into consumer preferences for nine fresh white fish species and the sensory attributes which determine acceptability", Journal of Food Technology, 18, pp.75, cité par SAWYER, 1988.

HAMILTON (M), BENNETT (R) (1984)

"Consumer preferences for fresh white fish species", Journal of Consumer Studies and Home Economics, 8, pp.243, cité par SAWYER, 1988.

HAMM (R) (1960)

"Biochemistry of meat hydration", Advances in Food Research, 10, pp.365-463, cité par LAROCHE.

HATAE (K), YOSHIMATSU (F), MATSUMOTO (JJ) (1984)

"Discriminative characterization of different texture profiles of 8 various cooked fish muscles", Journal of Food Science, 49, n°3, pp.721-726.

HAUSCHILD (A), POSTE (L), HILSHEIMER (R) (1985)

"Toxin production by Clostridium botulinum and organoleptic changes in vacuum packaged raw beef", Journal of Food Protection, 48, 8, pp.712-716.

HSIEH (YL), REGENSTEIN (JM) (1989)

"Texture changes in frozen stored Cod and Ocean Perch minces", Journal of Food Science, 54, n°4, pp 824-834.

HUSS (HH), ESKILDSEN (V) (1974)

"Botulism in farm trout caused by Clostridium botulinum E", Nord. Vet. Med., 26, pp.733-738, cité par BOUJELBEN.

- ISO (N), MIZUNO (H), SAITO (T), OZEKI (F), YANG (LC) (1984a)
"Studies on the rheological properties of the heated Carp meat",
Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 50, n°2,
pp.349-353.
- ISO (N), MIZUNO (H), SAITO (T), OZEKI (F), WANG (Z) (1984b)
"Studies on the rheological properties of the heated Yellowtail
meat", Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,
50, n°12, pp.2061-2064.
- ISO (N), MIZUNO (H), SAITO (T), WANG (Z), NARITA (M) (1986)
"The changes in the rheological properties of fish meat during
treatment at high temperature", Bulletin of the Japanese Society
of Scientific Fisheries, 52, 6, pp.1055-1059.
- JACQUOT (R) (1962)
"Organic constituents of fish and other aquatic animal food"
in "Fish as food", BORGSTROM (G), Ed. Acad. Press, New-York,
vol.n°1, pp.146-192, cité par SAINCLIVIER.
- KANO (S), ALEMAN POLO (JM), KARIYA (Y), KANEKO (T), WATABE (S),
HASHIMOTO (K) (1988)
"Heat-induced textural and histological changes of ordinary and
dark muscles of Yellowfin Tuna", Journal of Food Science, 53, n°3,
pp.673-678.
- KENNEDY (J), OBLINGER (J), WEST (R) (1980)
"Fate of Salmonella infantis, Staphylococcus aureus and Hafnia alvei
in vacuum packaged beef plate pieces during refrigerated storage",
Journal of Food Science, 45, n°5, pp.1273-1300.
- KNOCKAERT (C) (1989)
"Une innovation dans l'art culinaire: la cuisson sous-vide,
application aux produits de la mer", Equinoxe n°28, pp.12-19.
- LARMOND (E) (1971)
"Food quality evaluation: a review of sensory methods"
in "FAO Technical Conference on fish inspection and quality
control", KREUZER (R), Ed. Fishing News Books Ltd, Londres.
- LAROCHE (M) (1981)
"Libération et migration du jus pendant le chauffage de la
viande", thèse de docteur-ingénieur.
- LEE (CM), TOLEDO (RT) (1976)
"factor affecting textural characteristics of cooked comminuted
fish muscle", Journal of Food Science, 41, pp.391-397.
- LEFEBVRE (J) (1988)
"Rhéologie et alimentation; les concepts, les méthodes et les
applications de rhéologie dans le domaine alimentaire", Revue
Française de Diététique n°126, pp.3-15.
- LIMA DOS SANTOS (CAM) (1978)
"Bacterial spoilage of iced amazonian freshwater Catfish", Med.
Sci. thesis, Loughborough University of Technology, England, cité
par BOUJELBEN.
- LISTON (J) (1980)
"Microbiology in fishery science"
in "Advances in fish science and technology", CONNELL (JJ), Ed.
Fishing News Book Ltd., Farnham, Surrey, England, pp.138-157, cité

- LOVE (RM) (1958)
"Studies on the North Sea Cod. 1. Muscle cell dimensions", Journal of Food Science and Agriculture, 9, pp.195-198, cité par DUNAJSKI.
- MAILLARD-MULAK (V) (1990)
"La cuisson sous-vide de préparations à base de produits de la mer: aspects microbiologiques", thèse de doctorat.
- MANDEL (J) (1969)
"Aperçu sur les principaux comportements rhéologiques"
in "La rhéologie", monographie du Centre d'Actualisation Scientifique et Technique, Masson et Cie Editeurs, Paris.
- MOATS (WA), DABBAH (R), EDWARDS (UM) (1971)
"Interpretation of nonlogarithmic survivor curves of heated bacteria", Journal of Food Science, 36, pp.523-526, cité par MAILLARD-MULAK.
- NOEL (Y) (1980)
"Etude des propriétés rhéologiques de corps semi-solides mesurées à des fréquences de 0,5 à 20Hz", thèse de docteur-ingénieur.
- OLSON (DG), PARRISH Jr (FC), STROMER (MH) (1976)
"Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during post-mortem storage", Journal of Food Science, 41, pp.1036-1041.
- PARTMANN (W) (1964)
"Changes in proteins, nucleotids and carbohydrates during Rigor-Mortis", FAO Symposium on the significance of Fundamental Research in the Utilisation of Fish, Husum, WP. (I)3, cité par DUNAJSKI.
- PICLET (G) (1987)
"Le poisson aliment: composition, intérêt nutritionnel", Cahiers de Nutrition et Diététique, XXII, n°4, pp.317-336.
- PINEL (M) (1985)
"L'optimisation des cuissons, un impératif qualitatif et économique", Filière Viande n°76, pp.56-60.
- PRELL (P), SAWYER (FM) (1988)
"Flavor profiles of 17 species of North Atlantic fish", Journal of Food Science, 53, n°4, pp.1036-1042.
- PRICE (JH) (1971)
"The science of meat and meat products", Ed. FREEMAN and Co., San Francisco, 2ème Ed., cité par SAINCLIVIER.
- ROSSET (R), LAMELOISE (P), ROUSSEL-CICQUARD (N) (1984)
"La tendreté de la viande", recueil CDIUPA n°33.
- ROSSET (R), LAMELOISE (P) (1989)
"Conditionnement sous vide: viande, poisson, plats cuisinés", recueil CDIUPA n°41.
- ROZIER (J), CARLIER (V), BOLNOT (F) (1985)
"Bases microbiologiques de l'hygiène des aliments", Ed. SEPAIC, cité par MAILLARD-MULAK.
- SAINCLIVIER (M) (1983)
"L'industrie alimentaire halieutique", vol.n°1: "Le poisson matière première", Bulletin Scientifique et Technique de l'Ecole Supérieure Agronomique et du Centre de Recherche de RENNES.

