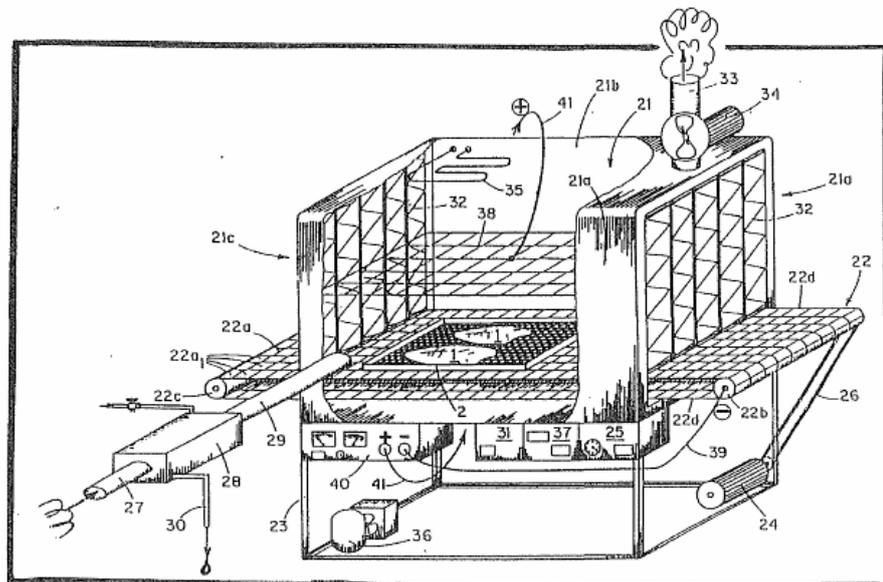


Fumage électrostatique : Application aux produits de la mer





IFREMER INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER
155, Rue Jean-Jacques ROUSSEAU
92138 ISSY-LES-MOULINEAUX

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

DEPARTEMENT Valorisation des Produits
NANTES

AUTEUR (s) :		CODE :
Camille KNOCKAERT		
TITRE		Date : 30.03.95
Fumage électrostatique : application au poisson		Tirage nb : 20
		Nb pages : 65
		Nb figures : 39
		Nb photos : 4
CONTRAT (intitulé)	n° PASSEV : VP/GA 54	DIFFUSION
N° _____		Libre <input type="checkbox"/>
		Restreinte <input type="checkbox"/>
		Confidentielle <input checked="" type="checkbox"/>

RESUME :

L'étude présentée dans ce rapport a pour objet de démontrer la faisabilité du fumage électrostatique appliqué au poisson et de présenter un pilote préfigurant un modèle industriel. Si l'idée d'utiliser la haute tension pour accélérer le dépôt des composés de la fumée remonte aux années 1920, l'application aux produits de la mer ne s'est pas concrétisée.

La raison essentielle vient du fait que réduire le temps de fumage limite le séchage d'un temps égal. Une nouvelle technique de salage/séchage par Déshydratation Imprégnation Immersion (DII) permet de présenter au fumage des produits à teneurs en sel et eau voulu. Ainsi le fumage électrostatique permet une réduction du temps de traitement supérieure à 12 fois par rapport à la méthode traditionnelle (hareng et saumon). Un suivi comparatif en date limite de consommation démontre la faisabilité de ce nouveau procédé.

ABSTRACT :

The purpose of the study presented in this report is to demonstrate the feasibility of electrostatic smoking applied to fish and to present a pilot which will foreshadow an industrial model. If the idea of using high voltage to accelerate the depositing of smoke compounds goes back to the 1920's, its application to sea produce has still not become common practice.

The essential reason for this comes from the fact that reducing smoking time restricts drying time by as much. A new salting/drying technique - Dewatering Impregnation Soaking (DIS) - means, that products with a requisite salt and water content can be smoked. Electrostatic smoking therefore allows processing time to be cut by more than twelve compared to the traditional method (herring and salmon). A comparative follow-up on shelf life demonstrates the feasibility of this new process.

Mots clés : Fumage électrostatique, Pilote électrostatique

Key words : Electostatic smoking, electrostatic pilot

Ont participé à cette étude :

BOUARIDJ Pierre	LPT Talensac Nantes
BOURGET Linda	ENITIAA Nantes
CAMPELLO Lucette	IFREMER
CARDINAL Mireille	IFREMER
CORNET Josiane	IFREMER
DESPORTES Gérard	IFREMER
JUVIN Patricia	LPT Talensac Nantes
MENANDAIS Benoit	ENILIA Surgères
PENISSON Cécile	ISTAB Bordeaux
PILOQUET François	ENILIA Surgères

Table des matières

1ère partie :LE FUMAGE TRADITIONNEL	1
1.1. La matière première	2
1.2. Le procédé de fumage à froid	3
1.2.1. Les traitements préliminaires du poisson avant fumage	3
1.2.2. Le fumage	5
1.2.3. La fumée	6
1.3. La dynamique du fumage	9
1.3.1. Les mécanismes du dépôt et de la Pénétration de la fumée	9
1.3.2. Les facteurs influençant le dépôt et la pénétration de la fumée	10
1.4. Les effets recherches du fumage	12
1.4.1. La flaveur	12
1.4.2. La couleur	12
1.4.3. La texture	13
1.4.4. La conservabilité	13
2ème partie :LE FUMAGE ELECTROSTATIQUE A FROID Application au poisson	15
2.1. Le fumage électrostatique	16
2.1.1. historique	16
2.1.2. Etat des recherches	16
2.2. Rappels sur le champ électrostatique uniforme	17
2.2.1. Ionisation de la fumée	17
2.3. Applications aux produits carnés	18
2.4. Perspectives d'innovations du procédé	19
2.4.1. La deshydratation imprégnation immersion : D.I.I.	20

3ème Partie : ETUDE DE FAISABILITE	22
3.1. Etude du positionnement des électrodes	23
3.2. Détermination de la distance optimale électrode/produit	25
3.3. Incidence de la température sur le dépôt de la fumée	25
3.4. Réalisation de produits et analyses	26
4ème Partie : REALISATION ET OPTIMISATION DU FUMAGE ELECTROSTATIQUE	28
4.1. Le pilote de fumage	29
4.2. la production de fumée	30
4.3. intérêt du refroidisseur de fumée	30
4.4. Fonctionnement du tunnel	32
4.4.1. Mise en route	32
4.4.2. Admission de la fumée	32
4.4.3. Opération de fumage	32
4.4.4. observations	32
4.5. Conséquences pour la conception d'un modèle industriel	33
5ème partie : MISE AU POINT DE 2 PRODUITS :- hareng fumé- saumon fumé	34
5.1. matières premières	35
5.1.1. Mise au point de 2 produits : hareng et saumon	35
5.2. Suivi des produits en DLC (comparaison fumage traditionnel / fumage électrostatique)	39
5.2.1. Conduite expérimentale	39
5.2.2. Analyses et suivi des paramètres	39
5.2.3. Influence de l'hygrométrie de la sciure	42
5.2.4. Influence de la tension appliquée entre les deux électrodes	42
5.2.5. Influence du temps de fumage	43
5.2.6. Autres facteurs à prendre en compte	43
5.3. Résultats des plans expérimentaux	44
5.3.1. Résultats du plan d'expériences effectué sur le saumon	44
5.3.2. Résultats du plan d'expériences effectué sur le hareng	45
5.3.3. Conclusions générales sur ces deux plans d'expériences	46

5.4. Suivi des produits en DLC (comparaison fumage électrostatique/fumage traditionnel)	46
5.4.1. Analyses chimiques	46
5.4.2. Analyses toxicologiques	52
5.5. Analyses microbiologiques	52
5.5.1. Résultats concernant le saumon	52
Résultats concernant le hareng	54
5.5.2. Analyses sensorielles	55
6ème partie : COMPARAISON DE FABRICATION INDUSTRIELLE AVEC LE NOUVEAU PROCEDE :Application au hareng	57
6.1. Protocole des essais	58
6.2. Analyse chimique des produits	59
6.3. Analyse sensorielle Ifremer	60
6.3.1. Préparation du test	60
6.3.2. Résultats et discussion	61
6.4. Compte rendu d'analyse sensorielle effectuée sur le lieu de production traditionnel	64

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Le procédé de fumage remonte probablement à la préhistoire et constitue l'une des plus anciennes méthodes connues de conservation des produits carnés, associée aux séchage et salage.

Plus qu'un moyen de conservation, le fumage est surtout utilisé aujourd'hui à des fins organoleptiques (couleur, goût, odeur, texture), tout du moins dans les pays industrialisés.

Le fumage, comme le salage, s'applique en principe sur la plupart des poissons. Dans la pratique industrielle, les plus fréquemment fumés sont les saumons (13000T de produits finis en 1993 en France) et les harengs (12000T en 1993). Ces deux espèces forment l'essentiel de la production française. D'autres poissons sont fumés aussi avec succès comme la sardine, le maquereau, le thon, l'anguille, le lieu...

Depuis quelques années, ce secteur industriel a connu un développement important lié à la croissance du marché et à une modernisation des techniques.

Aussi, depuis 1993, l'IFREMER, développe en collaboration avec le CIRAD¹ de Montpellier un nouveau procédé de salage/séchage, suivi d'un fumage électrostatique à froid.

Le développement de cette nouvelle technique de fumage permettant entre autre d'améliorer considérablement la productivité, constitue un axe de recherche prometteur et susceptible de connaître un intérêt important chez les industriels.

¹CIRAD – SAR – Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
Unité Génie et technologies Agro-Alimentaires – Avenue du Val de Montferrand, BP 5035 – 34032 Montpellier

**1ère partie :
LE FUMAGE TRADITIONNEL**

Introduction

Il existe deux principaux procédés de fumage:

– **le fumage à chaud:** ce fumage est peu utilisé en France. La caractéristique essentielle de cette technique est l'utilisation de températures élevées qui conduisent à des produits fumés et cuits. Le fumage à chaud concerne principalement la truite portion, l'anguille et le maquereau. Les tonnages français réalisés en 1993 sont de l'ordre de 500T.

– **le fumage traditionnel à froid:** le poisson, après fumage à une température inférieure à 30°, reste cru. Le processus est lent et selon le produit désiré, il peut durer de quelques heures à plusieurs jours. Les plus fréquemment fumés sont les saumons et les harengs dont la production française représente environ 25 000 T de produits finis.

De nouvelles formes de fumage sont nées avec le développement des technologies comme par exemple le fumage à fumée liquide qui consiste à condenser les fumées et à les réinjecter par atomisation dans la cellule de fumage. Cette technique n'est cependant pas appliquée aux produits de la mer pour différentes raisons, entre autre l'inadaptation des condensats du point de vue organoleptique.

L'industrie du fumage génère en France 4000 emplois (8000 en pleine saison) qui se répartissent dans une cinquantaine d'entreprises.

1.1. LA MATIERE PREMIERE

Un poisson peut être classé selon deux paramètres principaux :

- son état (frais ou congelé),
- son taux de matières grasses (gras, semi-gras ou maigre).

Nous allons donc dresser sommairement la composition chimique d'un poisson maigre, semi-gras et gras.

	Eau	Protéines	Lipides	Cendres
Poissons maigres	81,8	16,4	0,5	1,3
Poissons semi-gras	77,2	19	2,5	1,3
Poissons gras	68,2	20,4	10	1,4

*Tableau 1 :
Composition moyenne des aliments marins (partie comestible) en %
d'après JACQUOT R. (1961).*

Notons qu'en général, la teneur en eau varie en sens inverse de la teneur en matières grasses.

Mais, il ne faut pas oublier que de nombreux facteurs interviennent et font varier, parfois de façon importante, les teneurs citées ci-dessus. Ce sont les différences entre espèces, les différences anatomiques, les variations physiologiques entre les sexes, les saisons, l'environnement et les nourritures (SAINCLIVIER, 1983).

Parmi les poissons maigres, citons: la morue, le lieu noir, l'églefin, le merlan...

Les principaux poissons gras sont le hareng, le saumon, la sardine, l'anchois; parmi les poissons à teneur intermédiaire en graisse, on compte la sole, le flétan, la limande... (TREMOLIERES et Coll., 1980).

Cette matière grasse influe plus ou moins, selon la quantité présente, sur les étapes de salage, séchage et fumage (GUDASZEWSKI, 1989). Au niveau du fumage proprement dit, GUDASZEWSKI étudie l'influence du taux de graisse dans la viande sur la quantité de phénols déposés après fumage. Ses résultats montrent une augmentation linéaire des phénols avec la hausse de la teneur en graisse dans la viande. De même, lorsque le produit a été congelé, le poisson sèche plus rapidement du fait de la destruction des cellules lors de la congélation, et par conséquent capte moins de phénols durant le fumage.

1.2. LE PROCEDE DE FUMAGE A FROID

L'objectif de ce rapport n'étant pas une bibliographie sur les traitements effectués avant fumage, nous ne nous développerons pas ces paramètres. Nous nous attacherons seulement à donner quelques grandes lignes sur ces étapes antérieures à l'opération de fumage proprement dite.

1.2.1. Les traitements préliminaires du poisson avant fumage

1.2.1.1. L'étêtage, l'éviscération et le filetage

Ces trois opérations sont effectuées en chambre climatisée à 12°C. A cette température, la croissance microbienne est suffisamment ralentie pour permettre la transformation du poisson dans de bonnes conditions d'hygiène.

Ces opérations sont en effet une source de contamination: Les manipulations répandent le sang, le mucus et les bactéries des viscères sur les parties stériles fraîchement découpées et à l'intérieur de la cavité abdominale.

L'opération de filetage consiste à évacuer l'arête centrale et ôter les arêtes de la paroi ventrale. Le poisson doit être manipulé avec douceur limitant les risques de ramollissement de la chair. Les poissons sont ensuite rincés afin d'éliminer les souillures et le mucus.

1.2.1.2. Le salage

Objectif

Cette opération, très importante pour le devenir du produit, contribue à éliminer une partie de l'eau de constitution. Cette déshydratation provoquée diminue la disponibilité de l'eau pour la croissance des germes. Le sel inhibe donc la multiplication de la plupart des bactéries intervenant dans l'altération, mais favorise la croissance des halophiles.

Une concentration de sel de 4,4% inhibe la croissance du *Clostridium botulinum* type E pendant 35 jours à 27 C dans du poisson fumé (CUPPET et coll., 1987).

Selon HOTCHKISS (1987), les trois autres rôles importants du salage sont la couleur et la flaveur qu'il confère aux produits, ainsi qu'un raffermissement des tissus.

Sur le plan organoleptique, les résultats d'une analyse sensorielle menée par SHIAU et coll. (1985) indiquent que la concentration d'une phase aqueuse salée entre 3 et 4% a la préférence du jury. Dans ce cas, le salage n'a que peu d'effet sur les bactéries, l'eau restant liée en quantité trop importante.

Avec ces teneurs, on aura juste un ralentissement de la croissance bactérienne mais on n'empêchera pas l'altération de se produire (HALLE et TAILLEZ, 1981).

Le sel utilisé

Les sels marins utilisés pour cette opération ont des compositions voisines: en plus du chlorure de sodium NaCl qui représente 85 à 95%, ils contiennent 1 à 11% de sulfates, 0 à 2% de chlorures de calcium et de magnésium et généralement moins de minéraux solubles.

Il convient de noter que l'ion Cl⁻ est largement responsable du goût salé et le cation Na⁺ a son effet principal sur la capacité à stimuler les récepteurs de ce goût.

Facteurs influençant le degré de salage

Des facteurs en apparence mineurs comme l'état de fraîcheur du poisson, sa teneur en graisse, la peau influent d'une manière non négligeable sur la vitesse du salage, son intensité et sur la qualité du produit fini. D'autres paramètres comme la température ou la qualité et la granulométrie du sel interviennent aussi sur cette étape (SAINCLIVIER, 1985).

Différentes méthodes de salage (Sainclivier, 1985 et Knockaert, 1990)

Les deux méthodes les plus utilisées sont le salage au sel sec ou le salage en saumure par immersion.

Dans le cas de la première technique, la pénétration du sel est plus rapide et le taux d'humidité sera plus faible que le salage en saumure. Par contre, le risque de contamination et de développement bactérien est plus important que lors de l'utilisation d'une saumure.

Il existe aussi le saumurage par injection. Cette méthode consiste à injecter une saumure sous pression (1 bar), à l'aide d'aiguilles, dans la chair du poisson. Ceci a pour objectif d'uniformiser le salage et d'améliorer le rendement (prise de poids d'environ 4%). Cependant, cette technique peut entraîner des risques importants de contamination.

Avant la phase de séchage, il faut procéder à une étape de rinçage des filets.

Le séchage (Knockaert, 1990)

Cette opération s'effectue uniquement avant le fumage à froid. Elle a pour but de réduire la teneur en eau de 4 à 6% afin de favoriser la conservation du produit ayant préalablement subi un salage. Cette eau est en effet un vecteur de contaminations diverses et intervient dans les réactions de dégradations bactériologiques, chimiques et biochimiques du produit.

Il est donc indispensable de déshydrater partiellement le produit pour le stabiliser, en ôtant une partie de l'eau libre.

Pour sécher correctement un poisson, il faut maîtriser 3 paramètres:

- la température (22 à 26 C),
- l'hygrométrie (humidité relative = 60%),
- la ventilation.

Si l'humidité relative est inférieure à 60%, le produit se dessèche trop vite et forme une croûte en surface qui s'oppose à toute migration future d'eau ou de produits présents dans la fumée lors de l'étape suivante. L'étape de séchage doit donc être correctement menée pour effectuer ensuite un fumage satisfaisant.

1.2.2. Le fumage

Après avoir été légèrement salés, puis séchés, les poissons sont soumis à l'action de la fumée provenant de la pyrolyse de copeaux ou éclats de bois. Pendant cette phase, qui peut durer de quelques heures à plusieurs jours, le poisson continue à se déshydrater et s'imprègne des composés volatils présents dans la fumée. La température est maintenue entre 20 et 25 C et en aucun cas, n'excède 30 C pour limiter le risque de déshydratation superficielle provoquant des "croûtages" empêchant la pénétration de la fumée.

1.2.2.1. Les bois utilisés

Le bois est la source même de la fumée, c'est pourquoi il est intéressant d'en décrire la composition chimique qui aura un rôle essentiel sur celle de la fumée.

Aussi, selon la nature du bois choisi, la couleur, l'odeur et la saveur du poisson fumé peuvent varier. Les bois durs sont pratiquement les seuls utilisés comme le hêtre, le chêne ou le noyer

Les générateurs de fumée utilisent des copeaux calibrés, préalablement séchés ou de la sciure. Les résineux sont à proscrire en raison de leur saveur acide qu'ils confèrent au produit et de la contamination importante en 3-4 benzopyrène qu'ils entraînent (KNOCKAERT, 1990).

Composition

Le bois est essentiellement composé de cellulose, d'hémicellulose et de lignine dans la proportion 2/1/1 (SAINCLIVIER, 1985)

En général, les bois durs contiennent plus de celluloses et d'hémicelluloses que les bois tendres (MAGA et Coll., 1985).

Pyrolyse du bois

"Si la combustion complète du bois conduit à la formation de gaz carbonique, d'eau et de cendres, la combustion incomplète (*pyrogénéation*² ou *pyrolyse*³) aboutit à la formation de fumée" (DURAND et Coll., 1984).

Pyrolyse de la cellulose

La première réaction est une hydrolyse acide suivie d'une déshydratation pour obtenir le α -D-glucose. La deuxième réaction est une seconde pyrolyse qui a lieu immédiatement après la première, et produit de l'acide acétique ainsi que ses homologues, de l'eau, et occasionnellement des petites quantités de furanes et phénols plus spécifiques à la pyrolyse de l'hémicellulose et de la lignine (GILBERT et KNOWLES, 1975).

²réaction produite sous l'action d'une flamme

³décomposition chimique sous l'action de la chaleur seule

Pyrolyse de l'hémicellulose

Les hémicelluloses et notamment les pentosanes, sont les moins thermostables et se décomposent donc les premières.

La pyrolyse des pentosanes aboutit à la formation d'acides carboxyliques et furanes. En revanche, celle des hexosanes conduit à l'acide acétique et ses dérivés (GIRARD, 1988).

Pyrolyse de la lignine (SAINCLIVIER, 1985)

La dégradation des lignines est complexe.

Elles sont, au moins en partie, décomposées pour donner un mélange complexe de phénols et d'éthers phénoliques. Les noyaux aromatiques, lors de la combustion, restent stables et les fissions ont plutôt lieu au niveau des noyaux hétérocycliques furanes et pyranes et à la liaison éther.

Les cycles fournissent ainsi des guaiacols, phénols et crésols. A ces composés, s'ajoutent d'autres produits de dégradation tels que le méthanol, l'acétone et divers acides organiques simples.

1.2.2.2. Influence de l'hygrométrie de la sciure

Selon RUITER (1979), l'humidité du bois influence les taux d'aldéhydes glycoliques et de méthylglyoxals dans la fumée et de ce fait la coloration du produit.

Un taux élevé d'humidité du bois produit une fumée riche en acides et carbonylés, et pauvre en phénols d'où une saveur du produit fumé plus acide (GIRARD, 1988).

L'optimum semble être une humidité de 17 à 20% dans la sciure (SAINCLIVIER, 1985).

1.2.2.3. Production de fumée

Le processus classique par combustion lente se déroule en deux temps:

– Phase de décomposition: cette étape est caractérisée par la destruction thermique de chaque macroparticule de bois se produisant en l'absence d'oxygène atmosphérique et fournissant du charbon de bois et des substances volatiles (SAINCLIVIER, 1985).

– Phase d'oxydation (adjacente à la précédente): les substances volatiles produites lors de la décomposition du bois réagissent alors avec l'oxygène atmosphérique. Durant cette phase, on peut atteindre des températures de l'ordre de 1000 °C (BALEJKO, 1991).

Cette "zone d'oxydation" forme une couche environnant le matériau en combustion. Au delà de cette zone, la fumée se refroidit, les constituants les moins volatils se condensent pour former la phase liquide (dite phase particulaire) et les produits les plus volatils se répartissent pour former la phase gazeuse.

1.2.3. La fumée

1.2.3.1. Composition physique

La fumée de bois est composée de deux phases en équilibre:

– une phase gazeuse continue,

- une phase liquide constituée de fines gouttelettes en suspension. Cette phase représente environ 90% de la fumée; ses particules mesurent en moyenne 0.1µm, sont peu solubles et ont des points d'ébullition élevés.

Pour un constituant donné, à une température définie, il y a un équilibre entre la forme gaz et la forme dissoute dans la phase particulaire. Cet équilibre se rétablit de lui-même si l'une des formes est appauvrie par fixation sur le produit à fumer (SAINCLIVIER, 1985).

1.2.3.2. Composition chimique

En 1987, MAGA entreprend un travail de recherche considérable et obtient une liste de 410 composés connus dans la fumée de bois (48 acides, 22 alcools, 131 carbonylés, 22 esters, 46 furanes, 16 lactones, 75 phénols, 50 composés divers). BELTRAN (1989) énumère uniquement les 18 grandes séries de composés .

Actuellement, on connaît environ 500 substances volatiles présentes dans la fumée (De VINCENZI et Coll., 1992).

L'analyse chimique de la fumée est complexe, et si l'on veut y parvenir, il convient de séparer les différents groupes (ex: acides, carbonylés, phénols...) dans un premier temps et ensuite, à l'aide de méthodes plus spécifiques à chaque fraction, d'en déterminer les constituants.

Comme TOTH et POTTHAST (1984) l'ont remarqué, les auteurs arrivent souvent à des résultats différents car ils n'utilisent pas la même méthode d'analyse mais aussi et surtout pas les mêmes conditions d'expérience. UGSTAD et Coll. (1979), pour remédier à ce problème, ont conçu un générateur de fumée où il est possible de faire varier la température de combustion du bois tout en maintenant constants l'hygrométrie de la sciure et de la fumée, le temps de fumage, l'introduction d'air (...) ou vice-versa.

1.2.3.3. Effets indésirables de la fumée: contamination chimique

Dans les produits fumés, il existe deux familles de contaminants chimiques:

- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.),
- les composés N-nitrosés.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Parmi les H.A.P., le 3-4 benzo(a)pyrène (BaP) est considéré comme l'indicateur de contamination dans les denrées alimentaires. Il est notamment le premier à avoir été identifié et qualifié de très cancérigène. Ce choix est malgré tout sujet à controverse car la quantité totale de H.A.P. cancérigènes dans un produit fumé peut être 5 à 10 fois celle du BaP selon certains auteurs.

Pourtant en 1979, POTTHAST identifie 64 H.A.P. dans la fumée et les produits fumés et affirme que l'unique valeur du BaP permet d'estimer les risques encourus par le consommateur. Ce n'est pas l'avis d'HOWARD et FAZIO (1980) qui concluent dans leur revue: "la plupart des efforts ont été réalisés sur le taux de BaP qui pourtant ne représente qu'une image incomplète de la teneur totale en H.A.P. dans le produit fumé".

En Allemagne, le docteur TOTH, qui a mis au point une méthode d'analyse de détermination du benzo(a)pyrène, préconise l'application d'une norme qui impose une quantité de 3-4 BaP

n'excédant pas 1 µg par kg de produit fumé (dose maximale officiellement imposée en Allemagne).

En fait, selon MULLER (1991), ce taux est établi sur ce qui est techniquement possible de réaliser plutôt que sur des considérations purement toxicologiques.

De plus, il ne faut pas oublier la présence de composés co et anti-cancérigènes qui complique énormément la mise en place d'une législation efficace (HARDY et Coll., 1979).

De nombreuses études très récentes déterminent le taux de H.A.P. dans les produits fumés. Leurs résultats très variables montrent toute l'importance des paramètres technologiques quant à la composition de la fumée et du produit à fumer.

Concernant le produit à fumer, LENGES et LUKS, en 1974, ont mis en évidence que les analyses effectuées sur des poissons fumés indiquaient des doses généralement supérieures à celles des produits de viande fumée, dans les mêmes conditions expérimentales.

La teneur en H.A.P. augmente linéairement en fonction de la température dans la zone 400 à 1000 C. Par contre, ils sont presque inexistantes lorsque la thermodégradation du bois n'excède pas 425 C et la température d'oxydation 375 C. La meilleure qualité de fumée serait donc celle produite à une température de combustion située entre 350 et 400 C et même de préférence 350-C pour éviter toute trace de H.A.P. (TIGNER, 1977).

Sur le plan chimique, les H.A.P. résultent de la combustion du bois. La figure 1 montre le mécanisme hypothétique de formation du 3-4 benzo(a)pyrène. La destruction de substances volatiles sous les conditions de pyrolyse donnent naissance à des radicaux méthylènes et à de l'hydrogène. Les dimérisations des radicaux méthylènes en éthylènes, les polymérisations, les cyclisations et les déshydrogénations consécutives conduisent à la formation des H.A.P. (GIRARD, 1988).

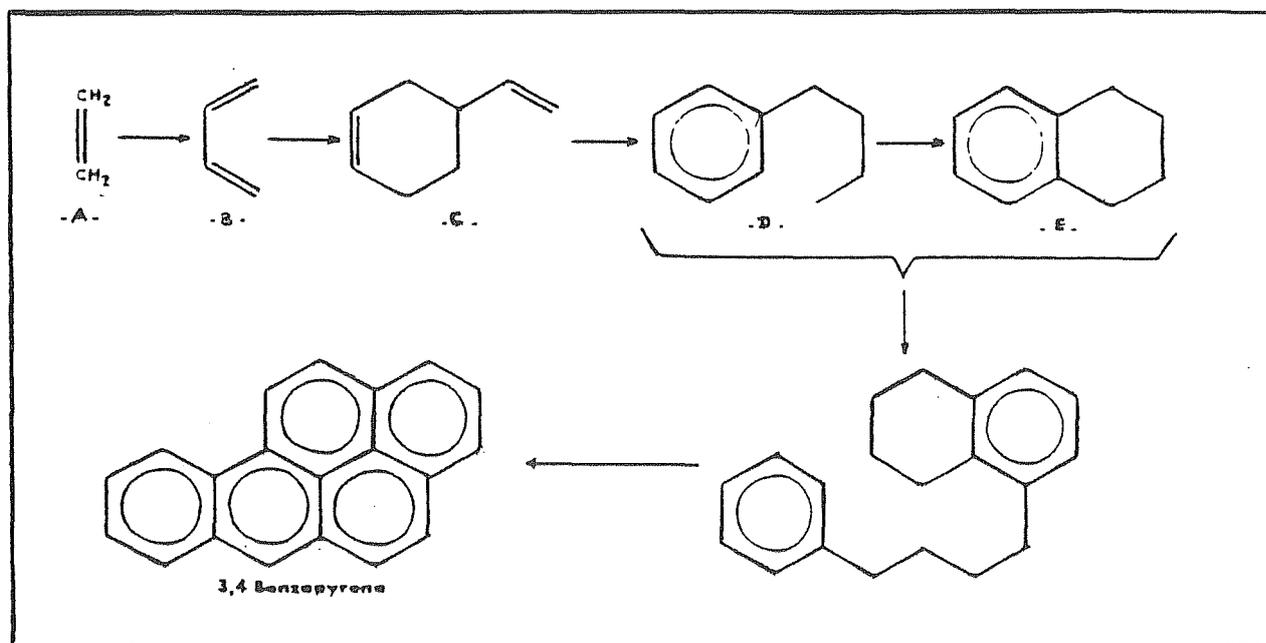


Figure 1
Mécanismes de formation du 3-4 benzo(a)pyrène
(figure d'après BADGER et Coll. (1960) reprise par GIRARD (1988))

Les composés N-nitrosés

Récemment, l'apparition et la formation des composés N-nitrosés dans les aliments ont reçu une formidable attention des chercheurs de par le monde.

Il existe deux revues importantes sur le sujet, celle d'HOTCHKISS (1987) qui recense toutes les publications depuis 1975 sur les composés N-nitrosés en général et celle de THORKELSSON (1989) qui se réfère aux articles traitant plus précisément des nitrosamines dans les produits fumés.

On différencie les nitrosamines, dérivés des amines secondaires, et les nitrosamides, dérivés d'amides substituées. Tous ces composés ont le groupe fonctionnel N-N=O en commun.

Les articles sur la contamination des produits fumés par les composés N-nitrosés ne traitent que des nitrosamines. Selon HOTCHKISS (1987), c'est en majeure partie dû à un manque de méthodes analytiques adéquates pour déterminer les nitrosamides.

De plus, la plupart des recherches se font sur le bacon du fait de sa teneur élevée en nitrosamines volatiles. Selon DAUN (1979), la concentration dans les autres produits fumés est bien trop faible pour être dangereuse. Aussi, nous ne nous attarderons pas sur ces composés.

1.3. LA DYNAMIQUE DU FUMAGE

L'application de la fumée sur le poisson et sa pénétration dans la chair sont les deux phases d'un processus essentiellement physique fondé sur des phénomènes comme l'absorption (et désorption concomitante de vapeur d'eau), la dissolution et la diffusion (SAINCLIVER, 1985).

Au cours du fumage, la fumée est au contact d'une surface d'abord humide (dissolution des éléments de la phase gazeuse entrant en jeu); puis, le temps s'écoulant, la fumée est au contact d'une surface de plus en plus sèche et la phase particulaire se dépose. Toutes les formes de transfert sont donc plus ou moins actives à un moment quelconque du fumage et le phénomène global est complexe (RUSZ, 1977).

1.3.1. Les mécanismes du dépôt et de la Pénétration de la fumée

La quantité de fumée déposée est une fonction complexe de la concentration et de la composition de la fumée, des conditions de l'environnement et de la nature de la surface à traiter. Du point de vue physique, lorsque la fumée vient d'être produite, la phase gaz participe activement au fumage; à ce stade, la quantité de phénols absorbés par la surface est proportionnelle à la concentration des phénols dans la phase gaz, tandis que la phase particulaire, constituée à ce moment uniquement de très petites gouttelettes ($d = 0.1 > \mu m$) est soumise à l'influence des mouvements browniens. Puis, la coalescence de ces fines gouttelettes conduit à des particules de l'ordre de $0.5 > \mu m$ qui se déposent surtout par gravité et sous l'effet de la turbulence.

Or, le taux de dépôt des constituants de la fumée sur le poisson diminue considérablement lorsque la surface s'assèche. Au début du fumage, la phase aqueuse absorbe facilement la phase gaz et la contribution de la phase particulaire est négligeable. Rappelons que ceci provoque un rééquilibrage constant entre phase gaz et particulaire et une modification de la concentration en divers constituants.

C'est la quantité de fumée absorbée par la surface qui déclenche le mécanisme de diffusion de ses divers constituants vers l'intérieur de la chair (appelé "pénétration de la fumée"). Le mélange complexe de la phase gaz diffuse dans les tissus après dépôt.

Les principes fondamentaux de la diffusion sont connus mais, dans le cas du fumage, il s'agit d'un processus où la concentration dans la couche limite (en surface du poisson) varie constamment avec le temps et, de plus, certains constituants de la fumée sont partiellement liés avec certains éléments du poisson lui-même; par exemple, des composés phénoliques se combinent avec des aminoacides soufrés.

