

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Belhadj Bouchaib-d' Ain-Temouchent



Faculté des Sciences et de Technologie
Département d'Agroalimentaire

Polycopié pédagogique de cours

Ce document est un polycopié support de cours destiné aux étudiants du premier cycle LMD inscrit en Licence 3, spécialité « Agroalimentaire et contrôle de qualité » et qui comprend les objectifs d'apprentissages et des prérequis avec éventuellement des exemples.

Matière

Méthodes d'analyse sensorielle des aliments

Domaine : **Science de la Nature et de la Vie**

Filière : **Sciences Alimentaires**

Spécialité : **Agroalimentaire et contrôle de qualité**

Niveau : **Licence 3**

Durée : **14 semaines**, Crédits : **3**, Coefficients : **2**

Concepteur du support : **Khalfa Ali**

Grade : **Maître de conférences classe «A»**

Année universitaire : **2023/2024**

AVANT-PROPOS

Le présent polycopié est un cours de la matière "Méthodes d'analyse sensorielle des aliments", spécialement conçu pour les étudiants en 3^{ème} année de Licence, spécialité agroalimentaire et contrôle de qualité.

L'objectif de ce polycopié est d'approfondir les bases de la physiologie sensorielle, d'explorer les principes fondamentaux de l'évaluation sensorielle et de présenter les méthodes instrumentales largement utilisées dans l'industrie agroalimentaire.

Chaque chapitre de ce polycopié a été élaboré avec soin dans le but de vous accompagner dans l'acquisition des compétences essentielles nécessaires pour exceller dans ce domaine fascinant.

Ces ressources sont spécifiquement conçues pour aider les étudiants à aborder les questions cruciales qui se posent dans le contexte de l'analyse sensorielle des aliments. Il fournit une base théorique, complétée par des exemples et des applications concrètes détaillées, afin d'aider les étudiants à aborder les principales questions liées à ce domaine.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	
Table des matières	
1. Prérequis, objectifs généraux et modes d'évaluation	1
2. Introduction générale	2
3. NOTIONS DE BASE EN PHYSIOLOGIE SENSORIELLE	4
3.1. Introduction	4
3.2. Le codage sensoriel	4
3.3. Physiologie sensorielle	6
3.3.1. La vision	7
3.3.2. L'olfaction	7
3.3.3. La somesthésie	9
3.3.4. Le goût	10
3.3.5. L'audition	11
3.4. La réponse sensorielle	12
3.4.1. Intensité de la sensation et perception	12
3.4.2. Qualité de la perception	14
3.4.3. Variations interindividuelles	14
3.4.4. Le phénomène d'adaptation	15
4. RÈGLES GÉNÉRALES DE L'ÉVALUATION SENSORIELLE	16
4.1. Introduction	16
4.2. Facteurs influençant les mesures sensorielles	16
4.2.1. Erreur d'attente	17
4.2.2. Erreur de stimulation	17
4.2.3. Erreur logique	17
4.2.4. Erreur de clémence	17
4.2.5. Effet de Halo	18
4.2.6. Effet de suggestions	18
4.2.7. Biais positionnel (effet d'ordre)	18
4.2.8. Effet de contraste et erreur de convergence	18
4.2.9. Erreur de proximité	19
4.2.10. Erreur de tendance centrale	19
4.2.11. Motivation	19
4.3. Le personnel	19
4.3.1. Analyse sensorielle	20
4.3.2. Technologie alimentaire	20
4.3.3. Outil statistique	20
4.3.4. Technique de communication	20
4.4. Le local	20
4.4.1. La zone de préparation	20
4.4.1.1. La préparation des échantillons	22
4.4.1.2. Dilution et transporteurs	22

4.4.1.3. Température de service.....	23
4.4.1.4. Ustensiles et récipients.....	23
4.4.1.5. Quantité d'échantillon.....	24
4.4.1.6. Nombre d'échantillons.....	24
4.4.1.7. Échantillons de référence.....	24
4.4.1.8. Codage.....	25
4.4.1.9. Ordre de présentation.....	25
4.4.1.10. Rinçage.....	25
4.4.1.11. Informations sur l'échantillon.....	26
4.4.1.12. Moment de la journée.....	26
4.4.2. La zone de test.....	26
4.4.3. La salle de réunion.....	30
4.5. Analyse de données.....	30
4.6. Sélection et formation du jury.....	31
4.6.1. Les critères de sélection du jury.....	32
4.6.1.1. Santé.....	32
4.6.1.2. Intérêt et motivation.....	32
4.6.1.3. Disponibilité et ponctualité.....	33
4.6.1.4. Compétences verbales.....	33
4.6.1.5. Connaissances et aptitudes.....	33
4.6.1.6. Comportement.....	34
4.6.1.7. Capacité à communiquer/Caractéristiques de la personnalité.....	34
4.6.2. La sélection.....	34
4.6.2.1. Les tests de sélection.....	36
4.6.2.2. La sélection finale.....	39
4.6.3. L'entraînement.....	40
4.6.3.1. La formation théorique.....	40
4.6.3.2. La formation pratique.....	41
4.6.3.3. Zone d'entraînement.....	41
4.7. Consignes pour le jury.....	41
4.8. Description des épreuves.....	43
4.8.1. Les épreuves discriminatives.....	43
4.8.1.1. L'épreuve triangulaire.....	44
4.8.1.2. L'épreuve duo-trio.....	45
4.8.1.3. Test deux sur cinq.....	46
4.8.1.4. Test de comparaison par paires.....	47
4.8.2. Les épreuves descriptives.....	47
4.8.2.1. L'épreuve de classement.....	48
4.8.2.2. L'épreuve de profil.....	48
4.8.3. Les épreuves affectifs.....	49
4.8.3.1. Test de préférence de comparaison appariée.....	50
4.8.3.2. Test d'échelle hédonique.....	50
4.8.3.3. Épreuve de classement.....	51

4.9. Rapport d'analyse sensorielle	52
4.9.1. Titre	52
4.9.2. Résumé	52
4.9.3. Introduction	52
4.9.4. Méthode expérimentale	53
4.9.4.1. Conception expérimentale	53
4.9.4.2. Méthode sensorielle	53
4.9.4.3. Panel sensoriel	53
4.9.4.4. Conditions environnementales	53
4.9.4.5. Préparation et présentation des échantillons	53
4.9.4.6. Techniques statistiques	54
4.9.5. Résultats et discussion	54
4.9.6. Conclusion du rapport	54
5. METHODES INSTRUMENTALES	55
5.1. Introduction	55
5.2. L'appréciation instrumentale de la couleur	55
5.3. L'évaluation instrumentale de l'odeur	56
5.3.1. Les analyses chimiques	57
5.3.2. Les nez électroniques	58
5.4. Les méthodes instrumentales d'analyse de la texture	61
5.4.1. La perception sensorielle de la texture	61
5.4.2. L'analyse instrumentale de la texture	62
6. CONCLUSION	64
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65
8. ANNEXES	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Processus neurophysiologique	06
Figure 2 :	Le système olfactif	08
Figure 3 :	Les zones de perceptions des quatre goûts de base.....	10
Figure 4 :	Le système auditif	12
Figure 5 :	Courbe donnant l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus.....	13
Figure 6 :	Zones d'analyse sensorielle.....	27
Figure 7 :	Panélistes avec échantillons et questionnaire.....	28
Figure 8 :	Présentation de l'échantillon à travers une trappe	28
Figure 9 :	Test triangulaire.....	44
Figure 10 :	Test duo-trio.....	45
Figure 11 :	Test de comparaison par paires.....	47
Figure 12 :	Test d'échelle hédonique.....	51
Figure 13 :	Colorimètres.....	56
Figure 14 :	Analyseurs de texture (Pénétrromètre).....	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Schéma général du codage sensoriel.....	05
Tableau 2	: La réponse sensorielle.....	15
Tableau 3	: Exemples d'échantillons et de concentrations utilisés pour déterminer le niveau de reconnaissance du goût.....	37
Tableau 4	: Exemples d'échantillons et de concentrations utilisés pour déterminer le niveau de reconnaissance des odeurs.....	38
Tableau 5	: Exemples d'échantillons et de concentrations de référence.....	39
Tableau 6	: Consignes pour le jury.....	42

**1. PREREQUIS, OBJECTIFS
GENERAUX ET MODES
D'EVALUATION**

1. PRÉREQUIS, OBJECTIFS GÉNÉRAUX ET MODES D'ÉVALUATION

1.1. Connaissances préalables recommandées : Notions de base sur la biochimie et les caractéristiques physicochimiques du produit.

1.2. Objectifs généraux des connaissances :

- ✓ Acquérir une compréhension approfondie de l'analyse sensorielle.
- ✓ Connaître l'importance des méthodes d'analyse sensorielle des aliments.
- ✓ Connaître quelques méthodes scientifiques relatives à l'analyse sensorielle et à la dégustation.

1.3. Objectifs généraux des méthodes :

- ✓ Être capable d'identifier les modalités des analyses sensorielles.
- ✓ Être capable d'identifier les étapes des analyses sensorielles.

1.4. Objectifs généraux d'attitude :

- ✓ Être capable de réaliser des analyses sensorielles.
- ✓ Être capable de réaliser une évaluation de la qualité organoleptique d'un produit alimentaire.
- ✓ Développer la dégustation et le jugement qualitatif des produits alimentaires aidant à une meilleure utilisation selon des compétences et des techniques éprouvées, dans le cadre d'un métier commercial ou responsable en production.

1.5. Les modes d'évaluation : Examen 60% + Contrôle continu 40%

2. INTRODUCTION GÉNÉRALE

2. INTRODUCTION GÉNÉRALE

La science de l'évaluation sensorielle se consacre à l'analyse et à la mesure des réactions humaines à la composition et à la nature des aliments et des boissons. Elle ne se limite pas à déterminer si l'on aime ou non un produit, mais elle s'attache à un processus scientifique qui engendre, mesure, analyse et interprète les réponses psychologiques et/ou physiologiques aux caractéristiques physiques d'un produit alimentaire.

En effet, il est bien connu que la réaction sensorielle aux produits alimentaires est le facteur décisif pour qu'un consommateur accepte un produit. À moins que les produits alimentaires ne correspondent aux normes souhaitées en termes de goût, de saveur, de texture, etc., le consommateur ne les adoptera pas (**Kemp et al., 2009**).

La qualité globale des produits alimentaires dépend de facteurs tels que la quantité, les paramètres nutritionnels, les paramètres physico-chimiques et physico-mécaniques et propriétés sensorielles. Lors de l'achat de tout produit alimentaire, nous devons rechercher des paramètres nutritionnels, comme les calories, les vitamines, les minéraux, les protéines, et d'autres ingrédients, etc. En même temps, nous restons également préoccupés par la présence de substances indésirables dans les produits alimentaires, par exemple, tous les ingrédients toxiques et allergiques.

Étant donné que les constituants indésirables des produits alimentaires peuvent entraîner de graves risques pour la santé, ces paramètres sont généralement réglementés par des directives et des normes gouvernementales strictes (**Mason, 2002**).

Le paramètre le plus important pour les transformateurs et les consommateurs est la qualité sensorielle. Comme son nom l'indique, le terme « sensoriel » est lié aux sens de l'être humain. La qualité sensorielle est importante pour le transformateur, car elle attire les consommateurs.

Aucun instrument ne peut reproduire ou remplacer la réaction humaine, ce qui fait que l'élément «évaluation sensorielle» de toute étude alimentaire est essentiel (**Piggott, 1988**).

La forme initiale et la plus rudimentaire de l'analyse sensorielle est généralement réalisée en interne par les chercheurs chargés du développement de nouveaux produits alimentaires ou du contrôle qualité des caractéristiques des aliments. Une analyse sensorielle plus approfondie est conduite de manière plus officielle par des panels de laboratoire ou des groupes de consommateurs.

L'évaluation sensorielle fait partie d'un domaine généralement bien connu et important pour l'industrie alimentaire.

Les analyses sensorielles peuvent être utilisées dans de nombreux domaines tels que :

- Pour évaluer ou améliorer la qualité des produits alimentaires.
- Fournir des informations pour la prise de décision.
- Pour déterminer la durée de conservation d'un produit.
- Pour tester le goût de la nouvelle recette à d'autres personnes.
- Pour tester le goût de la recette modifiée.
- Pour comparer notre nouveau produit au produit concurrent (**Piggott, 1988**).

3. NOTIONS DE BASE EN PHYSIOLOGIE SENSORIELLE

3. NOTIONS DE BASE EN PHYSIOLOGIE SENSORIELLE

3.1 Introduction

Les cellules sensorielles jouent un rôle essentiel en captant les stimuli et en les transformant en un signal nerveux spécifique, appelé potentiel d'action, qui peut ensuite être interprété par le cerveau. En leur absence, la perception sensorielle serait impossible.

L'élimination précoce des cellules sensorielles ou des dommages au système de mémoire visuelle et au centre de traitement sensoriel des images ont pour conséquence la perte de la mémoire des sensations. Cela entraîne la disparition de la capacité à détecter la lumière et les images (**Le-Grand, 1972**).

3.2 Le codage sensoriel

La perception sensorielle est un processus essentiel dans la vie de tout être vivant, car il permet à l'organisme de réagir aux stimuli de son environnement et de son propre état interne.

Cette interaction constante implique la collecte continue d'informations et la transmission de signaux entre les cellules de l'organisme pour permettre des réponses appropriées, que ce soit pour se déplacer ou répondre à des besoins internes tels que la faim et la soif (**Piggott, 1988**).