SALE (), TOURAILLE (C) (1973)

"Influence de l'épaisseur initiale de l'échantillon sur les grandeurs caractéristiques du cisaillement des viandes", XIXème Réunion Européenne des Chercheurs en Viandes, pp.627-644.

SAUVAGEOT (F) (1982)

"L'évaluation sensorielle des denrées alimentaires. Aspects méthodologiques", recueil CDIUPA n°30.

SAWYER (FM), PRELL (P), CARDELLO (AV), MALLER (O), KAPSALIS (J) (1981)

"A comparison of flavor and texture characteristics of selected underutilized species of North Atlantic fish and certain commercially important species"

in "Progrès dans les traitements par le froid du poisson", Institut International du Froid, Ed. Sciences et Techniques du Froid, Paris, pp.505-512.

SAWYER (FM), CARDELLO (AV), PRELL (P), JOHNSON (EA), SEGARS (RA), MALLER (O), KAPSALIS (J) (1984)

"Sensory and instrumental evaluation of Snapper and Rockfish species", Journal of Food Science, 49, n°3, pp.727-733.

SAWYER (FM), CARDELLO (AV), PRELL (P) (1988)

"Consumer evaluation of the sensory properties of fish", Journal of Food Science, 53, n°1, pp.12-24.

SCOTT (DN), FLETCHER (GC), HOGG (MG), RYDER (JM) (1986)

"Comparison of whole with headed and gutted Orange Roughy stored in ice: sensory, microbiology and chemical assessment", Journal of Food Science, 51 n°1, pp.79-86.

SHANA (F), SHERMAN (P) (1973)

"Evaluation of some textural properties of food with the Instron Universal Testing Machine", Journal of Texture Studies, 4, pp.344, cité par NOEL.

SHEWAN (JM) (1961)

"The microbiology of sea water fish", in "Fish as food", BORGSTROM (G), Ed. Acad. Press, New-York, vol.n°1, pp.487-560, cité par ABGRALL.

SHEWAN (JM) (1962)

"The bacteriology of fresh and spoiling fish and some related chemical changes"

in "Recent advances in food science", Ed. HAWTHORN (J) and MUILEITCH (J), Butterworths, London, vol. n°1, pp.167-193, cité par BOUJELBEN et MAILLARD-MULAK.

SHEWAN (JM) (1977)

"The bacteriology of fresh and spoiling fish and biochemical changes induced by bacterial action"

in "Handling, processing and marketing of tropical fish", Ed. Tropical Products Institut, London, pp.51-66, cité par MAILLARD-MULAK.

SIKORSKI (ZE) (1980)

"Structure and proteins of fish and shellfish. Part.2", in "Advances in fish science and technology", CONNELL (JJ), Ed. Fishing News Book Ltd., Farnham, Surrey, England, pp.78-85.

- SIKORSKI (ZE), SCOTT(DN), BUISSON (DH) (1984)
"The role of the collagen in the quality and processing of fish",
Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 20, n°4, pp.301-343.
- STANSBY (ME) (1962)
"Proximate composition of fish"
in "Fish in nutrition", HEEN (E) and KREUZER (R), Ed. Fishing News Books Ltd, London, cité par PICLET.
- SUZUKI (T) (1981)
"Fish and krill proteins: processing technology", Ed. Applied Sci., Publ.Ltd, London.
- TJOMB (P) (1990)
"Cuisson sous-vide: soft ou hard", RIA n°441, pp.30-31.
- TOURAILLE (C) (1988)
"Les méthodes sensorielles", Industries Alimentaires et Agicoles, n°6, juin 1988, pp.523-525.
- VALIN (C), LACOURT (A) (1980)
"Etude comparée de différents modes de conditionnement des viandes bovines hachées et réfrigérées", Industries Alimentaires et Agicoles, n°3, mars 1980, pp.123-129.
- VOISEY (PW) (1975)
"Selecting deformation rates in texture tests", Journal of Texture Studies, 6, pp.253-257.
- VOISEY (PW) (1976)
"Engineering assesement and critique of instruments used for meat tenderness evaluation", Journal of Texture Studies, 7, n°1, pp.11-48.
- WESSON (JB), LINDSAY (RC), STUIBER (DA) (1979)
"Discrimination of fish and seafood quality by consumer population", Journal of Food Science, 44, pp.878, cité par SAWYER, 1988.