1.3.2. Les facteurs influençant le dépôt et la pénétration de la fumée

1.3.2.1. La densité de la fumée

La densité est un facteur important déterminant le taux de dépôt de fumée. Empiriquement, on avait établi qu'une fumée opaque (de forte densité) donnait aux poissons une coloration marquée et lui conférait une plus longue conservation vraisemblablement en raison d'un pouvoir bactéricide élevé. C'était donc en fonction de l'opacité que l'on réglait le fumage.

Les particules de fumée sont souvent suffisamment petites (tout au moins dans la fumée jeune) pour rester en suspension; elles ne sont pas elles-mêmes déposées mais finalement elles se retrouvent sur le poisson soit via la phase gaz lors des rééquilibrages, soit directement après coalescence. Ceci explique donc la relation entre opacité et efficacité du fumage mis en évidence par FOSTER en 1961. La quantité de fumée retenue est donc en relation avec la densité optique (DO) de la fumée :

$$DO = \log (I_0/I_i)$$

dans lequel I_0 est l'intensité initiale d'un rayon lumineux qui, traversant la fumée sur une longueur L , ressort à une intensité I_i (SAINCLIVIER, 1985).

1.3.2.2. La température de la fumée

En règle générale, la vitesse et l'importance de l'absorption de la fumée par les tissus de poissons augmentent avec l'élévation de la température. "Ceci est dû au fait que les phénols à fort poids moléculaire requièrent des températures élevées pour rester dans la phase vapeur, état qui, bien entendu, facilite leur absorption par le produit." (GIRARD, 1988).

Toutefois, à des températures trop élevées, la quantité de substances absorbées diminue. En effet, à ces températures, la tension de vapeur d'eau augmente ainsi que la déshydratation en surface d'où une capacité d'absorption des phénols solubles plus faible. Une élévation trop forte de la température risque donc d'assécher excessivement le poisson (SAINCLIVIER, 1985).

Il faut éviter aussi que la température de la fumée entrant dans le fumoir au début du fumage soit inférieure à celle du poisson à fumer parce que l'humidité de la fumée se condenserait et déposerait des gouttelettes d'eau à la surface du poisson (SAINCLIVIER, 1985).

De même, en cours de fumage, une chute de température peut non seulement provoquer le même phénomène, mais abaisser la teneur en produits volatils dans la phase gaz et ralentir l'absorption de la fumée (CLIFFORD, 1980).

1.3.2.3. L'humidité de la fumée et du poisson

Il existe peu de publications sur ce paramètre car c'est un domaine qui n'a pas été complètement exploré.

L'humidité de la fumée est pourtant un des facteurs régissant la vitesse et l'importance de l'absorption de la fumée par le produit. Le meilleur pourcentage d'humidité relative pour le fumage à froid, à une température de 29°C, se situe entre 60 et 70% (Anonyme, 1972). Au dessus, la conservation ultérieure du poisson fumé serait défectueuse. D'autre part, à une humidité inférieure à 60%, le séchage serait trop rapide et donc l'absorption de fumée trop faible.

L'humidité de la surface du poisson influe également sur le processus du dépôt de fumée: le taux d'absorption augmente avec l'humidité. En effet, la fumée est absorbée par la chair par l'intermédiaire de l'eau intersticielle (eau libre) surtout dans le cas de poissons maigres mais aussi partiellement par la phase lipidique. Aussi, les poissons gras auraient tendance à être mieux fumés que les poissons maigres car les lipides, qui migreraient vers la surface du poisson, permettraient une plus grande absorption des phénols (SAINCLIVIER, 1983).

1.3.2.4. L'introduction d'air

La fumée est introduite dans le fumoir où le courant d'air est essentiel pour maximiser sa distribution uniforme sur le poisson.

Une vitesse élevée du flux d'air + fumée dans le fumoir entraîne une absorption et une pénétration des composés de la fumée plus importante. Cependant, la vitesse de 2 m/s au niveau des produits est un optimum, au delà, les risques de "croûtage" sont importants.

Selon CLIFFORD et Coll. (1980), la vitesse du flux d'air influence la vitesse de déshydratation de la surface du produit et par la même occasion l'absorption. La quantité de composants déposés sur le produit augmente linéairement en fonction de l'élévation de la concentration d'air dans la fumée.

1.3.2.5. Le temps de fumage

Une étude récente (KNOCKAERT, 1993) montre l'effet du temps de fumage sur les qualités organoleptiques du saumon. En ne faisant varier que la durée d'exposition à la fumée (0, 2h, 3h, 4h) du produit dans la cellule, on note une influence directe sur le taux de phénols dans le produit (0, 0.6 mg, 0.8 mg, 1.2 mg respectivement). (Courbes n°1).

Ceci se traduit sur la qualité organoleptique et bactériologique du produit.

Ce facteur ne doit pas être négligé dans l'industrie. Un gain de temps entraîne souvent une perte de qualité du produit (24 à 48 H).

Après le fumage, il faut laisser le temps aux composés de la fumée de se déposer et de pénétrer dans le produit.

L'absorption de la fumée est un processus du premier ordre, sa vitesse décline avec le temps lorsque la saturation approche, la diffusion interne des composés étant relativement lente (CLIFFORD et Coll., 1980).

1.4. LES EFFETS RECHERCHES DU FUMAGE

1.4.1. La flaveur

Longtemps utilisé comme moyen de conservation, le fumage est, à présent, considéré comme un procédé flavorisant. Aussi, il convient de coupler, pour l'évaluation du fumage, la recherche chimique à l'analyse sensorielle.

Un grand nombre de publications mentionnent la contribution essentielle des phénols à la flaveur typique des produits fumés (entre autre, MAGA (1987) et GIRARD (1988)).

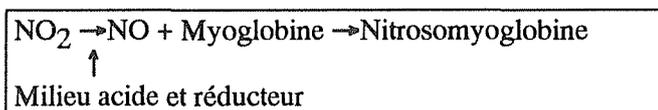
Parmi ces composés phénoliques, certains jouent un rôle plus prédominant que d'autres quant à leur effet flavorisant. Ainsi, on peut citer le gaïacol, le 4 méthyl-gaïacol, le syringol, l'eugénol. En général, les phénols de volatilité moyenne apportent l'arôme le plus agréable (DAUN, 1972).

Ce dernier avait déjà fort bien résumé le procédé d'aromatisation comme étant dû: – à un changement des constituants de l'aliment pendant le fumage, – aux produits issus de la combinaison fumée-aliment, – aux composés de la fumée non combinés

1.4.2. La couleur

Bien qu'étant un effet recherché très important, les articles sur la coloration des produits fumés sont peu nombreux. Les articles généraux sur le fumage publiés après 1979 font tous référence à la publication de RUITER (1979) qui présente de façon concise les divers composés et processus impliqués dans la coloration. A l'origine de ce phénomène, il faut savoir que la fumée est un milieu réducteur et acide qui favorise l'apparition de l'ion nitrite et par la suite la formation de la nitrosomyoglobine (GIRARD, 1988).

Le schéma le plus classiquement admis est le suivant (DURAND et Coll. 1984):



Pour en revenir à la coloration du produit fumé à proprement parler, il est généralement accepté que la fraction carbonylée réagit avec les groupes aminés des protéines à la surface du produit.

Parmi les composés carbonylés qui réagissent avec ces acides aminés, les plus importants sont:

- l'aldéhyde glycolique,
- le méthylglyoxal,
- le formaldéhyde.

Ces trois composés contribuent à 85% du brunissement total (RUITER, 1979).

D'une manière générale, les aldéhydes sont fondamentaux pour la coloration. RUITER (1979) propose un schéma de réaction entre le glycolaldéhyde et l'éthylamine, semblable à la réaction de MAILLARD qui a lieu entre un sucre réducteur ou un autre composé à fonction C=O et une amine.

D'autres réactions peuvent avoir lieu car il ne faut pas oublier que la fumée est un mélange complexe de substances qui réagissent entre elles mais également avec le produit par l'intermédiaire de polymérisations, condensations et même oxydations.

1.4.3. La texture

Il y a d'abord une action de la chaleur pendant le séchage préalable puis pendant le fumage; de plus, les constituants même de la fumée modifient un peu la texture. La texture d'un poisson fumé à froid est molle et tendre.

Les modifications engendrées par le fumage sur la texture sont dues à:

- une déshydratation du produit,
- une remontée à la surface des matières grasses,
- une dénaturation des protéines du tissu conjonctif (SAINCLIVER, 1985).

1.4.4. La conservabilité

Même si actuellement, le fumage est largement utilisé pour l'aromatisation, il n'en a pas pour autant perdu ses qualités en tant que mode de conservation. Ainsi, il exerce deux types d'actions qui se traduisent sur la conservation des produits traités :

- action antioxydante,
- action bactériostatique, voire bactéricide.

1.4.4.1. L'action antioxydante

Les acides gras (et particulièrement les acides polyinsaturés) des aliments sont très oxydables. Cette oxydation résulte de la formation d'hydropéroxydes par une réaction en chaîne de radicaux libres. Ces hydropéroxydes sont des substances très instables et réactives et donnent de nombreux produits secondaires, notamment les aldéhydes et les cétones de faible poids moléculaire qui sont responsables de l'odeur de rance.

Parmi les composés de la fumée, la fraction phénolique est en grande partie responsable de l'activité antioxydante et plus particulièrement celle à haut point d'ébullition comprenant le syringol et ses dérivés.

Par contre, certains composés tels que les hydrocarbures ont une activité pro-oxydante.

1.4.4.2. L'action microbiologique

Les recherches en microbiologie des produits fumés s'intéressent plus spécialement aux trois micro-organismes suivants: *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum* type E et *Staphylococcus aureus*.

La fumée a des propriétés bactériostatiques, voire bactéricides. Cependant, les poissons fumés ne sont convenablement stables que si ils sont suffisamment déshydratés ou (et) salés (diminution importante de l'activité de l'eau). Il y a donc corrélativement à l'action de la fumée, celle de la chaleur et du sel.

Parmi les composés de la fumée, la fraction phénolique est la plus inhibitrice et plus particulièrement les phénols à bas point d'ébullition (DAUN, 1979).

Les autres fractions comme les terpènes ne présentent aucune activité bactériostatique et même ces derniers auraient une action antagoniste de celle des phénols et réduiraient leur effet antibactérien. Ces phénols inhibent la croissance bactérienne en prolongeant la durée de la phase de latence. La croissance exponentielle reste inchangée (à moins que la concentration en phénols ne soit très élevée).

Les levures (notamment *Saccharomyces cerevisiae*) et les moisissures sont relativement résistantes à l'action de la fumée. La présence de moisissures parmi la flore des poissons fumés est due à une contamination par la sciure lors de son entreposage à proximité de la matière première.

2ème partie :
LE FUMAGE ELECTROSTATIQUE A FROID
Application au poisson

2.1. LE FUMAGE ELECTROSTATIQUE

2.1.1. historique

Dès 1908, un chercheur américain, MILLIKAN, démontre l'action d'un champ électrique sur la fumée. En 1924, un inventeur L.F. LITTLE (USA) dépose un brevet concernant une installation dans laquelle on fume de la viande dans un champ électrique pour en accélérer le traitement (Shéma 1)

Dès lors, de nombreux chercheurs vont s'intéresser à cette technique et les brevets déposés sont nombreux : parmi ceux-ci, on peut citer la société Unilever, qui en 1961 présente une invention se rapportant à une technique du fumage électrostatique de tranches de jambon en mode continu. Concernant le poisson, c'est encore un brevet américain, qui en 1947 est présenté par G. LAWRENCE. Ce dernier propose un tunnel de fumage en continu dans lequel le poisson circule à la vitesse de 6 cm/seconde à travers un champ électrique de 12KV. Les filets de poisson sont soumis seulement 15 secondes à ce traitement et les résultats sont d'après l'auteur très satisfaisants avec entre autre "une uniformité absolue de traitement".

Comme on peut le constater, cette technique a fait l'objet de nombreuses recherches et les dépôts de brevets ne manquent pas. Cependant, aucune application réelle n'a été possible dans le cas du fumage des produits de la mer à ce jour.

En effet, le produit subit, dans le cas de fumage "à froid" c'est à dire sans cuisson, une déshydratation simultanément au fumage. De ce fait, les temps très courts de traitement en mode électrostatique ne permettent pas de sécher suffisamment le produit, ôtant tout intérêt pour cette méthode dans le cas des produits de la mer. Cependant, lorsque les produits sont fumés et cuits (fumage à chaud) ce mode d'application est possible sans problème. A ce jour, aucune réalisation industrielle n'a vu le jour, les produits fumés à chaud ne représentant qu'une très faible partie du tonnage traité, soit environ 2,5 %.

Enfin, une autre raison évoquée, concerne les problèmes liés à l'utilisation de la haute tension et des risques afférents (courts circuits, isolation électrique...)

2.1.2. Etat des recherches

De nombreux chercheurs de différents pays ont travaillé sur le sujet:

Les Soviétiques ont publié de nombreux travaux (essentiellement l'Institut Rybnovo) concernant des applications sur le fumage des poissons. Traditionnellement, les Russes en sont de gros consommateurs (surtout de produits cuits) ce qui explique le volume des recherches engagées. Des applications industrielles auraient été faites.

En Grande Bretagne, la société White Steveson Ltd propose en 1980, un système de pulvérisation d'extrait de fumée avec dépôt électrostatique (à l'instar de la peinture automobile): Il serait possible de fumer un poulet en 45 minutes selon l'auteur de l'article A. ALEXANDER (1980), mais 2 heures seraient nécessaires pour sécher le dépôt afin d'en assurer l'adhérence.

En RFA, pays gros consommateur de produits fumés, de nombreuses publications sont consacrées à cette technique. La plus grande partie concerne le fumage de produits charcutiers.

En France, la station de recherches de l'INRA de THEIX s'est intéressée à cette technologie en 1982/83 et a publié des résultats très encourageants sur les possibilités d'utilisation dans le cas du jambon fumé (J.P. GIRARD; R. TALON). Cependant, à ce jour aucune réalisation concrète n'a été faite en France. Seule une installation existe en Belgique: Dans ce cas, des électrodes ont été placées verticalement sur les côtés de cellules de fumage traditionnelles, le chariot supportant les jambons étant relié à la masse.

En conclusion à cette étude bibliographique, il ressort que cette technique est peu utilisée. L'industrie du fumage, quand elle existe, est une technique ancienne et très conservatrice avec des recettes propres à chaque pays. D'autre part, l'utilisation de la haute tension exige de la part des utilisateurs des précautions d'usage, avec des règles de sécurité peu compatibles avec bons nombres d'ateliers. Enfin, dans la plupart des cas, on a essayé d'équiper des installations déjà existantes, peu adaptées à cette technique avec pour conséquences des résultats peu encourageants

Les réalisations actuelles ne concernent que la charcuterie et la volaille (USA, Belgique, RFA, GB), ou le fumage à chaud de poisson (Pays de l'Est).

2.2. RAPPELS SUR LE CHAMP ELECTROSTATIQUE UNIFORME

Deux plaques rectangulaires, de dimensions suffisantes par rapport à leur écartement, disposées parallèlement, sont utilisées comme électrodes de signe contraire. Ces deux électrodes électrisées établissent entre elles, excepté près des bords, un champ électrostatique uniforme (cf. figure 2).

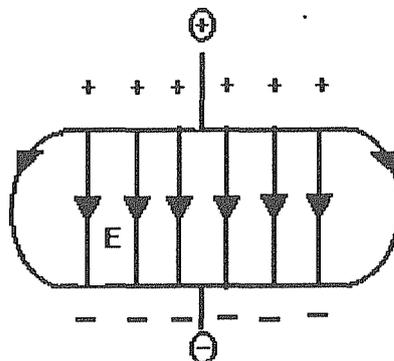


figure 2
Champ uniforme

Ce champ est orienté de la plaque positive vers la plaque négative. Ces lignes de champ sont rectilignes, parallèles entre elles et perpendiculaires aux plaques.

2.2.1. Ionisation de la fumée

2.2.1.1. Effet couronne (Techniques de l'ingénieur. 1979)

Soit un fil métallique relié au pôle positif d'une source de courant haute tension. Le pôle négatif correspond au tapis relié à la masse. Il va se produire une ionisation intense de l'air au voisinage

immédiat de l'électrode positive. L'air contient en permanence des électrons libres qui vont être accélérés par le champ électrique. Quand ils ont atteint une énergie suffisante, ils entrent en collision avec les molécules de l'air. Chacun d'eux peut ensuite arracher un électron à une molécule et reprendre sa course. L'électron arraché est à son tour accéléré. Il va arracher un autre électron et ainsi de suite. Il y a donc production d'un nombre croissant d'électrons libres et d'ions positifs. Ce phénomène est appelé l'effet couronne.

Les ions positifs sont attirés par le tapis et les électrons par l'électrode positive. Au delà de l'étroite région où est localisé l'effet couronne, le champ électrique diminue rapidement. L'énergie des électrons diminue et les atomes d'oxygène (gaz électronégatif) les capturent, se transformant ainsi en ions négatifs. Les ions sont 400 fois moins mobiles que les électrons, de sorte qu'ils constituent dans le tunnel une charge d'espace qui ralentit le passage du courant et stabilise le phénomène permettant d'atteindre sans arc électrique des tensions très élevées.

2.2.1.2. Action sur la fumée (Techniques de l'ingénieur, 1980)

La précipitation électrique agit non seulement sur des particules solides et liquides (comme nous venons de le voir) mais aussi sur des gaz. Pourtant, dans leur état normal, les gaz sont des isolants électriques. Cela tient au fait qu'ils contiennent peu de particules chargées libres. Cependant, si on leur applique des champs électriques assez intenses, ils deviennent conducteurs. Les phénomènes complexes qui se produisent alors portent le nom de décharge dans les gaz et sont dus à l'apparition d'électrons et d'ions libres.

La fumée étant composée d'une phase liquide et d'une phase gazeuse, l'ensemble de ses constituants semble être ionisé.

2.3. APPLICATIONS AUX PRODUITS CARNES

Il existe très peu de publications relatives à ce thème. Le peu d'articles concernant les applications du fumage électrostatique se réfèrent toujours aux travaux de GIRARD et Coll. effectués en 1982:

Le but de leur travail a été de juger de l'efficacité du fumage électrostatique comparativement au fumage traditionnel. Pour ce faire, ils ont dosé les composés responsables de l'état fumé qui sont donc principalement les composés phénoliques, carbonylés et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.). Parmi les nombreux paramètres à prendre en considération, ils se sont plus particulièrement penchés sur l'étude de la distance électrode-produit et sur celle du temps de traitement. L'intensité du courant et la tension choisies ont été respectivement de 0,6 mA et de 15 kV; la matière première était du bacon.

Pour une distance électrode-produit de 20 cm, il constate une quantité supérieure de phénols (1,4 fois plus) que pour une distance de 60 cm ou un fumage traditionnel. De même, pour un même temps de traitement, la quantité totale de phénols déposée lors du fumage électrostatique est 1,3 fois supérieure à celle déposée lors d'un fumage traditionnel.

Au niveau des composés carbonylés, il ressort que le fumage électrostatique à 20 cm se traduit sur le produit par des quantités de carbonylés supérieures au fumage traditionnel et que le même fumage réalisé à 60 cm de l'électrode n'entraîne pour le produit aucune différence par rapport au fumage traditionnel. Pour un même temps de traitement, on note une augmentation du nombre de composés carbonylés lors d'un fumage électrostatique.

Les résultats des analyses sur le taux d'H.A.P. montrent que les qualités toxicologiques des produits fumés électrostatiquement sont satisfaisantes eu égard à la norme allemande qui limite le taux de contamination en 3-4 benzo (a) pyrène à 1 ppb. Cependant, il convient de noter que le fumage électrostatique, dans les conditions expérimentales, entraîne une contamination 4 fois supérieure à un fumage traditionnel, tout en restant malgré tout en dessous du seuil de 1 ppb.

Conclusion: pour un échantillon placé dans les conditions expérimentales à 20 cm de l'électrode ionisante, le fumage électrostatique permet de déposer des quantités d'agents responsables de l'état fumé supérieures à celles déposées lors d'un fumage traditionnel. Le temps de traitement d'un fumage électrostatique peut donc être considérablement réduit comparativement à celui du fumage classique. De plus, les tests de dégustation confirment ces résultats.

2.4. PERSPECTIVES D'INNOVATIONS DU PROCEDE

La mécanisation de nombreuses opérations unitaires ont permis d'augmenter considérablement les cadences. Parmi les points ayant fait l'objet d'une attention particulière en terme de productivité, on peut citer le filetage mécanique, le salage par injection (saumure saline injectée sous pression à l'aide d'aiguilles), le tranchage mécanique des filets et la reconstitution automatique.

Cependant une partie de ces innovations concernent des produits appelés "Premiers prix" ou "produits d'appels" dans la distribution, surtout en ce qui concerne la méthode de salage, les entreprises continuant de travailler une part de leur production par la méthode dite du "sel sec".

Au niveau du séchage/fumage, 80 % du parc de matériel est constitué de systèmes climatisés associés à des générateurs de fumée à autocombustion (basse température évitant tout risque de production d'hydrocarbures polycycliques aromatiques). Le niveau de performance est donc le même partout ou presque

Le fumage électrostatique à l'étude actuellement a pour objectif d'améliorer les performances de ce poste.

Les objectifs sont:

- une meilleure homogénéité de traitement,
- une qualité reproductible,
- une hygiène accrue,
- un gain de temps.

La réduction du temps de fumage oblige à augmenter le temps de séchage d'un temps équivalent ôtant tout intérêt en terme de productivité à cette technique. La déshydratation Imprégnation/Immersion peut apporter une solution intéressante à ce problème. . .

Depuis 1991, l'IFREMER de Nantes et le CIRAD-SAR de Montpellier ont mis en oeuvre une nouvelle technique rapide de salage/séchage appelée "la déshydratation Imprégnation/Immersion (D.I.I.) qui permet de saler et sécher le poisson en même temps. Cette méthode peut donc être utilisée pour le prétraitement des poissons avant un fumage électrostatique.

En 1993, l'IFREMER et le CIRAD-SAR ont déposé un brevet associant ces deux techniques D.I.I. et fumage électrostatique (Annexe).

2.4.1. La deshydratation imprégnation immersion : D.I.I.

2.4.1.1. Principe

La D.I.I. est un procédé basé sur la mise en contact d'un produit alimentaire avec un mélange de sel et de sucre soit en saumure, soit à sec. Il se produit alors des transferts de matière (HAWKES et FINCK, 1978):

- une sortie d'eau du produit vers le mélange,
- une entrée de sel du mélange vers le produit,
- une fuite de solutés propres au produit.

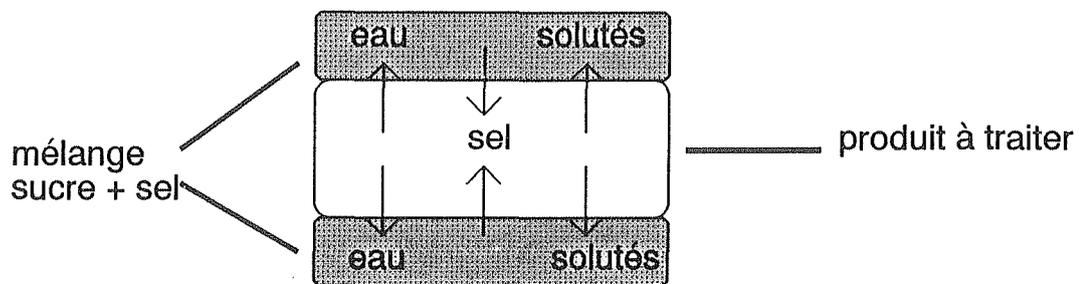


Schéma 2: Principe de la D.I.I.

Le produit à traiter est mis en présence d'un mélange d'agents dépresseurs de l'humidité relative (HR) du produit. Ce mélange est composé majoritairement de sel et pour le reste de divers sucres. L'eau du produit est ainsi captée par le sucre fortement hygroscopique pendant que le sel pénètre dans le produit. Grâce au contrôle précis des conditions opératoires, le produit est séché au degré voulu et avec la teneur en sel désirée.

Ce procédé a été étudié essentiellement comme moyen de déshydratation des fruits et légumes. Cependant, de récents programmes de recherche ont appliqué cette opération à d'autres types de produits : viandes, poissons. (RAOULT-WACK / COLIGNAN 1994)

2.4.1.2. Avantages

La technique de D.I.I. permet d'effectuer un salage et un séchage simultanément. Elle présente de nombreux intérêts : (tableau 2)

- un intérêt hygiénique puisque cette opération peut se dérouler à basse température (2°C). Cette technique permet également une réduction des manipulations dans le but d'une meilleure préservation des qualités sanitaires des produits. De plus, on obtient des produits plus homogènes avant fumage que ceux obtenus par les procédés classiques.

- un intérêt technique puisque la mise en oeuvre du procédé ne nécessite qu'une infrastructure simple (chambre froide classique) et à faible coût. On peut aussi facilement maîtriser la quantité de sel (NaCl) absorbé par le produit avec une pénétration de sucre limitée, voire nulle (avec du saccharose), compatible avec la qualité organoleptique désirée du produit fini. En effet, la

souplesse d'utilisation (variation du rapport sel/sucre et du temps d'application) permet de maîtriser le rapport perte d'eau/gain en solutés.

– **un intérêt économique** du fait des faibles investissements nécessaires à cette opération. De plus, la diminution du temps de traitement permet d'accroître la rentabilité des installations industrielles et d'améliorer les coûts de production.

Un gain d'énergie est aussi réalisé par l'élimination de l'étape de séchage; on évite ainsi un apport d'énergie pour l'évaporation de l'eau lors du séchage classique.

**3ème Partie
ETUDE DE FAISABILITE**

En 1992, une étude a été réalisée à l'IFREMER pour s'assurer de la faisabilité d'un fumage électrostatique sur du poisson et pour maîtriser les paramètres essentiels inhérents à cette technique.

3.1. ETUDE DU POSITIONNEMENT DES ELECTRODES

Le pilote de séchage/fumage choisi pour ces expériences est un appareil qui permet de maîtriser correctement l'hygrométrie (65 %), la température (20°), la vitesse d'air (2 m/s) et la densité de la fumée. La sciure utilisée est du hêtre en granulométrie de 1 à 2 mm, légèrement humidifiée (10%). la température de pyrolyse est de 450 °C. Un opacimètre MOBREY mesure la densité de la fumée, permettant ainsi une bonne reproductibilité des expériences. Une première série d'essais a eu pour but de définir le positionnement des électrodes :

Le pilote de fumage a été équipé d'un générateur de courant de haute tension et quatre électrodes constituées de fil en acier inoxydable, ont été placées verticalement sur les parois de l'enceinte (2 sur chaque côté). (schéma 2). La distance maximale électrode/produit, est de 60 cm. La position la plus proche de l'électrode se situe à 20 cm (bord du chariot). Les poissons se trouvent donc à une distance comprise entre 20 et 60 cm du fil positif. Le chariot est relié à la masse par une tresse métallique.

Les résultats ont montré l'hétérogénéité du dépôt des phénols (sur des filets de lieu noir de 300 g) qui varie en fonction de la distance du produit par rapport aux fils ionisants. De cet essai, il ressort qu'il est impératif de disposer les électrodes de façon parallèle. La suite des essais sera réalisé en utilisant directement des grilles de chariot isolées par des tubes en PVC (Schémas 3, 4, 5). Ces essais démontrent également l'impossibilité d'utiliser une cellule traditionnelle si l'on veut optimiser cette technique.

observations {
 - courants de fuite importants
 - dépôts hétérogènes
 - encrassement des parois de la cellule

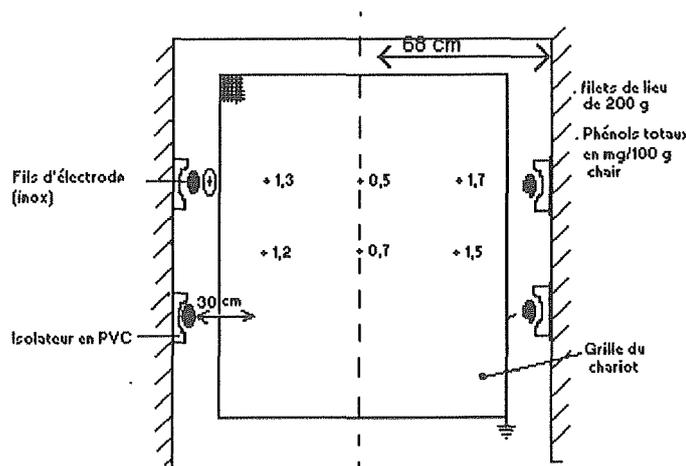


Schéma 3 (vue de dessus)

dépôt des phénols en fonction de l'emplacement sur une grille (vue de dessus)
 mg % g chair : technique au "fil d'électrode", durée 1 H (t= 20°C, HR = 65%, voire 2 m/s V = 20 KV)

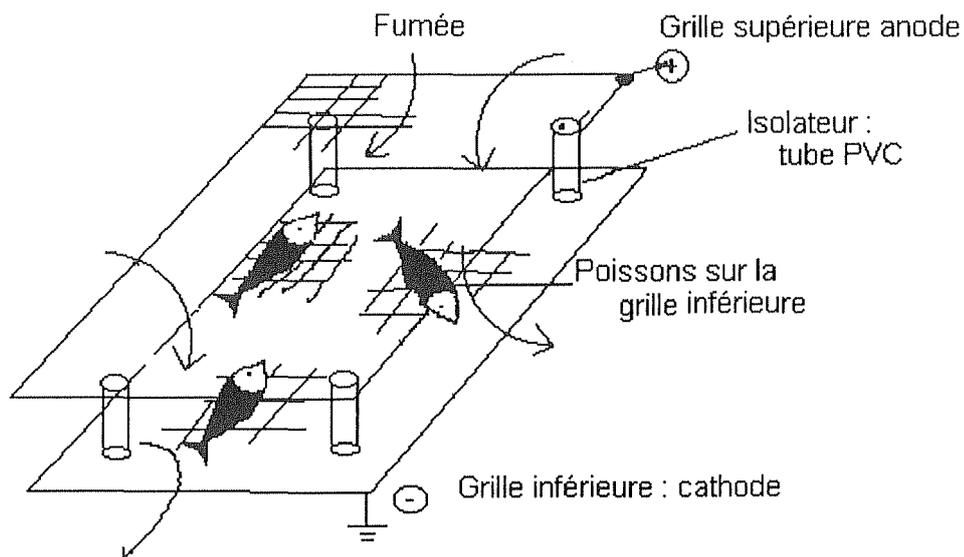


schéma 4
Schéma de principe de l'installation "entre deux grilles"

- observations {
- Meilleure homogénéité du dépôt
 - courants de fuite supprimés
 - problèmes d'encrassement réduits

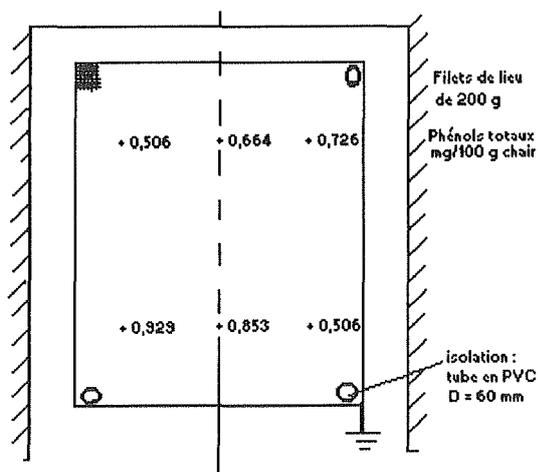


Schéma 5
Dépot des phénols totaux en fonction de l'emplacement sur une grille
Durée : 1 H, $t^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$, vit = 2 m/s, HR = 65 %, U = 20 KV
Technique "entre deux grilles" + et -

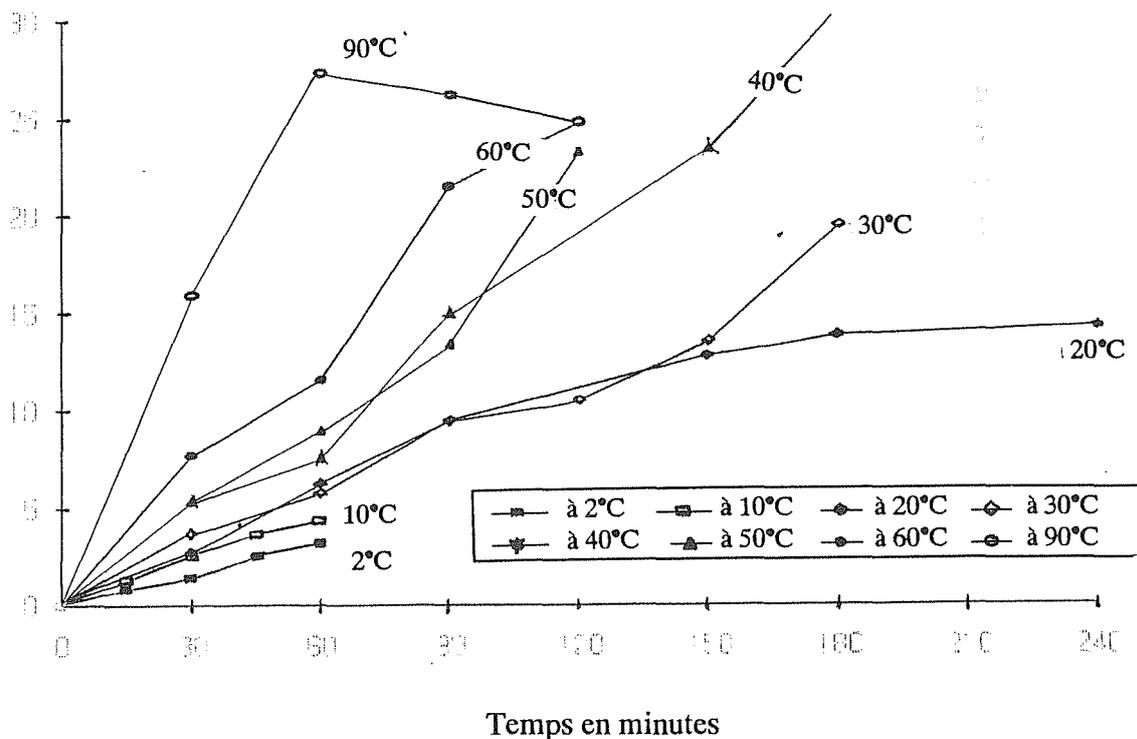
3.2. DETERMINATION DE LA DISTANCE OPTIMALE ELECTRODE/PRODUIT

La suite de l'étude a consisté à déterminer un mode de polarisation de la fumée : les résultats montrent qu'une distance entre électrodes de 15 à 30 cm est optimale pour une plage d'exposition de 30 à 90 minutes (Graphes 1 et 2).