Le système nerveux, en association avec le système endocrinien, représente l'un des deux principaux moyens de communication entre les cellules. Certaines cellules du système nerveux ont évolué pour devenir des récepteurs sensoriels, qui sont capables de convertir des informations sur les changements physico-chimiques de l'environnement et du corps en messages compréhensibles.

L'ensemble des informations provenant des organes sensoriels forme une sensation, qui, lorsqu'elle est interprétée en fonction de nos expériences antérieures, constitue notre perception (**Le-Grand, 1972**).

Les sensations sensorielles des consommateurs à l'égard des aliments débutent dès leur visite au marché, sollicitant la vue, l'odorat et le toucher. Lorsqu'ils achètent, préparent et dégustent ces produits, des éléments tels que leur coût, leur emballage, leur apparence avant et après cuisson, ainsi que leur facilité de préparation contribuent à façonner leur impression globale. Cependant, ce sont principalement les facteurs sensoriels qui orientent les choix d'achat ultérieurs des consommateurs. Nos sens nous permettent de percevoir des stimuli

venant du monde extérieur et de les transformer en informations exploitables par le cerveau (Leod & Sauvageot, 1986).

L'analyse sensorielle est une discipline pluridisciplinaire qui mobilise des évaluateurs et exploite leurs capacités visuelles, olfactives, gustatives, tactiles et auditives afin d'évaluer les propriétés sensorielles (Stanley, 1957).

Le schéma général du codage sensoriel est le même pour tous les sens (Tableau 1). Il peut se résumer ainsi :

Tableau 1 : Schéma général du codage sensoriel.

MONDE EXTÉRIEUR		SUJET	
<i>STIMULUS</i> ⇒	Cellule Réceptrice	Neurones	Cerveau
INFORMATION	RÉCEPTION	TRANSMISSION	IDENTIFICATION
		AMPLIFICATION	INTÉGRATION
		SÉLECTION	
	QUALITÉ – INTENSITÉ		PLAISIR

Une cellule réceptrice capte l'information, qui subit ensuite un premier traitement en traversant les fibres nerveuses avant d'être intégrée dans le cerveau. Nos sens restent en alerte en permanence, transmettant de manière ininterrompue des données au cerveau. Il est essentiel de se rappeler que les systèmes sensoriels opèrent de manière simultanée et continue (Le-Grand, 1972).

La réception et la transmission de l'information se produisent de manière indépendante dans chaque système, mais c'est seulement lorsque les informations parviennent aux centres supérieurs qu'elles convergent vers un système intégrateur. À ce niveau, les informations sont comparées aux connaissances déjà acquises, ce qui entraîne une réponse sous la forme d'une attente, d'un comportement ou d'une satisfaction. En analysant la séquence de stimuli la plus courante pendant la consommation d'aliments, on observe que tous nos sens sont sollicités, et cela, généralement dans un ordre spécifique (Figure 1).

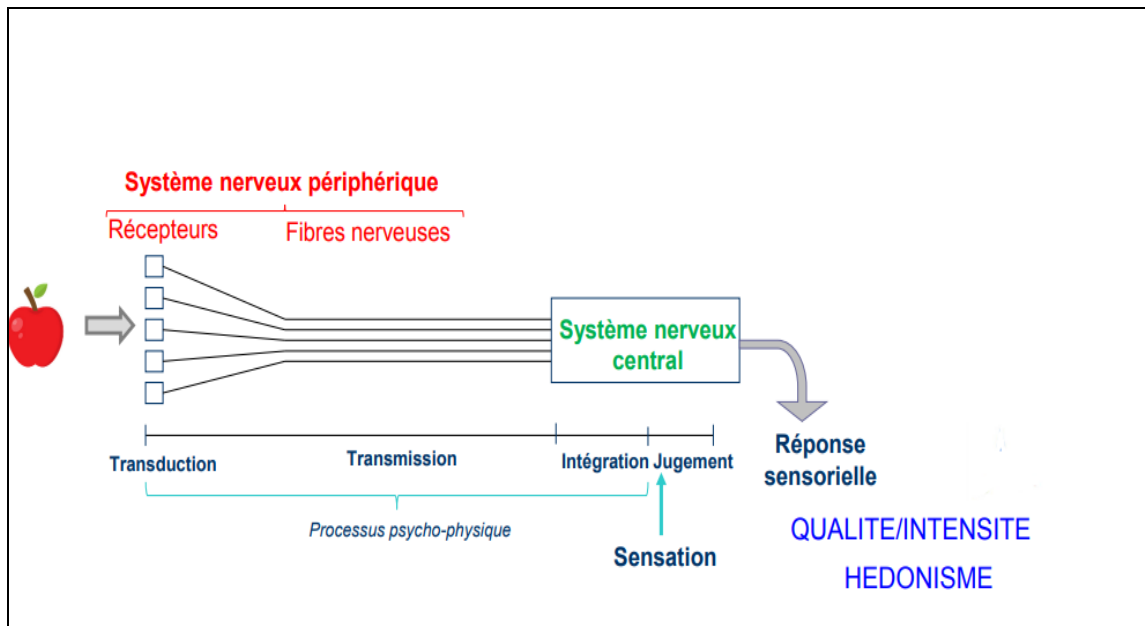


Figure 1 : Processus neurophysiologique

Avant même que l'aliment ne soit consommé, il est soumis à une évaluation à travers les sens de la vue, de l'odorat et du toucher. Les informations ainsi recueillies sont suffisantes pour déterminer si l'aliment sera accepté ou rejeté. De plus, ces informations préparent la personne aux sensations qui seront perçues pendant la mastication, ce que l'on appelle communément l'anticipation. La concordance entre ces anticipations et la réalité détermine à nouveau la réaction envers l'aliment (**Desai et al., 2020 ; Leod & Sauvageot, 1986 ; Baumgardt et al., 1952**).

3.3 Physiologie sensorielle

La physiologie sensorielle implique un système comprenant des moyens pour recueillir des informations (les entrées) et la perception des sensations (la sortie). Les récepteurs sensoriels jouent un rôle essentiel dans le processus initial de transformation de l'information. Il convient de noter que nous ne sommes pas tous sensibles à toutes les informations sensorielles, car il y a un filtrage sélectif des informations dès leur entrée dans les systèmes sensoriels. Ce filtrage varie d'une espèce animale à l'autre.

Les stimuli agissent sur ces systèmes sensoriels et produisent des sensations en sortie. Pour étudier ces sensations, la psychophysique utilise divers instruments méthodologiques (**Le-Grand, 1972**).

3.3.1 La vision

La vision dépend des cellules réceptrices de la rétine, à savoir les bâtonnets et les cônes, qui renferment des pigments sensibles à la lumière. Ces pigments, au nombre de trois (rouge, vert et bleu), se situent dans les disques internes des cellules réceptrices. Notons que ces disques sont régulièrement renouvelés, avec un cycle de 30 jours (**Stanley, 1957**).

Le stimulus capable d'activer les pigments est un photon. L'énergie d'un photon est fonction de sa longueur d'onde (λ). L'œil humain perçoit des longueurs d'ondes comprises entre 380 et 740 nm.

L'œil perçoit des informations relatives à :

- La couleur (qualité et intensité).
- La forme (information sur la texture).
- Le mouvement.

De nos cinq sens, la vision possède quelques particularités :

- C'est la principale source d'informations sur le monde extérieur. La vision seule représente 40 % des informations perçues.
- La vision est constamment sollicitée dans toutes nos activités.
- La vision est généralement le 1^{er} sens à entrer en action quand le sujet se saisit d'un produit.
- C'est le seul de nos cinq sens qui permet une comparaison simultanée d'échantillons (**Le-Grand, 1972**).

En conséquence de cela, il arrive parfois que nous placions une confiance excessive dans notre vue et les informations qu'elle nous fournit. Il est nécessaire de prendre des mesures de précaution lors de la présentation d'échantillons à un individu, en cachant ou en réduisant les éventuelles différences d'apparence, de forme ou de couleur (**Leod & Sauvageot, 1986**).

3.3.2 L'olfaction

La perception des odeurs, également connue sous le nom d'olfaction, implique la détection de molécules odorantes à l'aide de cellules ciliées localisées dans les fosses nasales. Ces cellules subissent un renouvellement constant, s'actualisant complètement en seulement 24

heures. Elles sont sensibles aux molécules ayant un poids moléculaire compris entre 30 et 300 Daltons (Langlois, 1999 ; Bérodiér *et al.*, 1997).

Ces molécules sont d'une grande diversité:

- Composés minéraux : H₂S, NH₃, SO₂, acides minéraux.
- Composés organiques : Aldéhydes, Acétones, Alcools, Acides gras, Acides organiques.

Ces composés chimiques atteignent les cavités nasales de deux manières : l'une directement et l'autre par l'intermédiaire de la cavité buccale en passant par la voie rétro-nasale. Le terme "arôme" fait référence à la caractéristique organoleptique détectée par l'organe olfactif lors de la dégustation, par le biais de la voie rétro-nasale. En revanche, le terme "odeur" désigne la caractéristique organoleptique détectée par l'organe olfactif directement, en inhalant certaines substances volatiles (Figure 2) (Finidori, 2002).

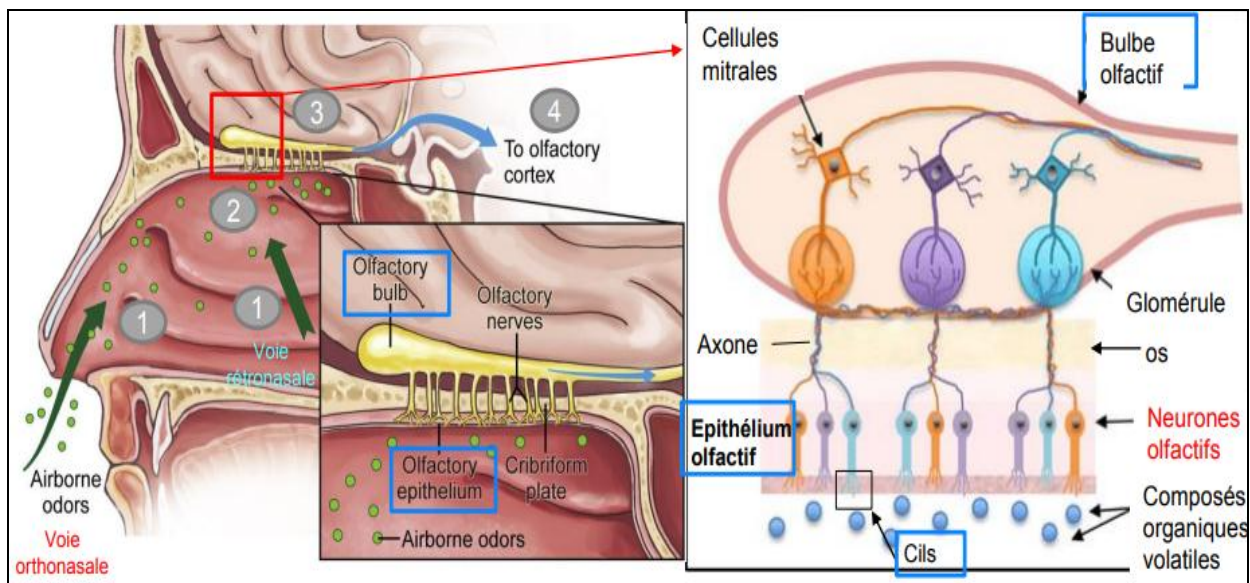


Figure 2 : Le système olfactif (Desai *et al.*, 2020).

L'intensité de la sensation dépend de la quantité de molécules qui atteignent les cellules réceptrices. Lors d'une respiration normale, le flux d'air transportant ces molécules ne remplit pas complètement les cavités nasales.

La technique de flairage consiste à augmenter le flux d'air qui pénètre dans les cavités nasales et à le propulser dans toute la cavité, ce qui a pour effet d'augmenter à la fois la quantité de molécules disponibles et la surface d'échange.

En conséquence, cette méthode permet d'améliorer considérablement la qualité de la perception olfactive. Pratiquement parlant, elle implique de faire ce que son nom suggère, c'est-à-dire de prendre jusqu'à trois inspirations courtes et rapides (**Langlois, 1999 ; Bérodié et al., 1997**).

Les arômes naturels se composent de nombreuses molécules, parfois en grand nombre. Chacune de ces molécules contribue à une certaine proportion de l'arôme global. Par exemple, l'arôme de la vanille est constitué de plus de 300 molécules différentes, parmi lesquelles la vanilline joue un rôle prépondérant en contribuant à hauteur de 80 à 90 % de l'ensemble de l'arôme (**Piggott, 1988**).

La variété des composés stimulants et la complexité de leurs combinaisons donneront lieu à de nombreuses perceptions et à une multitude de mots pour les décrire. Pour un individu, il peut être difficile d'attribuer un mot précis à une sensation s'il n'a pas préalablement établi le lien entre le stimulus et le terme correspondant. Par conséquent, il est essentiel de former la personne en l'aidant à faire le lien entre une substance chimique et un mot (**Leod & Sauvageot, 1986 ; Chocholle, 1952**).

3.3.3 La somesthésie

La somesthésie englobe les perceptions résultant de divers types de stimulations, notamment mécaniques, thermiques et chimiques. Le sens du toucher se distingue par le fait qu'il n'est pas confiné à un organe spécifique, mais réparti à travers l'ensemble du corps. En outre, la répartition des récepteurs n'est pas uniforme, certaines zones étant plus sensibles que d'autres. Il convient de noter la variété des stimuli et, par conséquent, des sensations couvertes par ce sens. Ces stimuli peuvent être mécaniques, thermiques ou chimiques, chacun étant détecté par des cellules réceptrices spécifiques situées dans la peau, les muqueuses, les muscles, les tendons et les ligaments.