3.3. INCIDENCE DE LA TEMPERATURE SUR LE DEPOT DE LA FUMEE

Puis, des essais ont été effectués pour suivre l'effet de la température sur la cinétique de dépôt des composés phénoliques : les résultats montrent que plus la température est élevée, plus le dépôt est important, comme en mode traditionnel, mais à des vitesses de dépôt 3 fois plus rapides (courbe 1). Les essais ont été réalisés sur des filets de lieu noir d'un poids moyen de 300 à 400 g avec un écartement entre électrodes de 20 cm et une tension de 20 KV

Phénols totaux en mg/100 g de matière sèche



Courbe 1

Cinétique de dépôt des phénols totaux sur des filets de lieu noir d'un poids de 300 à 400 g en fonction de la température pour une hygrométrie relative de 65 % et une vitesse d'air de 2 m/s. La fumée est produite par un générateur à autocombustion alimenté à la sciure de hêtre.

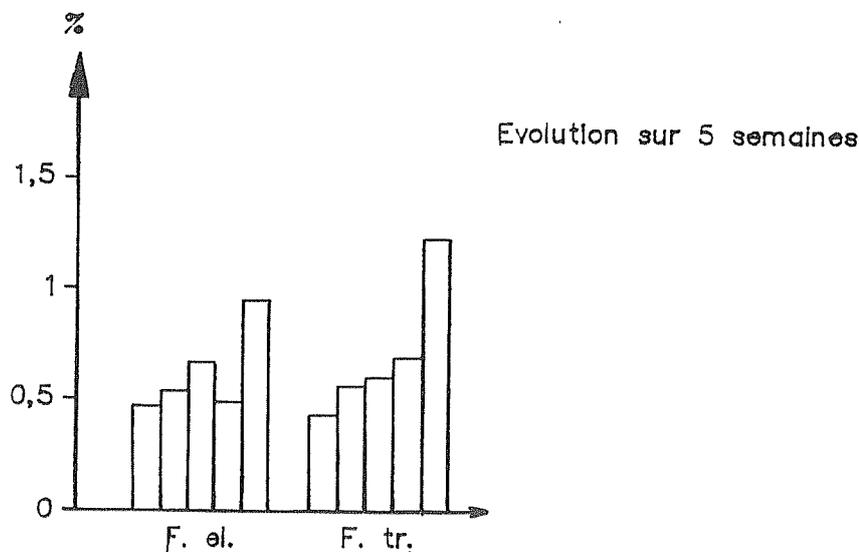
De même, le dépôt des carbonylés est beaucoup plus intense lors d'un fumage électrostatique qu'un fumage traditionnel (identifiables à la couleur plus foncée des produits)

3.4. REALISATION DE PRODUITS ET ANALYSES

Ces différentes constatations nous ont permis de procéder à une 1ère fabrication (**organigramme 1**) de produit avec pour objectif de juger de l'incidence de cette technique sur le produit. Un lot de saumon "Salmo Salar" a été traité, pour une moitié par la méthode traditionnelle et pour l'autre par le fumage électrostatique.

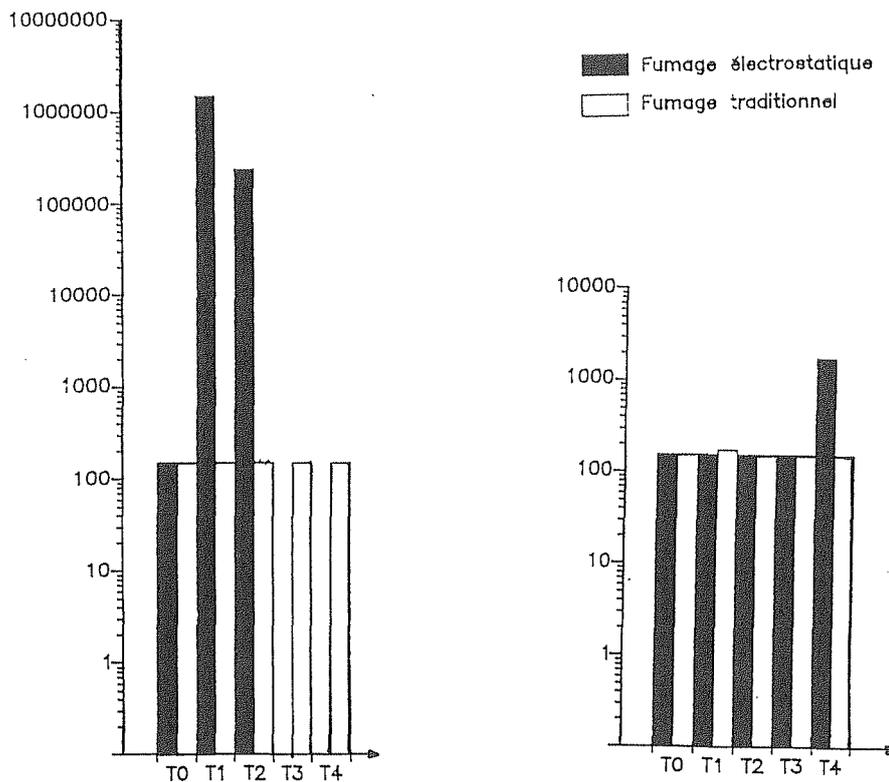
Au niveau organoleptique, cette étude montre que le fumage électrostatique entraîne des modifications par rapport au fumage classique : l'odeur du produit est très différente et on note une atténuation de l'odeur spécifique "poisson" due à des caractéristiques très particulières de la fumée. Cette odeur, même après 5 semaines, se singularise toujours et on parle de "fumée froide". Ces différences sont par contre quasiment absentes au niveau de la saveur.

Cette étude a également permis de suivre les produits pendant 5 semaines : le dosage de l'ABVT⁴ montre qu'il n'y a pas de différences d'évolution entre les deux produits (**Bargraphe 3**). Par contre, le suivi de la flore totale montre une charge microbienne plus élevée sur les saumons fumés par le mode électrostatique (**Bargraphe 4**). Une deuxième série d'essais, effectuée avec un filtrage de l'entrée d'air a limité cette nuisance (**Bargraphe 5**).



Bargraphe 3
Evolution du rapport ABVT/NT (g/100g)

⁴ Azote Basique Volatil Total



Bargraphe 4
Flore totale - 1er essai

Bargraphe 5
Flore totale - 2ème essai

Conclusion : Cette étude montre la faisabilité d'une telle technique qui réduit de façon considérable la durée du fumage à froid. Mais il conviendra d'affiner le traitement afin d'éviter les nuances d'odeur lors du test organoleptique. D'autre part, il apparaît que seul le traitement en tunnel est adapté à cette technologie.

L'étude de faisabilité a permis de dégager les points suivants :

- La distance électrode/Produits doit être la même en tout points, et comprise entre 15 et 30 cm,
- l'enceinte de traitement doit être en matériaux isolants. Les seuls éléments métalliques sont l'électrode et le tapis de convoyage,
- l'environnement de l'installation doit être "hors poussière", c'est à dire que le générateur de fumée doit se situer dans un local indépendant (risques de contamination par les poussières dues aux manipulations des sacs de sciure),
- l'enceinte de traitement doit être équipée d'un système de filtration de l'air,
- l'hygrométrie ne doit pas être trop élevée (< à 80 % HR),
- afin de limiter les problèmes liés à l'encrassement (dépôt des goudrons sur les électrodes et toutes les parties métalliques), il importe de prévoir un système qui limite les dépôts de composés de la fumée aux seuls produits et qui soit facilement nettoyable.
- la distribution de fumée doit être importante et contrôlée par une mesure permanente de sa densité.



**4ème Partie :
REALISATION ET OPTIMISATION
DU FUMAGE ELECTROSTATIQUE**

4.1. LE PILOTE DE FUMAGE

Ce pilote est associé aux éléments de traitement par DII (Schéma 6)

Le pilote (représenté sur les Schémas 7 et 8) est constitué d'un tunnel interne de 3 m de long, 35 cm de large et 20 cm de hauteur permettant un fumage en continu. Le tunnel externe fait office de protection. Les capacités de production peuvent atteindre, pour le saumon, 45 filets/h (20 mn de fumage) et pour le hareng, jusqu'à 360 filets/h (10 mn de fumage). (Tapis en acier inoxydable de 30 cm de large). Les parois intérieures sont en polyéthylène et l'extérieur est composé de matériaux très isolants et ininflammables en mousse de polyuréthane et résines de synthèse.

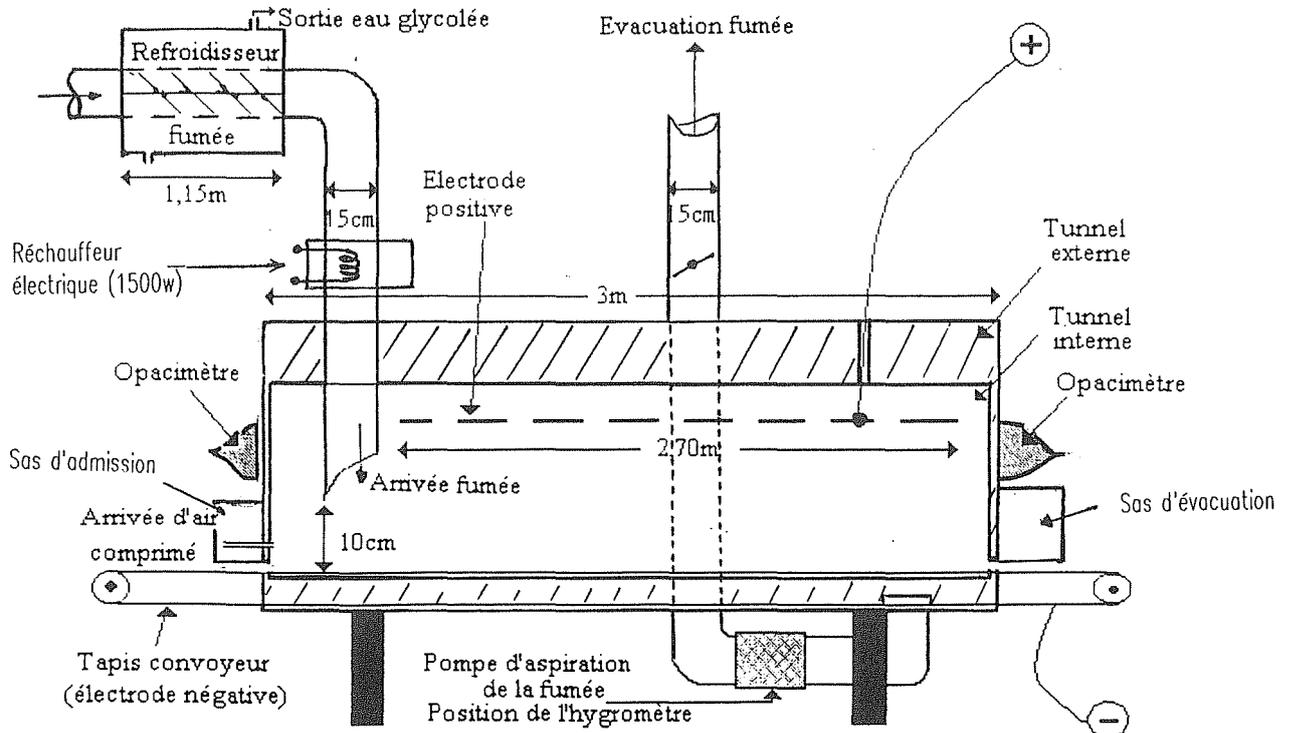


Schéma 7

Représentation du tunnel de fumage électrostatique (vue de profil)

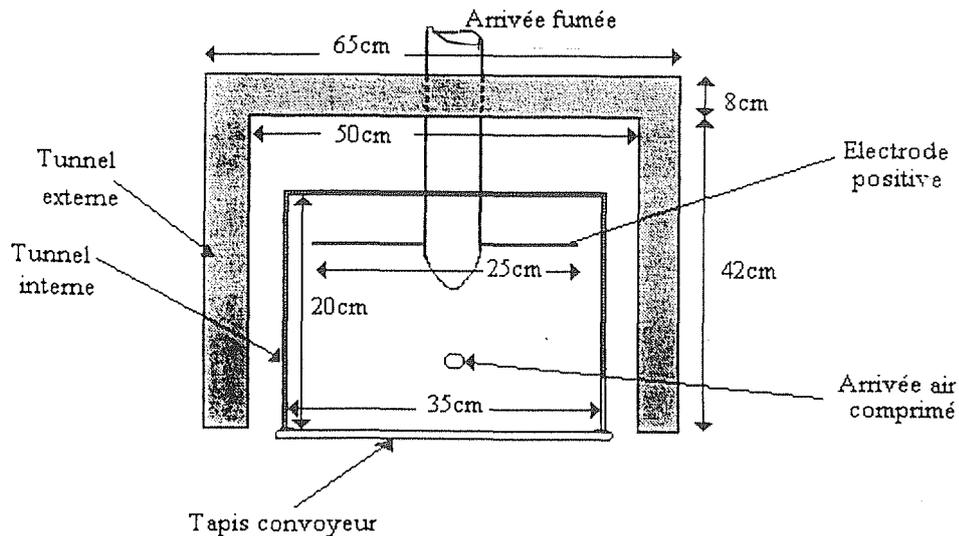


Schéma 8

Représentation de l'entrée du tunnel de fumage électrostatique (vue de face)

La partie supérieure peut être relevée (système de treuil) pour permettre un accès à l'intégralité du tapis de convoyage. Un deuxième tunnel amovible recouvre le tapis. Il a pour objet :

- d'assurer une parfaite isolation par rapport aux éléments du châssis supérieur, et de supprimer les courts circuits électrode/vis de montage
- de limiter le volume et par conséquent d'augmenter la densité de la fumée,
- d'assurer une meilleure homogénéité de répartition de la fumée dans le tunnel,
- de permettre un nettoyage aisé par simple retrait.

L'électrode positive (2,70 x 0,25) est réalisée en acier inoxydable à l'aide de grille de maillage 1 cm x 1 cm. Ce tunnel est réalisé en PVC alimentaire. L'assemblage a été effectué par soudure.

L'admission de la fumée se fait par la partie supérieure, tandis que l'évacuation est assurée par une turbine munie d'un variateur de vitesse permettant d'entretenir une légère dépression dans l'enceinte. De ce fait, il n'y a pratiquement pas de fuites de fumée, malgré les 2 sas d'accès. Le tapis en acier inoxydable est relié à la masse.

4.2. LA PRODUCTION DE FUMEE

La production de fumée est assurée par un générateur de fumée (THIRODE) modèle 80-300, fonctionnant par auto-combustion. Il est doté d'une trémie réserve de sciure ou de copeaux, d'une chambre de production de fumée et d'un cendrier placé sous la plaque chauffante. Le tirage de l'air se fait par une turbine aspirante. Après une durée suffisante de chauffage, la pyrolyse du bois s'effectue d'elle-même, le chauffage électrique étant coupé. Ce générateur présente ainsi une faible consommation d'énergie, une production de fumée régulière et une bonne sécurité;

Nous utilisons pour tous les essais de la sciure de hêtre;

Un échangeur thermique en acier inoxydable permet de refroidir la fumée avant son entrée dans le tunnel. Sa longueur est de 1 m avec une surface d'échange entre l'eau glycolée et la fumée de 0,5 m². Une batterie de résistances électriques (1500 W), permet de réchauffer l'air en cas de niveau trop élevé de l'hygrométrie.

4.3. INTERET DU REFROIDISSEUR DE FUMEE

Lors de nos essais, nous avons été confronté à un problème les jours d'hygrométrie élevée (pluie, orages...) : aucune expérience de fumage électrostatique n'était possible. Ceci s'explique par le fait que l'humidité à l'intérieur du tunnel se condense sur les parois et sur l'électrode provoquant ainsi des courts-circuits importants. Dès que l'hygrométrie dépassait 80%, il était très difficile d'obtenir un champ électrostatique.

Nous avons résolu ce problème en diminuant l'hygrométrie de la fumée avant son introduction dans le tunnel. Pour y parvenir, nous avons refroidi les parois du tuyau d'arrivée de fumée à l'aide d'un échangeur thermique afin de condenser l'humidité. (Schéma 9). Les résultats sont présentés en tableau n° 3

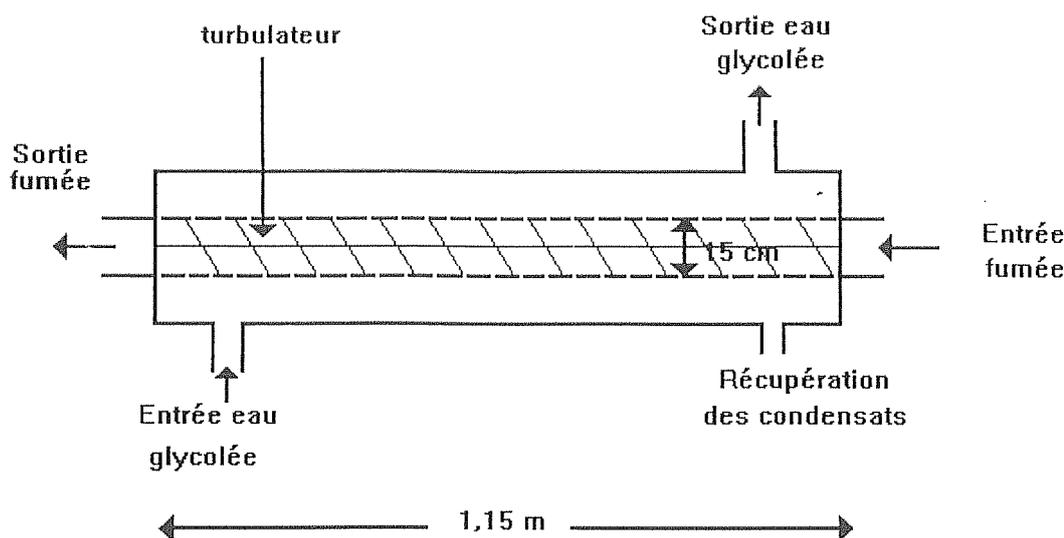


Schéma 9
Refroidisseur de fumée

Température eau glycolée à l'entrée (°C)	5,3
Température eau glycolée à la sortie (°C)	5,6
Débit de l'eau glycolée (m ³ /h)	2,4
Température fumée à l'entrée (°C)	50 en moyenne
Température fumée à la sortie (°C)	25 en moyenne
Débit de la fumée (m ³ /h) dans le tuyau	44,3
Diminution de la température de fumée (°C)	25 en moyenne
Quantité de liquide récupéré en ml/m ³ de fumée	2,7 (écart-type = 0,253)

Tableau 3
Récapitulatif des données concernant le refroidisseur

Conséquences : Le fait de condenser l'humidité de la fumée avant son arrivée dans le tunnel entraîne une diminution de l'hygrométrie dans le fumoir.

Depuis la mise en place du refroidisseur, il faut signaler également que la condensation de la fumée sur les parois du tunnel et sur l'électrode est limitée, permettant d'espacer les nettoyages. (possibilité de fumer en continu pendant une huitaine d'heures)

Ce tunnel dispose des éléments suivants :

- Une alimentation Haute Tension (SEFELEC) réglable en tension de 0 à 60kV et en intensité de 0 à 2mA. - référence HT 50 R2;
- Une grille de 2,70m de long sur 25cm de large reliée à la Haute Tension et correspondant à l'électrode positive.
- Un tapis de convoyage à vitesse variable du poisson en acier inoxydable relié à la masse (électrode négative).

- Une arrivée d'air comprimé dont la pression peut être comprise entre 0 et 6 bars.
- Une turbine placée au niveau de la sortie du tunnel pour l'aspiration de la fumée (à vitesse variable).

Au niveau des capteurs, nous disposons d'un opacimètre (MOBREY) constitué d'un émetteur et d'un récepteur placés de part et d'autre du tunnel pour le contrôle de densité de fumée, d'un hygromètre (JUMO) pour la mesure de l'humidité relative dans le tunnel, de trois sondes thermocouples pour les prises de température. Le débit de la fumée est mesuré par un anémomètre 4200 (TESTOVENT).

Tous les appareils de mesure sont reliés à une centrale d'acquisition des données (AOIP- modèle SAM 100). Le traitement des informations est réalisé ensuite par micro-ordinateur avec le logiciel LS 22 AOIP.

4.4. FONCTIONNEMENT DU TUNNEL

4.4.1. Mise en route

Le générateur de fumée est alimenté au moins quinze minutes avant le début des opérations. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'un système de "by pass" de la fumée en production directe sur la cheminée.

4.4.2. Admission de la fumée

La turbine d'aspiration à vitesse variable permet d'ajuster le tunnel en dépression : moment où la fumée ne sort plus par les sas d'admission et d'évacuation. L'opération de fumage peut commencer quand l'opacimètre affiche une valeur supérieure à 90 % de densité optique. Le contrôle de l'hygrométrie s'effectue au niveau de l'admission de fumée par le biais d'un refroidisseur et de la batterie chaude. La valeur maximale admissible étant 80 % H.R.

4.4.3. Opération de fumage

Les produits sont introduits dans le sas d'admission sur le tapis de convoyage. La durée du traitement est réglée par la variation de vitesse du tapis, soit de 5 à 25 minutes. La mise sous tension des électrodes est effectuée au moment de l'introduction du premier filet de poisson.

4.4.4. observations

1 - l'élévation de l'intensité indique soit un début d'encrassement des électrodes ou des parois, soit un court circuit. (la tension chute progressivement). Dans ce cas, il ne faut pas tenter de maintenir la valeur au voltmètre, puisque cela s'accompagne d'une augmentation de l'intensité et par conséquent de risques de début d'incendie.

2 - Compte tenu de la présence du champ électrique, aucun capteur ne doit se trouver dans cet environnement. Il convient de les placer en admission ou en évacuation.

3 - Le tunnel ainsi conçu, peut fonctionner jusqu'à 8 heures de rang, sans perdre son potentiel électrique.

4.5. CONSEQUENCES POUR LA CONCEPTION D'UN MODELE INDUSTRIEL

L'ensemble de l'installation doit prendre en compte le nettoyage et la sécurité des personnels :

- La partie intérieure du tunnel doit pouvoir être facilement démontable pour être nettoyée (il peut s'agir d'un capot en double jeu),
- Le matériau doit être un parfait isolant électrique (ce point est très important car il limite l'encrassement des parois, aussi est-il nécessaire que la partie tunnel ne se polarise pas –en charge négative–) et autorisé en agro-alimentaire.
- Le tunnel doit être d'un volume le plus réduit possible pour assurer une bonne homogénéité de traitement et éviter la dispersion de la fumée.
- Le convoyage doit s'effectuer sur des grilles standard : à cet effet, elles peuvent être supportées et entraînées par 2 fils en acier inoxydable. Ce système permet un nettoyage des grilles après chaque utilisation.
- Afin d'assurer un fumage sur les deux faces des produits, (si nécessaire) il peut être judicieux de disposer d'électrodes au dessus et au dessous du tapis de convoyage.
- La mesure de densité de fumée doit se faire sur la totalité de la longueur du tunnel. A partir d'un seuil minimum, il doit y avoir action d'arrêt sur le tapis. Un régulateur de température et d'hygrométrie permet d'agir sur ces consignes (batteries froides et chaudes).
- Au niveau des sas d'accès, un système de rideau d'air filtré évitera le captage des particules de poussière ambiantes par le champ électrique.
- la commande doit comprendre :
 - Un variateur de vitesse pour le tapis,
 - une commande de ventilation à vitesse variable, le générateur de H T, doit se trouver à l'écart de la commande électrique et de tout matériel électronique,
 - un ou des interrupteur "fin de course" interdit toute mise en route de la H T le tunnel ouvert.

5ème partie : MISE AU POINT DE 2 PRODUITS :

- hareng fumé
- saumon fumé

5.1. MATIERES PREMIERES

Le fumage peut s'appliquer en principe sur la plupart des poissons. Cependant, les plus fréquemment fumés au niveau industriel sont les saumons et les harengs qui représentent environ 90% de la production française.

Aussi, la mise au point de produits a été réalisée sur du saumon de Norvège *Salmo salar* (de 2,5 kg à 3 kg) et du hareng (de taille moyenne) en provenance de Boulogne sur mer. Il faut savoir que les compositions de ces deux poissons peuvent varier énormément suivant les espèces, le sexe, les saisons, l'environnement et la nourriture. En général, le saumon *Salmo salar* contient de 10 à 25% de lipides et de 55 à 70% d'eau sachant que pour un poisson gras, la somme eau+graisse est une constante avoisinant 80%. Le hareng, également classé dans les poissons gras, contient en moyenne de 7 à 18% de lipides.

Tous les poissons ont été préalablement congelés au CO₂ à -60°C ce qui permet de travailler sur de la matière première de qualité, la congélation ultra rapide limitant la destruction des cellules.

5.1.1. Mise au point de 2 produits : hareng et saumon

La mise au point du fumage électrostatique pour le hareng et pour le saumon a été effectuée à l'aide de deux plans d'expériences.

5.1.1.1. Présentation de la méthodologie

Classiquement, pour l'étude d'un phénomène, l'expérimentateur fixe le niveau de toutes les variables sauf une et il mesure la grandeur étudiée en fonction de plusieurs valeurs de cette variable non fixée. Pour chaque variable étudiée, il faut recommencer le même travail, ce qui amène rapidement à un grand nombre d'expériences. De plus, cette méthode ne permet pas de connaître les interactions éventuelles entre les différents paramètres et peut donc amener à la détermination d'un mauvais optimum.

La méthodologie des plans d'expériences permet, à l'aide d'une série d'expériences planifiées, de modéliser et de caractériser un procédé. Un modèle de type boîte noire (figure 3) est utilisé. Il relie les grandeurs étudiées (réponses) aux variables de commande du procédé (facteurs contrôlés). Cette méthode permet de diminuer le nombre d'expériences, et la modélisation du procédé permet de calculer les effets des différents facteurs et de leurs interactions, conduisant ainsi de façon plus systématique et rapide vers l'optimum.

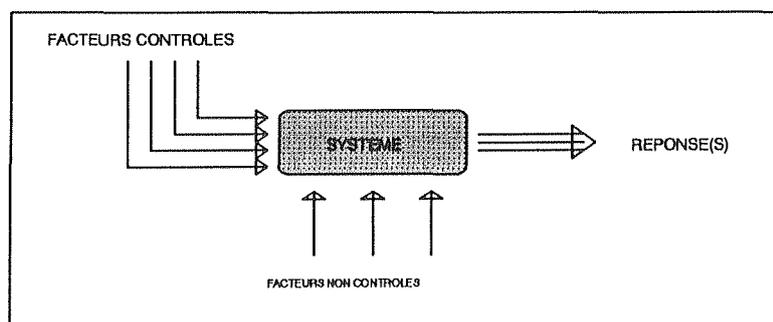


Figure 3
Représentation schématique d'un système expérimental

5.1.1.2. La méthode des plans d'expériences

Etude préliminaire

L'étude préliminaire constitue la première étape en vue de l'utilisation des plans d'expériences. La prise en compte des connaissances issues de la bibliographie et la réalisation d'essais préliminaires permettent de définir les facteurs influents, de déterminer le domaine expérimental et de choisir les réponses que l'on veut étudier.

Choix des facteurs et du domaine expérimental

A l'aide d'une recherche bibliographique suivie par de nombreux essais de fumage, nous avons recensé les paramètres qui influaient sur la quantité de fumée déposée sur les échantillons.

C'est cette pré-étude qui nous a permis de définir les paramètres que l'on allait faire varier au niveau du plan d'expériences (variables de commande) et les paramètres que l'on allait fixer tout au long des opérations (variables fixes).

Les variables de commande ainsi que les variables fixes sont identiques pour les deux plans d'expériences. Seul le domaine expérimental est différent.

*** Les variables de commande**

Nous avons pris en compte 2 facteurs qui sont la tension appliquée entre les deux électrodes et le temps de fumage.

– Concernant la tension, elle peut varier de 0 à 60kV. Nous avons constaté que plus la tension est élevée, plus le fumage est rapide. Le domaine d'étude a été fixé pour les deux espèces entre 20kV et 50kV (respectivement niveau -1 et niveau 1).

– Le hareng a besoin d'un temps de fumage moins important que le saumon dû à la différence de calibre. Aussi, nous avons fixé le domaine de ce facteur pour le hareng et pour le saumon respectivement de 6 à 20mn et de 10 à 30mn.

Pour le hareng :

Facteurs	niveau -1	niveau 1
Tension (kV)	20	50
Temps de fumage (mn)	6	20

Pour le saumon :

Facteurs	niveau -1	niveau 1
Tension (kV)	20	50
Temps de fumage (mn)	10	30

*** Les variables fixes**

– Le principal facteur influant sur le fumage des poissons est bien entendu la quantité de fumée introduite dans le tunnel. Celle-ci a pu être contrôlée au moyen d'un opacimètre. Aussi, tous les

essais ont été effectués avec une opacité de fumée oscillant entre 80 à 100%. Nous pouvons donc considérer ce facteur stable.

– La surface et le poids de chaque échantillon ont été aussi fixés. A l'aide d'un emporte-pièce, nous avons découpé sur chaque filet de hareng un rectangle de 4 sur 8cm et sur le saumon, un carré de 10cm de coté.

– Les paramètres tels que la distance entre électrodes, la pression d'air comprimé et l'hygrométrie de la sciure sont restés identiques pour tous les essais.

Choix des réponses

Seul le taux de composés phénoliques a été choisi comme variable réponse. En effet, cette analyse est un excellent indicateur pour les produits fumés puisque ces composés sont représentatifs de l'intensité du fumage réalisé.

On peut considérer qu'un poisson est suffisamment fumé dès qu'il présente une teneur en composés phénoliques supérieure à 1 voire 1,5% (1,5 mg de phénols pour 100 g de chair).

Choix du plan d'expériences

Nous avons utilisé (pour le hareng et le saumon) un **plan central composite** qui est en fait l'association d'un plan factoriel complet avec un plan en étoile.

– Le **plan factoriel complet** correspond à l'étude globale des effets purs des facteurs contrôlés et de leurs interactions, puisque toutes les combinaisons possibles des deux niveaux des facteurs sont testés.

– Le **plan en étoile** offre, quant à lui, la possibilité d'étudier et de modéliser des phénomènes du second degré, c'est-à-dire pour lesquels un ou plusieurs facteurs sont influents sur la réponse par le carré de leur valeur.

L'association du plan en étoile au plan factoriel complet a permis d'améliorer les corrélations des modèles obtenus. De plus, 3 points centraux ont été testés afin de déterminer l'erreur expérimentale du système.

Nous obtenons donc une équation du modèle de la forme :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2$$

avec Y : réponse du modèle

X₁ et X₂ : facteurs

a₀ : constante

a₁ et a₂ : effets principaux des facteurs

a₃ et a₄ : effets quadratiques des facteurs

a₅ : effet des interactions entre facteurs.

Présentation de la matrice d'expérimentation

La matrice utilisée (tx 4 et 5) est donc une matrice composite centrée comprenant 13 essais:

– 4 points factoriels permettant le calcul des effets principaux de chaque facteur et de l'interaction d'ordre 1.