Les informations perçues seront de nature très variée, on identifiera :

- Des caractéristiques de surface (rugueux, lisse).
- Des caractéristiques mécaniques (dureté, élasticité, cassant).
- Des caractéristiques rhéologiques (résistance à l'écoulement, viscosité).
- Des températures au sens physique du terme (chaud-froid).

- Des caractéristiques chimiques (brûlant, frais, irritant).

Il est important de noter que certaines caractéristiques de la texture, initialement perçues par le toucher, peuvent également être identifiées par d'autres sens. Par exemple, les propriétés de la surface peuvent être observées visuellement, tandis que certaines caractéristiques mécaniques peuvent être détectées par l'ouïe, comme le côté croquant ou croustillant (Langlois, 1999 ; Bérodiér *et al.*, 1997).

3.3.4 Le goût

La sensation gustative se compose de quatre saveurs fondamentales (sucrée, salée, acide et amère) dans notre culture, auxquelles s'ajoutent d'autres nuances gustatives (telles que le goût métallique et l'umami). Les récepteurs gustatifs, appelés bourgeons du goût, se trouvent dans la bouche et le long de sa paroi. Leur durée de vie moyenne est d'environ 7 à 11 jours. Les stimuli qui activent ces récepteurs sont de nature chimique, qu'ils soient d'origine organique (sucré et amer) ou ionique (salé et acide) (Stanley, 1957).

Les quatre goûts de base peuvent être perçus dans des zones différentes de la langue. Le sucré sur la pointe, le salé sur les côtés et devant, l'acide sur le milieu et l'amer au fond de la langue (Figure 3).

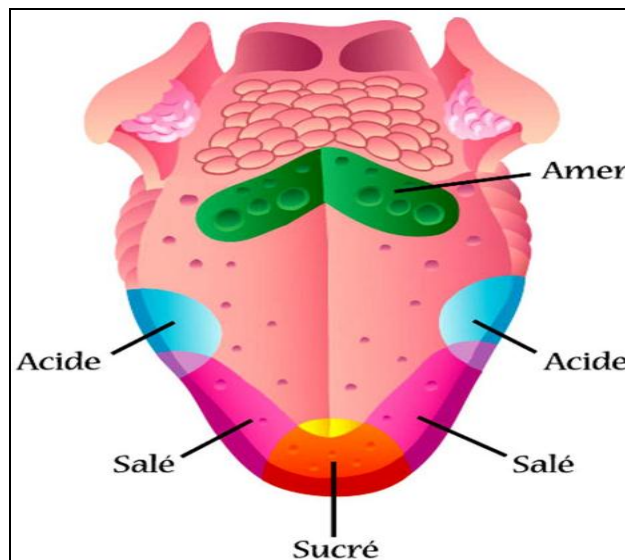


Figure 3 : Les zones de perceptions des quatre goûts de base.

Bien que les sensations et les mots pour les exprimer ne revêtent pas une importance aussi prépondérante que dans le domaine de l'odorat et de la perception tactile, il est tout de même essentiel de permettre au sujet d'établir un lien entre les termes et les sensations avant de lui

demander d'identifier qualitativement ou quantitativement ces dernières (**Gervais & Salesse, 2013 ; Le-Grand, 1972**).

3.3.5 L'audition

L'audition est un processus complexe qui nous permet de percevoir et de comprendre les sons qui nous entourent. Ce processus implique plusieurs étapes, dont les cellules réceptrices situées dans la cochlée de l'oreille interne jouent un rôle essentiel.

1. Réception du stimulus sonore: Le processus auditif commence lorsque des ondes sonores se propagent dans l'air ou dans les os de la boîte crânienne.

2. Conduction du son : Lorsque les ondes sonores atteignent l'oreille externe, elles sont captées par le pavillon de l'oreille, puis dirigées dans le conduit auditif. À ce stade, le son se propage à travers l'oreille externe et atteint le tympan.

3. Amplification mécanique : Le tympan vibre en réponse aux ondes sonores. Ces vibrations sont transmises aux osselets de l'oreille moyenne (le marteau, l'enclume et l'étrier), qui agissent comme un système de levier pour amplifier le signal sonore.

4. Transmission des vibrations à l'oreille interne : Les vibrations amplifiées passent ensuite à travers la fenêtre ovale, une membrane qui sépare l'oreille moyenne de l'oreille interne. Ces vibrations sont ainsi transmises au liquide cochléaire, remplissant la cochlée.

5. Transduction en signaux électriques : À l'intérieur de la cochlée, il y a des milliers de cellules ciliées sensorielles qui sont sensibles aux vibrations. Lorsque les vibrations atteignent ces cellules, elles provoquent le mouvement de petits cils présents à leur surface. Ce mouvement des cils active des canaux ioniques, générant des signaux électriques qui correspondent aux caractéristiques du son, comme sa fréquence et son intensité.

6. Transmission des signaux nerveux : Les signaux électriques générés par les cellules ciliées sont transmis via le nerf auditif vers le cerveau, en particulier vers le cortex auditif. C'est dans cette région du cerveau que les signaux sont interprétés, permettant ainsi à notre cerveau de percevoir et de comprendre les sons.

En ce qui concerne les mécano-récepteurs de l'oreille, ils sont situés dans l'épithélium et peuvent subir des dommages. Il est à noter qu'après l'âge de 40 ans, environ 30 % à 40 % des

individus connaissent une perte auditive due à des mécano-récepteurs endommagés ou détruits, ce qui se traduit par un déficit sur l'audiogramme.

Malheureusement, une fois ces mécano-récepteurs endommagés, leur récupération est impossible et le dommage est irréversible (Leod & Sauvageot, 1986).

En ce qui concerne la perception du "croquant" ou du "croustillant" de certains produits, cela dépend de la manière dont les informations auditives sont interprétées par le cerveau. Les caractéristiques sonores de ces produits, telles que les bruits de mastication ou de croquage, sont captées par le système auditif et peuvent évoquer des sensations particulières et des associations gustatives dans notre expérience sensorielle (Figure 4).

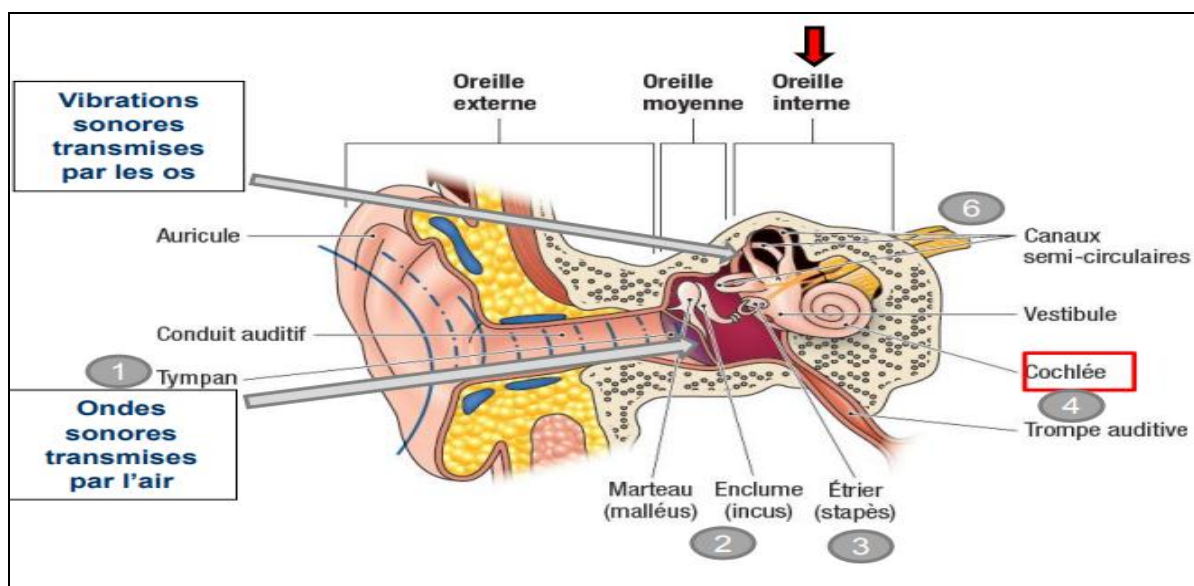


Figure 4 : Le système auditif (Cortada *et al.*, 2021).

Lors d'une dégustation, parmi les cinq sens, l'ouïe est celui qui a le moins d'influence apparente. Cependant, il serait erroné de sous-estimer son importance, car les stimuli auditifs peuvent jouer un rôle crucial en tant que références hédoniques, affectant ainsi l'acceptation ou le rejet d'un produit (Leod & Sauvageot, 1986 ; Chocholl, 1952).

3.4 La réponse sensorielle

3.4.1 Intensité de la sensation et perception

La sensation et la perception de l'intensité sont influencées par divers facteurs. Le plus petit stimulus capable de déclencher une sensation est ce que l'on appelle le seuil d'intensité de stimulation.

Il est important de noter que le seuil d'intensité et la façon dont l'intensité de la sensation

évolue en fonction de l'intensité de la stimulation varie en fonction de la voie sensorielle étudiée. Ainsi, il a été nécessaire de déterminer ce seuil pour chaque qualité spécifique de chaque modalité sensorielle. Ce seuil agit comme une référence, permettant d'exprimer les autres intensités de stimulation en termes de multiples de ce seuil (unité). Une caractéristique intéressante est que la relation entre l'intensité d'une sensation et celle de la stimulation sensorielle est souvent linéaire lorsqu'on les représente en coordonnées logarithmiques. Cela signifie que les changements perceptuels sont proportionnels aux changements de l'intensité de la stimulation, mais la perception peut saturer à des niveaux d'intensité élevés (**Le-Grand, 1972**).

La fonction qui lie les deux paramètres est donc une fonction de puissance (loi de Stevens). Elle est du type :

$$I \text{ (intensité de la sensation)} = k (S - S_0)^n$$

S = intensité de la stimulation

S_0 = intensité seuil

K et n = des constantes

Il faut noter que, pour la plupart des qualités sensorielles, l'intensité de la sensation (I) augmente moins vite que l'intensité de la stimulation, sauf pour la douleur, qui est un signal d'alarme pour l'organisme, une faible variation de l'intensité de stimulation entraîne ainsi une forte augmentation de la sensation et donc une réaction plus vite du sujet. Toute sensation perçue possède une qualité et une intensité. Schématiquement, une courbe donnant l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus présente quatre domaines (**Figure 5**) (**Piéron, 1959**).

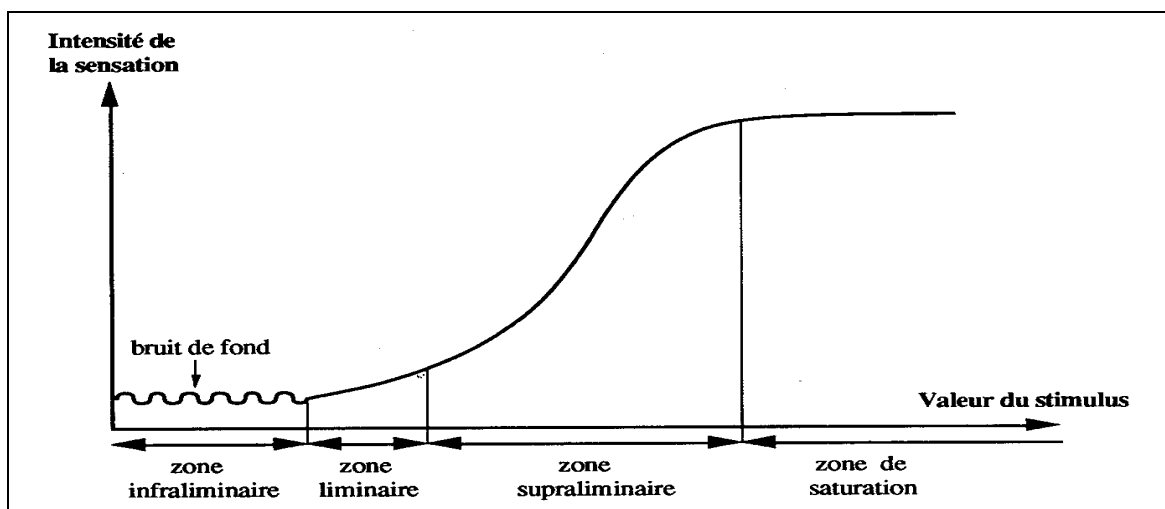


Figure 5 : Courbe donnant l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus.

On distingue en fait:

- a. **Un domaine infraliminaire** : où la sensation est confuse, instable et perdue dans un bruit de fond.
- b. **Un domaine liminaire** : où la sensation est de façon aléatoire, soit nette, soit confuse, mais d'intensité toujours très faible.
- c. **Un domaine supraliminaire** : où la sensation est nette, identifiable et d'intensité croissante avec le stimulus.
- d. **Une zone de saturation** : où l'intensité de la sensation ne varie plus quand l'intensité du stimulus augmente. À partir de ce stade, l'augmentation du stimulus pourra causer une gêne, voire une douleur (**Leod & Sauvageot, 1986**).

3.4.2 Qualité de la perception

Chaque individu et chaque stimulus peuvent être caractérisés par un seuil de détection et un seuil d'identification distincts. La perception de la qualité d'une sensation nécessite une intensité minimale, tandis que l'identification d'une sensation requiert une intensité qui peut parfois être plus élevée que le seuil de détection. De plus, pour qu'une sensation soit identifiée, le sujet doit avoir déjà éprouvé cette sensation, ce qui constitue une forme de reconnaissance. Le cerveau a la capacité de fonctionner en associant la sensation perçue à des informations déjà enregistrées et en établissant des analogies entre elles (**Stanley, 1957**).

3.4.3 Variations interindividuelles

La sensibilité d'un individu à différents stimuli peut varier considérablement. Ces disparités dans la perception peuvent résulter de facteurs physiologiques, génétiques ou même des habitudes alimentaires de la personne.

Il est à noter que l'âge peut influencer les capacités de perception, en particulier en ce qui concerne l'odorat. En ce qui concerne le genre, bien qu'il y ait eu des débats, il est désormais évident que les femmes tendent à avoir une sensibilité olfactive plus développée.

L'absence totale de perception des odeurs est appelée anosmie, mais les cas d'anosmie complète sont rares. Les seuils de détection peuvent varier d'un individu à l'autre et d'une substance à l'autre, même chez la même personne (**Leod & Sauvageot, 1986**).






Les mêmes phénomènes sont constatés pour le goût. On parle d'agueusie pour désigner la perte du goût (Piggott, 1988).

3.4.4 Le phénomène d'adaptation

L'ajustement sensoriel se produit lorsqu'un organe sensoriel modifie temporairement sa sensibilité en réaction à une stimulation continue ou répétée. Si la stimulation cesse, la sensibilité de l'organe se rétablit complètement après un certain laps de temps. Il s'agit d'un processus physiologique naturel qui peut être contrôlé en suivant quelques directives simples, notamment en prenant quelques minutes de pause entre chaque stimulation et en se rinçant la bouche (Le-Grand, 1972).

De plus, la performance du juge peut également être influencée par la monotonie d'une situation ou son manque d'enthousiasme envers l'épreuve, ce qui est souvent qualifié d'habituation (Stanley, 1957).

Tableau 2 : La réponse sensorielle (Stanley, 1957).

Système sensoriel	Nature du stimulus	Organe récepteur	Exemple
Vision 	Photons	Œil / Rétine (bâtonnets, cônes)	Aspect : forme, couleur, brillance, transparence, texture
Audition 	Vibrations de l'air Vibrations osseuses	Oreille interne / Cochlée (cellules ciliées de l'organe de Corti)	Cassant, craquant, croquant, pétillant, croustillant texture
Olfaction 	Molécules en phase gazeuse voie directe (orthonasale) voie indirecte (rétronasale)	Nez / Epithélium olfactif (cils des récepteurs olfactifs)	Descripteurs d' odeurs/arômes , intensité
Goût 	Molécules en suspension dans la salive (sapides)	Langue / Bourgeons gustatifs (cellules gustatives)	Saveurs : salé, sucré, acide, amer, umami, réglisse (...)
 Système somatosensoriel → Sensations trigéminales			
Sensibilité thermique	Chaleur	Peau et muqueuses	Chaud/froid
Sensibilité tactile	Contraintes mécaniques	Peau et muqueuses	Rugeux, lisse
Sensibilité kinesthésique	Contraintes mécaniques	Muscles, tendons, ligaments	Dureté, élasticité, plasticité
Sensibilité chimique	Molécules en contact direct	Muqueuses	Piquant, brûlant, irritant
Flaveurs : ensemble complexe des sensations olfactives (odeurs et arômes), gustatives (saveurs) et trigéminales chimiques			

4. RÈGLES GÉNÉRALES DE L'ÉVALUATION SENSORIELLE

4. RÈGLES GÉNÉRALES DE L'ÉVALUATION SENSORIELLE

4.1 Introduction

L'analyse sensorielle est une méthode qui fait appel aux sens humains pour appréhender et décrire les caractéristiques organoleptiques d'un produit. Dans cette approche, l'être humain est utilisé comme un instrument de mesure, et on attend de cet instrument qu'il possède les mêmes qualités fondamentales que tout autre instrument (fidélité, répétabilité, reproductibilité, justesse et exactitude).

L'évaluation de la qualité sensorielle a été définie comme "une discipline scientifique utilisée pour évoquer, mesurer, analyser et interpréter les réactions aux caractéristiques des aliments et des matériaux telles qu'elles sont perçues par les sens de la vue, du goût, du toucher et de l'ouïe" (**Carpenter et al., 2000**).

Cependant, il est important de noter que, bien que l'appareil sensoriel humain puisse être hautement performant, il est inhabituel pour un individu d'adopter une approche entièrement objective lors de l'analyse des sensations perçues (**Delarue et al., 2014 ; Depledt & Sauvageot, 2004 Prell, 1976**).

L'analyse sensorielle requiert un équipement spécifique, une équipe qualifiée et un jury soigneusement choisi en fonction de ses compétences, formé pour évaluer un produit particulier. Les tests orientés vers les consommateurs permettent de recueillir des informations sur leurs goûts, leurs préférences, ainsi que sur les attributs essentiels pour garantir l'acceptabilité du produit (**CNERNA, 1992**).

Quant aux tests axés sur les produits, ils procurent des renseignements sur :

- Les caractéristiques sensorielles particulières à un aliment.
- La mise au point de nouveaux produits alimentaires ou un changement des méthodes de préparation de produits existants.
- L'identification des modifications dues aux méthodes de transformation, à l'entreposage ou à l'utilisation de nouveaux ingrédients.

Les tests sur le produit viennent en général avant les tests sur le consommateur (**Depledt & SSHA, 2009 ; Pangborn & Szczesniak, 1974**).

4.2 Facteurs influençant les mesures sensorielles

Des normes de procédure ont été établies pour la conception et la mise en œuvre de panels

sensoriels afin de réduire au minimum ou de gérer l'impact des erreurs psychologiques et des conditions physiques sur le discernement humain.

4.2.1 Erreur d'attente

Toute information que les panélistes reçoivent au sujet du test peut influencer les résultats. Les panélistes trouvent généralement ce qu'ils s'attendent à trouver. Par conséquent, donnez au panéliste juste assez d'informations pour effectuer le test. N'incluez pas dans le panel les personnes directement impliquées dans l'expérience.

Codez les échantillons de manière que les panélistes ne puissent pas les identifier, car le code lui-même ne doit introduire aucun biais. Étant donné que les gens associent généralement "1" ou "A" à "meilleur", nous recommandons l'utilisation de nombres aléatoires à trois chiffres (**Watts et al., 1989**).

4.2.2 Erreur de stimulation

Dans le désir d'avoir raison, le jugement des membres du panel peut être influencé par des caractéristiques non pertinentes des échantillons. Par exemple, lorsqu'on lui demande s'il y a une différence dans la douceur de deux échantillons de produits de pêches, un panéliste peut chercher de l'aide de toutes les manières possibles, par exemple : les morceaux sont-ils de taille uniforme ? Y a-t-il une différence de couleur ? L'un est-il plus ferme que l'autre ?.

En raison de cette erreur de stimulus, rendez tous les échantillons aussi uniformes que possible. Si des différences indésirables se produisent entre les échantillons, masquez-les dans la mesure du possible (**Ellis, 1961**).

4.2.3 Erreur logique

L'erreur logique est étroitement associée à l'erreur de stimulus, ce qui peut amener le panéliste à attribuer des notes à des caractéristiques particulières parce qu'elles semblent être logiquement associées à d'autres caractéristiques.

Une légère couleur jaune dans les pommes de terre déshydratées, par exemple, pourrait indiquer une oxydation au dégustateur qui pourrait logiquement trouver une saveur différente dans l'échantillon. Contrôlez cette erreur en gardant les échantillons uniformes et en masquant les différences (**Watts et al., 1989**).

4.2.4 Erreur de clémence

Cette erreur se produit lorsque les panélistes évaluent les produits en fonction de leurs sentiments, donc, effectuer des tests de manière contrôlée et professionnelle.

4.2.5 Effet de Halo

L'évaluation de plus d'un facteur dans un échantillon peut produire un effet de Halo. Le panéliste se fait souvent une impression générale d'un produit et s'il lui est demandé de l'évaluer en même temps pour l'odeur, la texture, la couleur et le goût, les résultats peuvent différer de ceux obtenus lorsque chaque facteur est évalué individuellement. En effet, la notation d'un facteur influence la notation d'un autre.

Par exemple, dans les évaluations de la viande, les dégustateurs évalueront souvent un échantillon sec plus dur qu'il ne le serait si la tendreté seule était évaluée (**Prell, 1976**).

4.2.6 Effet de suggestions

Les réactions des autres membres du panel peuvent influencer la réponse d'un panéliste. Pour cette raison, séparez les panélistes les uns des autres dans des cabines individuelles. Ne leur permettez pas de parler pendant le test afin qu'une suggestion d'un panéliste n'en influence pas un autre (**Watts et al., 1989**).

4.2.7 Biais positionnel (effet d'ordre)

Généralement, les panélistes notent le deuxième produit (d'un ensemble de produits) plus haut ou plus bas que prévu, quel que soit le produit, en raison de l'effet de position. Dans certains tests, notamment le test du triangle, un biais positionnel a été mis en évidence.

Lorsqu'il n'y a pas de réelles différences entre les échantillons, les panélistes choisissent habituellement l'échantillon du milieu comme étant différent. Évitez cette erreur en faisant une présentation équilibrée ou aléatoire des échantillons.

Dans une petite expérience, utilisez une présentation équilibrée pour vous assurer que chaque ordre possible est présenté un nombre égal de fois. Dans une grande expérience, randomisez les échantillons (**Ellis, 1961**).

4.2.8 Effet de contraste et erreur de convergence

L'effet de contraste se manifeste lorsqu'il y a une nette distinction entre deux produits, ce qui conduit souvent les évaluateurs à exagérer la différence entre leurs évaluations. Par exemple, si un échantillon très sucré est présenté avant un échantillon légèrement sucré, le dégustateur tend à percevoir le deuxième échantillon comme moins sucré qu'il ne le serait normalement.

L'inverse est également vrai. À l'opposé, l'erreur de convergence survient lorsque de grandes différences entre deux produits (ou plus) peuvent dissimuler de petites différences entre les autres échantillons du test, entraînant une convergence des scores. Pour corriger ces

deux phénomènes, il est recommandé de randomiser l'ordre de présentation des échantillons (Watts *et al.*, 1989).

4.2.9 Erreur de proximité

Lorsqu'un ensemble d'échantillons est noté sur plusieurs caractéristiques, les panélistes évaluent généralement plus similaires les caractéristiques qui se suivent (à proximité) sur le bulletin d'évaluation que celles qui sont plus éloignées ou notées seules. Ainsi, les corrélations entre des caractéristiques proches les unes des autres peuvent être plus élevées que si elles étaient séparées par d'autres caractéristiques. Minimisez cette erreur soit en randomisant les caractéristiques sur le bulletin d'évaluation, soit en n'évaluant qu'une seule caractéristique à la fois (Ellis, 1961).

4.2.10 Erreur de tendance centrale

Cette erreur se caractérise par le fait que les panélistes notent les produits au milieu d'une échelle pour éviter les extrêmes. Cela fait que les traitements semblent plus similaires qu'ils ne le sont en réalité et est plus susceptible de se produire si les dégustateurs ne sont pas familiers avec les produits ou la méthode de test.

Pour minimiser cette erreur, équilibrez ou randomisez l'ordre de présentation, car cet effet est plus perceptible pour le premier échantillon (Watts *et al.*, 1989).

4.2.11 Motivation

La perception sensorielle des panélistes est étroitement liée à leur motivation. Un panéliste qui manifeste un intérêt est toujours plus productif et fiable, et sa contribution est cruciale pour garantir un apprentissage efficace et des performances de qualité.

Il est essentiel de maintenir l'intérêt de chaque panéliste en leur fournissant des rapports sur leurs résultats. De manière générale, les panélistes qui ont bénéficié d'une formation sont plus enclins à être motivés que ceux qui n'ont pas suivi de formation (Ellis, 1961).

4.3 Le personnel

Pour garantir l'objectivité du processus d'évaluation, il est impératif que le jury soit limité au strict minimum d'informations concernant l'objectif des tests et la nature des produits à évaluer. Par conséquent, il est essentiel que l'équipe chargée d'organiser et de superviser les tests ne soit pas composée des membres du jury.

La personne responsable des analyses sensorielles, du recrutement, de la sélection et de la formation du jury, ainsi que du choix et de la conduite des tests, sera désignée sous le terme "animateur". Cette personne doit avoir une formation dans les domaines suivants:

4.3.1 Analyse sensorielle : Afin de connaître et de pouvoir choisir les tests les plus appropriés pour résoudre le problème posé.

4.3.2 Technologie alimentaire : De façon à être capable de préparer des produits de référence et d'analyser les résultats en termes de procédé.

4.3.3 Outil statistique : Une bonne formation sera nécessaire pour construire les plans d'expérience, de traiter les réponses et d'interpréter les résultats (**Newell & Mac-Farlane, 1987 ; Roessler et al., 1978**).

4.3.4 Technique de communication : Faciliter un échange entre les juges en les encourageant à partager leurs expériences et à les exprimer verbalement. De plus, l'animateur devra démontrer de la précision et de l'organisation, ainsi que des compétences interpersonnelles solides.

Une connaissance élémentaire en informatique serait bénéfique, surtout si les sessions sont gérées par un logiciel (**Watts et al., 1989 ; Pangborn & Szczesniak, 1974**).

4.4 Le local

Le local dans lequel se déroulent les analyses doit répondre à des normes bien précises (AFNOR NF V 09-105) (**Finidori, 2002**).