– 4 points extrêmes en étoile, localisés sur une sphère de rayon $\alpha = \sqrt{2}$ soit 1,4142 et permettant le calcul des effets quadratiques.

– 3 points au centre du domaine permettant l'estimation de la variance expérimentale.

- 2 points du domaine non utilisés pour le calcul des effets des facteurs mais permettant de vérifier la validité du modèle (exp. 12 et 13).

Exp. n°	Matrice d'expériences centrale composite		Plan d'expérimentation associé	
	Tension (niveau)	Temps (niveau)	Tension (kV)	Temps (mn)
1	0	0	35	13
2	-1	-1	20	6
3	-1	1	20	20
4	0	0	35	13
5	1	-1	50	6
6	1	1	50	20
7	0	0	35	13
8	-1.41	0	14	13
9	1.41	0	56	13
10	0	-1.41	35	3
11	0	1.41	35	23
12	1.41	-1	56	6
13	1	-1.41	50	3

Tableau n° 4
matrice et plan d'expérience pour le hareng

Exp. n°	Matrice d'expériences centrale composite		Plan d'expérimentation associé	
	Tension (niveau)	Temps (niveau)	Tension (kV)	Temps (mn)
1	0	0	35	20
2	-1	-1	20	10
3	-1	1	20	30
4	0	0	35	20
5	1	-1	50	10
6	1	1	50	30
7	0	0	35	20
8	-1.41	0	14	20
9	1.41	0	56	20
10	0	-1.41	35	6
11	0	1.41	35	34
12	1.41	-1	56	10
13	1	-1.41	50	6

Tableau n° 5
matrice et plan d'expérience pour le saumon

Chaque essai a été répété 3 fois pour augmenter la précision et annuler ainsi les variations possibles susceptibles d'intervenir lors des conditions expérimentales (opacité de fumée, qualité du poisson...)

5.2. SUIVI DES PRODUITS EN DLC (COMPARAISON FUMAGE TRADITIONNEL / FUMAGE ELECTROSTATIQUE)

La DLC d'un produit fumé à froid est placée sous la responsabilité du fabricant et avoisine 5 à 6 semaines.

Nous avons voulu savoir si la durée de conservation d'un produit fumé par le procédé électrostatique était comparable à un produit fumé de façon traditionnelle.

5.2.1. Conduite expérimentale

Nous avons soumis 30 saumons (*Salmo salar*) et 70 harengs à une série d'étapes de préparation : Etêtage, éviscération, filetage, congélation, décongélation, salage. Puis, pour chaque poisson, un filet était fumé en électrostatique et le filet respectif était traité par un fumage traditionnel.

Conditionnés sous vide et stockés à 2°C, un certain nombre de poissons étaient analysés chaque semaine (sur 5 semaines) pour connaître entre autre l'état de fraîcheur des filets.

Les protocoles de ces 2 expériences sont présentés sur les **diagrammes 1 et 2**.

5.2.2. Analyses et suivi des paramètres

5.2.2.1. Analyses chimiques

Teneur en eau

L'eau étant le constituant principal responsable des phénomènes de dégradation, il est primordial de connaître la teneur en eau du produit. Ce dosage a donc été effectué sur chaque filet.

Après broyage et homogénéisation de l'échantillon, on procède à une dessiccation à 103°C jusqu'à poids constant (protocole IFREMER).

Teneur en ABVT / TMA

L'ABVT et la TMA sont classiquement utilisés comme indicateurs d'altération dans de nombreux produits de la pêche, d'autant plus qu'il s'agit de techniques analytiques simples et rapides. Si ces paramètres permettent une évaluation fiable de l'état de fraîcheur (ou d'altération) de certaines espèces de poissons à l'état frais ou congelé, il n'en est pas toujours de même pour les produits transformés.

Cependant, même si ce critère n'est plus retenu pour le contrôle de la qualité des produits fumés, nous l'avons utilisé pour comparer les résultats entre les deux procédés de fumage.

Le dosage de l'ABVT et de la TMA se fait par microtitration selon la méthode de CONWAY.

Suivi du pH

La mesure du pH est également un indicateur du degré d'altération du poisson. Le pH du poisson fumé de bonne qualité avoisine 6. Celui-ci augmente lors de l'altération microbienne donnant des produits basiques (NH_4OH).

Le pH peut nous fournir une première information sur l'évolution du produit. Il est directement mesuré par un pH-mètre sur de la chair broyée.

Ces trois analyses sont réalisées chaque semaine sur 6 filets pour avoir un suivi des résultats en fonction de la durée de conservation.

D'autres analyses plus ponctuelles sont effectuées à plusieurs reprises pour connaître la composition moyenne des poissons. Ces analyses nous fournissent des indications sur les degrés de salage et de fumage, paramètres intervenant directement sur la durée de conservation des produits.

Teneur en sel

La concentration en sel (chlorures) d'un produit intervient d'une part sur les qualités organoleptiques mais aussi sur sa conservation.

Les chlorures sont mis en solution dans l'eau, puis titrés automatiquement par un chlorimètre. Les ions argent, produits par un courant constant passant entre deux électrodes d'argent, se combinent avec les ions chlorures et précipitent en chlorure d'argent. Quant tous les ions chlorures ont été précipités, des ions argent libres apparaissent et la conductivité de la solution change. Ce changement est détecté par les électrodes et le résultat est affiché en g de NaCl pour 100g d'échantillon (protocole IFREMER).

Teneur en phénols

Toute la mise au point des produits ainsi que l'optimisation du procédé a été basée sur l'analyse des phénols, indicateurs de l'intensité et de la qualité du fumage.

Les phénols sont extraits de la chair de poisson par une solution d'éthanol à 95%. En milieu alcalin, les phénols forment en présence d'amino-4-antipyrine et de ferricyanure de potassium, un composé de couleur jaune extrait au chloroforme et dosé par spectrophotométrie à 455nm. La teneur en phénols est exprimée en mg de phénols pour 100g de chair (protocole IFREMER).

Teneur en matières grasses

La détermination de la teneur en matières grasses libres est effectuée sur de la chair préalablement séchée. On procède alors à l'extraction à chaud des graisses par du nHexane. Après élimination du solvant par séchage, le résidu est pesé et le résultat est exprimé en g de matières grasses pour 100g de chair (protocole IFREMER).

Teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Sachant que la teneur en HAP des poissons fumés est très variable selon les techniques de fumaison, il était important de s'assurer que le fumage électrostatique n'en déposait pas plus qu'un fumage traditionnel à froid.

Pour cela, nous avons envoyé 4 analyses (2 échantillons traditionnels (hareng et saumon) et 2 échantillons électrostatiques) à l'Institut Européen de l'Environnement de Bordeaux (laboratoire d'Hygiène et de santé) pour faire la recherche de 6 hydrocarbures recommandés par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

Ces hydrocarbures sont les suivants :

- Fluoranthène,
- Benzo (b) fluoranthène,
- Benzo (k) fluoranthène,
- Benzo (a) pyrène,
- Benzo (ghi) pérylène,
- Indéno (1,2,3-cd) pyrène.

5.2.2.2. Analyses microbiologiques

Un suivi microbiologique a été effectué dans le but d'évaluer les effets du nouveau procédé de fumage sur la conservation des produits. On compare ainsi l'évolution de la flore aérobie totale, de la flore lactique et des levures-moisissures pour les deux procédés de fumage.

Méthode de prélèvement

Chaque semaine, des analyses ont été effectuées sur 3 filets fumés en mode électrostatique et sur les 3 autres filets respectifs fumés en traditionnel. La prise d'essai sur chaque filet est de 10g pour le hareng et de 30g pour le saumon. Chaque prélèvement est ensuite dilué au 1/5 avec de l'eau physiologique stérile avant broyage au STOMACHER pendant 2 minutes puis revivification des micro-organismes durant 20 minutes. Nous avons effectué ensuite trois types de dénombrement :

Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)

Le dénombrement de la FAMT donne des informations sur la quantité de bactéries présentes dans le produit. Pour cela, on ensemence dans la masse avec une gélose nutritive PCA (Plat Count Agar), 1ml de chaque dilution. Toutes les analyses microbiologiques sont effectuées en double. Le comptage des boîtes est réalisé après une incubation de 5 jours à 20°C.

Dénombrement de la flore lactique

La flore dominante qui s'établit graduellement durant l'entreposage du poisson fumé est constituée de lactobacilles et autres bactéries lactiques.

Le dénombrement de cette flore est réalisé après ensemencement dans la masse d'1ml dans une gélose APT (All Purpose with Tween). Les boîtes sont placées en anaérobiose et incubées pendant 5 jours à 20°C.

Dénombrement des levures-moisissures

Le dénombrement des levures-moisissures est réalisé à partir d'un ensemencement en surface de 0,1 ml sur un milieu sélectif OGA (Oxytétracycline Glucose Agar).

Les milieux sont ensuite incubés pendant 5 jours à 20°C.

5.2.2.3. Analyses sensorielles

Toutes les définitions de la qualité d'un produit s'accordent à postuler la satisfaction du consommateur comme étant l'objectif principal à atteindre.

Aussi, pour comparer nos produits fumés par électrostatique et ceux fumés par le procédé traditionnel, il était important de mettre en place des épreuves descriptives qui visaient ainsi à détecter d'éventuelles dissemblances entre ces deux types de produits.

Dans un premier temps, nous avons listé l'ensemble des descripteurs pouvant être utilisés pour caractériser le hareng fumé et le saumon fumé.

Un questionnaire a été ensuite distribué à un jury de l'IFREMER composé de 25 à 30 personnes entraînées à ce type d'analyses. Ainsi, pour chaque produit à tester, les dégustateurs quantifient sur une échelle non structurée variant de 0 à 10, chacun des descripteurs retenus afin d'obtenir un profil sensoriel.

Les résultats ont fait ensuite l'objet d'une étude statistique qui consistait à comparer 2 moyennes à l'aide du 2^{ème} test de Student

5.2.3. Influence de l'hygrométrie de la sciure

Des essais ont été réalisés avec différentes hygrométries de sciure (10%, 20% et 30%).

Nous avons surtout remarqué que l'hygrométrie de la sciure avait une incidence importante sur la production de fumée.

En effet, à 10%, la sciure s'enflammait constamment ce qui provoquait des dépôts noirâtres sur la surface des poissons.

A 30% d'humidité, la production de fumée était très mauvaise et l'opacimètre indiquait des valeurs trop irrégulières.

A 20%, la production de fumée était assez importante et plus constante.

Tous nos essais ont été effectués par la suite avec une hygrométrie de sciure égale à 20%, ce qui confirme bien la bibliographie sur ce thème. (SAINCLIVIER, 1983).

5.2.4. Influence de la tension appliquée entre les deux électrodes

Tension (kV)	0	10	20	30	40	50	60
Taux de phénols déposés (mg%g de chair)	0,14	0,68	1,13	2	2,54	3,25	5,10

Tableau 5 :

Taux de phénols déposés en 10 minutes en fonction de la tension appliquée

La tension a un rôle déterminant sur la quantité de phénols déposés sur les poissons. L'augmentation de la tension entraîne la formation d'un champ électrostatique plus important qui ionise et précipite ainsi la fumée plus rapidement. Ce paramètre sera pris en compte pour les plans d'expériences.

5.2.5. Influence du temps de fumage

Temps de fumage (mn)	2,20	3,40	5	9	15	18
Taux de phénols déposés (mg%g de chair)	0,92	1,90	2,10	3,10	7,25	5,91

Tableau 6 :

Taux de phénols déposés en fonction du temps de fumage (tension = 45000V)

La durée d'exposition des poissons à la fumée a une influence directe sur le taux de phénols déposés sur le produit. Il apparait nettement sur ces résultats que la production de fumée n'a pas été constante puisque le taux de phénols lors du passage à 18 minutes est très inférieure au fumage de 15 minutes. Cet exemple nous démontre les problèmes occasionnés par un générateur de capacité insuffisante.

5.2.6. Autres facteurs à prendre en compte

Des essais ont été effectués pour connaître l'influence de la hauteur entre électrodes sur l'intensité du fumage (de 10 à 30cm) ainsi que l'influence de la forme de l'électrode positive (fils, grille, ou plaque inox).

Il s'est avéré, mais ceci sera à confirmer sur le pilote industriel, que la hauteur jouait un rôle significatif sur le dépôt de fumée (ce que confirment les premiers essais). Plus on réduisait l'écartement des électrodes, plus le taux de phénols était élevé. Une réduction trop importante de l'écartement peut par contre provoquer des courts-circuits.

Par conséquent, nous avons opté, sur le nouveau tunnel, pour un écartement entre les deux électrodes de 13cm.

Nous avons également remarqué que la forme de l'électrode avait une influence sur la qualité du fumage : Pour avoir un champ électrostatique uniforme plus performant, il est nécessaire d'avoir une électrode positive identique à l'électrode négative. Les essais nous ont confirmé que la grille avait une plus grande efficacité que la plaque ou les fils (le tapis étant également une grille).

En ce qui concerne l'hygrométrie du poisson (50%, 55%, 60%, 65% et 70%), les résultats n'étaient pas significatifs. Nous avons séché les poissons de manière à obtenir une humidité comprise entre 60 et 65%, valeurs conseillées pour une bonne conservation des produits après fumage.

Conclusion : Pour la réalisation des plans d'expériences, nous avons fait varier 2 facteurs qui sont la tension et le temps de fumage.

Nous avons fixé le reste des paramètres de la façon suivante :

- Hygrométrie de la sciure	20%
- Hauteur entre électrodes	13cm
- Nature de l'électrode positive	grille
- Humidité relative du poisson	60 à 65%

5.3. RESULTATS DES PLANS EXPERIMENTAUX

L'analyse des résultats pour le saumon et pour le hareng a été effectuée sur le logiciel Statgraphics. Cette analyse a nécessité plusieurs phases, à savoir :

- La vérification de la validité des résultats à l'aide du coefficient de corrélation et de la valeur d'ajustement du modèle prédit en fonction des réponses observées.
 - La détermination des coefficients du modèle après avoir ou non éliminé les effets non significatifs, visualisés sur le diagramme de Pareto.
 - La détermination d'un point optimal pour chaque poisson.

5.3.1. Résultats du plan d'expériences effectué sur le saumon

5.3.1.1. Validation du modèle

Les résultats peuvent être acceptés avec un intervalle de confiance de 95% si le coefficient de corrélation est supérieur en valeur absolue à la valeur donnée par la table des valeurs critiques des coefficients de corrélation, pour un degré de liberté donné.

Degré de liberté	10
Coefficient de corrélation	0,9821
Valeur critique du coefficient de corrélation ($\alpha = 0,05$)	0,5760

Ce coefficient nous permet donc de valider les réponses qui expliquent en effet 98% du modèle.

De plus, le modèle est dit ajusté dès que la valeur du coefficient d'ajustement est supérieure à 0,05. Nous avons obtenu pour ce modèle une valeur de 0,2794 ce qui est très satisfaisant. Sur la **figure 3**, nous avons rajouté les deux expériences complémentaires effectuées à l'intérieur du domaine pour vérifier la validité du modèle. Ces résultats ne rentreront pas en compte pour le calcul des coefficients. Les valeurs observées étant proches de celles prédites, nous pouvons confirmer la validation du modèle.

5.3.1.2. Détermination des coefficients du modèle

Les effets des facteurs sont présentés sur le diagramme de Pareto (**figure 4**). Seuls les effets supérieurs au t de Student (représenté par la ligne verticale) sont significatifs. Ainsi, le carré du facteur temps n'est pas significatif c'est-à-dire que la valeur de son effet est inférieure à celle de l'erreur expérimentale.

L'équation du modèle, après élimination de l'effet non significatif devient :

$$Y = 1,135 + 1,029*A + 0,534*B + 0,420*AB + 0,331*A^2$$

L'élimination de l'interaction BB a permis d'améliorer l'ajustement du modèle en passant de la valeur 0,2794 à 0,3362. Par contre, le coefficient de corrélation est resté stable.

5.3.1.3. Détermination d'un point optimal

En fait, l'objectif de ces plans d'expériences était d'obtenir une tension et un temps de fumage correspondants aux taux de phénols désirés.

La figure 5 nous montre donc la surface de réponse du taux de phénols en fonction de ces deux paramètres, visualisée plus facilement sur les courbes d'isoréponses présentées sur la figure 6 .

Pour le suivi en DLC du saumon, le taux de phénols désiré était de 1,7mg %g de chair. Pour cela, nous avons choisi préférentiellement une tension et un temps de passage intermédiaires permettant un fumage plus progressif et limitant ainsi les courts-circuits occasionnés par de trop fortes tensions.

La tension a donc été fixée à 45000 volts pour un fumage de 18 minutes.

5.3.2. Résultats du plan d'expériences effectué sur le hareng

5.3.2.1. Validation du modèle

Degré de liberté	10
Coefficient de corrélation	0,9922
Valeur critique du coefficient de corrélation ($\alpha = 0,05$)	0,5760

La valeur du coefficient de corrélation nous permet de valider les résultats obtenus.

De plus, le coefficient relatif au bon ajustement du modèle est supérieur à 0,05 puisque sa valeur est de 0,220. Le modèle est par conséquent correctement ajusté.

De même que pour le saumon, les valeurs observées pour les deux expériences complémentaires sont proches de celles prédites par le modèle (figure 7)

Le modèle présente donc une bonne adéquation avec le phénomène.

5.3.2.2. Détermination des coefficients du modèle

Le diagramme de Pareto (figure 8) indique que seul l'effet BB n'est pas significatif. Cependant, si on élimine cet effet dans le modèle, on s'aperçoit que la valeur de l'ajustement diminue de 0,220 à 0,210 et que le coefficient de corrélation n'est pas meilleur (0,9892). Aussi, il est préférable de conserver l'interaction BB.

L'équation générale du modèle est la suivante :

$$Y = 1,893 + 1,801 \cdot A + 0,787 \cdot B + 0,587 \cdot AB + 0,857 \cdot A^2 + 0,139 \cdot B^2$$

5.3.2.3. Détermination d'un point optimal (figure 9 et 10)

Avec un taux de phénols de 2mg%g de chair, le hareng semble être convenablement fumé. Aussi, pour obtenir un tel fumage, nous avons fixé la tension à 37000 volts correspondant à un temps de passage de 12 minutes.

5.3.3. Conclusions générales sur ces deux plans d'expériences

Les résultats obtenus à partir de ces deux plans expérimentaux sont fortement comparables. En effet, la tension est très nettement le facteur le plus influant pour fumage électrostatique du hareng et du saumon. Ce facteur présente un effet linéaire prépondérant renforcé par un fort terme quadratique.

En revanche, le temps a un effet linéaire significatif à 95% mais n'a pas d'effet quadratique significatif.

Enfin, l'interaction tension-temps bien que supérieure au t de Student n'a pas un effet très important surtout concernant le hareng.

Les résultats de ces deux plans nous ont ainsi permis de fixer les facteurs tension et temps en fonction du taux de phénols souhaité.

Nous nous sommes basés sur ces résultats pour le fumage des harengs et des saumons destinés au suivi de ces produits en DLC.

5.4. SUIVI DES PRODUITS EN DLC (COMPARAISON FUMAGE ELECTROSTATIQUE/FUMAGE TRADITIONNEL)

5.4.1. Analyses chimiques

5.4.1.1. Résultats concernant le saumon

Compositions des filets

Le tableau 7 indique les compositions d'eau, de sel, de matières grasses (M.G.) et de phénols pour les filets fumés en traditionnel et les filets fumés par mode électrostatique.

	Eau (g pour 100g)	M.G. (g pour 100g)	Sel (g pour 100g)	Phénols (mg pour 100g)
Traditionnel	59,55 $\sigma=0,76$	13,64 $\sigma=1,16$	2,55 $\sigma=0,16$	0,60 $\sigma=0,12$
Electrostatique	61,53 $\sigma=0,68$	13,08 $\sigma=0,62$	2,56 $\sigma=0,16$	1,90 $\sigma=0,37$

*Tableau n° 7
Compositions chimiques des filets*

Les teneurs en eau, en MG et en sel sont quasiment identiques pour les deux procédés.

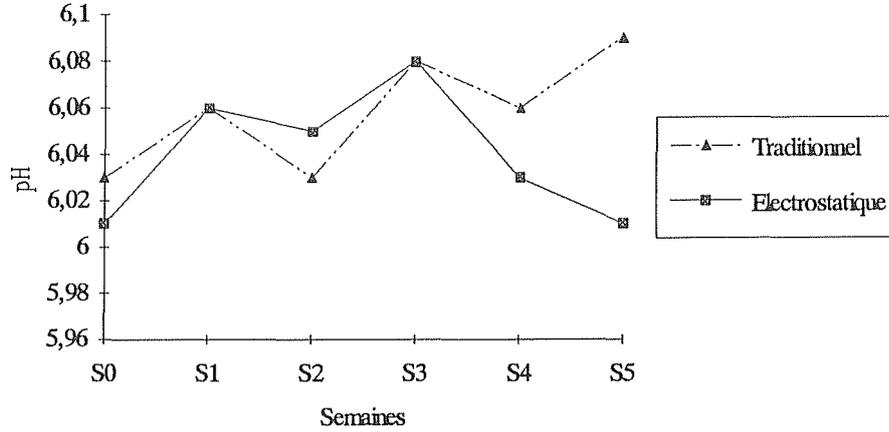
L'écart de 2% au niveau de la teneur en eau peut s'expliquer par la différence d'hygrométrie lors du fumage (65% d'humidité relative pour le fumage traditionnel contre 75% pour le fumage électrostatique).

Par contre, le fumage traditionnel n'a pas été suffisant : le taux de phénols est trois fois plus élevé pour le fumage électrostatique que pour le fumage traditionnel. Cette différence devra être prise en considération lors de l'interprétation des résultats.

Suivi des paramètres

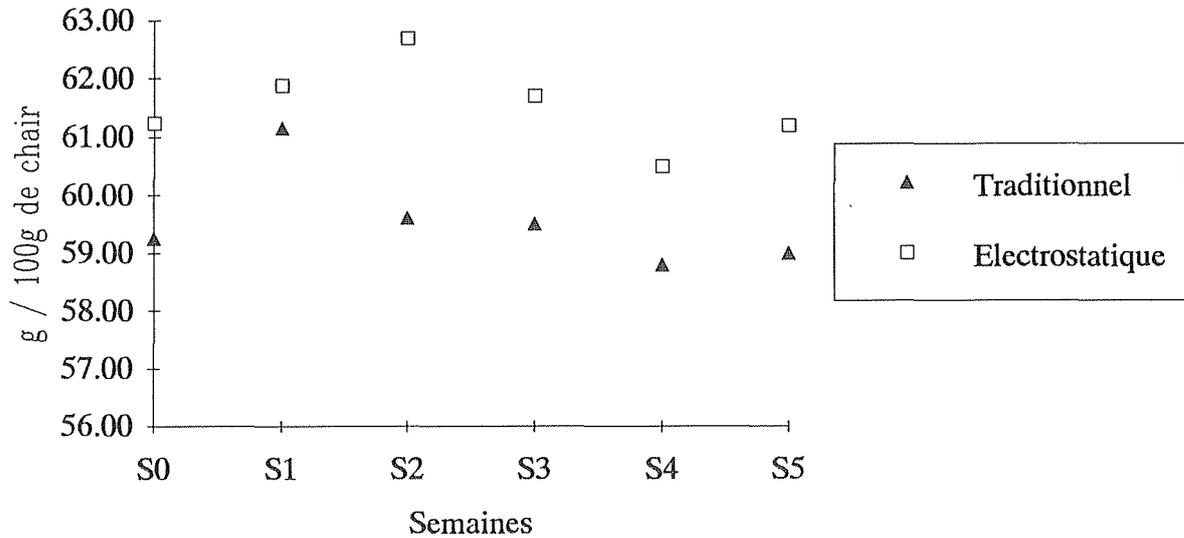
Tous les tableaux de résultats sont présentés en annexe .

* Le pH



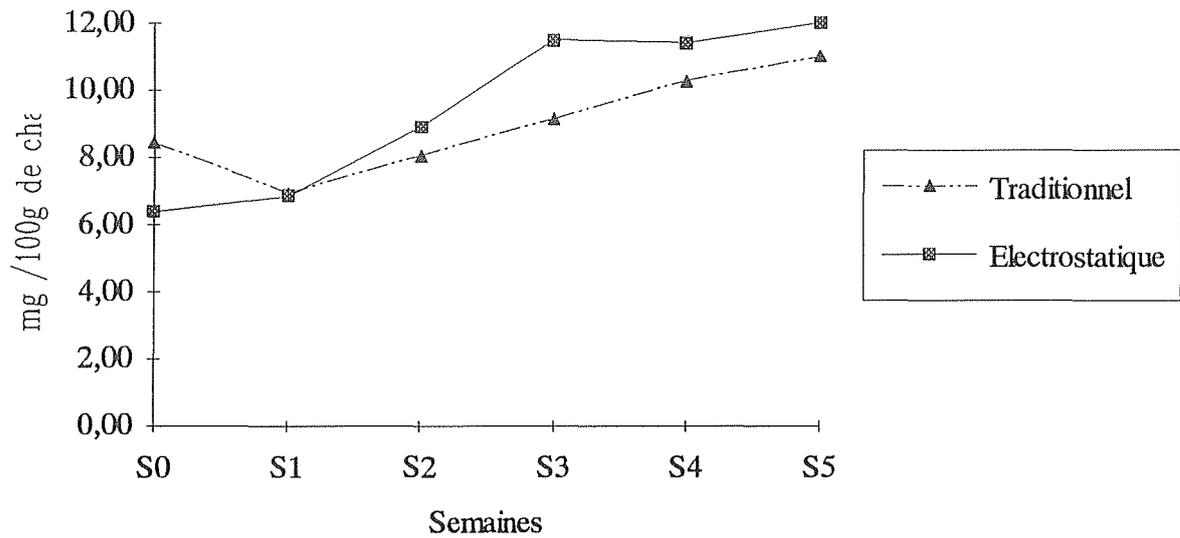
*Courbe n°2
Evolution du pH en fonction du temps*

* La teneur en eau



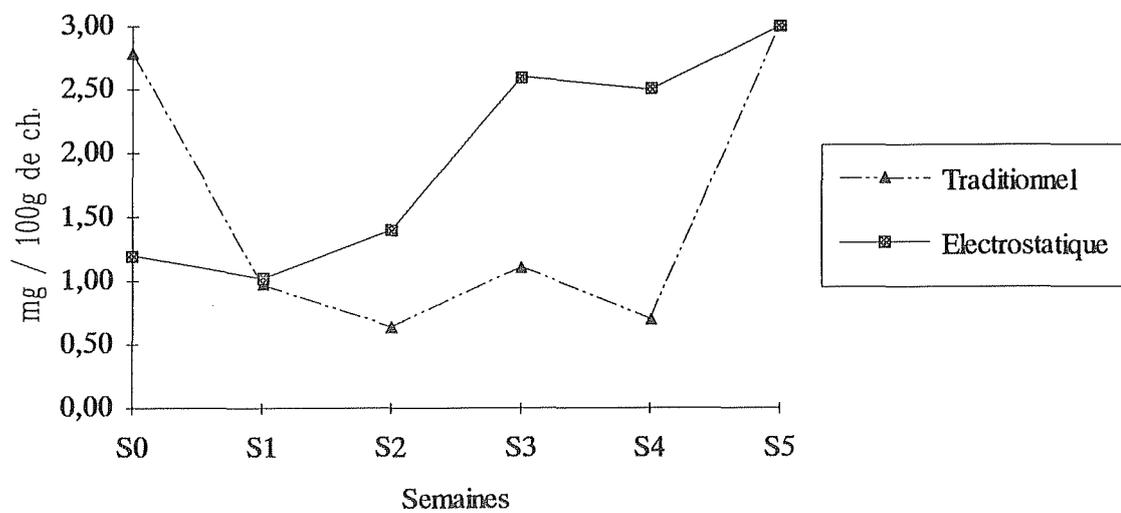
*Courbe n° 3
teneur en eau comparée des échantillons (chaque semaine)*

* L'A.B.V.T.



Courbe n° 4
 Evolution du taux d'ABVT en fonction du temps

* La T.M.A.



Courbe n° 5
 Evolution de la teneur en TMA en fonction du temps

Conclusion : Il n'y a pas de différences significatives au niveau du pH durant les 4 premières semaines (Courbe 2). Il se situe constamment entre 6,01 et 6,08. Il est important de signaler, que la fumée déposée en mode électrostatique ne semble pas plus acide que celle déposée en mode traditionnelle. La différence de pH se rencontre seulement à partir de la 5^{ème} semaine pendant laquelle les saumons fumés en traditionnel présentent un pH proche de 7 tandis que les saumons fumés en électrostatique s'acidifient légèrement.

On note un écart constant de 2% entre la teneur en eau des filets fumés en électrostatique et ceux fumés en traditionnel. Ceci s'explique par la différence de durée de fumage, le filet continuant à se déshydrater en mode traditionnel. (Courbe 3).

Concernant les teneurs en ABVT et TMA, celles-ci ne doivent pas dépasser respectivement 40mg et 14mg pour 100g d'échantillon. Nous sommes donc loin d'avoir atteint ces seuils même après 5 semaines d'entreposage (Courbes 4 et 5).

Nous pouvons conclure que la conservation des produits traités par l'un ou l'autre des procédés est comparable. Cependant, ces résultats restent à confirmer par l'analyse microbiologique.

5.4.1.2. Résultats concernant le hareng

Compositions des filets

Le tableau n° 8 indique les compositions d'eau, de sel, de matières grasses (M.G.) et de phénols pour les filets fumés en traditionnel et les filets respectifs fumés par mode électrostatique.

	Eau (g pour 100g)	M.G. (g pour 100g)	Sel (g pour 100g)	Phénols (mg pour 100g)
Traditionnel	59,77 $\sigma=1,48$	9,36 $\sigma=1,89$	4,57 $\sigma=0,30$	1,56 $\sigma=0,20$
Electrostatique	62,24 $\sigma=0,48$	9,26 $\sigma=1,94$	4,71 $\sigma=0,30$	2,13 $\sigma=0,29$

*Tableau n° 8
Compositions chimiques des filets*

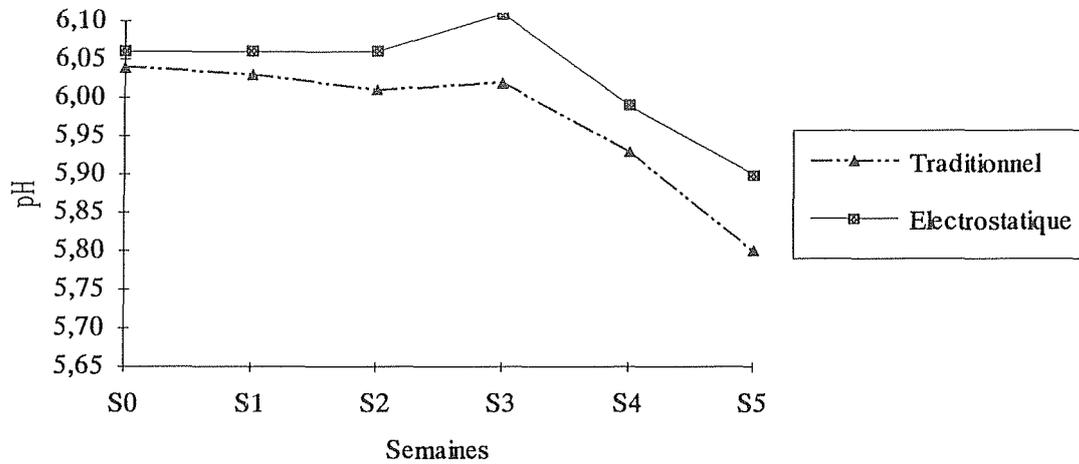
Comme le saumon, les filets de hareng présentent en électrostatique et en traditionnel, des teneurs équivalentes en sel et la même différence de teneur en eau pour les mêmes raisons. Il est à noter qu'une teneur en sel comprise entre 4,5 % et 8 % correspond à du hareng doux (le hareng salé ayant une teneur en sel supérieure à 8 %).

Au niveau des analyses de phénols, nous avons constaté également une teneur supérieure pour le fumage électrostatique par rapport au procédé traditionnel. Cependant, cette différence est nettement moins significative que pour le saumon.