Ce local doit comprendre au moins trois pièces réservées à l'analyse sensorielle (une salle de préparation, une salle de dégustation et une salle de réunion), auxquelles s'ajoute un bureau pour le personnel.

Les exigences de base pour l'analyse sensorielle sont :

- Une zone de préparation des aliments.
- Un espace de discussion séparé.
- Une zone de cabine silencieuse.
- Un bureau pour l'animateur.
- Fournitures pour la préparation et le service des échantillons (**Watts et al., 1989**).

4.4.1 La zone de préparation

Le choix de la zone de préparation et de l'équipement dépendra du type de produits soumis à des tests. Idéalement, une cuisine bien équipée constitue un point de départ solide, à partir

duquel des équipements spécialisés peuvent être ajoutés en fonction des besoins spécifiques.

Il est crucial d'installer un système de ventilation efficace dans la zone de préparation afin d'éliminer les odeurs indésirables.

De plus, il est essentiel de disposer d'un espace de comptoir adéquat pour la préparation et l'assemblage des échantillons en vue de leur présentation (**Prell, 1976**).

Dans la zone de préparation, prévoyez un espace dédié au stockage à froid pour conserver les échantillons. Pour les échantillons nécessitant du chauffage ou de la cuisson, assurez-vous d'installer des équipements appropriés tels que des brûleurs électriques ou à gaz de taille similaire, ainsi que des fours, qu'ils soient conventionnels, à convection ou à micro-ondes (**Pangborn & Szczesniak, 1974**).

D'autres équipements peuvent comprendre des éléments tels que des bains-marie, des plateaux chauffants, des trancheuses, des balances, des lampes chauffantes. En ce qui concerne le nettoyage, la zone de préparation peut être équipée de lave-vaisselle, de broyeurs à déchets, d'éviers et de points d'eau nécessaires.

Pour la conception de la zone de préparation, il est conseillé d'opter pour des couleurs neutres et d'éviter les matériaux réfléchissants tels que le verre et les miroirs, car ils sont plus difficiles à nettoyer. Les revêtements en vinyle et les carreaux sont adaptés pour les murs et les sols (**Pangborn & Szczesniak, 1974**).

En réalité, il s'agit d'une salle de préparation des échantillons, qui fonctionne essentiellement comme une cuisine. C'est dans cette salle que les échantillons seront préparés.

En ce qui concerne l'équipement, cette salle sera équipée de tous les outils et appareils typiques que l'on trouve dans une cuisine standard. Il est important que cet équipement puisse accommoder la préparation d'échantillons pour tous les juges.

De plus, cette salle doit être séparée de la salle de dégustation, de manière à ce que les juges n'y aient pas accès. Il est impératif que les odeurs ne pénètrent pas dans la salle de dégustation, mais soient dirigées vers l'extérieur.

Les ustensiles utilisés pour les analyses sensorielles incluent les récipients et les couverts, si nécessaire. Les récipients destinés aux échantillons ne doivent en aucun cas altérer les caractéristiques sensorielles de ces derniers. Bien que le verre puisse être utilisé, il est plus coûteux que le plastique et peut présenter des risques potentiels. Par conséquent, il est recommandé d'opter pour des contenants de couleur blanche (**Watts et al., 1989**).

4.4.1.1 La préparation des échantillons

En général, il est habituel de mener des essais préliminaires afin de déterminer la méthode de préparation, le temps de décongélation, de préparation et de cuisson, ainsi que le matériel et les ustensiles nécessaires.

Lorsque vous effectuez des tests discriminatifs visant à détecter des différences, il est préférable de choisir une méthode de préparation qui ne risque pas de masquer, d'ajouter ou de modifier les caractéristiques fondamentales du produit. En ce qui concerne les tests affectifs, il est recommandé de préparer le produit de manière typique ou représentative de la manière dont il est normalement préparé et consommé.

Une fois que vous avez choisi une méthode, maintenez-la constante lors de tous les tests du produit. Assurez-vous que la méthode de préparation n'ajoute pas de saveurs ou d'odeurs étrangères au produit. Les dégustateurs peuvent être influencés par des caractéristiques non pertinentes des échantillons (**Pangborn & Szczesniak, 1974**).

Lorsque vous effectuez des tests sensoriels, il est recommandé de présenter un seul échantillon à la fois plutôt que de le transformer en purée ou de le broyer pour dissimuler les variations. Les différences de couleur peuvent parfois être camouflées en utilisant des éclairages teintés, comme mentionné précédemment.

De plus, l'utilisation de contenants colorés peut également servir à masquer les différences de teinte. Des colorants dépourvus de saveur ont aussi été employés pour éliminer les variations de couleur (**Kroll & Pilgrim, 1961**).

4.4.1.2 Dilution et transporteurs

Certains produits, en raison de leur caractère intrinsèque, requièrent soit une dilution, soit d'être associés à un vecteur de transport. Par exemple, les sauces piquantes, les arômes, les épices et les condiments nécessitent généralement d'être dilués avant d'être évalués. Les épices peuvent être incorporées dans une sauce, mais il convient de prendre en considération l'impact de la sauce résultante (**Marshall & Vaisey, 1972 ; Pangborn, 1980**).

Certains produits, comme le fromage à tartiner et le ketchup, ne nécessitent pas de support, l'utilisation d'un support, tel que des craquelins pour la confiture ou pour le ketchup, augmente le coût et l'effort et il est souvent difficile de sélectionner un support approprié (**Kroll & Pilgrim, 1961**).

Les porteurs peuvent également introduire des erreurs expérimentales, soit parce que la

proportion du produit par rapport au support peut varier, soit parce que la qualité du support peut ne pas être constante. Dans certains cas, la nature d'un produit peut nécessiter des tests avec un support spécifique (CNERNA, 1992).

4.4.1.3 Température de service

La température à laquelle les échantillons sont présentés peut entraîner divers problèmes. Lors de tests sensoriels affectifs, il est préférable de servir les échantillons à la température de consommation habituelle. Cependant, pour des tests de discrimination ou de description, il est recommandé d'ajuster la température afin de tenir compte de l'optimum de la sensibilité gustative et de la perception, qui se situe généralement entre 20°C et 40°C.

Il est essentiel de maintenir une température constante tout au long de l'expérience pour assurer la comparabilité des résultats. Pour ce faire, on peut utiliser des fours chauffants dotés de thermostats, des bains-marie, des récipients en polystyrène, du sable chauffé, un bain-marie ou un emballage dans du papier d'aluminium.

Lorsqu'il est nécessaire de conserver les échantillons pendant un certain temps, il est crucial de s'assurer qu'ils ne se dessèchent pas ou que leur qualité ne se dégrade pas pendant le stockage.

Par exemple, il ne faut pas découper les échantillons de viande avant d'être prêt à les servir, sous peine de les dessécher, ce qui pourrait altérer la perception sensorielle (CNERNA, 1992).

4.4.1.4 Ustensiles et récipients

La température à laquelle les échantillons sont présentés peut entraîner divers problèmes. Il est essentiel que les ustensiles de service ne laissent aucune empreinte de goût ou d'odeur sur le produit. Il est recommandé d'utiliser des récipients identiques pour chaque échantillon afin d'éviter toute influence extérieure. Sauf si les différences de couleur doivent être dissimulées, il est judicieux d'opter pour des contenants transparents ou blancs. Lors du choix des contenants, il convient de prendre en compte des facteurs tels que la facilité de marquage, le type de produit et la température de service.

Lorsqu'il est nécessaire de servir un grand nombre de personnes, les plats jetables en plastique dur peuvent être pratiques, mais il est essentiel de s'assurer qu'ils n'altèrent pas le goût du produit (Prell, 1976).

4.4.1.5 Quantité d'échantillon

La quantité et la taille des échantillons attribués à chaque dégustateur sont souvent déterminées par la disponibilité du matériel expérimental. Il est essentiel que, même si la taille de l'échantillon est réduite, celui-ci demeure représentatif du produit en question. Chaque dégustateur doit recevoir une quantité suffisante d'échantillon, même si elle est petite, pour pouvoir évaluer le produit de manière adéquate. Il est recommandé de maintenir une quantité d'échantillon constante tout au long de l'essai.

Lors de l'utilisation d'un échantillon de référence, il est conseillé de fournir le double de la quantité d'échantillon par rapport à l'échantillon expérimental, afin de permettre aux dégustateurs de continuer à se référer à la référence. Le Comité E-18 de l'American Society for Testing and Materials a émis des recommandations indiquant que, dans les tests discriminatifs, chaque dégustateur devrait recevoir au moins 16 ml de liquide et 28 g de solide, et cette quantité devrait être doublée dans les tests de préférence.

Dans certains cas, les dégustateurs peuvent être invités à consommer une portion normale du produit. Par exemple, lors des études d'acceptabilité sur le lait aromatisé, les dégustateurs ont été invités à boire 190 ml du produit avant d'évaluer son acceptabilité. Il est important de noter que la perception d'un produit peut varier considérablement en fonction de la quantité consommée. Par conséquent, un produit peut sembler très agréable lorsqu'on en boit 30 ml, mais il peut être perçu comme trop sucré ou trop rassasiant lorsqu'on en boit 190 ml (**ASTM, 1968**).

4.4.1.6 Nombre d'échantillons

Avec la participation des membres du panel, lors des étapes préliminaires, établissez le nombre d'échantillons qui peuvent être judicieusement évalués au cours d'une seule session. Prenez en compte divers facteurs, notamment la nature du produit, la quantité de caractéristiques à évaluer, le type de test, l'expérience du panel et la motivation des participants. La quantité d'échantillons pouvant être présentée au cours d'une session spécifique est déterminée en fonction de la fatigue sensorielle et cognitive des membres du panel (**Meilgaard et al., 1987**).

4.4.1.7 Échantillon de référence

L'intégration d'un échantillon de référence connu ou marqué peut apporter un soutien aux dégustateurs dans leurs évaluations et contribuer à réduire la variabilité des jugements. Par

exemple, si vous ne pouvez pas présenter tous les échantillons simultanément, l'incorporation d'un échantillon de référence se révèle avantageuse. Cet échantillon de référence doit demeurer identique à chaque évaluation tout au long de l'expérience et peut être associé à des échelles de notation. L'inclusion d'un échantillon de référence sous forme d'échantillon codé permet de surveiller la cohérence des évaluations d'un panéliste (CNERNA, 1992).

4.4.1.8 Codage

Le code attribué aux échantillons doit être conçu de manière à ce qu'il n'offre aucun indice sur l'identité des traitements, tout en évitant d'introduire tout biais. Une recommandation consiste à utiliser des nombres aléatoires à trois chiffres issus de tableaux de nombres aléatoires pour coder les échantillons.

En cas de réplication, puisque les dégustateurs sont généralement les mêmes, il est nécessaire de générer un nouveau jeu de codes. Pour prévenir toute contamination olfactive, en particulier dans le cas des marqueurs odorants, il est recommandé d'utiliser un crayon de cire. Alternativement, des étiquettes générées par ordinateur peuvent également être employées (Prell, 1976).

4.4.1.9 Ordre de présentation

De nombreux effets psychologiques et physiologiques, dont nous avons parlé plus haut, imposent d'avoir un ordre de présentation soit équilibré, soit aléatoire. Avec un petit nombre d'échantillons et de panélistes, une commande équilibrée permet à chaque commande de se produire un nombre égal de fois.

Dans les expériences plus importantes, randomisez l'ordre à l'aide de tableaux de nombres aléatoires ou par ordinateur à l'aide d'un logiciel statistique. Pour obtenir une présentation dans un ordre aléatoire, attribuez d'abord un numéro à chaque traitement, par exemple, échantillon A = 1, échantillon B = 2..., etc. Ensuite, entrez au hasard dans le tableau des nombres aléatoires et déterminez l'ordre de présentation au fur et à mesure que vous rencontrez chaque numéro de traitement (horizontalement ou verticalement) (Newell & MacFarlane, 1987 ; Roessler *et al.*, 1978).

4.4.1.10 Rinçage

Offrir aux évaluateurs un liquide à utiliser pour rincer leur bouche entre les échantillons est essentiel. De nombreux chercheurs préfèrent utiliser de l'eau à température ambiante au goût neutre, mais lorsque des aliments gras sont évalués, des liquides tels que de l'eau tiède, du thé

chaud, de l'eau citronnée, ou même une tranche de pomme ou de poire japonaise s'avèrent des agents de nettoyage plus efficaces. Certains chercheurs exigent que les dégustateurs se rincent systématiquement entre chaque échantillon, tandis que d'autres leur laissent le choix de le faire selon leurs préférences personnelles. Quelle que soit la méthode choisie, il est essentiel que chaque évaluateur suive de manière constante la même procédure après chaque échantillon (CNERNA, 1992).

4.4.1.11 Informations sur l'échantillon

Limitez au maximum les informations fournies aux membres du panel concernant le test, afin de prévenir toute influence sur les résultats. La transmission d'informations sur les échantillons pourrait induire des préjugés chez les dégustateurs, ce qui doit absolument être évité (Prell, 1976).

4.4.1.12 Moment de la journée

L'heure à laquelle les tests sont réalisés peut avoir une incidence sur les résultats. Bien que le contrôle de l'heure ne soit pas toujours possible avec un grand nombre de tests, en règle générale, la fin de la matinée et le milieu de l'après-midi sont les moments les plus propices pour les tests.