Suivi des paramètres

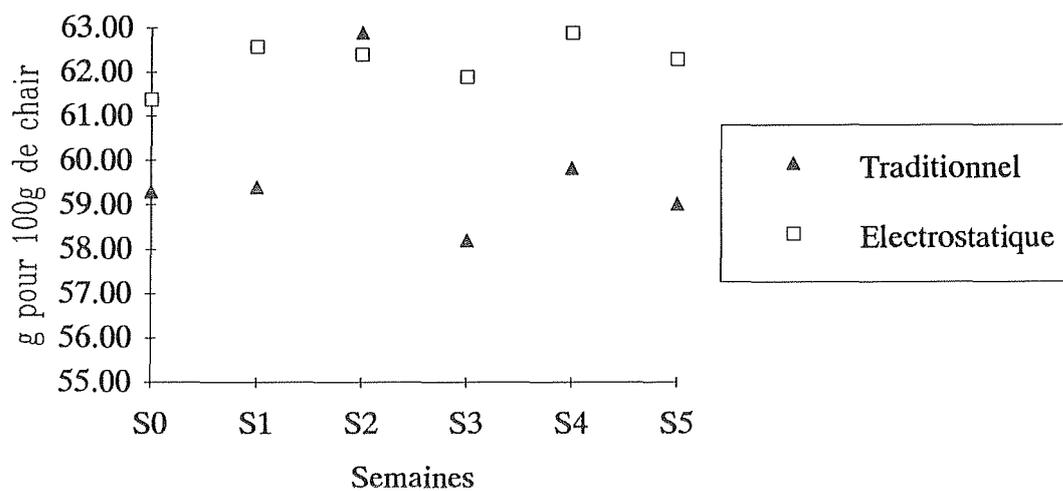
Tous les tableaux de résultats sont présentés en annexe .

* Le pH



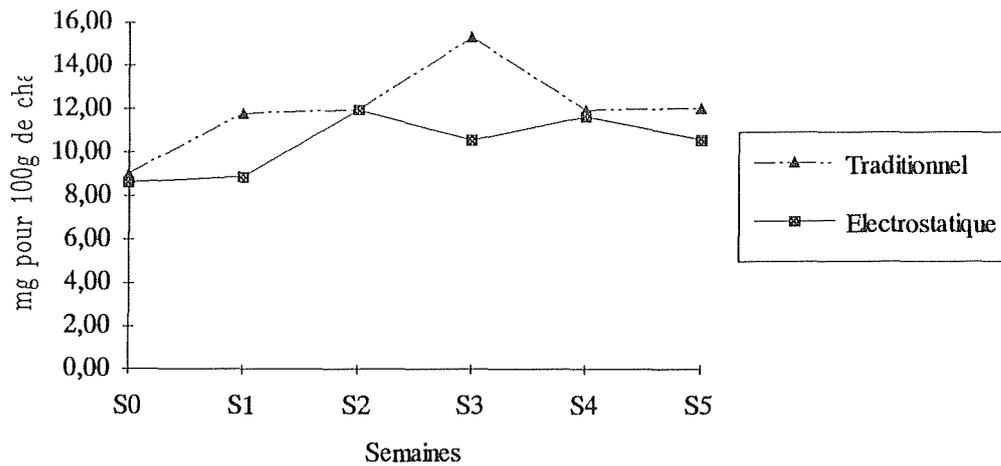
Courbe n° 6
Evolution du pH en fonction du temps

* La teneur en eau



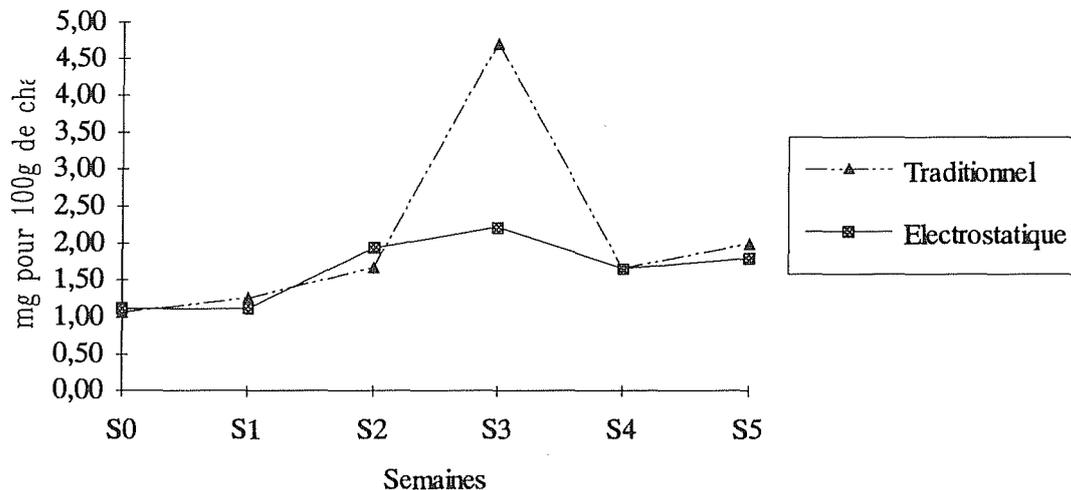
Courbe n° 7
Teneur en eau comparée des échantillons (chaque semaine)

* L'A.B.V.T.



Courbe n° 8
Evolution du taux d'ABVT en fonction du temps

* La T.M.A.



Courbe n° 9
Evolution de la teneur en TMA en fonction du temps

Conclusion : La valeur du pH oscille autour de 6 durant les 3 premières semaines, sans écart significatif pour l'une ou l'autre technique. Il s'acidifie à partir de la quatrième semaine tout en restant cependant supérieur à 5,80 (Courbe 6).

Au niveau de la teneur en eau, nous avons également un écart de 2 % qui s'explique, comme pour le saumon, par la différence d'hygrométrie durant le procédé de fumage (Courbe 7).

Les résultats concernant la teneur en ABVT et TMA sont toujours inférieurs aux seuils limites de consommation et restent quasiment identiques pour les deux procédés (Courbes 8 et 9).

5.4.2. Analyses toxicologiques

Nous rappelons que ces analyses d'hydrocarbures ont été effectuées sur 2 saumons (un traditionnel et un électrostatique) et 2 harengs (un traditionnel et un électrostatique). Le nombre d'analyses est donc statistiquement insuffisant pour assurer la présence ou non d'hydrocarbures avec l'un ou l'autre des procédés. Mais, ces analyses permettent d'avoir une première notion sur la nature et la quantité d'hydrocarbures déposés en fumage électrostatique par rapport au fumage traditionnel. Ces analyses ont été effectuées par chromatographie liquide haute performance.

En fait, il est difficile d'interpréter ces résultats (présentés en figures 11 et 12) étant donné qu'il n'existe pas de normes relatives aux produits fumés. Seule une norme allemande limite le taux de contamination en 3-4 benzo(a)pyrène à 1ppb.

Nous remarquons au vu des résultats que la concentration en BaP ne dépasse pas ce seuil pour le fumage électrostatique. Par contre, pour le fumage traditionnel du hareng, on atteint jusqu'à 3 ppb.

En ce qui concerne les autres hydrocarbures, nous n'avons pas de différences significatives entre le fumage traditionnel et le fumage électrostatique (rappelons que le taux de phénols déposés en électrostatique était pourtant 3 fois supérieures au fumage traditionnel pour le saumon).

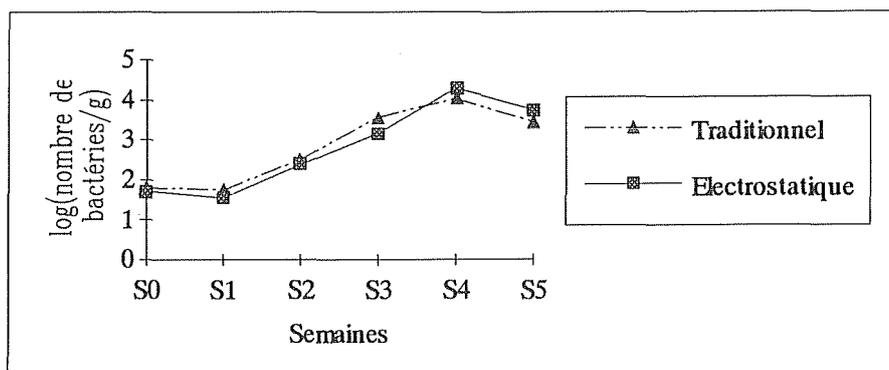
Ces résultats sont donc très encourageant pour l'avenir du fumage électrostatique qui ne semblent pas déposer davantage d'hydrocarbures aromatiques polycycliques qu'un fumage traditionnel. Tous ces résultats restent bien entendu à confirmer par des analyses complémentaires.

5.5. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

5.5.1. Résultats concernant le saumon

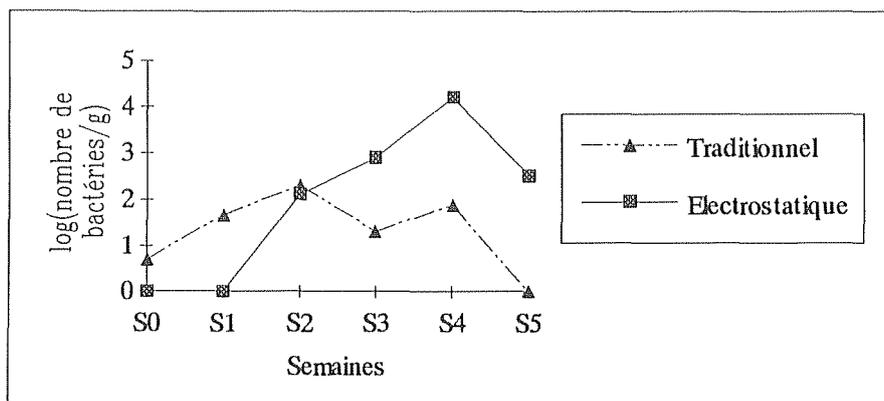
le détail des résultats est présenté en annexe

* FAMT



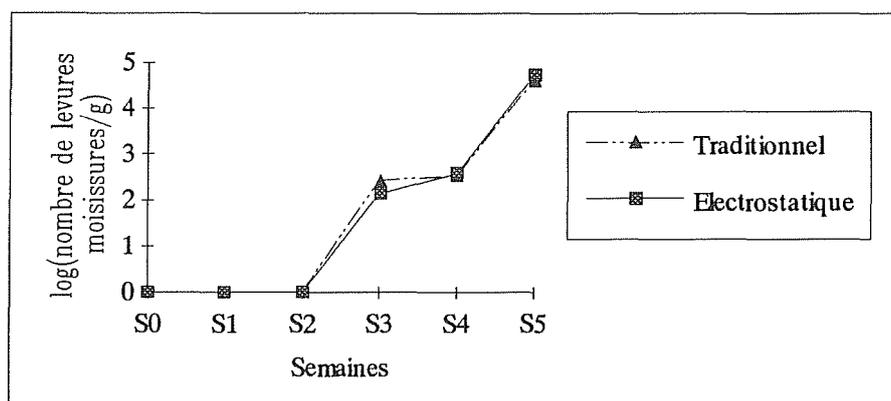
Courbe n° 10
Evolution de la flore aérobique mésophile totale en fonction du temps

* FLORE LACTIQUE



Courbes n° 11
Evolution de la flore lactique en fonction du temps

* LEVURE-MOISSISSURES



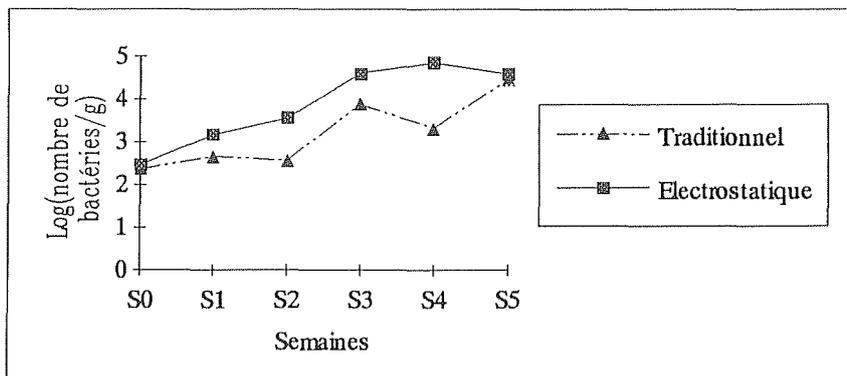
Courbe n° 12
Evolution des levures-moisissures en fonction du temps

Conclusion : L'évolution de la flore aérobique mésophile totale et celle des levures-moisissures sont identiques en fumage traditionnel et électrostatique. De plus, les valeurs de la FAMT quel que soit le procédé ne dépassent pas le seuil de 10^6 bactéries par gramme de chair (arrêté du 21 décembre 1979). Ainsi, même après 5 semaines d'entreposage, les filets de saumon restent encore consommables (Courbes 10 et 12).

Par contre, nous pouvons noter des différences significatives au niveau du développement de la flore lactique entre ces deux procédés (Courbes n° 11). En effet, le fumage électrostatique entraîne un développement plus important des flores lactiques. Il serait intéressant, par la suite, d'effectuer des isollements sur cette flore qui regroupe de nombreuses espèces de bactéries, certaines souches pouvant être indicatrices d'altération, d'autres au contraire pouvant favoriser la conservation du produit.

Résultats concernant le hareng
 les tableaux de résultats sont joints en annexe.

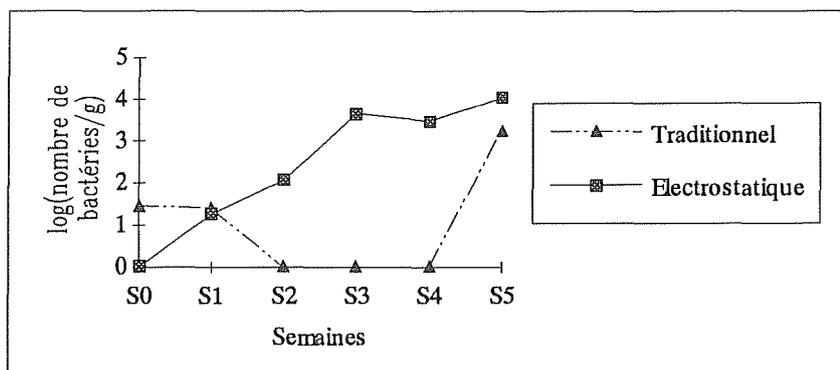
*** FAMT**



Courbes n° 13

Evolution de la fore aérobie mésophile totale en fonction du temps

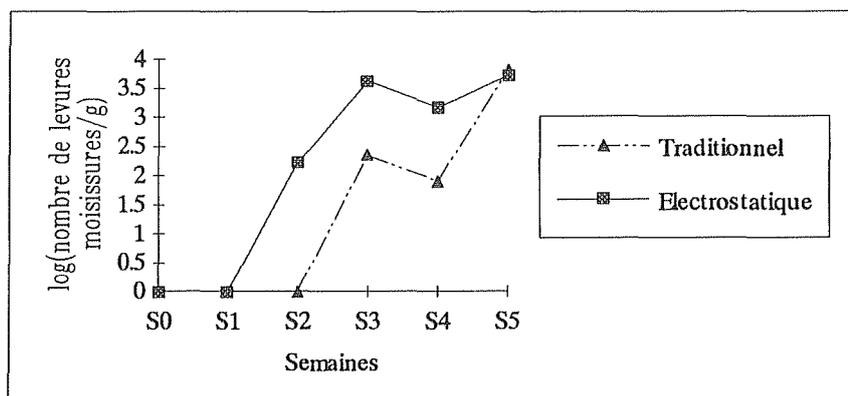
*** FLORE LACTIQUE**



Courbes n° 14

Evolution de la fore lactique en fonction du temps

*** LEVURE-MOISSURES**



Courbes n° 15

Evolution des levures-moisissures en fonction du temps

Conclusion : Durant les 4 premières semaines, le filets de hareng fumés par mode électrostatique sont légèrement plus contaminés que ceux fumés en traditionnel même si la FAMT reste toujours inférieure à 10^6 germes par gramme de chair. Par contre, ces différences deviennent totalement inexistantes au bout de la 5ème semaine. Nous pouvons donc en conclure que le fumage électrostatique offre une perspective de conservation du même ordre qu'un procédé traditionnel (Courbes 13, 14, 15).

5.5.2. Analyses sensorielles

L'ensemble des résultats ainsi que les profils sensoriels sont présentés en annexe .

5.5.2.1. Résultats de l'analyse du saumon

Du fait du fumage insuffisant pour le saumon traditionnel, nous avons préféré comparer le saumon fumé par mode électrostatique avec un produit traditionnel haute gamme acheté dans le commerce. Nous avons pris la précaution de comparer des produits ayant été fumés le même jour afin d'être dans des conditions comparables au niveau de la durée de conservation.

Après 15 jours d'entreposage à 3°C, on peut noter des différences importantes entre le saumon fumé par le procédé traditionnel et le saumon fumé par mode électrostatique.

Ce sont surtout les critères relatifs à l'odeur de fumée (odeur de charbon de bois) et à la saveur fumée qui différencient ces deux procédés. En effet, les intensités de ces paramètres sont plus fortes pour le saumon "électrostatique" que pour le "traditionnel", non seulement après 15 jours de conservation mais aussi après 30 jours. Une diminution de la durée de fumage sera alors sans doute à envisager pour le procédé électrostatique afin de réduire cette sensation d'odeur de charbon de bois.

De plus, on s'aperçoit que l'aspect compact et la fermeté ont des notes plus élevées pour le saumon électrostatique. Ceci est à attribuer essentiellement au mode de salage/séchage. En effet, le procédé par Déshydratation Imprégnation Immersion permet un séchage plus homogène qui contribue à raffermir le produit. Cette différence s'est totalement atténuée après 30 jours de stockage ; au contraire, le saumon "électrostatique" est devenu plus moelleux que le saumon traditionnel.

La plus grande différence (après 15 jours et 30 jours) se situe sur le critère "saveur acide et piquante" dont l'intensité est très forte pour le saumon traditionnel et quasiment nulle pour le saumon électrostatique. Il semblerait, au vue de ces résultats, que le saumon fumé par le procédé traditionnel se conserve moins bien que le saumon fumé par mode électrostatique.

Cependant, il faut rester prudent car la comparaison n'a pas été faite avec la même matière première. Ces résultats restent donc à confirmer.

Résultats concernant le hareng

Les filets de harengs fumés par mode électrostatique ont pu être comparés avec leurs filets respectifs fumés en traditionnel. C'est sans doute la raison pour laquelle nous avons obtenu nettement moins de différences significatives entre les deux produits, contrairement aux saumons.

Après 15 jours de conservation, le hareng "électrostatique" présente un aspect plus lisse, et plus compacte qui s'atténue ensuite au cours de l'entreposage pour laisser place à une texture plus

moelleuse. Il faut rappeler que le fumage traditionnel s'est effectué à 30°C alors que la température lors du fumage électrostatique n'était que de 20°C. L'augmentation de la température a ainsi contribué à raffermir le produit (fermeté significative à 1% après 15 jours et restant, après 30 jours, significative à 5%) et favoriser la texture moelleuse pour le hareng "électrostatique".

Il apparaît après 30 jours de stockage, des différences concernant la "saveur poisson gras" et la "texture grasse" dont les intensités sont plus importantes pour le hareng électrostatique. Par contre, cette impression de poisson gras n'est pas ressentie par l'odorat. Ceci pourrait encore s'expliquer par la différence de température de fumage, sachant que les filets présentent le même taux de matières grasses.

Contrairement au saumon, on ne retrouve pas les différences qui apparaissent au niveau de l'odeur et la saveur de fumée et l'odeur de charbon de bois. Ces résultats sont donc très encourageants.

Après 30 jours de conservation, les dégustateurs n'ont pas trouvé de différences sur l'odeur acide et piquante et l'odeur de rance. Le procédé électrostatique permet par conséquent une aussi bonne conservation que le procédé traditionnel. Ces résultats confirment ainsi les analyses chimiques.

Conclusion : Les produits traités par le fumage électrostatique ne sont pas significativement différents des produits traditionnels sauf pour le saumon qui se distingue par une forte odeur de fumée et de charbon de bois.

Cette première approche a permis de mettre en évidence les différences entre les deux produits mais il serait intéressant d'effectuer une étude auprès d'un jury de consommateurs pour savoir si un produit est préféré à un autre. En effet, les avis concernant la préférence pour un des produits, demandé à titre indicatif à la sortie des séances de dégustation, n'ont pas été discriminantes.

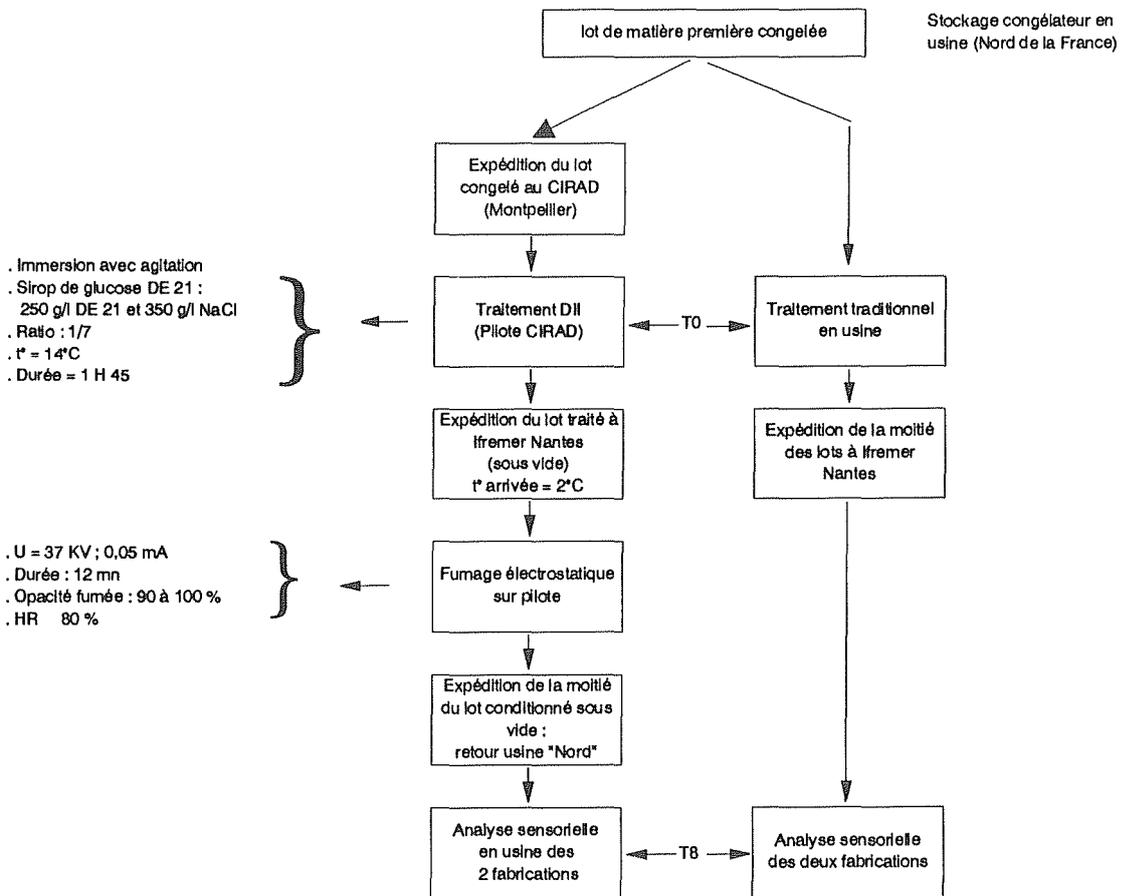
On peut d'ores et déjà dire que cette technique de fumage procure d'excellents résultats et que, comme le fumage classique, tout est lié au goût du consommateur.

**6ème partie : COMPARAISON DE FABRICATION INDUSTRIELLE AVEC
LE NOUVEAU PROCEDE :
Application au hareng**

Afin d'étudier si le procédé (D.I.I. + fumage électrostatique) entraîne des modifications du produit du point de vue organoleptique par rapport à la méthode traditionnelle, deux tests d'analyse sensorielle ont été effectués :

6.1. PROTOCOLE DES ESSAIS

Un même lot de filets de harengs d'un poids moyen de 80 à 100 g a été traité par les deux méthodes selon le schéma suivant :



Observations : Les paramètres utilisés sont ceux déterminés dans ce rapport. Les filets fumés par mode électrostatique ont été conditionnés en "ballots" environ 24 H après fumage (afin de permettre le séchage et la pénétration de la fumée).

6.2. ANALYSE CHIMIQUE DES PRODUITS

la composition chimique du lot est indiquée dans le tableau n° 9

	teneur en eau g/100g	Teneur en sel g/100g	Taux de matière grasse g/100g
	67.13	0.18	12.87
	66.90	0.23	13.10
	69.35	0.17	10.65
	65.28	0.17	14.72
	65.80	0.17	14.20
	65.20	0.17	14.80
	70.29		9.71
	69.59		10.41
Moyenne	67.44	0.18	12.56
Ecart-type	2.04	0.02	2.04

Tableau n° 9
Matière première : Filets de harengs

Après traitement par DII, les résultats sont fournis dans le tableau n° 10

	teneur en eau g/100g	Teneur en sel g/100g	Perte en eau g/100g	gain en sel g/100g
	58.63	8.03	11.73	7.44
	59.78	7.84	13.49	7.27
	59.06	7.59	11.32	7.04
	61.47	7.84	8.91	7.28
	62.55	7.85	7.89	7.29
	61.09	7.93	9.28	7.37
	60.19	7.51	8.57	7.16
	58.58	7.37	10.14	7.03
	61.76	6.91	7.04	6.40
Moyenne	60.35	7.65	9.82	7.14
Ecart-type	1.45	0.35	2.05	0.31

Tableau n° 10
Composition chimique des filets : Après traitement par DII

La composition moyenne des produits finis est donnée dans le tableau n° 11

origine	Eau g/100g	Chlorure g/100g	Phénols mg/100g
D.I.I./él.	57.66	9.16	1.66
Traditionnel	58.07	7.81	2.02

Tableau n° 11.

Harengs fumés : Composition chimique moyenne des échantillons

observations :

L'échantillon traité par la nouvelle méthode est un peu plus salé et légèrement moins fumé. Les filets traités par DII sont en moyenne plus courts et étroits que les autres (problème de rétraction).

6.3. ANALYSE SENSORIELLE IFREMER

6.3.1. Préparation du test

Vingt-trois personnes, appartenant au jury interne d'analyse sensorielle d'IFREMER, régulièrement entraîné à déguster des produits marins, ont participé au test. Ces personnes s'étaient familiarisées avec le hareng fumé au cours d'études récentes.

Les séances de dégustation ont eu lieu dans une pièce prévue à cet effet, divisée en 10 cabines individuelles. Cette salle répond aux spécifications de la norme AFNOR V-09-105 concernant l'implantation des locaux destinés à l'analyse sensorielle.

Chaque cabine est équipée d'un système d'acquisition automatique des résultats (Fizz, Biosystèmes). Ce système comprend des Minitels dans chacun des boxes, reliés entre eux par une fibre optique qui rejoint un micro-ordinateur central. Le logiciel gérant ce dispositif permet de créer des séances de dégustation, de recueillir les résultats et de traiter statistiquement les données.

La méthode d'évaluation mise en oeuvre est la méthode du profil sensoriel (AFNOR V-09-A). Il s'agit de noter l'intensité de différents critères sensoriels pour chaque échantillon proposé. Ces critères choisis, en accord avec le jury, au cours des études précédentes, sont les suivants :

- odeur de poisson gras
- odeur de fumée
- odeur de charbon de bois
- odeur acide/piquante
- odeur rance
- intensité de la couleur marron
- homogénéité de la couleur
- aspect compact
- aspect gras

- saveur de poisson gras
- saveur fumée
- saveur salée
- saveur rance
- fermeté
- moelleux
- texture grasse

Une échelle correspondant à une notation de 0 à 10, est proposée pour chaque critère à évaluer. Les membres du panel indiquent leur notation par l'intermédiaire d'une souris.

Il a été envisagé de proposer, avant le test de profil, un test triangulaire. Ce test consiste à présenter au dégustateur 3 échantillons dont 2 sont identiques. Celui-ci doit déterminer, grâce à l'aspect, à l'odeur, à la saveur, à la texture, l'échantillon différent des 2 autres.

Ce test permet de répondre à une seule question : existe-t-il une différence significative entre les produits? Dans le cas d'une réponse positive, il est nécessaire de préciser la nature de la différence par un test de profil; en effet le test triangulaire ne reflète qu'une perception globale.

Les filets de harengs des deux lots à comparer avaient un aspect trop différent pour qu'un test triangulaire puisse offrir un intérêt. Il a donc été annulé.

Les filets de hareng ont été emballés individuellement dans une feuille d'aluminium, 1 heure avant la première dégustation. Le test de profil s'est déroulé sur 2 heures.

6.3.2. Résultats et discussion

L'analyse des résultats met en évidence des différences significatives à plusieurs niveaux.

Le témoin a une odeur plus acide/piquante et une saveur plus rance que l'échantillon fumé par la méthode électrostatique; il a également un aspect plus gras. Or les deux lots ont été fabriqués avec la même matière première et à la même époque. La température et la durée du fumage traditionnel (30°C pendant 3 heures) peuvent avoir favorisé une exsudation des lipides ainsi que des phénomènes d'oxydation qui n'ont pas eu le temps de se produire pendant le fumage électrostatique (27°C pendant 12 minutes).

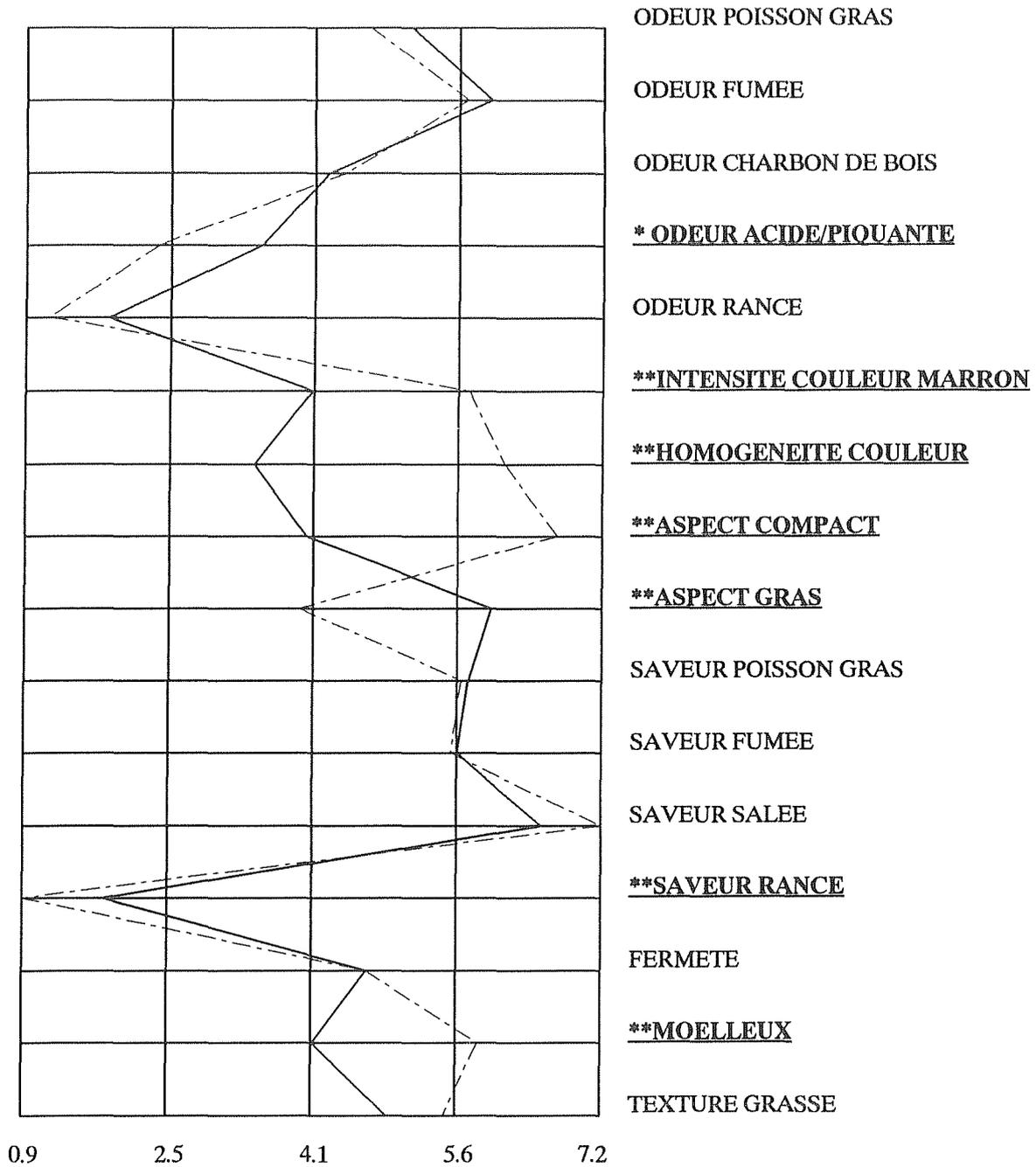
L'homogénéité de la couleur et l'intensité marron sont plus fortes pour le hareng fumé électrostatique. Avec ce procédé, le dépôt de la fumée serait donc plus homogène qu'avec le fumage traditionnel. Ces différences n'ont cependant pas d'impact sur les critères sensoriels relatifs à la flaveur fumée.