Il est important de prendre en considération le type de produit échantillonné. L'administration des tests trop tôt le matin ou en début d'après-midi peut être inappropriée pour certains participants, surtout s'il s'agit d'aliments chauds et épicés. À l'inverse, effectuer les tests trop tard dans la journée peut entraîner une perte de motivation chez certains participants. Il est également préférable d'éviter les heures de repas (Amerine *et al.*, 1965).

4.4.2 La zone de test

Les facteurs environnementaux, où la conduite de l'évaluation sensorielle est nécessaire, ainsi que les échantillons à évaluer, doivent être soigneusement maîtrisés. L'évaluation sensorielle doit se dérouler dans des espaces paisibles, bien éclairés et dépourvus d'odeurs indésirables. Les locaux doivent être conçus de manière à garantir le confort lors de séances d'évaluation prolongées et à faciliter leur entretien. L'utilisation de teintes neutres agréables et le maintien de conditions de température et d'humidité optimales dans toute la zone, ou du moins dans la pièce où les membres du panel vont se réunir et discuter, sont fortement souhaitables et attractifs. De plus, la zone d'essai, comprenant les cabines, doit être distincte des salles de préparation des échantillons (CNERNA, 1992).

L'analyse sensorielle nécessite une zone de test spéciale qui est maintenue constante tout au long de tous les tests et où les distractions sont minimisées et les conditions sont contrôlées (**Figure 6**) (ASTM, 1968).



Figure 6 : Zones d'analyse sensorielle.

Les tests par panel de consommateurs nécessitent certaines modifications de la conception des installations. L'environnement de test doit fournir un environnement calme et confortable avec un climatiseur et une source de chaleur pour maintenir 22 °C. Une humidité contrôlée de 44 à 45 % peut être nécessaire pour tester certains produits (ASTM, 1968).

La plupart des formes de tests, sauf les méthodes de profilage, exigent que les répondants fournissent leurs réponses de manière indépendante. Pour faciliter cela, il est recommandé d'aménager un espace de test comprenant des cabines individuelles adjacentes à une zone distincte où les échantillons sont préparés et distribués (Prell, 1976). L'American Society for Testing and Materials (1986) a recommandé une largeur de cabine comprise entre 70 et 80 cm, une profondeur comprise entre 45 et 55 cm et une hauteur de comptoir de 75 cm.

La méthode habituelle implique la création de cabines le long du mur qui sépare la zone de test de la zone de préparation. Si les deux plans de travail sont à la même hauteur, le produit peut être transféré des préparateurs aux dégustateurs, que ce soit par une porte coulissante ou une boîte spéciale. Tous les murs et les cabines doivent être fabriqués en un matériau opacifié, non réfléchissant, de couleur neutre (comme le blanc cassé, le blanc ou le gris clair), facile à nettoyer.

Idéalement, ils devraient être divisés par des séparateurs qui s'étendent sur 40 cm au-delà du comptoir. Les dégustateurs ne doivent pas pénétrer dans la zone de préparation afin d'éviter toute source potentielle d'information sur l'échantillon qui pourrait influencer leurs réponses (Figure 7 et 8) (Prell, 1976).



Figure 7 : Panélistes avec échantillons et questionnaire.

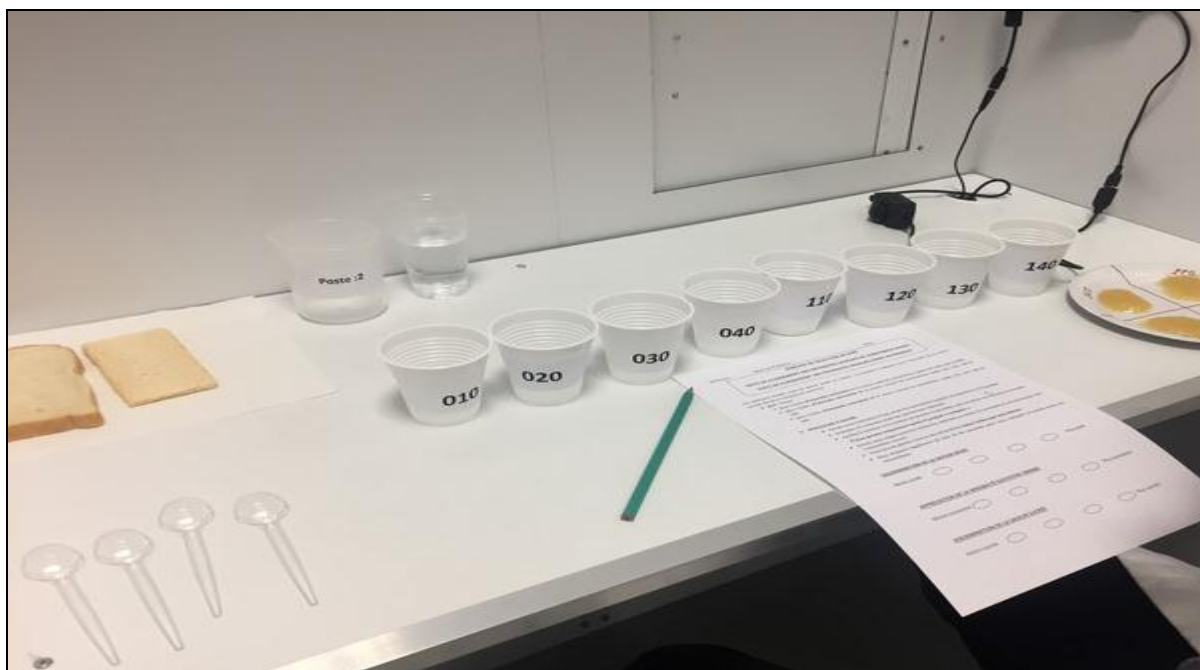


Figure 8 : Présentation de l'échantillon à travers une trappe.

La cabine peut être assez simple ou très élaborée selon les fonds disponibles, le type de produits testés et les types de tests ou de panels requis. De nombreux laboratoires ont un évier et un robinet intégrés dans chaque cabine pour l'expectoration et pour fournir de l'eau pour le rinçage.

Nous ne recommandons pas les éviers pour les tests d'aliments et de boissons car s'ils ne le sont pas correctement entretenus, des problèmes d'hygiène et d'odeurs en résulteront (**Ellis, 1961**).

Le bruit peut parfois poser un problème. Il est fréquent d'utiliser des éviers pour évaluer les produits de soins personnels, et dans ce cas, il est recommandé d'opter pour un système d'aspiration similaire à ceux employés chez les dentistes. L'installation d'un robinet dans la cabine pour rincer l'eau n'est pas idéale, car il est difficile de régler la température de l'eau à cet endroit. Il est généralement préférable de verser l'eau à l'avance pour qu'elle atteigne la température ambiante.

L'eau utilisée peut provenir du robinet, d'une source naturelle, d'une bouteille ou être distillée, en fonction des besoins du test. Certains tests peuvent nécessiter des équipements tels que des miroirs, des prises électriques ou des plaques chauffantes. Il est important de veiller à ce que l'éclairage soit uniforme et n'altère pas l'apparence du produit en cours d'évaluation. Si la couleur et l'aspect sont des critères essentiels pour l'évaluation, il convient de choisir avec soin le type d'éclairage à utiliser. L'American Society for Testing and Materials (1968) a recommandé un éclairage incandescent et fluorescent. Installez un gradateur pour créer différentes intensités de lumière (**ASTM, 1968**).

L'Organisation internationale de normalisation (IOS) (1985) a recommandé des lumières ayant une température de couleur corrélée de 5000/6500 K. Pour éliminer les différences de couleur entre les échantillons, des lumières colorées sont parfois utilisées, les plus courants sont le rouge, le vert ou le bleu. Ces lumières n'ont pas été particulièrement efficaces, car les différences de teinte ou de profondeur de couleur sont encore perceptibles (**IOS, 1985**).

On ignore quel impact peut avoir l'utilisation de l'éclairage coloré ou faible sur les jugements, car cela pourrait avoir moins d'influence sur les panélistes expérimentés habitués à ces conditions, tandis que des panélistes inexpérimentés ont manifesté une réticence envers les tests effectués sous des éclairages colorés (**Amerine et al., 1965**).

Gardez les odeurs étrangères et les odeurs de la zone de préparation des aliments de la salle de test. Interdire de fumer dans cette zone à tout moment. Les panélistes doivent également éviter les cosmétiques (**ASTM, 1968**).

Cette salle sera équipée de cabines individuelles permettant l'isolement des juges. Les dimensions des cabines font partie de la norme.

Les cabines peuvent être équipées de différents accessoires :

- Éclairage modulable.
- Passe-plats.
- Crachoir.
- Système de saisie des données (formulaires papier ou numérique sur PC).

La salle de dégustation sera aménagée de façon à garantir un maximum de confort et de concentration aux juges :

- Couleurs claires, absence de cadres, décorations etc.
- Température et humidité de l'air correct.
- Absence de sources de distraction, d'odeurs, de bruits.
- Propreté impeccable (**ASTM, 1968**).

4.4.3 La salle de réunion

Pendant leur formation et lors des évaluations, les juges devront partager leurs expériences et perspectives. Pour faciliter cela, il est essentiel de créer un espace de réunion qui encourage la libre expression de chacun. De plus, cette salle de réunion doit être située à proximité de la salle de préparation, car des produits seront préparés et remis aux juges. De plus, elle doit offrir la même atmosphère que la salle de dégustation. En outre, certaines cabines de dégustation sont équipées de parois amovibles ou rétractables, ce qui permet de travailler à la fois en isolation et en groupe (**Carpenter, et al., 2000**).

4.5 Analyse de données

Chaque méthode d'évaluation sensorielle implique une approche unique en ce qui concerne l'analyse des données. Par conséquent, les conclusions de l'évaluation sensorielle sont présentées de façon concise dans un rapport écrit. Ce document est enrichi d'un résumé des données, de la description de l'échantillon et de toute information pertinente (**ASTM, 1968**).

4.6 Sélection et formation du jury

Les panels d'analyse sensorielle peuvent être regroupés en quatre types : experts hautement qualifiés, panels de laboratoire formés, panels d'acceptation de laboratoire et grands panels de consommateurs.

- Des experts hautement qualifiés (1 à 3 personnes) évaluent la qualité avec un très haut degré d'acuité et de reproductibilité, par exemple, experts en lait, thé et café.
- Les évaluations par des experts et des panels de laboratoires formés peuvent être utiles pour des fins de contrôle, pour guider le développement et l'amélioration des produits et pour évaluer la qualité. Le panel formé (10-20 personnes) peut être particulièrement utile pour évaluer les changements d'attributs de produits pour lesquels il n'existe pas d'instrumentation.
- Les analyses sensorielles réalisées par des panels de laboratoire (25-50 personnes) sont précieuses pour prédire les réactions des consommateurs à un produit. De larges panels de consommateurs (plus de 100 personnes) sont utilisés pour déterminer la réaction du consommateur à un produit (**Watts *et al.*, 1989**).

La mesure adéquate de la plupart des caractéristiques sensorielles des aliments par des individus humains reste un défi, nécessitant des avancées constantes dans la création de tests instrumentaux précis pour évaluer chaque aspect de la qualité.

Lorsque des personnes sont employées comme outils de mesure, il est impératif de mettre en place des contrôles rigoureux sur les méthodes et les conditions de test afin de minimiser les erreurs induites par des influences psychologiques.

La consommation alimentaire découle de sa capacité à susciter une réponse sensorielle chez les êtres humains. Les organes sensoriels humains agissent comme des outils de mesure pour déterminer si un aliment est apprécié ou non. Alors que nous pouvons quantifier des aspects tels que la couleur des aliments avec un colorimètre ou la température du lait à pasteuriser avec un thermomètre, il n'existe pas d'instrument pour mesurer directement la préférence alimentaire (l'appréciation ou le rejet d'un aliment) (**Mason, 2002**).

Avant d'engager le processus de recrutement et de sélection d'un jury, il est essentiel de déterminer la configuration du jury. Pour les entreprises et les centres de recherche, deux alternatives s'offrent : soit un jury interne composé des employés de l'organisation, soit un jury

externe constitué de personnes extérieures à l'entreprise. Chacune de ces choix comporte ses propres avantages et inconvénients (**Prell, 1976**).

Le panel représente l'outil analytique central de l'analyse sensorielle, et la fiabilité de cet outil repose sur l'impartialité, la précision et la capacité à reproduire les évaluations des membres du jury. Il est essentiel d'évaluer la capacité des panélistes à reproduire leurs jugements, en particulier pour les dégustateurs participant à des tests descriptifs, qui doivent être sélectionnés et formés avec soin.

L'implication du personnel dans un panel devrait être intégrée à leurs tâches habituelles, avec une attente générale qu'ils évaluent tous les produits. Cependant, il est important de ne pas demander à quelqu'un d'évaluer un aliment auquel il serait opposé ou qui pourrait déclencher une réaction allergique. Le soutien de la direction et la pleine collaboration des superviseurs des membres du panel sont indispensables.

Il est à noter qu'un petit panel hautement qualifié produira des résultats plus précis et cohérents par rapport à un grand panel non formé (**ASTM, 1968**).

4.6.1 Les critères de sélection du jury

La constitution d'un panel sensoriel efficace requiert une sélection méticuleuse. Choisissez les membres du panel en fonction de leurs caractéristiques personnelles pertinentes ainsi que de leur aptitude potentielle à accomplir des tâches sensorielles spécifiques. Parmi les critères de sélection, prenez en considération leur état de santé, leur intérêt, leur disponibilité, leur ponctualité et leurs compétences en communication verbale.

4.6.1.1 Santé

Les personnes qui participent en tant que panélistes doivent être en bonne santé et doivent présenter leurs excuses en cas de conditions médicales susceptibles d'influencer leur sens du goût et de l'odorat. Par exemple, les rhumes, les allergies, les médicaments et la grossesse peuvent souvent altérer la sensibilité gustative et olfactive.

Nous encourageons les panélistes à éviter de fumer, de mâcher de la gomme, de manger ou de boire pendant au moins 30 minutes avant le test. Il est également important de consigner les allergies, les préférences gustatives et les aversions des panélistes (**ASTM, 1968**).

4.6.1.2 Intérêt et motivation

Les candidats qui s'intéressent à l'analyse sensorielle et qui aiment le ou les produits à tester sont susceptibles d'être plus motivés et par conséquent, ce type de personnes est susceptible de

devenir de meilleurs évaluateurs que ceux qui n'ont pas cet intérêt et cette motivation essentiels (**Prell, 1976**).

Les éléments émotionnels, l'enthousiasme et la motivation semblent avoir une plus grande influence que l'âge ou le genre des participants.

La motivation influe sur leurs réponses, tandis que l'intérêt joue un rôle crucial dans l'apprentissage et la performance, bien qu'il soit souvent difficile à maintenir chez les participants.

Une solution potentielle consisterait à partager les résultats des tests avec chaque participant, afin de les aider à ressentir que leur participation aux panels est une activité significative et que leur contribution revêt une grande importance.

4.6.1.3 Disponibilité et ponctualité

Il est crucial que les membres du panel soient disponibles pendant la formation et les tests. Les individus qui voyagent fréquemment et certains membres de l'équipe de production ne conviennent pas pour participer aux panels.

La ponctualité revêt une importance capitale, non seulement pour éviter de gaspiller le temps des participants, mais également pour prévenir toute altération de l'intégrité de l'échantillonnage et de la conception expérimentale.

Afin de promouvoir la ponctualité, nous vous encourageons à fournir un préavis pour tous les tests. Cela comprend la mise en place d'un calendrier de test, la programmation régulière des sessions de test, ainsi qu'un rappel personnel ou un appel téléphonique peu de temps avant chaque session de test (**ASTM, 1968**).

4.6.1.4 Compétences verbales

Le degré de compétences verbales requis du panéliste dépend de la méthodologie du test. Les tests descriptifs nécessitent généralement de bonnes compétences en communication verbale, car les dégustateurs sont censés définir et décrire diverses caractéristiques des produits (**CNERNA, 1992**).

4.6.1.5 Connaissances et aptitudes

Les personnes qui possèdent une forte capacité de concentration, qui peuvent rester insensibles aux influences extérieures, et qui ont une connaissance approfondie de tous les aspects du produit devraient être envisagées comme des candidats potentiels pour faire partie du panel d'experts.

4.6.1.6 Comportement

Les candidats qui sont assez flexibles dans leurs habitudes alimentaires devraient être considérés. Ceux qui ont des attitudes rigides avec de fortes aversions et goûts envers les produits alimentaires, peut ne pas convenir pour devenir membre du panel.

4.6.1.7 Capacité à communiquer/Caractéristiques de la personnalité

Les candidats doivent avoir la capacité de communiquer et de décrire les sensations qu'ils ont ressenties lors de l'évaluation d'un produit. Les candidats doivent être fiables et honnêtes dans leur approche (ASTM, 1968).

4.6.2 La sélection

En sélectionnant et en formant des panélistes dotés de capacités cohérentes et discriminatoires, les panels pourraient être petits et efficaces. Les tests de seuil ne sont pas utiles pour sélectionner les dégustateurs, car la sensibilité aux goûts primaires peut ne pas être liée à la possibilité de détecter des différences dans les aliments.

Une approche plus réaliste consiste à sélectionner les panélistes en fonction de leur capacité à détecter les différences dans les aliments à évaluer (Amerine *et al.*, 1965).

Idéalement, il est recommandé de dépister un nombre de personnes deux à trois fois supérieur à ce qui est nécessaire en utilisant la catégorie de produits qui sera soumise à des tests.

Préparez les échantillons de manière à ce que la variabilité obtenue soit similaire à celle que le groupe de participants rencontrera dans une situation réelle. Dans la mesure du possible, les méthodes de test employées pour le dépistage devraient être en adéquation avec celles qui seront réellement utilisées pendant les tests.

Assurez-vous que chaque individu comprend parfaitement chaque méthode de test, fiche d'évaluation et technique d'évaluation. Classez chaque participant en fonction de sa capacité à distinguer (dans le cas des tests discriminatoires) ou à décrire (dans le cas des tests descriptifs et de profil) les échantillons préparés.

Il est essentiel que les membres du panel sélectionné aient une sensibilité naturelle à la caractéristique spécifique évaluée. Répétez les tests pour évaluer leur reproductibilité. Optez pour un nouveau panel de participants pour chaque produit. Il est important de noter que les personnes capables de distinguer certains produits ne seront pas nécessairement compétentes pour d'autres (Amerine *et al.*, 1965).

L'évaluation sensorielle implique généralement des expériences qui se déroulent dans des conditions environnementales appropriées, avec la participation de panels de personnes formées et non formées. Différents niveaux de formation sont nécessaires pour ces panels en fonction de l'objectif de l'analyse sensorielle.

Le degré de formation requis dépend de plusieurs facteurs, notamment l'ampleur des différences à détecter, le nombre de panélistes requis pour les tests, ainsi que le temps et l'importance de l'analyse par rapport au produit examiné (**CNERNA, 1992**).

Pour tout test d'évaluation sensorielle, au moins dix membres doivent être sélectionnés dans un panel.

Étant donné que les juges sont des employés de l'entreprise, il n'est pas nécessaire de les rémunérer. Cependant, il est important de noter que le temps qu'ils consacreront à l'analyse sensorielle sera inclus dans leurs heures de travail. Compte tenu de la diversité des services d'où proviennent les juges, il est possible qu'ils aient du mal à s'absenter de leurs fonctions habituelles. Par conséquent, il sera essentiel que la direction donne son accord explicite quant à leur participation aux sessions d'analyse sensorielle.

Étant donné que de nombreuses entreprises sont de petite taille, le choix des juges internes pourrait être limité. De plus, il est possible que les juges aient développé une certaine familiarité avec le produit, voire des préjugés (exactes ou erronés) à son sujet en raison de leur expérience, ce qui pourrait introduire un biais.

Cependant, ce problème peut être résolu en garantissant l'anonymat des échantillons présentés (**CNERNA, 1992**).

Les membres de ce jury sont donc recrutés en dehors de la société. Si la société est installée près d'un centre urbain ou dispose d'un siège social en ville, la possibilité de choix est quasiment illimitée. Étant donné que les juges se déplacent, la moindre des choses est de participer aux frais de déplacement.

Les juges n'ayant en principe aucune expérience particulière du produit, aucun biais n'est à suspecter. À condition de convenir d'une tranche horaire fixe pour les séances et de choisir correctement les juges, il ne devrait pas y avoir de problèmes de disponibilité (**Prell, 1976**).

Une fois le type de jury choisi, l'animateur devra passer au recrutement des membres du jury. Il ne devra pas perdre de vue qu'un jury d'expert est destiné à fonctionner plusieurs années, donc que les personnes recrutées soient susceptibles de rester jusqu'à la fin.

La sélection peut se faire en deux étapes :

a) **La première étape** consiste à effectuer un tri initial en se basant sur les informations de la fiche d'identité. Les candidats qui pourraient ne pas rester pendant toute la durée du processus d'évaluation seront éliminés. De plus, seront exclues les personnes présentant des troubles (comme le daltonisme, des allergies, le port d'une prothèse dentaire, ou des symptômes de rhume des foins) susceptibles de compromettre leur capacité à percevoir des caractéristiques jugées essentielles, ainsi que celles ayant développé une aversion pour les produits examinés. Cette étape vise également à identifier, au cours d'un entretien, les candidats qui possèdent les traits de caractère requis pour ce type de travail, à savoir : l'honnêteté, la capacité à maintenir une attention prolongée et la persévérance. L'entretien aura également pour but de repérer les candidats les plus motivés et les plus intéressés (**Carpenter et al., 2000**).

b) **La deuxième étape** comprendra deux sessions d'évaluation, à l'issue desquelles les candidats les plus performants seront retenus. Le choix des tests dépendra des objectifs du comité de sélection. Il existe des normes qui recommandent des tests spécifiques pour la sélection des experts judiciaires.

L'efficacité de ces tests sera influencée par le choix initial des candidats. Si la sélection de départ est restreinte, les tests ne seront pas sélectifs.

L'AFNOR suggère de commencer avec un groupe de candidats deux à trois fois plus grand que le nombre final de juges requis, tandis que certains auteurs recommandent un groupe initial cinq fois plus important.

Il est important que les tests ne soient ni trop simples ni trop complexes, car dans les deux cas, ils ne permettront pas de faire une distinction adéquate entre les candidats (**Finidori, 2002**).

4.6.2.1 Les tests de sélection

Les tests de sélection auront trois objectifs :

- L'élimination des sujets présentant des anomalies sensorielles (anosmie ou agueusie partielle).
- La détection des sujets présentant la meilleure acuité sensorielle.
- L'évaluation de la capacité des sujets à percevoir et à décrire des sensations.

Afin de répondre à ces trois objectifs, l'animateur proposera aux candidats différents types de tests. Ces tests seront choisis en fonction des tâches qui seront assignées au jury (ASTM, 1968).

Test de reconnaissance des saveurs : On ne peut pas demander aux sujets d'utiliser un terme particulier pour décrire une sensation donnée s'il n'a pas appris à associer ce terme à cette sensation. Il est donc nécessaire dans un premier temps de permettre aux sujets d'identifier les saveurs en leur présentant un témoin.

Plus tard, au cours de la même séance ou au cours d'une séance ultérieure, les mêmes échantillons, mais codés sont présentés, le sujet reçoit alors pour tâche de les identifier. Pour ce type de test, la concentration des échantillons est telle qu'ils sont perçus à un niveau supraliminaire, donc détectable par la majorité de la population, un échec indiquera vraisemblablement une agueusie partielle chez le sujet (Jellinek, 1985 ; Stone *et al.*, 1974).

Le tableau ci-dessous indique pour quatre saveurs, les substances, la concentration à utiliser et le pourcentage de réponses correctes observées.

Tableau 3 : Exemples d'échantillons et de concentrations utilisés pour déterminer le niveau de reconnaissance du goût.

Saveur	Substance	Concentration (g/l)	Pourcentage de reconnaissance
Sucrée	Saccharose	8	94
Salée	NaCl	1,5	89
Acide	Acide citrique	1	81
Amère	Quinine	0,015	78
Astringente	Alun de potasse	0,5	68

Source: ISO 3972:1991

L'AFNOR propose un autre test appelé test d'appariement. Dans ce test, les sujets reçoivent une première série d'échantillons codés avec lesquels ils doivent se familiariser. Plus tard, dans la même séance, les sujets reçoivent une deuxième série d'échantillons codés différemment et doivent apparier les échantillons des deux séries.

La deuxième série comprend deux fois plus d'échantillons que la première. Les concentrations utilisées sont à peu près les mêmes (Adams *et al.*, 2007 ; Finidori, 2002).

Test de reconnaissance des odeurs : La même remarque que pour le test précédent peut être faite. Elle est d'autant plus marquante que le nombre de stimuli olfactifs est encore beaucoup plus grand.

Outre l'adaptation des tests présentés ci-dessus, il est possible de proposer aux sujets une série d'échantillons accompagnés d'une liste de termes. Les sujets ont pour mission de les appairer. Ce type de test ne permet pas de distinguer les erreurs dues à la confusion des termes des erreurs dues à un défaut de perception.

Le tableau ci-dessous donne les descripteurs, les substances utilisées, les concentrations préconisées et les taux de reconnaissance.

Tableau 4 : Exemples d'échantillons et de concentrations utilisés pour déterminer le niveau de reconnaissance des odeurs.

Odeur	Substance	Concentration (mg/l)	Pourcentage de reconnaissance
Menthe	Menthol	10,0	65
Violette	β - ionone	0,1	41
Amande amère	Benzaldéhyde	1,0	48
Citron	Citral	1,0	44
Champignon	Octène-1-ol-3	0,1	92
Rose	Géraniol	5,0	47
Vanille	Vanilline	25,0	97
Clou de girofle	Eugénol	1,0	75

Source: ISO 3972:1991

Tests de classement : Ce type de test vise à évaluer la capacité des sujets à réaliser un classement d'intensités différentes d'un même stimulus. Des solutions sapides ou odorantes peuvent être utilisées. Ce test vise à évaluer les sujets et non les produits, or ce type de test peut être plus ou moins difficile selon l'ordre de présentation des produits.

Il faudra donc impérativement présenter les échantillons dans le même ordre à tous les sujets (Dairou & Sieffermann., 2002).

Le tableau ci-dessous donne quelques substances et concentrations de référence.

Tableau 5 : Exemples d'échantillons et de concentrations de référence.

Essai	Produit	Concentrations dans l'eau à T° ambiante
Goût	Acide citrique	0,1 - 0,15 - 0,22 - 0,34 g/l
Odorat	Acétate d'isoamyle	5 - 10 - 20 - 40 mg/l

Source: ISO 3972:1991

Test portant sur la mémoire des odeurs : Ce test a pour objectif de sélectionner les sujets les plus constants. Il consiste à donner aux sujets 15 odeurs différentes et à leur demander de faire 5 groupes de trois odeurs. Ils sont prévenus que les mêmes 15 odeurs leur seront présentées à la séance suivante et que le même exercice leur sera demandé.