Le hareng fumé à l'IFREMER a, de façon significative, un aspect plus compact que le témoin, tout en ayant une texture plus moelleuse. Ces différences, observées déjà au cours de précédentes études, sont probablement à mettre en relation avec la durée du fumage mais également avec la Déshydratation par Imprégnation et Immersion.

Descripteurs	TEMOIN	DII- ELECTROSTATIQUE	Test de student
Odeur poisson gras	5.10 (2.60)	4.64 (2.16)	—
Odeur fumée	5.97 (1.92)	5.72 (2.08)	—
Odeur charbon bois	4.21 (2.27)	4.39 (2.70)	—
Odeur acide/piquante	3.48 (2.57)	2.38 (2.04)	*
Odeur rance	1.83 (1.89)	1.19 (1.87)	—
Intensité couleur marron	4.05 (1.88)	5.74 (1.87)	**
Homogénéité couleur	3.41 (1.84)	6.13 (1.43)	**
Aspect compact	3.98 (1.89)	6.70 (1.38)	**
Aspect gras	6.00 (1.43)	3.91 (1.58)	**
Saveur poisson gras	5.74 (1.74)	5.67 (1.78)	—
Saveur fumée	5.63 (2.01)	5.56 (2.09)	—
Saveur salée	6.54 (1.67)	7.18 (1.67)	—
Saveur rance	1.81 (2.18)	0.94 (1.20)	**
Fermeté	4.65 (1.89)	4.65 (1.55)	—
Moelleux	4.07 (1.84)	5.86 (1.95)	**
Texture grasse	4.87 (2.02)	5.49 (1.76)	—

Tableau n° 12
 Evaluation des critères sensoriels : tableau des moyennes et (écart-types)

- : pas de différence significative
 * : différence significative à 5%
 ** : différence significative à 1%



Evaluation sensorielle : moyennes des notes de 23 dégustateurs

- : pas de différence significative
- * : différence significative à 5%
- ** : différence significative à 1%

TEMOIN —————
 DII-ELECTROSTATIQUE - - - - -

6.4. COMPTE RENDU D'ANALYSE SENSORIELLE EFFECTUEE SUR LE LIEU DE PRODUCTION TRADITIONNEL

Nom du produit testé : Hareng fumé

type de l'épreuve : Epreuve triangulaire

Traitement des données : Se référer à la table de la loi binominale pour une probabilité $P = 1/3$

Nombre de réponses exactes	9
Probabilité lus dans la table	0.034

La séance a regroupé 16 dégustateurs

conclusion : $0.034 < 0.05$

Les 2 harengs apparaissent différents

Préférence des dégustateurs

Pour le goût salé 9 préfèrent le traditionnel
7 préfèrent essai IFREMER

Pour le goût fumé 8 préfèrent essai IFREMER
7 préfèrent le traditionnel
1 n'a pas répondu

Pour le goût 8 préfèrent essai IFREMER
6 préfèrent le traditionnel
2 n'ont pas répondu

Conclusion :

Ces tests montrent à l'évidence des différences significatives : l'odeur, la couleur et la texture sont différents, (Résultats Ifremer) mais les tests effectués en usine montrent que l'application industrielle est tout à fait possible malgré cela.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme (1972)** : Fumage du poisson. Rapports sur les pêches. Edition FAO, 88, 47.
- BALEJKO J.A. (1991)** : Production of curing smoke. Rate of thermal decomposition of sawdust under anaerobic conditions. *J. Sci. Food Agri.*, 57, 391–398.
- BELTRAN A. (1989)** : Tecnologia del ahumado. Origen y composicion del humo. *Alimentaria*, 203, 45–49.
- CLIFFORD M.N. (1980)** : Smoking of foods. *Process Biochemistry*. 15, 8, 11.
- CUPPET S.L., GRAY J.I., PETSKA J.J., BOOREN A., PRICE J.F., KUTIL C.L. (1987)** : Effect of salt level and nitrite on toxin production by *Clostridium botulinum* Type E spores in smoked great lakes whitefish. *J. Food Protection*, 50, 3, 212–217.
- DAUN H. (1972)** : Sensory properties of phenolic compounds isolated from curing smoke as influenced by its generation parameters. *Lebensm. Wiss. u. Technol.*, 5, 3, 102–105.
- DAUN H. (1979)** : Interaction of woodsmoke components and foods. *Food Technology*, 33, 5, 66–71.
- De VINCENZI M., GIOVANNINI C., DESS M.R. (1992)** : Aspetti tecnologici e sanitari inerenti l'impegno degli aromi di fumo negli alimenti. *Rivista della Societa Italiana di Scienza dell'Alimentazione*, 21, 1, 81–86.
- DURAND P., ROSSET R., VENDEUVRE J.L. (1984)** : Charcuterie industrielle, salaisons, plats cuisinés et produits dérivés de la viande. *Additifs & Auxiliaires de fabrication dans les industries agro-alimentaires*. Edition APRIA.
- FOSTER W.W. (1961)** : Studies of the smoking process for foods. The importance of vapours. *J. Sci. Food Agric.*, 5, 363–374.
- GILBERT J. et KNOWLES M. (1975)** : The chemistry of smoked food, *J. Food Technol.* 10, 3, 245–261.
- GIRARD J.P. (1988)** : La fumaison. *Technologie de la viande et des produits carnés*,. Edition LAVOISIER, chap. 5, 171–214.
- GIRARD J.P., TALON R., SIRAMI J. (1982)** : Le fumage électrostatique : son efficacité relativement à deux paramètres technologiques. *Sciences des aliments*, 2, 1–15.
- GUDASZEWSKI T. (1989)** : Aroma geräucherter Fleischerzeugnisse. *Die Fleischwirtschaft*, 69, 3, 271–273.
- HALLE P. et TAILLEZ R. (1981)** : Le fumage du saumon. Influence de la qualité de la matière première sur l'action antiseptique de la fumée. *Rev. Tech. Vétér. Alim*, 172.
- HANLEY et DRAUDT (1958)** : Process of meat smoking. U.S. patent, n°2, 444–478.

HARDY R. et Mc GILL A.S. (1979) : Smoking of foods. Methods and some toxicological aspects. *Process Biochemistry*, 14, 10, 2-4.

HAWKES J. et FLINCK J.M. (1978) : Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze deshydration, *J. Food, Proc. Pres.*, 2, 265-284.

HOTCHKISS J.H. (1987) : A review of current literature on N-nitroso compounds in foods. *Advances in Food research*. Academic Press, vol.27.

HOWARD J.W. et FAZIOT T. (1980) : Review of polycyclic aromatic hydrocarbons in foods. *J. Assoc. off. Anal. chem.*, 63, 5, 1077-1104.

JACQUOT R. (1961) : Fish as food. Organic constituents of fish and other aquatic animal foods. Edition Acad. Press. New york, 146-192.

KNOCKAERT C. (1990) : Le fumage du poisson. Edition IFREMER, centre de Brest.

KNOCKAERT C. (1992) : Rapport de recherches. IFREMER.

KNOCKAERT C. (1993) : Optimisation du fumage : des applications pour le saumon. *Produits de la mer*, 17, 61-65.

LENGES J. (1972) : Quelques considérations sur la fumaison des produits de viande. *Revue des fermentations et des industries alimentaires*, 54-60.

LENGES J. et LUCKS D (1974) : Dosage du 3-4 benzo(a)pyrène dans les produits de la viande et de poissons fumés. *Revue des fermentations et des industries alimentaires*. Bruxelles, 29, 5, 135-139.

MAGA J.A (1987) : The flavor chemistry. *Food Rev. Int.*, 3, 139-183.

MAGA J.A. et CHEN Z. (1985) : Pyrazine composition of wood smoke as influenced by wood source and smoke generation variables. *Flavour and Fragrance J.*, 1, 37-42.*

MÜLLER W.D. (1987) : Emissionarme Räuchertechnik und Abluftreinigung. *Kulmbach*, 96, 7427-7433.

MÜLLER W.D. (1991) : Curing and smoking : Are they healthier processes today then they used to be ? *Die Fleischwirtschaft*, 71, 1, 61-65.

NICOLLE J.P. (1979) : Technologie du fumage. Applications au saumon. Edition ISTEPM-Nantes.

RAOULT-WACK, COLLIGNAN (1994). Le traitement par Immersion de produits carnés. *Cahiers de l'AFSIA n° 10*, pages 51-59

RUITER A. (1979) : Color of smoked foods. *Food Technol.*, 33, 5, 54-63.

RUSZ J. (1977) : Physical and chemical processes involved in the production and application of smoke. *Pure & Appl. Chem.*, 49, 11, 1639–1654.

SAINCLIVIER M. (1983) : L'industrie alimentaire halieutique. Le poisson matière première. (Bulletin scientifique et technique de l'ENSA de Rennes), Sciences agronomiques de Rennes, vol. 1.

SAINCLIVIER M. (1985) : L'industrie alimentaire halieutique. Des techniques ancestrales à leurs réalisations contemporaines. (Bulletin scientifique et technique de l'ENSA de Rennes), Sciences agronomiques de Rennes, vol. 2.

SHIAU C.Y. et CHAI T. (1985) : Smoked dogfish processing and its refrigerated storage stability. *J. Food Sci.*, 50, 1348–1350.

SIMKO P. (1991) : Changes of benzo(a)pyrène contents in smoked fish during storage. *Food Chemistry*, 40, 3, 293–300.

TECHNIQUES DE L'INGENIEUR (1979) : Génie des procédés. Opérations unitaires. J2, II, A5701.1.

TECHNIQUES DE L'INGENIEUR (1980) : Génie électrique. Matériaux. D2, II, D320.3.

THORKESSON G. (1989) : The effect of processing on the content of polycyclic Aromatic Hydrocarbons and volatile N–nitrosamines in cured and smoked lamb meat. *Bibl. Nutr. Dieta*, 43, 188–198.

TIGNER D.J. (1977) : The phenomena of quality in the smoke curing process. *Pure & Appl. Chem.*, 49, 11, 1629–1638.

TOTH L. et POTTHAST A. (1984) : Chemical aspects of the smoking of meat and meat products. *Advances in food research*. Edition Chichester, 29, 87–158.

TREMOLIERES J. (1980) : Manuel d'alimentation humaine. Les aliments. Edition ESF Paris, 2, 65–73.

UGSTAD E., OLSTAD O., VOLD E., HILDRUM K.I., FRETHEIM K., HOYEM T. (1979) : Design of a generator for studying isothermally generated wood smoke. *J. Food Sci.*, 44, 1543–1549.

ANNEXES

- 1 Détails des résultats du chapitre 5
- 2 Fiche technique de l'alimentation Haute Tension
- 3 Fiche technique de l'opacimètre
- 4 Présentation du brevet
- 5 Photographies : présentation du pilote et de ses accessoires
- 6 Conclusions de l'étude consommation : comparaison des procédés dans le cas du saumon fumé (ADRIA, 1995).

Résultats analyses chimiques et bactériologiques

Page 1 : Analyses chimiques sur le saumon

Page 2 : Analyses bactériologiques sur le saumon

Page 3 : Analyses chimiques sur le hareng

Page 4 : Analyses bactériologiques sur le hareng

Résultats analyses chimiques pour le saumon

pH

	Traditionnel	Electrostatique
S0	6.03	6.01
<i>Ecart-type</i>	<i>0.016</i>	<i>0.008</i>
S1	6.06	6.06
<i>Ecart-type</i>	<i>0.014</i>	<i>0.008</i>
S2	6.03	6.05
<i>Ecart-type</i>	<i>0.028</i>	<i>0.007</i>
S3	6.08	6.08
<i>Ecart-type</i>	<i>0.041</i>	<i>0.059</i>
S4	6.06	6.03
<i>Ecart-type</i>	<i>0.004</i>	<i>0.009</i>
S5	6.09	6.10
<i>Ecart-type</i>	<i>0.024</i>	<i>0.024</i>

Teneur en eau

	Traditionnel	Electrostatique
S0	59.25	61.24
<i>Ecart-type</i>	<i>0.50</i>	<i>0.03</i>
S1	61.15	61.88
<i>Ecart-type</i>	<i>0.95</i>	<i>0.98</i>
S2	59.60	62.70
<i>Ecart-type</i>	<i>0.42</i>	<i>1.41</i>
S3	59.50	61.71
<i>Ecart-type</i>	<i>1.68</i>	<i>0.52</i>
S4	58.80	60.50
<i>Ecart-type</i>	<i>0.37</i>	<i>0.70</i>
S5	59.00	61.20
<i>Ecart-type</i>	<i>0.60</i>	<i>0.09</i>

ABVT

	Traditionnel	Electrostatique
S0	19.86	15.05
<i>Ecart-type</i>	<i>1.51</i>	<i>0.39</i>
S1	16.37	16.13
<i>Ecart-type</i>	<i>0.22</i>	<i>0.26</i>
S2	18.98	20.96
<i>Ecart-type</i>	<i>0.68</i>	<i>0.34</i>
S3	21.60	27.09
<i>Ecart-type</i>	<i>0.98</i>	<i>1.60</i>
S4	24.21	26.93
<i>Ecart-type</i>	<i>2.01</i>	<i>2.95</i>
S5	26.01	28.24
<i>Ecart-type</i>	<i>0.78</i>	<i>0.48</i>

TMA

	Traditionnel	Electrostatique
S0	6.55	2.82
<i>Ecart-type</i>	<i>1.26</i>	<i>0.13</i>
S1	2.28	2.40
<i>Ecart-type</i>	<i>0.49</i>	<i>0.65</i>
S2	1.50	3.29
<i>Ecart-type</i>	<i>0.26</i>	<i>0.81</i>
S3	2.61	6.12
<i>Ecart-type</i>	<i>0.39</i>	<i>1.51</i>
S4	1.64	5.89
<i>Ecart-type</i>	<i>0.11</i>	<i>2.16</i>
S5	7.09	7.11
<i>Ecart-type</i>	<i>0.25</i>	<i>0.99</i>

Résultats analyses bactériologiques pour le saumon

FAT

	Traditionnel	Electrostatique
S0	1.81	1.72
<i>Ecart-type</i>	0.11	0.41
S1	1.74	1.55
<i>Ecart-type</i>	0.18	0.30
S2	2.50	2.39
<i>Ecart-type</i>	0.24	0.80
S3	3.57	3.17
<i>Ecart-type</i>	0.35	0.18
S4	4.03	4.30
<i>Ecart-type</i>	0.20	0.09
S5	3.45	3.75
<i>Ecart-type</i>	1.12	1.20

Flores lactiques

	Traditionnel	Electrostatique
S0	0.69	< seuil
<i>Ecart-type</i>	0.02	
S1	1.67	< seuil
<i>Ecart-type</i>	0.84	
S2	2.30	2.12
<i>Ecart-type</i>	0.18	0.14
S3	1.30	2.90
<i>Ecart-type</i>	0.21	0.17
S4	1.88	4.20
<i>Ecart-type</i>	0.22	0.41
S5	< seuil	2.53
<i>Ecart-type</i>		0.49

Levures-moisissures

	Traditionnel	Electrostatique
S0	< seuil	< seuil
<i>Ecart-type</i>		
S1	< seuil	< seuil
<i>Ecart-type</i>		
S2	< seuil	< seuil
<i>Ecart-type</i>		
S3	2.43	2.14
<i>Ecart-type</i>	1.41	0.25
S4	2.53	2.58
<i>Ecart-type</i>	0.98	0.18
S5	4.63	4.73
<i>Ecart-type</i>	2.01	1.35

Résultats analyses chimiques pour le hareng

pH

	Traditionnel	Electrostatique
S0	6.04	6.06
S1	6.03	6.06
S2	6.01	6.06
S3	6.02	6.11
S4	5.93	5.99
S5	5.80	5.90

Teneur en eau

	Traditionnel	Electrostatique
S0	59.30	61.38
S1	59.39	62.58
S2	62.90	62.40
S3	58.20	61.90
S4	59.83	62.90
S5	59.02	62.30

ABVT

	Traditionnel	Electrostatique
S0	21.27	20.28
S1	27.82	20.94
S2	28.15	28.15
S3	36.02	24.87
S4	28.15	27.84
S5	28.79	25.53

TMA

	Traditionnel	Electrostatique
S0	2.49	2.61
S1	2.94	2.61
S2	3.93	4.57
S3	5.27	5.23
S4	3.91	3.91
S5	5.01	4.52

Résultats analyses bactériologiques pour le hareng

FAT

	Traditionnel	Electrostatique
S0	2.36	2.46
<i>Ecart-type</i>	0.45	0.35
S1	2.66	3.16
<i>Ecart-type</i>	0.87	0.24
S2	2.57	3.56
<i>Ecart-type</i>	0.89	0.99
S3	3.86	4.61
<i>Ecart-type</i>	0.65	1.56
S4	3.32	4.86
<i>Ecart-type</i>	0.76	1.22
S5	4.45	4.58
<i>Ecart-type</i>	0.82	0.70

Flores lactiques

	Traditionnel	Electrostatique
S0	1,45	< seuil
<i>Ecart-type</i>	0.78	
S1	1.39	1.26
<i>Ecart-type</i>	0.56	0.64
S2	< seuil	2.06
<i>Ecart-type</i>		0.42
S3	< seuil	3.66
<i>Ecart-type</i>		0.75
S4	< seuil	3.47
<i>Ecart-type</i>		0.99
S5	3.24	4.04
<i>Ecart-type</i>	1.54	0.98

Levures-moisissures

	Traditionnel	Electrostatique
S0	< seuil	< seuil
<i>Ecart-type</i>		
S1	< seuil	< seuil
<i>Ecart-type</i>		
S2	< seuil	2.22
<i>Ecart-type</i>		0.78
S3	2.35	3.63
<i>Ecart-type</i>	1.34	1,89
S4	1.90	3.17
<i>Ecart-type</i>	1.46	1.03
S5	3.81	3.73
<i>Ecart-type</i>	0.50	2.12

Résultats analyses sensorielles

Page 1 : Résultats sur le saumon après 15 jours

Page 2 : Résultats sur le saumon après 30 jours

Page 3 : Résultats sur le hareng après 15 jours

Page 4 : Résultats sur le hareng après 30 jours

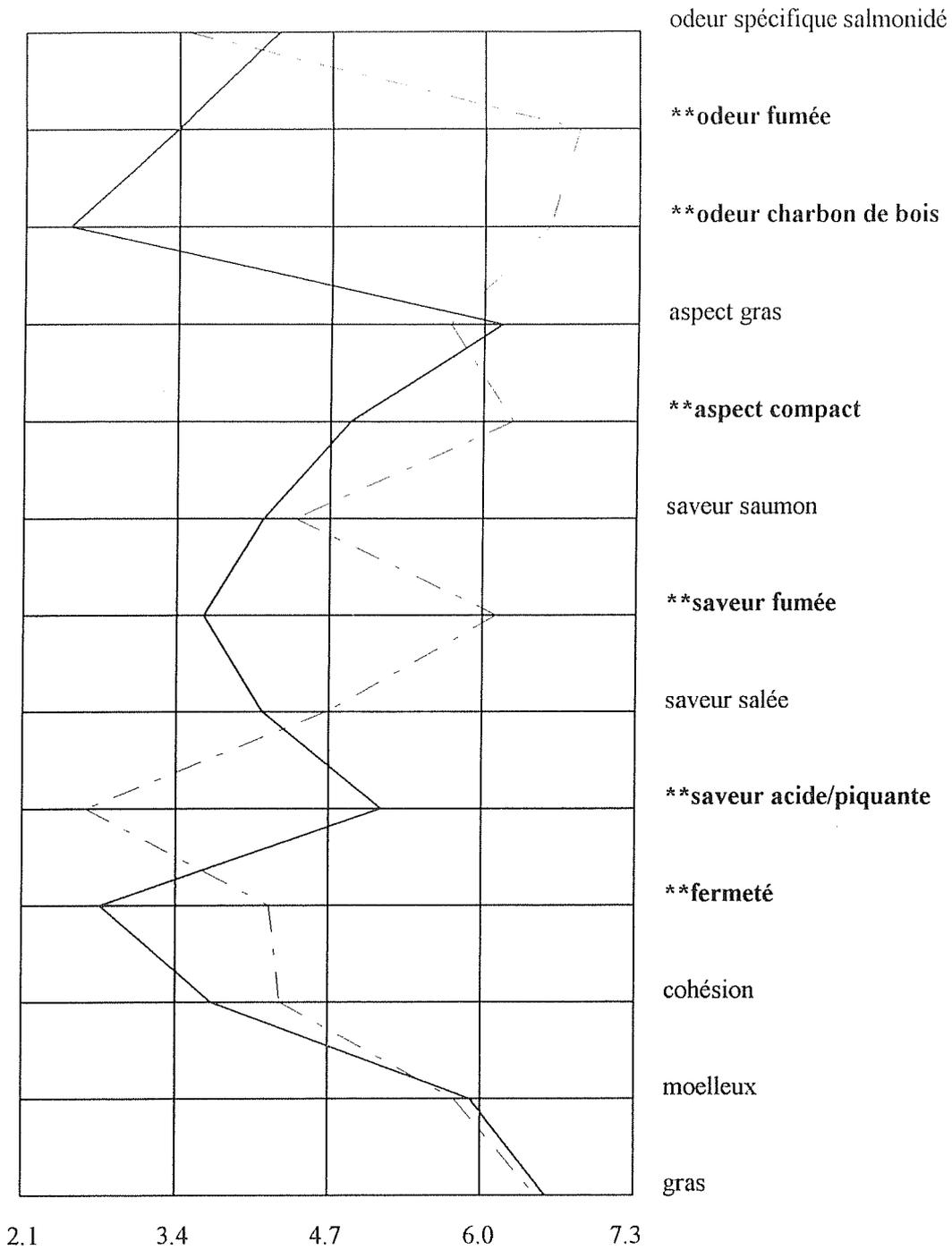
Résultats de l'analyse sensorielle sur le saumon après 15 jours de conservation.

DESCRIPTEURS	TRADITIONNEL		ELECTROSTATIQUE		"t" calculés	Significat.
	Moyennes	Ecart-types	Moyennes	Ecart-types		
ODEUR SAUMON	4.250	2.217	3.470	1.860	1.319	
ODEUR FUMEE	3.391	1.813	6.803	2.169	5.724	**
ODEUR CHARB. BOIS/SUIVE	2.476	2.311	6.550	2.422	5.248	**
ASPECT GRAS	6.161	2.203	5.711	2.073	1.049	
ASPECT COMPACT	4.874	1.833	6.258	1.841	3.220	**
SAVEUR SAUMON	4.133	1.798	4.405	2.135	0.494	
SAVEUR FUMEE	3.625	1.949	6.121	2.195	3.794	**
SAVEUR SALEE	4.133	2.183	4.678	2.172	1.120	
SAVEUR ACIDE/PIQUANTE	5.146	2.740	2.632	2.043	3.973	**
FERMETE	2.749	1.717	4.191	2.011	3.027	**
COHESION	3.704	2.025	4.289	2.214	1.597	
MOELLEUX	5.906	2.252	5.770	2.083	0.292	
GRAS	6.550	1.836	6.472	1.958	0.175	

"t" TABLE : t = 2.06 à 5%
t = 2.78 à 1%

* significatif à 5%
** significatif à 1%

SAUMON 15 JOURS



TEMOIN —————
ELECTROSTATIQUE - - - - -

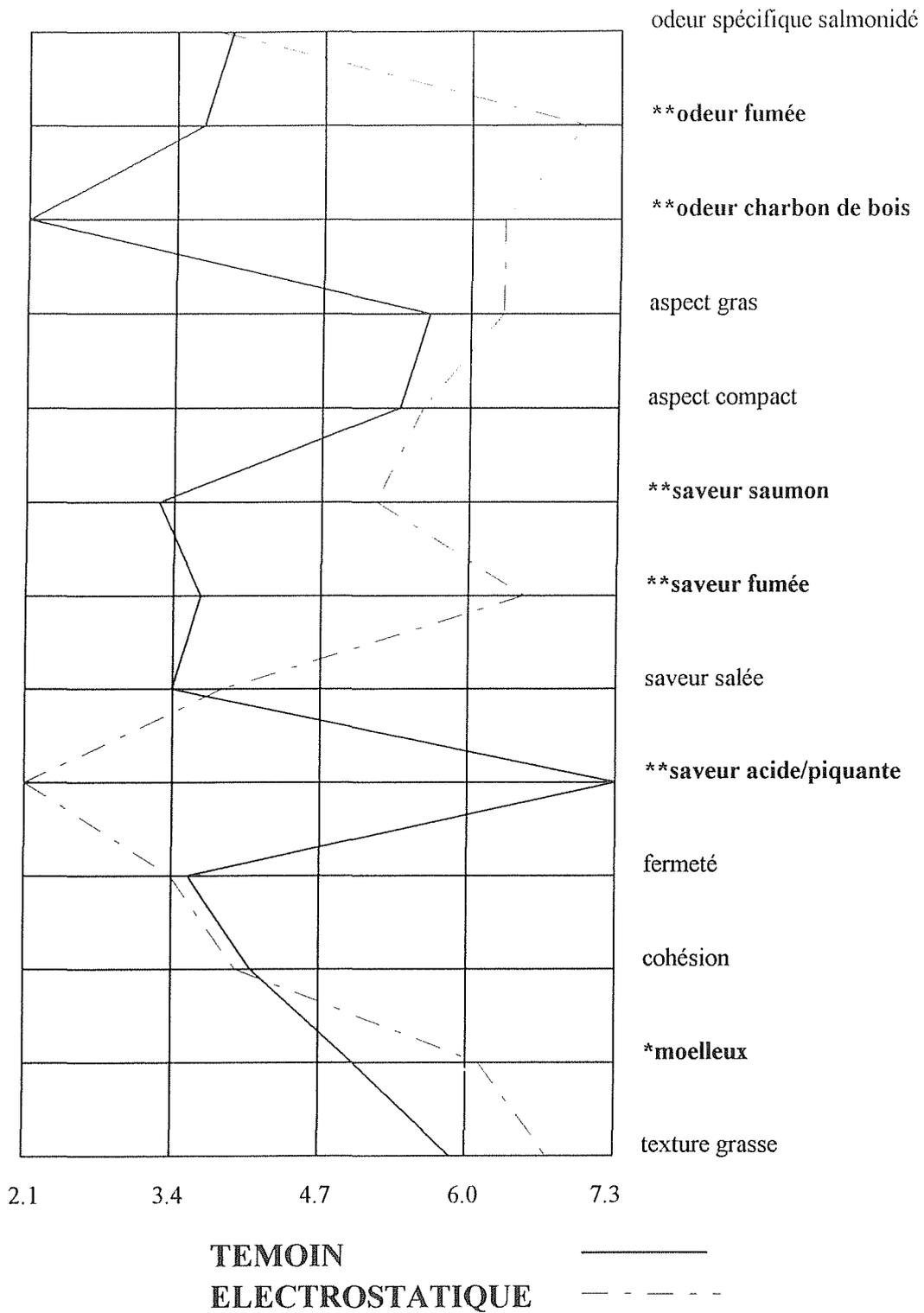
Résultats de l'analyse sensorielle sur le saumon après 30 jours de conservation.

DESCRIPTEURS	TRADITIONNEL		ELECTROSTATIQUE		"t" calculés	Significat.
	Moyennes	<i>Ecart-types</i>	Moyennes	<i>Ecart-types</i>		
ODEUR SAUMON	3.909	<i>1.811</i>	3.785	<i>2.160</i>	0.203	
ODEUR FUMEE	3.659	<i>1.574</i>	6.991	<i>1.991</i>	7.856	**
ODEUR CHARB. BOIS/SUIVE	2.131	<i>2.267</i>	6.291	<i>2.322</i>	4.691	**
ASPECT GRAS	5.639	<i>1.891</i>	6.290	<i>2.442</i>	0.980	
ASPECT COMPACT	5.390	<i>1.745</i>	5.589	<i>1.464</i>	0.461	
SAVEUR SAUMON	3.284	<i>1.487</i>	5.189	<i>1.617</i>	3.753	**
SAVEUR FUMEE	3.660	<i>1.819</i>	6.491	<i>1.724</i>	4.592	**
SAVEUR SALEE	3.410	<i>1.765</i>	3.860	<i>1.885</i>	1.685	
SAVEUR ACIDE/PIQUANTE	7.293	<i>1.943</i>	2.130	<i>1.818</i>	9.683	**
FERMETE	3.561	<i>1.844</i>	3.410	<i>1.931</i>	0.291	
COHESION	4.110	<i>1.987</i>	3.985	<i>2.049</i>	0.331	
MOELLEUX	5.012	<i>1.619</i>	6.115	<i>2.236</i>	2.216	*
GRAS	5.865	<i>1.581</i>	6.716	<i>2.052</i>	1.402	

"t" TABLE : t = 2.09 à 5%
t = 2.85 à 1%

* significatif à 5%
** significatif à 1%

SAUMON 30 JOURS



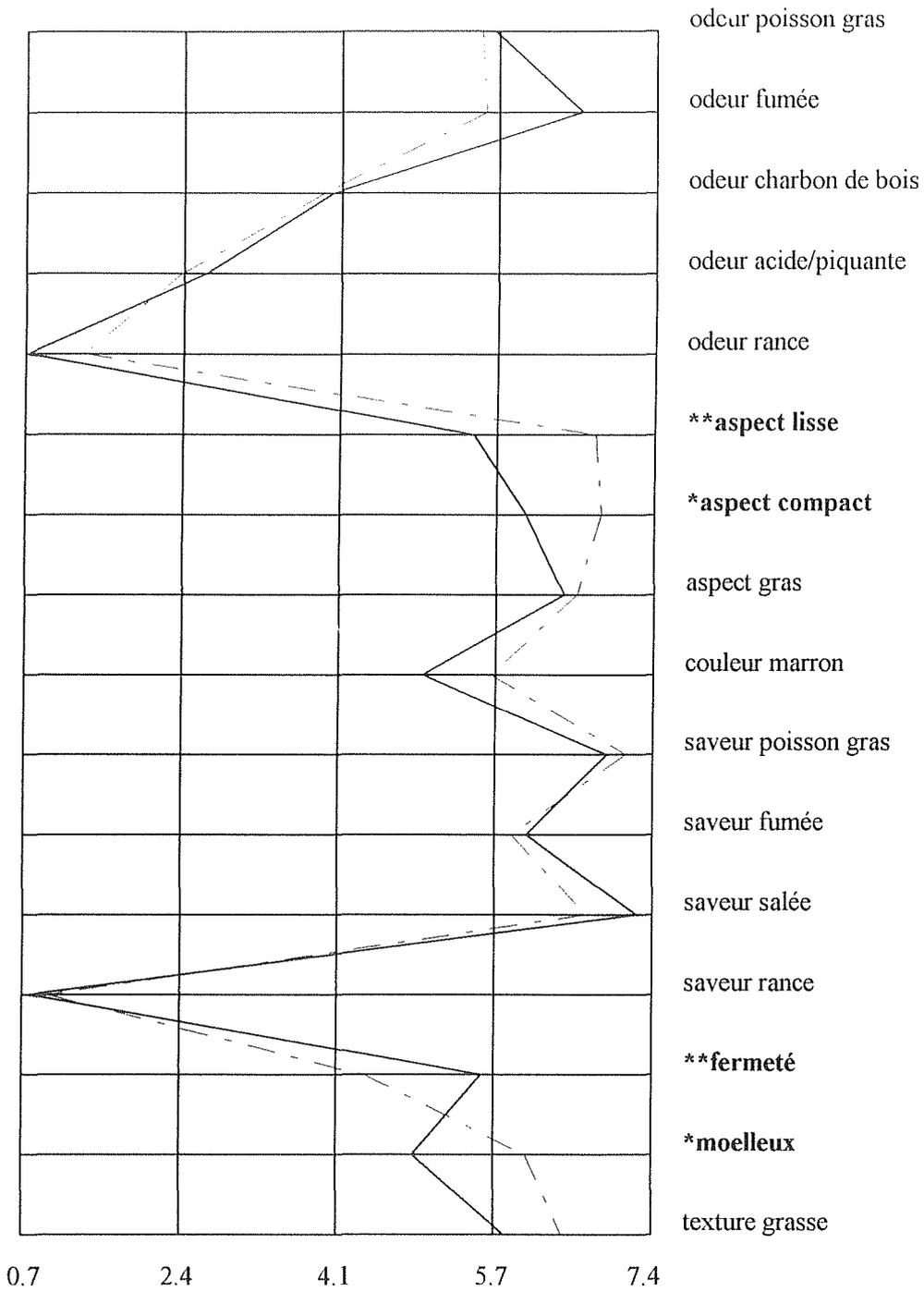
Résultats de l'analyse sensorielle sur le hareng après 15 jours de conservation.

DESCRIPTEURS	TRADITIONNEL		ELECTROSTATIQUE		"t" calculés	Significat.
	Moyennes	Ecart-types	Moyennes	Ecart-types		
ODEUR POIS. GRAS	5.675	1.802	5.538	2.140	0.346	
ODEUR FUMEE	6.613	1.624	5.583	2.243	1.906	tendance
ODEUR CHARBON DE BOIS	3.960	2.523	3.868	1.680	0.128	
ODEUR ACIDE/PIQUANTE	2.610	1.919	2.358	2.203	0.622	
ODEUR RANCE	0.710	1.151	1.305	2.062	1.486	
ASPECT LISSE	5.469	1.780	6.773	1.636	3.310	**
ASPECT COMPACT	6.040	1.787	6.841	1.717	2.397	*
ASPECT GRAS	6.453	1.251	6.590	1.709	0.429	
COULEUR MARRON	4.943	1.546	5.675	2.165	1.472	
SAVEUR POIS. GRAS	6.912	1.242	7.117	1.545	0.674	
SAVEUR FUMEE	6.065	1.671	5.903	1.925	0.397	
SAVEUR SALEE	7.231	1.845	6.704	1.832	1.047	
SAVEUR RANCE	0.756	1.316	0.962	1.426	0.741	
FERMETE	5.583	1.967	4.348	1.971	3.372	**
MOELLEUX	4.850	1.627	6.064	1.876	2.732	*
TEXTURE GRASSE	5.834	1.707	6.453	1.844	1.458	

"t" TABLE : t = 2.07 à 5%
t = 2.82 à 1%

* significatif à 5%
** significatif à 1%

HARENG 15 JOURS



TEMOIN
ELECTROSTATIQUE

—————
- - - - -

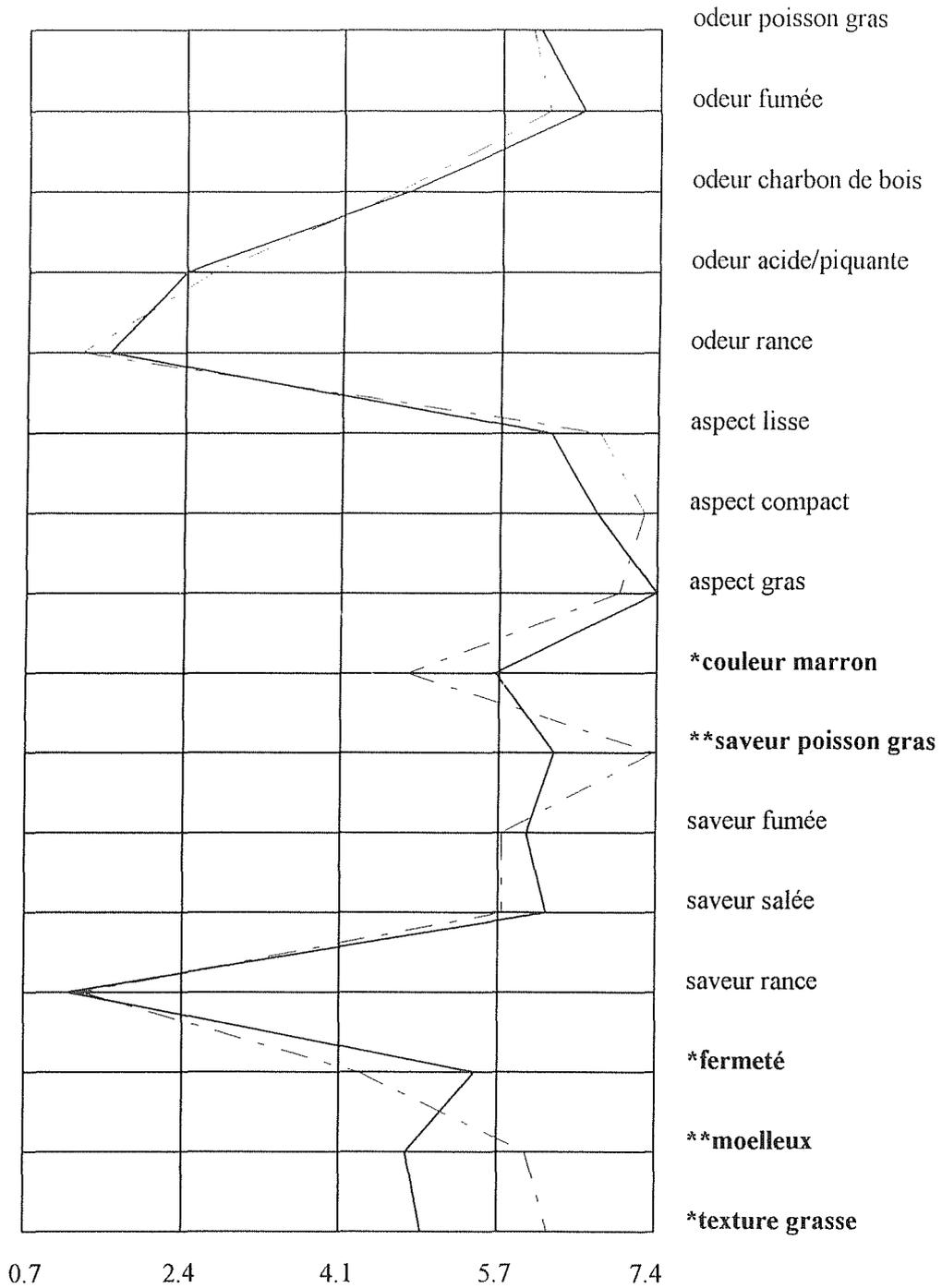
Résultats de l'analyse sensorielle sur le hareng après 30 jours de conservation.

DESCRIPTEURS	TRADITIONNEL		ELECTROSTATIQUE		"t" calculés	Significat.
	Moyennes	Ecart-types	Moyennes	Ecart-types		
ODEUR POIS. GRAS	6.132	1.595	6.053	1.687	0.223	
ODEUR FUMEE	6.606	1.503	6.238	1.150	0.858	
ODEUR CHARBON DE BOIS	4.737	2.650	4.631	2.399	0.154	
ODEUR ACIDE/PIQUANTE	2.369	2.129	2.658	2.128	0.640	
ODEUR RANCE	1.553	1.633	1.264	1.305	1.207	
ASPECT LISSE	6.262	1.822	6.789	1.876	1.380	
ASPECT COMPACT	6.764	1.994	7.263	1.589	1.918	tendance
ASPECT GRAS	7.395	1.412	7.000	1.985	1.172	
COULEUR MARRON	5.683	1.804	4.763	1.588	2.147	*
SAVEUR POIS. GRAS	6.316	1.999	7.369	1.207	2.989	**
SAVEUR FUMEE	6.027	1.668	5.762	1.633	0.563	
SAVEUR SALEE	6.237	1.368	5.763	1.810	0.972	
SAVEUR RANCE	1.159	1.525	1.316	1.703	1.189	
FERMETE	5.475	1.685	4.264	1.573	2.805	*
MOELLEUX	4.763	1.551	6.027	1.542	3.423	**
TEXTURE GRASSE	4.920	2.201	6.264	1.962	2.745	*

"t" TABLE : t = 2.09 à 5%
t = 2.86 à 1%

* significatif à 5%
** significatif à 1%

HARENG 30 JOURS



TEMOIN
ELECTROSTATIQUE

—————
- - - - -

Fiche technique de l'alimentation Haute Tension

CARACTERISTIQUES

Régulation

- $\leq 0,005 \%$

Stabilité

- 0,01 % par heure après 1/2 heure de mise sous tension
- 0,05 % pour 8 heures

Ondulation résiduelle

- 0,03 % eff. de la tension à pleine charge

Temps de réponse

- ≤ 3 ms pour une variation de charge de 50 %

Coefficient de température

- 0,01 % °C

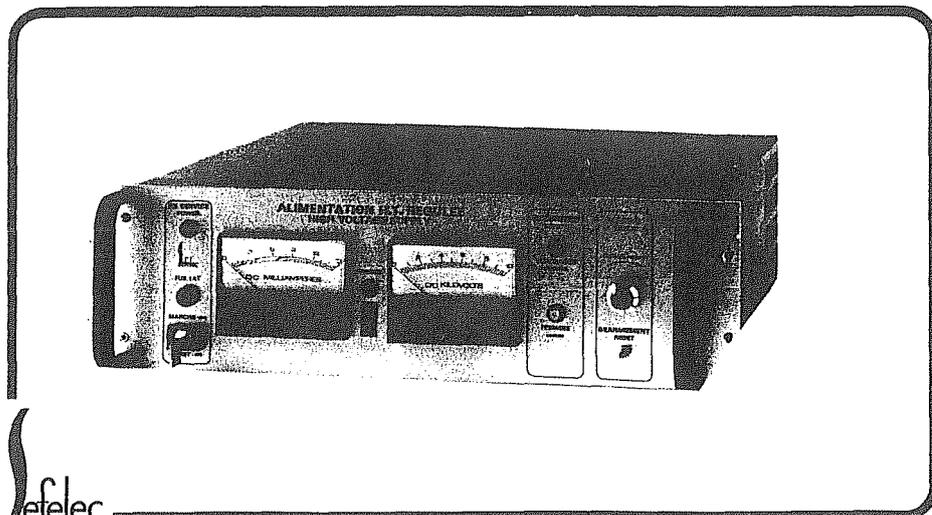
Alim. H.T. régulées

TYPE	HT 15A	No
		A

UTILISATION

- Réglage de la tension et du courant par 2 potentiomètres 10 tours permettant une très bonne résolution ≤ 500 ppm
- Linéarité : 1 %
- Lecture tension et courant par 2 galvanomètres classe 2
- Programmation à distance de la tension et du courant par potentiomètres ou application de tensions (0 à 10 V=)
- Sorties analogiques de 0 à 10 V pour la pleine échelle en tension et courant
RS = 10 k Ω

ALIMENTATION 500 W



- Dans le cas de la polarité réversible + et -, changement extérieur du tiroir HT ou du bloc HT par l'utilisateur.

CARACTERISTIQUES GENERALES

Alimentation secteur

- 220 Volts $\pm 10 \%$ monophasé 50-60 Hz

Consommation

- 400 VA

Température d'utilisation

- De 0°C à + 50°C

Dimensions

- Haut. : 85,7 mm
- Larg. : 483 mm
- Prof. : 460 mm

Masse

- 30 Kg

Parc d'Activités du Mandinet - 19, rue des Campanules LOGNES

77321 MARNE LA VALLEE CEDEX 2

Tél : (1) 60.17.54.62

Télex : SEFELEC 690 077 F

DESIGNATION D'INVENTEUR

Titre : Procédé et dispositif de salage-séchage et de fumage à froid de produits alimentaires carnés.

Inventeurs : COLLIGNAN Antoine
Domaine Galabert
34270 LES MATELLES

KNOCKAERT Camille
18, Rue Louis Girard
44360 LE TEMPLE DE BRETAGNE

RAOULT épouse WACK Anne Lucie
2 Bis, rue de la Glacière
30660 GALLARGUES LE MONTUEUX

VALLET Jean-Luc
1 Allée des Taillis
44980 SAINT LUCE S/LOIRE

**RÉCÉPISSÉ
DE
DÉPÔT**

1

(à remettre au demandeur ou au
mandataire par le préposé à la réception)

- | | | |
|---|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| a | <input checked="" type="checkbox"/> | BREVET D'INVENTION |
| b | <input type="checkbox"/> | CERTIFICAT D'UTILITÉ |
| c | <input type="checkbox"/> | CERTIFICAT D'ADDITION |
| d | <input type="checkbox"/> | DEMANDE DIVISIONNAIRE |
| e | <input type="checkbox"/> | TRANSFORMATION D'UNE
DEMANDE DE BREVET EUROPÉEN |

Pour c, d, e précisez : Nature, N° et date
de la demande initiale ou principale

2 OPTIONS OBLIGATOIRES au moment du dépôt (sauf pour le certificat d'utilité)

LE DEMANDEUR REQUIERT
L'ÉTABLISSEMENT DIFFÉRE
DE L'AVIS DOCUMENTAIRE*

OUI

NON

SI L'OPTION CHOISIE EST NON
ET SI LE DEMANDEUR EST
UNE PERSONNE PHYSIQUE IL
REQUIERT LE PAIEMENT
ÉCHELONNÉ DE LA TAXE
D'AVIS DOCUMENTAIRE *

OUI

NON

NATURE NUMERO DATE DE LA DEMANDE INITIALE OU PRINCIPALE

DATE DE REMISE DES PIÈCES

10 JUL. 1992

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

92/08958

DATE DE DÉPÔT

CODE POSTAL DU LIEU DE DÉPÔT

MA

4 DATE DU POUVOIR GÉNÉRAL

3 NOM ET ADRESSE DE DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE A QUI TOUTE LA
CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

CABINET BEAU DE LOMENIE
232, Avenue du Prado
13008 MARSEILLE

5 RÉFÉRENCE DU CORRESPONDANT

H 18 527 CAS 3/RMT

6 TÉLÉPHONE DU CORRESPONDANT

7 TITRE DE L'INVENTION

Procédé et dispositif de salage/échéage et de fumage à froid
de produits alimentaires carnés.

8 DEMANDEUR(S) : Nom et Prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination et forme juridique

N° SIREN, LE CAS ÉCHÉANT

1) CIRAD-SAR, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le
Développement (Etablissement Public)

2) IFREMER, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Etablissement
Public)

9 ADRESSE(S) COMPLÈTE(S)

1) Avenue du Val de Montferrand - 34032 MONTPELLIER CEDEX

2) 155, Rue Jean-Jacques ROUSSEAU - 92138 ISSY LES MOULINEAUX CEDEX

PAYS

FRANCE

10 NATIONALITÉ(S)

FRANÇAISE

DE DÉPÔT

TAXES VERSÉES

D'AVIS DOCUMENTAIRE

DE REVENDICATION DE PRIORITÉ

DE REVENDICATION (à partir de la 11è)

11 INVENTEUR(S)

LE DEMANDEUR EST L'UNIQUE
INVENTEUR*

OUI

NON

Si la réponse est non voir notice explicative

12

SI LE DEMANDEUR EST UNE PER-
SONNE PHYSIQUE NON IMPOSABLE,
IL REQUIERT* OU A REQUIS LA
RÉDUCTION DES TAXES*.

OUI

NON

13 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

PAYS ORIGINE

DATE DE DÉPÔT

NUMERO

14

DIVISIONS

ANTÉRIEURES A LA N°
PRÉSENTE DEMANDE

N°

N°

N°

ADDITIONS

15 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
NOM ET QUALITÉ DU SIGNATAIRE

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ A LA RÉCEPTION

BREVET D'INVENTION

Titre : Procédé et dispositif de salage-séchage et de fumage
à froid de produits alimentaires carnés

Déposants : CIRAD-SAR - Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement
IFREMER - Institut Français de Recherche pour
l'Exploitation de la Mer

Inventeur(s) : COLLIGNAN Antoine
KNOCKAERT Camille
RAOULT épouse WACK Anne Lucie
VALLET Jean-Luc

ABREGE DESCRIPTIF

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de salage-séchage et fumage de produits alimentaires carnés préalablement préparés et découpés en filets, selon lequel on expose lesdits produits à un flux de fumée dans une enceinte de fumage, caractérisé en ce qu'on réalise d'abord et simultanément par une opération de séchage/imprégnation le salage et le séchage desdits filets de produits (1), en les mettant au contact d'un mélange de chlorure de sodium et de sucre, et on réalise ensuite le fumage desdits filets de produits à basse température en fixant les particules colloïdales de la fumée par des moyens électrostatiques (22/38/40).

Trouve son application pour le fumage des produits alimentaires tels que les poissons et les viandes.

Figures 1 et 4.

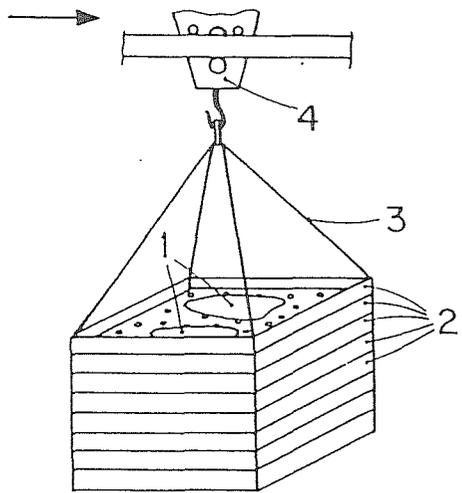


Fig. 1

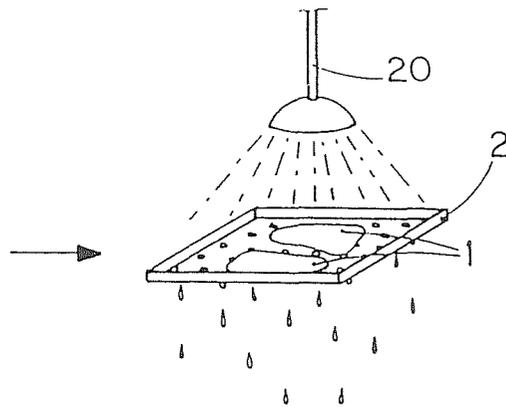


Fig. 2

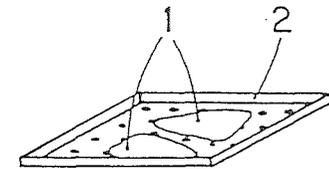


Fig. 3

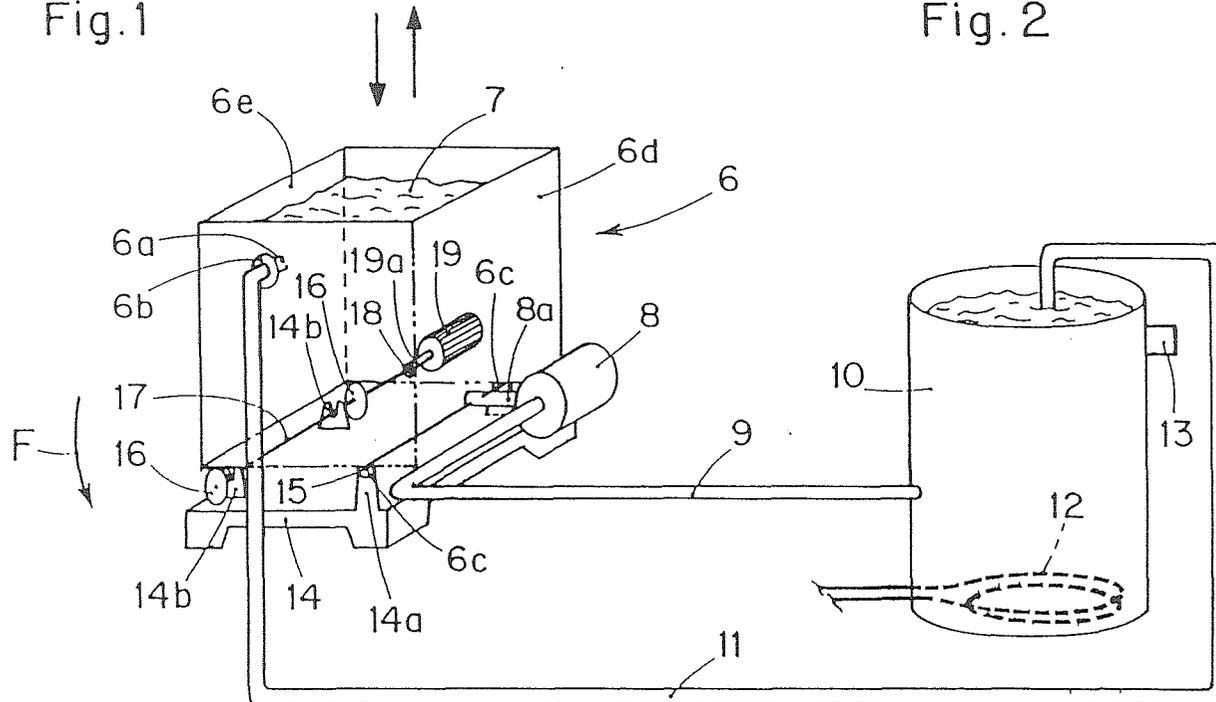
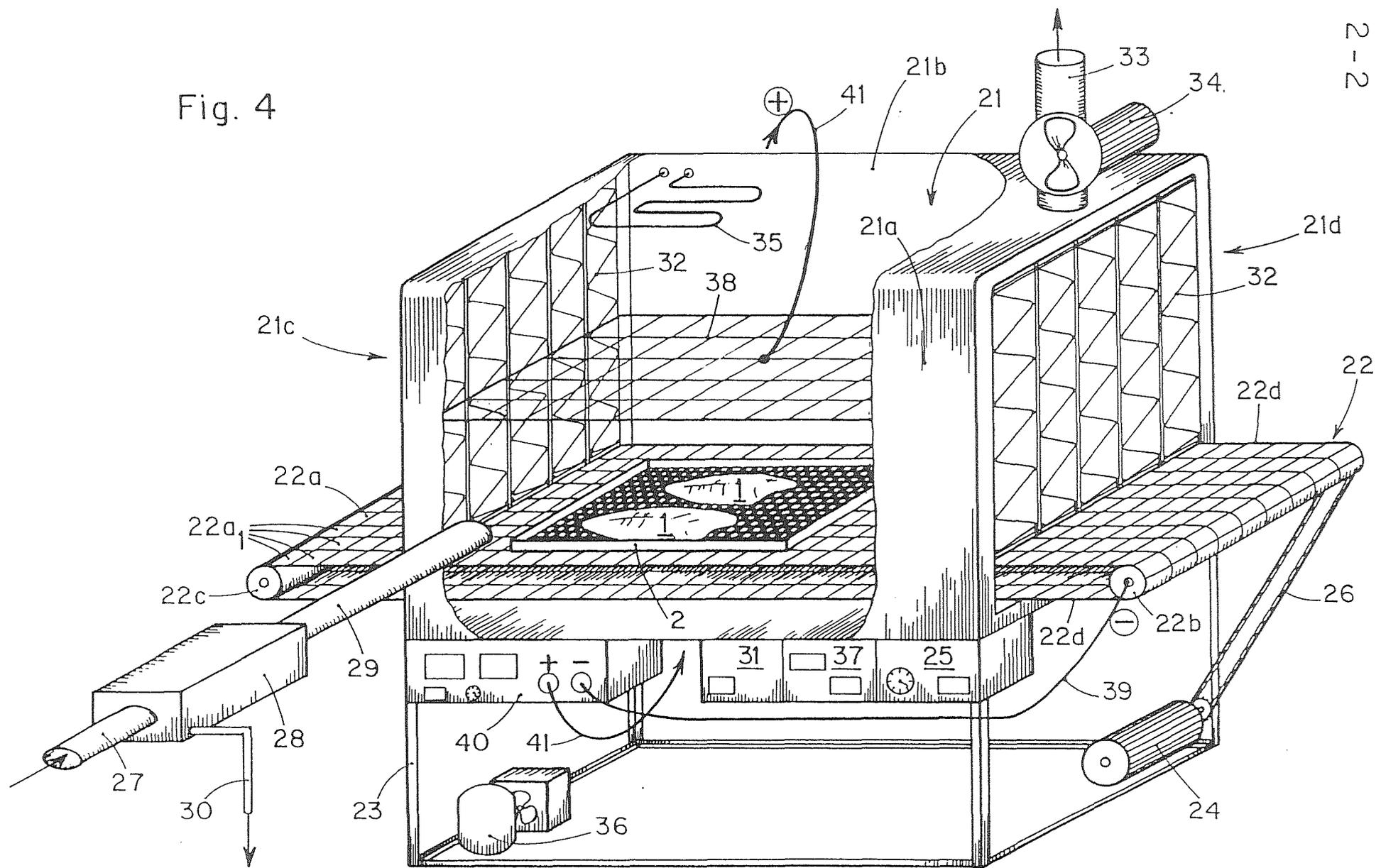


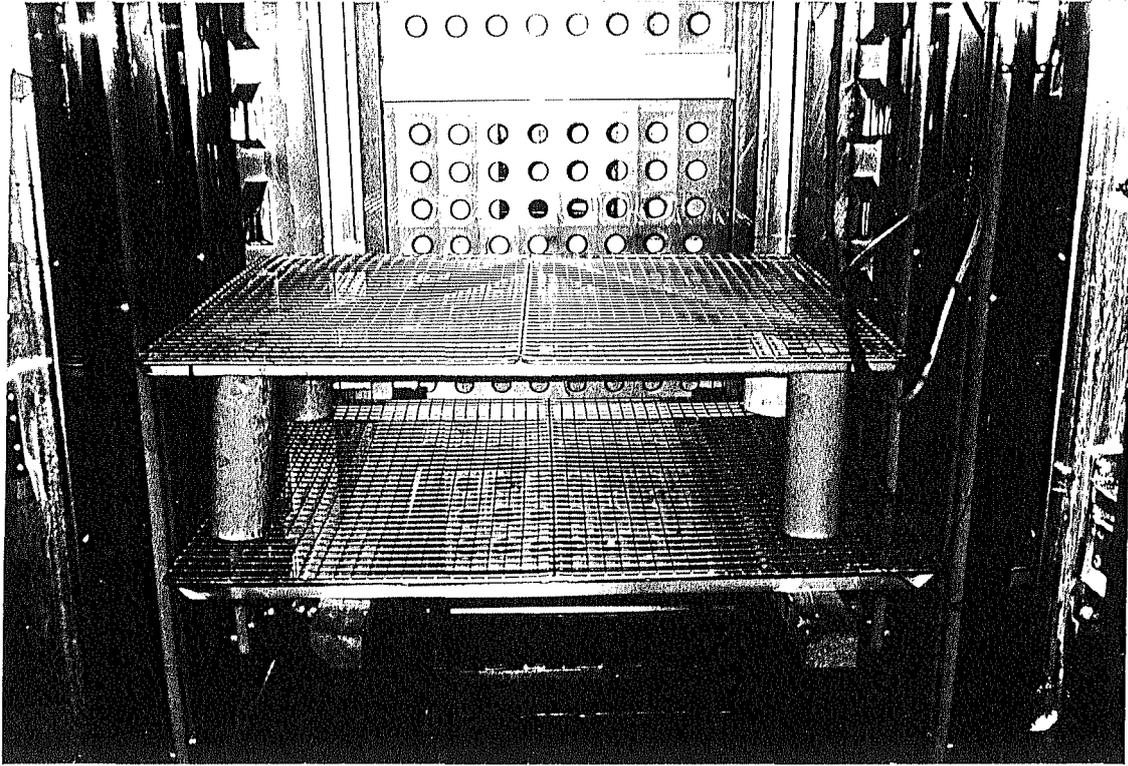
Fig. 4



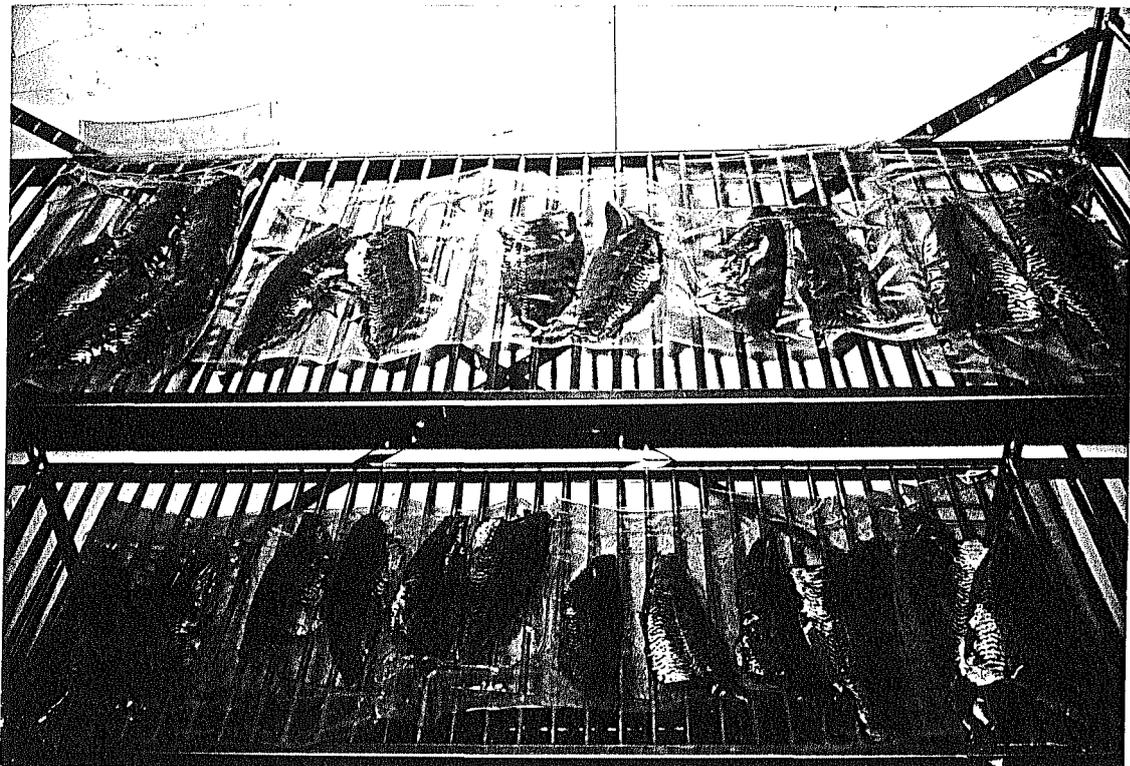
2-2

PHOTOGRAPHIES

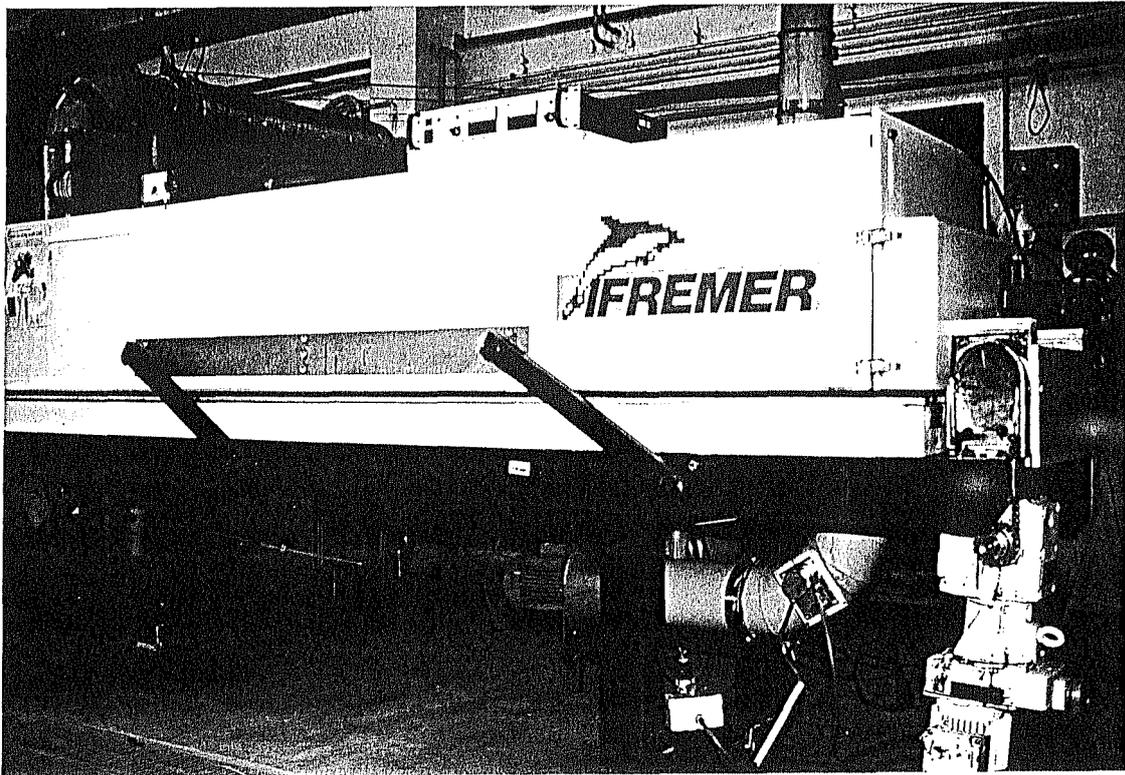
Présentation du pilote et de ses accessoires



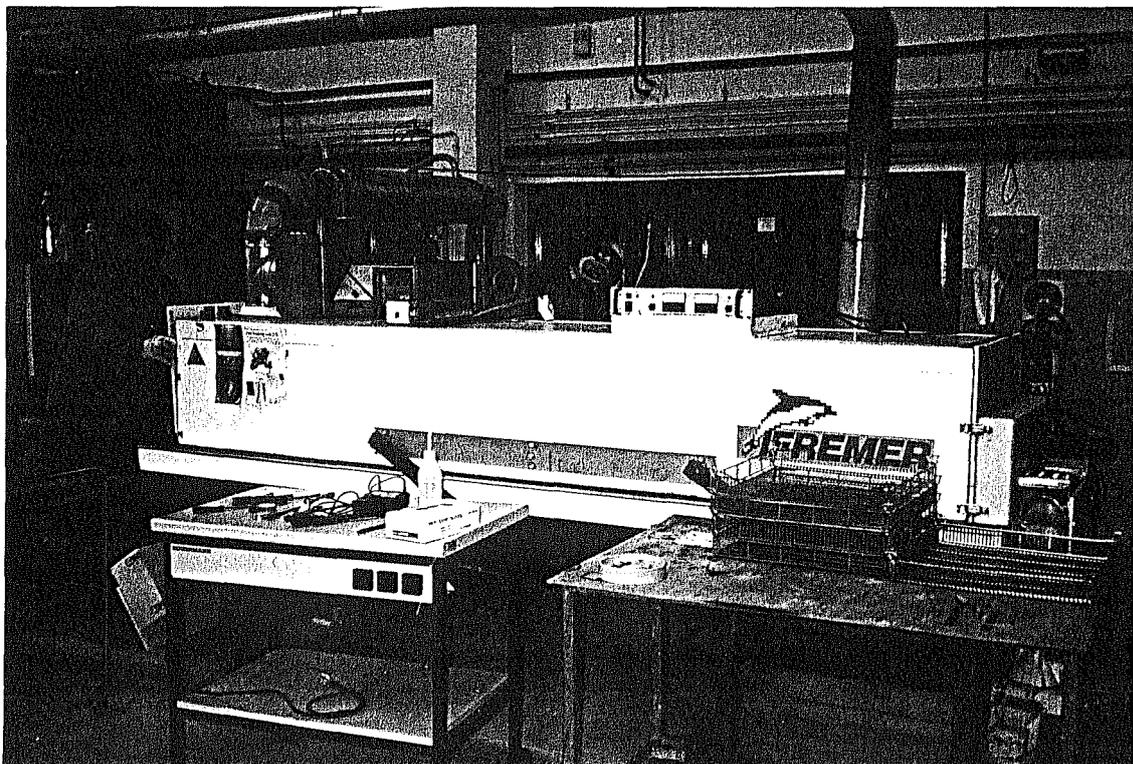
*Essais de faisabilité dans la cellule Thirode
(chapitre 3)*



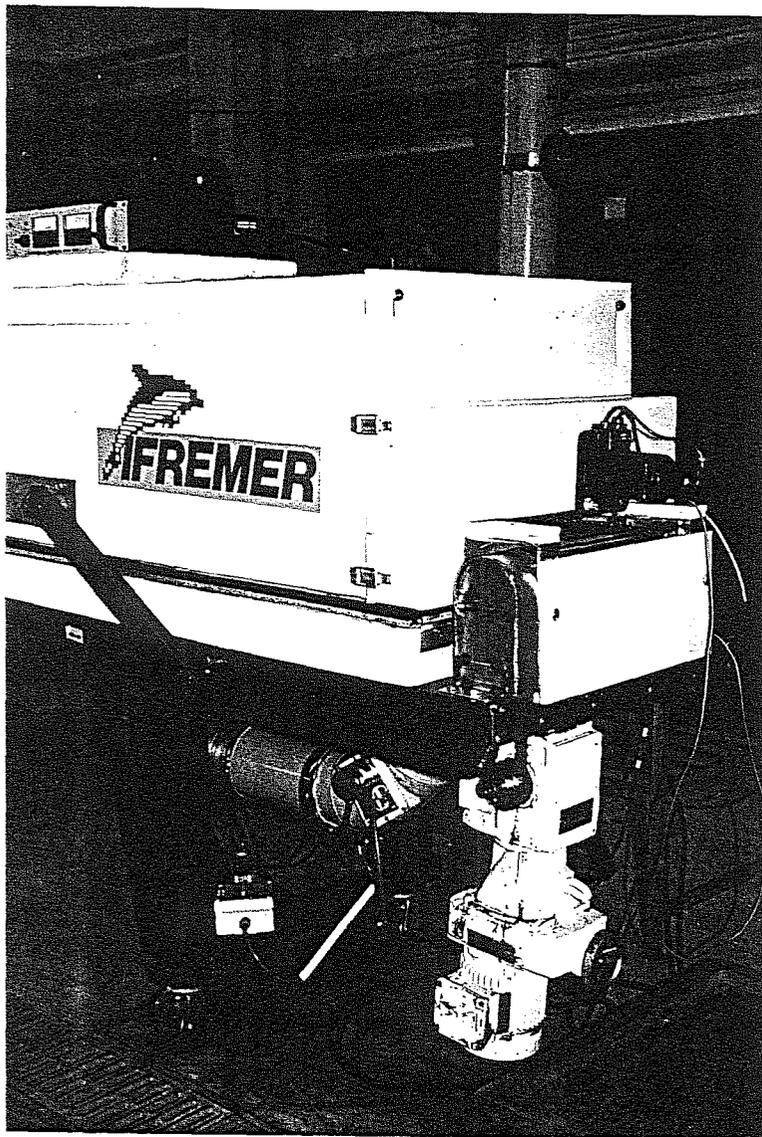
*Fumage de lieu : de gauche à droite
durée de fumage de 30 mn à 2h30 avec
en bas fumage électrostatique et en haut fumage traditionnel*



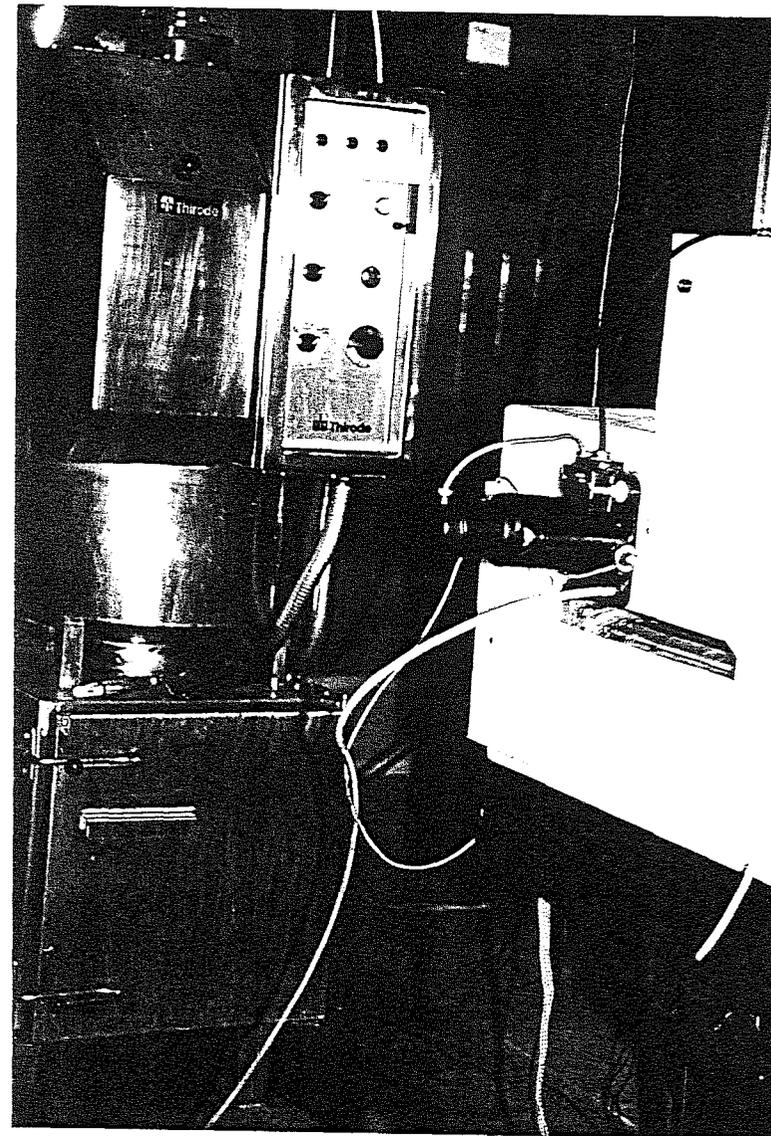
*Vue du tunnel
Alimentation Haute Tension et opacimètre sur le tunnel*



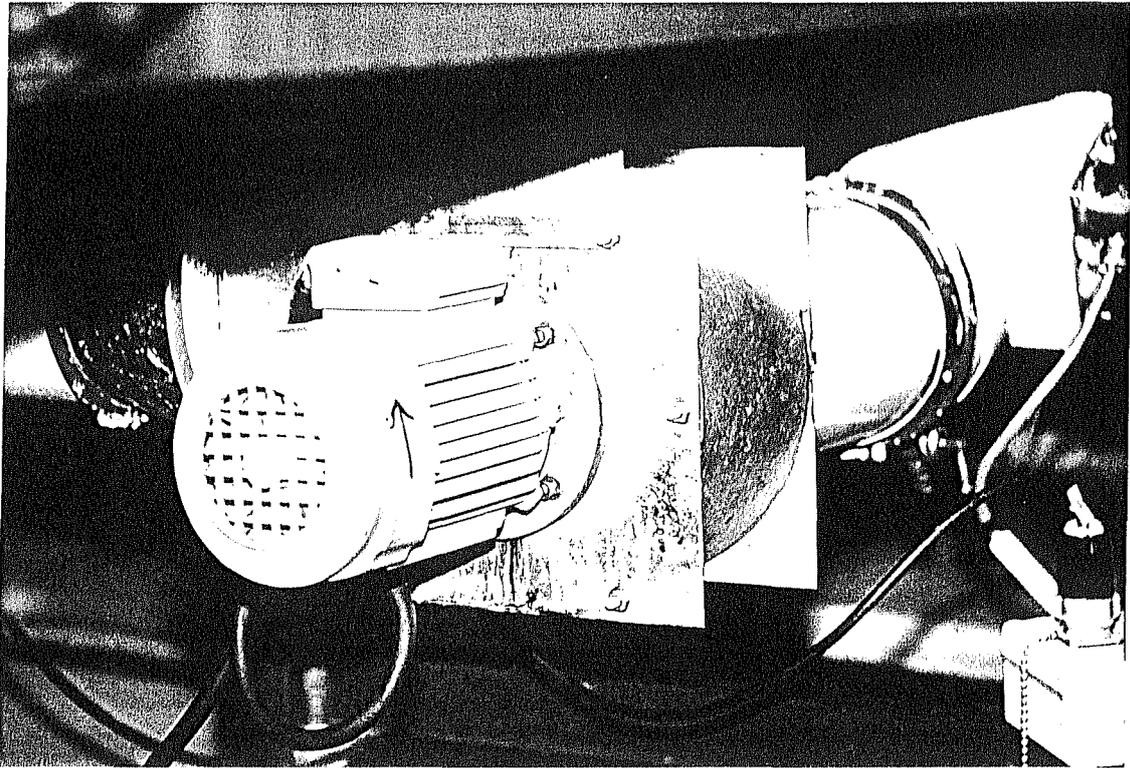
*Vue générale du tunnel
Refroidisseurs de fumée en arrière plan*



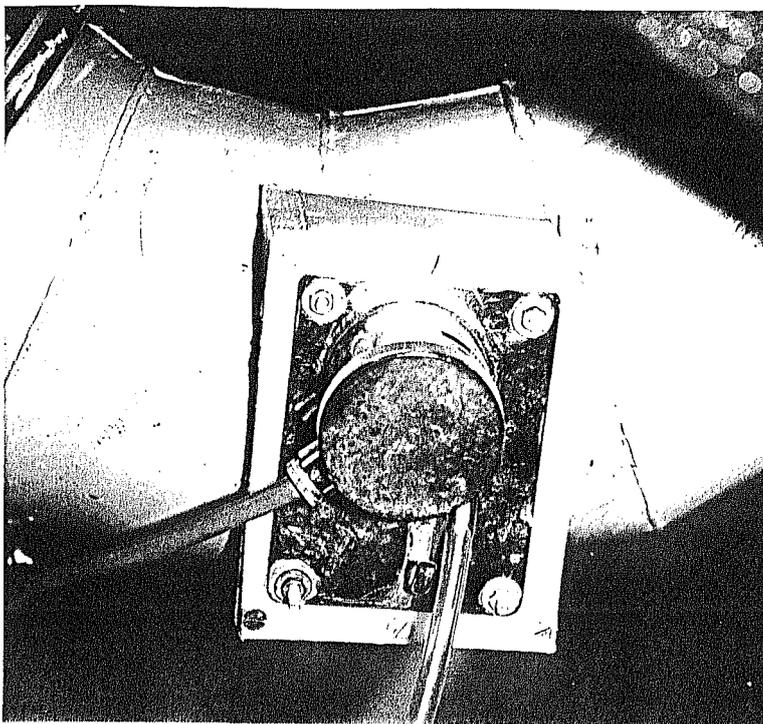
*Sortie du tunnel
Au dessous, Moto réducteur de vitesse du tapis*



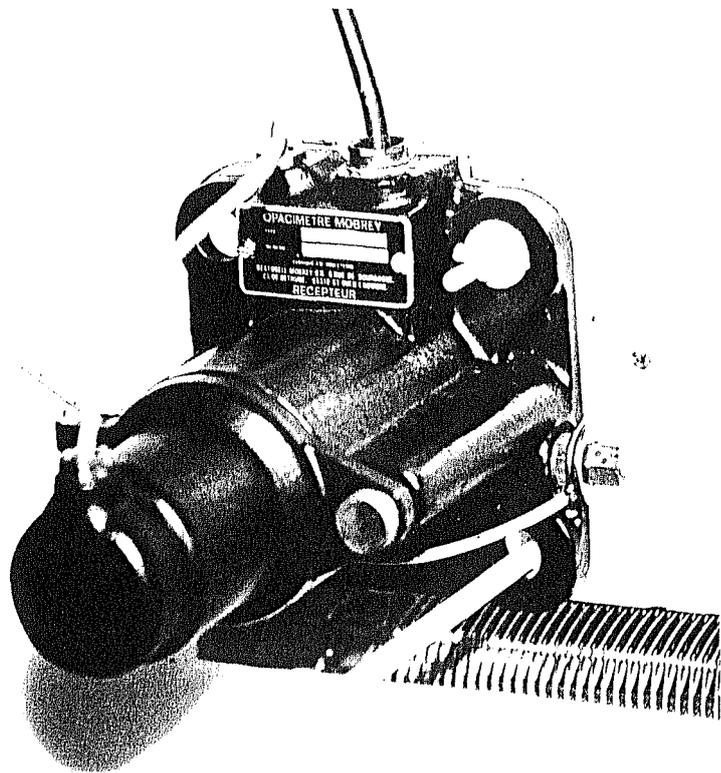
Générateur de fumée et entrée du tunnel



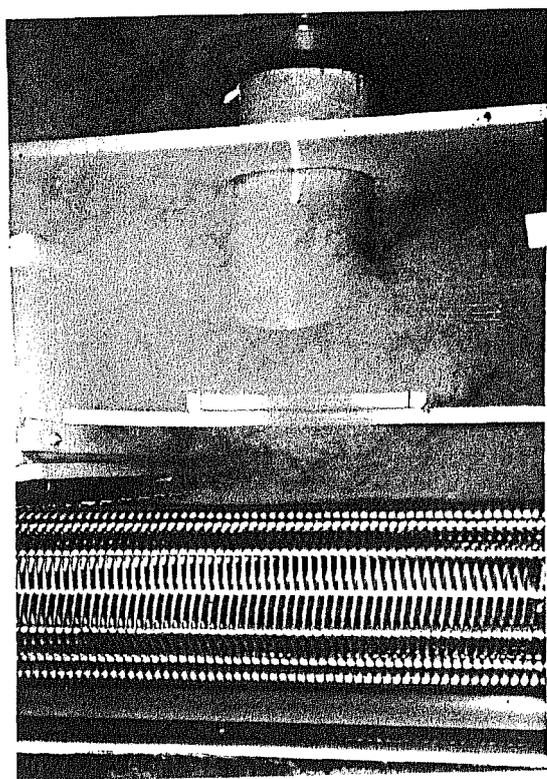
Turbine d'aspiration à vitesse variable



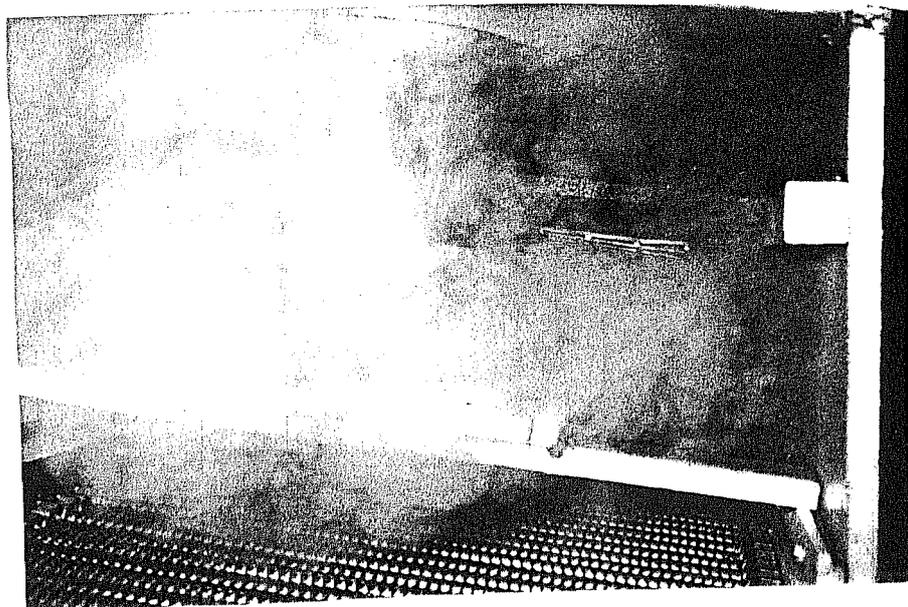
*Capteur hygrométrique (bulbes secs et humides)
situé avant la turbine d'aspiration*



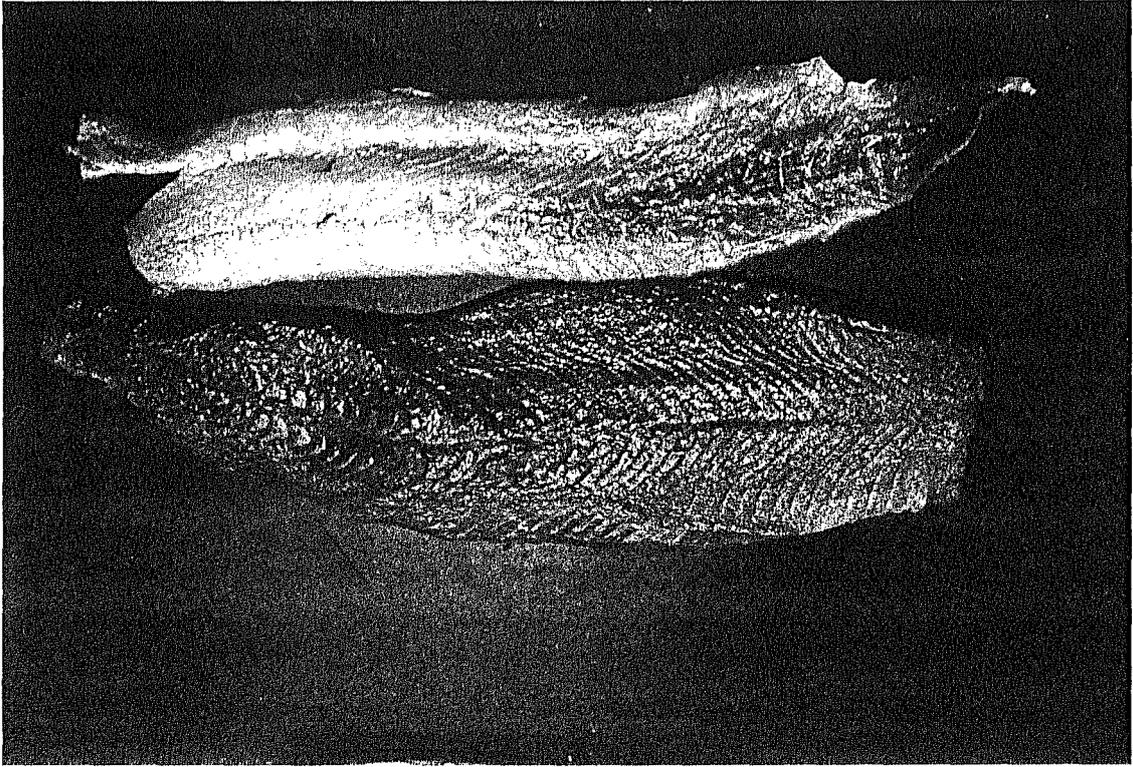
Mesure de densité de la fumée (récepteur)



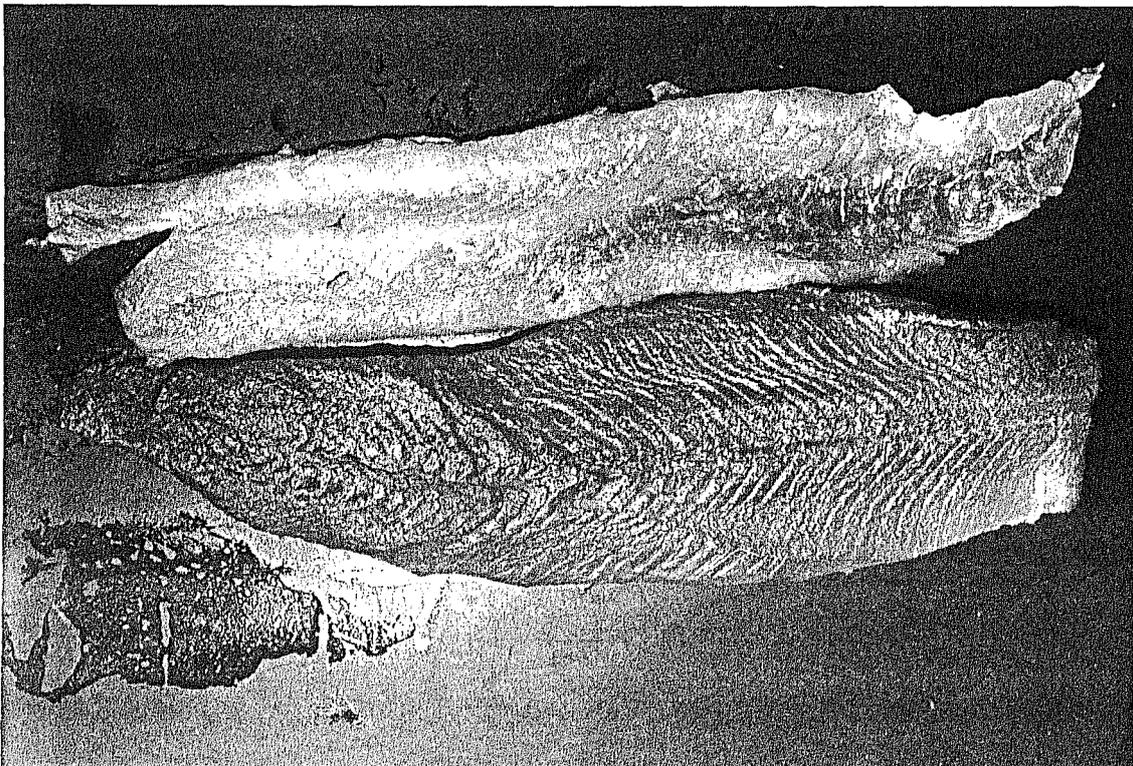
*Admission de la fumée
Electrode et tapis de convoyage*



*Admission de la fumée
Au dessous, réceptacle aux gouttes de goudron*



Filets de harengs et témoins
12 mn de fumage



**EVALUATION DE L'ACCEPTATION
DES FILETS DE SAUMONS ET CORRELATION
AVEC LEURS CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES**

**COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES SENSORIELLES
DE FILETS DE SAUMON FUME
TRAITES PAR DII ET FUMAGE ELECTROSTATIQUE
OU PAR UN PROCEDE TRADITIONNEL
(Avril 1995/étude commune avec l'ADRIA)**

Les saumons, tranchés mécaniquement, entreposés sous vide à 4°C, ont été dégustés 11 jours après fumage. Le test a porté sur 6 filets de chaque lot. Chaque dégustateur a comparé deux tranches provenant du même poisson. Pour les descripteurs de saveur, seul le coeur de la tranche a été consommé, sauf pour le dernier critère où il a été demandé de mélanger coeur et tranche.

Les échantillons diffèrent pour de nombreux critères. Le saumon traditionnel a une odeur saumon, un aspect compact, une saveur saumon, une saveur fumée (avec le bord) et une cohésion plus forte que le saumon électrostatique. Ce dernier a une odeur fumée froide, une couleur orangée, un aspect brillant, une saveur acide, un arrière goût amer et une texture grasse plus forte que le saumon traditionnel.

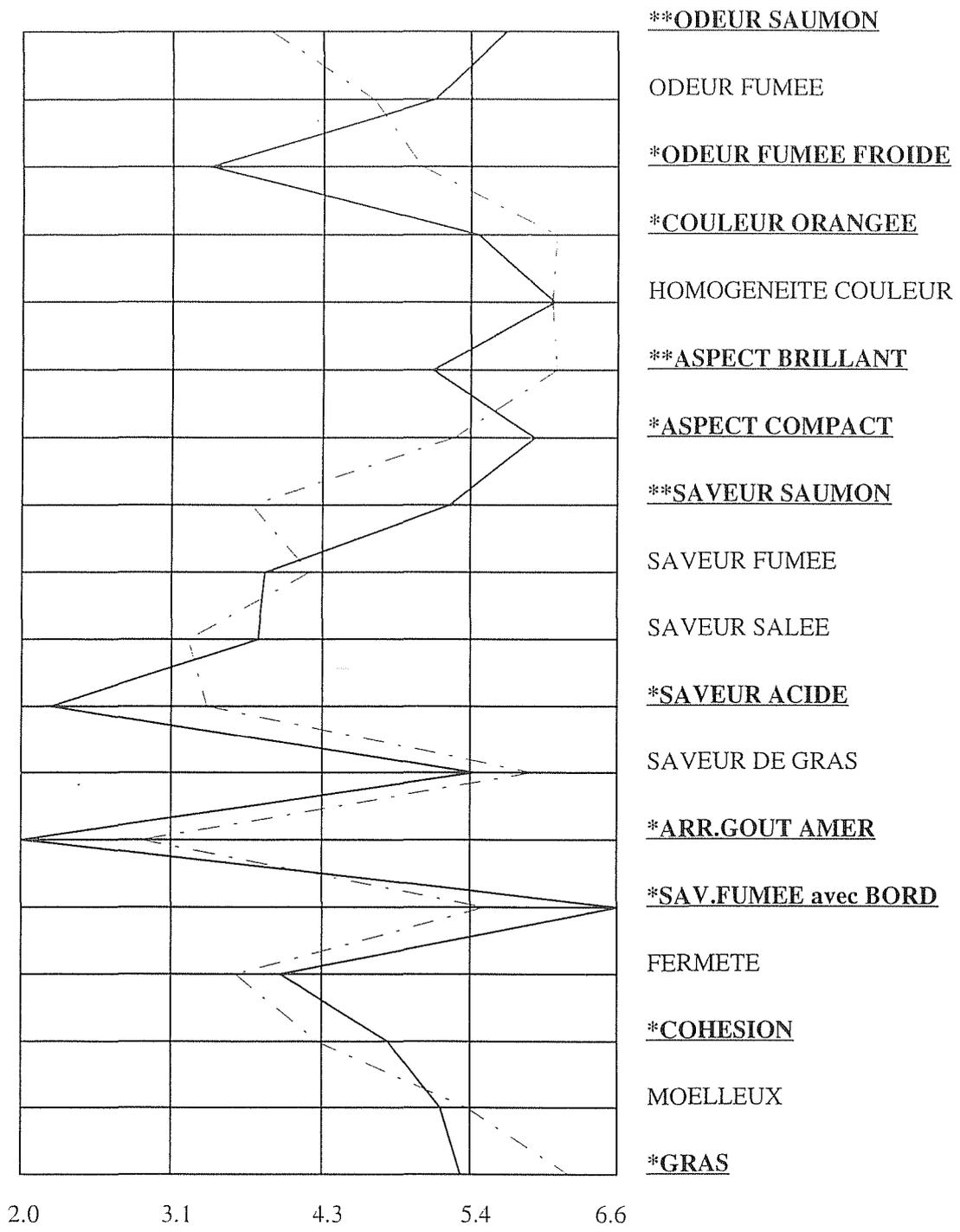
DESCRIPTEURS	TEMOIN	DII ELECTROSTATIQUE	TEST DE STUDENT
<u>odeur saumon</u>	5.72 (1.79)	3.89 (1.99)	**
odeur fumée	5.16 (1.54)	4.69 (2.23)	—
<u>odeur fumée froide</u>	3.43 (2.65)	5.06 (2.92)	*
<u>couleur orangée</u>	5.50 (1.76)	6.11 (1.64)	*
homogénéité couleur	6.09 (1.70)	6.08 (1.76)	—
<u>aspect brillant</u>	5.14 (1.93)	6.11 (1.43)	**
<u>aspect compact</u>	5.94 (1.30)	5.31 (1.66)	*
<u>saveur saumon</u>	5.28 (1.83)	3.75 (1.85)	**
saveur fumée	3.85 (1.88)	4.19 (1.87)	—
saveur salée	3.80 (1.91)	3.28 (1.70)	—
<u>saveur acide</u>	2.22 (1.74)	3.41 (2.44)	*
saveur de gras	5.47 (1.90)	5.93 (1.94)	—
<u>arrière goût amer</u>	2.00 (2.12)	2.92 (2.89)	*
<u>saveur fumée (avec le bord)</u>	6.59 (1.97)	5.55 (2.16)	*
fermeté	3.97 (1.51)	3.63 (1.71)	—
<u>cohésion</u>	4.80 (1.86)	4.26 (1.88)	*
moelleux	5.21 (1.92)	5.42 (2.02)	—
<u>texture grasse</u>	5.36 (1.53)	6.21 (2.11)	*

Evaluation sensorielle : moyennes et écart-types des notes de 31 dégustateurs

TEST DE STUDENT - pas de différence significative

* : différence significative à 5%

** : différence significative à 1%



TEMOIN —————
 DII-ELECTROSTATIQUE - - - - -

EVALUATION DE L'ACCEPTABILITE DE FILETS DE SAUMONS ET CORRELATION AVEC LEURS CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES.

CONCLUSIONS.

Pour tous les critères, les appréciations du saumon "Témoin" et du saumon "Electrostatique" sont positives. Toutefois les consommateurs marquent globalement une préférence pour le saumon "Témoin".

L'analyse en Composantes Principales a montré que l'appréciation visuelle est fortement corrélée à l'appréciation de "l'odeur de fumé". En fait, quand le consommateur exprime une appréciation visuelle, il intègre inconsciemment la composante "Olfactive". Par ailleurs, l'analyse montre que les consommateurs n'ont pas été capables de décomposer leur préférence, puisque l'appréciation globale est fortement corrélée à l'appréciation de l'odeur de fumé, du goût de fumé, du goût salé, du goût global et à l'appréciation de la texture.

Les réponses à la question ouverte apportent des informations plus précises sur les raisons des préférences des consommateurs.

Les consommateurs perçoivent le produit "Electrostatique" trop gras et ne reconnaissent pas le goût du saumon, qu'ils jugent très faible. En fait, il semble que les consommateurs aient du mal à se familiariser à ce nouveau goût et à cette nouvelle texture.

Le changement de technologie a eu une incidence notable sur les caractéristiques organoleptiques du saumon.

Ces différences portent sur la couleur, l'acidité, la texture en bouche, sur l'intensité et la persistance de l'arôme du saumon et sur l'intensité de l'odeur de rance.

Le saumon "Electrostatique" a été perçu:

- de couleur plus orange,
- de couleur plus foncée,
- de couleur plus brillante,
- de couleur moins homogène,
- d'odeur de saumon cru moins intense,
- d'odeur de rance plus intense,
- de texture en bouche plus grasse que le témoin.

Il est intéressant de noter que notre jury n'a pas été en mesure de différencier les saumons sur la base de l'odeur et du goût de fumé.

Il est également important de rappeler que les différences inter-saumons ont été peu nombreuses. Toutefois 3 différences ont été recensées. Elles portaient sur la couleur (certains lots avaient une chair plus claire que d'autres), sur la saveur salée (certains saumons étaient plus salés que d'autres) et sur la fermeté (certains saumons étaient plus fermes que d'autres).

Ces différences inter-lots peuvent expliquer pourquoi certains consommateurs ont trouvé les saumons trop salés alors que d'autres les ont trouvés pas assez salés.

Enfin il est difficile d'interpréter les résultats de l'ACP, dans la mesure où nous avons un espace produit composé de 2 produits. Nos corrélations traduisent-elles vraiment des causalités?

Néanmoins nous pouvons affirmer que le saumon le moins apprécié est également le saumon le plus gras et celui ayant l'odeur et le goût de saumon le plus faible.

La mise en évidence de cette relation confirme les remarques faites spontanément par les consommateurs.

ADRIA
6, rue de l'Université
29334 QUIMPER Cedex

Tél. : 98.90.62.32

IFREMER
Mme CARDINAL
Centre de Nantes
Rue de l'Île d'Yeu
B.P. 1049
44037 NANTES Cedex 1