Les sujets devront refaire les mêmes groupements que lors du premier test. Pour chaque trio reconstitué, le sujet marque 2 points, pour chaque couple d'un trio reconstitué, le sujet marque 1 point (Jellinek, 1985 ; Stone *et al.*, 1974).

Test portant sur l'aptitude à décrire : Ce test permet d'évaluer l'aptitude à décrire des sensations. Le sujet est invité à goûter ou sentir des échantillons et à décrire ce qu'il perçoit de la façon la plus complète et la plus précise possible et sans utiliser des termes à connotation hédonique. Le test est répété sur deux séances afin de vérifier la constance des sujets et leur aptitude à mémoriser.

Ce test peut être fait avec différents stimuli (odeurs, textures, etc.).

Tests de différence des produits : Des tests de type triangulaire ou 2 sur 5 peuvent être proposés pour évaluer l'aptitude des sujets à discriminer deux stimuli différents ou deux stimuli d'intensité différente.

4.6.2.2 La sélection finale

Une fois les tests corrigés, il peut être fructueux de recevoir les candidats un à un, de leur exposer leurs résultats et de leur expliquer, sans entrer dans les détails, la suite des événements (Carpenter *et al.*, 2000).

4.6.3 L'entraînement

L'entraînement améliore la sensibilité et la mémoire d'un individu pour fournir des mesures sensorielles précises, cohérentes et standardisées qui peuvent être reproduites. Pour que les panélistes puissent prendre des décisions objectives, ils doivent être formés à ne pas tenir compte de leurs préférences personnelles.

La formation implique le développement d'un vocabulaire de termes descriptifs. Chaque panéliste doit détecter, reconnaître chaque terme descriptif.

L'utilisation d'étalons de référence spécialement préparés ou de produits concurrents qui démontrent une variation dans des termes descriptifs spécifiques peut aider les panélistes pendant les sessions de formation à devenir plus cohérents dans leurs jugements (**Pangborn, 1980**)

Discutez des techniques d'évaluation de l'odeur, de l'apparence, de la saveur et de la texture et convenez d'une procédure commune. Les dégustateurs doivent également se familiariser avec la méthode de test.

Le temps de formation (de quelques semaines à plusieurs mois) est fonction du produit, de la procédure de test et de la capacité des panélistes (**Carpenter et al., 2000**).

Le groupe sélectionné n'est pas immédiatement opérationnel. Les candidats doivent passer par une phase d'entraînement. Celle-ci doit permettre au sujet de:

- Se familiariser avec le vocabulaire.
- Apprendre à évaluer les produits.
- Augmenter sa connaissance sensorielle.
- Donner des jugements purement qualitatifs sans tenir compte de ses préférences.
- Comparer sa perception à celle des autres juges afin de réduire les différences interindividuelles.

L'entraînement comprendra une partie théorique et une partie pratique.

4.6.3.1 La formation théorique

Comprend les notions de base en physiologie sensorielle, différences inter et intra-individuelles, phénomène d'adaptation, consignes générales.

4.6.3.2 La formation pratique

Sera constituée des différents tests qui seront proposés aux juges durant les séances d'analyse, à la différence près que l'animateur connaîtra la composition des échantillons, donc la réponse correcte (tests de différence, tests de classement). Dans ce cas, après le test, l'animateur vérifiera les réponses et invitera les sujets qui se sont trompés à regoûter et à confirmer ou à infirmer la réponse (**Pangborn, 1980**).

Enfin, dans le cas d'épreuves descriptives, l'animateur discutera des réponses avec les juges et préparera au besoin des produits de référence.

L'animateur poursuivra l'entraînement jusqu'à ce que les performances qu'il soit fixé soient atteintes (**Carpenter et al., 2000**).

4.6.3.3 Zone d'entraînement

Prévoir un espace pour la formation d'un profil ou d'un panel d'analyse descriptive. Idéalement, la zone serait séparée et adjacente à la zone de préparation.

Une table ronde, assez grande pour 6 à 12 panélistes, permet la discussion entre les stagiaires, une table qui a un centre mobile ou des plateaux tournants pour faire passer des échantillons de référence dans les deux sens est très utile. Assurez-vous que l'éclairage et la ventilation sont dans les normes et que les tables, les chaises, les sols et les murs sont de couleur neutre, inodore et facile à nettoyer (**Pangborn, 1980**).

Enfin, incluez une horloge pour vous assurer que l'animateur du panel ne dépasse pas le temps de formation imparti.

Une fois le groupe formé, l'animateur devra régulièrement vérifier ses performances. Il sera en outre utile d'entretenir la motivation du groupe, par exemple en organisant une dégustation portant sur d'autres produits que les produits habituels, en informant les sujets de l'évolution de leurs performances, en indiquant (sans donner trop de détail), les répercussions du travail du groupe sur la vie de l'entreprise, en encourageant les efforts de chacun (**Carpenter, et al., 2000**).

4.7 Consignes pour le jury

Les séances d'analyse sensorielle demandent un très gros effort de concentration aux sujets. Il est donc essentiel d'éviter toute source de distraction. La salle sera conçue et aménagée dans ce but.

Les consignes suivantes doivent être remises aux sujets et rappelées courtoisement chaque fois que nécessaire (**Tableau 6**) (**Prell, 1976**).

Tableau 6 : Consignes pour le jury.

Consignes	Commentaires
Avant la séance	
<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas fumer, boire du café, manger des bonbons ou autres aliments à forte saveur juste avant la dégustation. - Ne pas utiliser de rouge à lèvres. 	Ces produits peuvent perturber la perception du sujet en créant des flaveurs parasites.
<ul style="list-style-type: none"> - Éviter l'emploi de lotions après-rasage ou de parfum. - Ne pas fumer dans la salle de dégustation. 	En plus de créer des odeurs parasites, ces produits peuvent incommoder d'autres personnes.
<ul style="list-style-type: none"> - Signaler au responsable un état maladif, une grossesse, la prise d'éventuels médicaments. 	Le responsable ainsi tenu au courant pourra expliquer d'éventuels changements de performance du juge.
<ul style="list-style-type: none"> - Être ponctuel et prévenir en cas d'absence. 	Si vraiment les circonstances font que le juge se présente à la séance dans un état psychologique qui ne permet pas sa concentration, il est préférable que celui-ci se désiste.
Pendant la séance	
<ul style="list-style-type: none"> - Lire attentivement le questionnaire avant de commencer le test.- Ne pas hésiter à poser une question ou à demander une explication si un point ne semble pas clair. 	Si une question doit être posée, le juge appelle discrètement le responsable et pose sa question à voix basse.
<ul style="list-style-type: none"> - Se rincer la bouche et attendre quelques minutes entre chaque échantillon. 	Éviter le phénomène d'adaptation.
<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas parler pendant le test. - Ne pas influencer les autres juges. 	
<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier qu'aucune question n'a été oubliée avant de quitter la séance. 	

4.8 Description des épreuves

Il existe 3 types de méthode organoleptique, à savoir le test discriminatif, test descriptif et test affectif.

- a) Les tests discriminatifs comprennent le test triangle, test duo trio, test deux sur cinq et test de comparaison par paires. Les tests discriminatifs ont pour finalité de découvrir l'existence ou l'absence de différences faiblement perceptibles entre deux produits.
- b) Les tests descriptifs ont pour objectifs de mettre en évidence la nature de différences nettement perceptibles et de les quantifier.
- c) Les tests affectifs fréquemment utilisés sont la comparaison par paires, la mise à l'échelle hédonique et le classement. Cette épreuve sert à mesurer la préférence et/ou l'acceptation d'un produit (**Jellinek, 1985 ; Stone *et al.*, 1974**).

L'animateur devra avant toute démarche poser correctement le problème, recourir éventuellement à une épreuve préliminaire avant de mettre en place un protocole expérimental qui répondra à la question posée (**Pangborn, 1980**).

4.8.1 Les épreuves discriminatives

L'analyse sensorielle est souvent effectuée pour déterminer si oui ou non une différence existe entre les échantillons, généralement utilisée dans le contrôle de la qualité.

Les tests visant à trouver une différence sont appelés tests « discriminatifs » (différence). Les tests de différence inclus dans cette polycopiée du cours sont le test triangulaire, le test duo-trio, le test deux sur cinq, le test de comparaison par paires. Nous discutons des avantages, des inconvénients et des particularités de chaque test (**Roessler *et al.*, 1978**).

Ces épreuves permettent de tester l'hypothèse de l'identité entre deux produits. Elles sont utilisées lorsque les différences entre produits sont faibles et lorsque la nature des différences n'est pas connue.

Il s'agit d'épreuves simples à mettre en œuvre et à interpréter. Elles fonctionnent toutes sur le même principe, à savoir la comparaison de plusieurs échantillons et la reconnaissance des échantillons identiques.

La décision d'acceptation ou non de l'hypothèse de départ est prise sur base de la proportion de réponses correctes pondérée par la probabilité de réponses correctes dues au hasard (**Pangborn, 1980**).

Ces tests peuvent être utilisés lors de l'entraînement pour améliorer ou contrôler les performances du jury. Il ne faudra jamais perdre de vue que, en phase d'entraînement, l'animateur connaît la réponse et teste les sujets, tandis qu'en routine, l'animateur analyse le produit et ne connaît pas la réponse.

L'aspect visuel des produits va grandement influencer la décision du sujet. L'animateur devra faire en sorte d'éliminer toute influence visuelle et de présenter des échantillons de façon absolument homogène sous peine de biaiser les résultats (**Jellinek, 1985**).

4.8.1.1 L'épreuve triangulaire

Les résultats d'un test triangulaire indiquent s'il existe ou non une différence détectable entre deux échantillons. Des niveaux de signification plus élevés n'indiquent pas que la différence est plus grande, mais qu'il existe une plus grande probabilité d'une différence réelle.

Le panéliste reçoit trois échantillons codés, on lui dit que deux des échantillons sont identiques et l'un est différent et on lui demande d'identifier l'échantillon impair (**Prell, 1976**).

Cette méthode est utile dans les travaux de contrôle de la qualité pour déterminer si les échantillons de différents lots de production sont différents.

Il est également utilisé pour déterminer si la substitution d'ingrédients ou un autre changement dans la fabrication entraîne une différence détectable dans le produit.

Le test du triangle est souvent utilisé pour sélectionner les panélistes (**Figure 9**) (**Pangborn, 1980**).

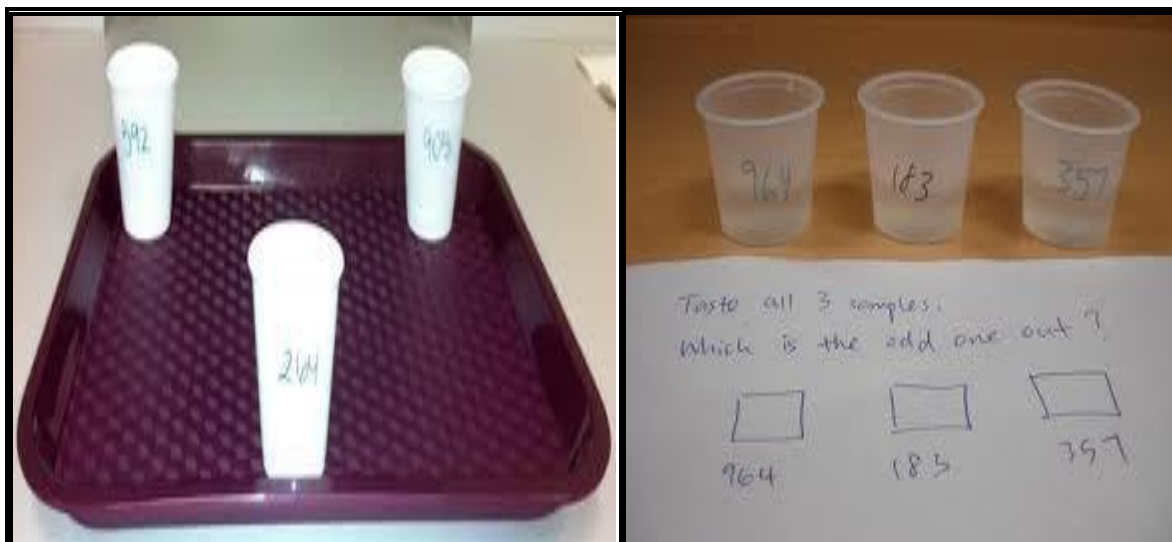


Figure 9 : Test triangulaire.

Étant donné que le panéliste recherche l'échantillon impair, les échantillons ne doivent différer que par la variable étudiée. Masquez toutes les autres différences. Par conséquent, l'application du test du triangle est limitée aux produits homogènes. L'analyse des résultats des tests triangulaires est basée sur la comparaison des nombres d'identifications correctes effectivement reçues avec le nombre que vous vous attendriez à obtenir par hasard s'il n'y avait pas de différence entre les échantillons. Dans le test du triangle, nous nous attendrions à ce que l'échantillon impair soit sélectionné par hasard un tiers du temps (**Jellinek, 1985**).

Il existe six manières possibles de présenter les échantillons d'un test triangulaire :

ABB BBA AAB

BAB ABA BAA

Dans la plupart des cas, chaque échantillon est utilisé comme double pour la moitié des tests et comme échantillon différent pour l'autre moitié (**Pangborn, 1980**).

4.8.1.2 L'épreuve duo-trio

Le test duo-trio a les mêmes applications que le test du triangle, mais est moins efficace, car la probabilité de sélectionner le bon échantillon par hasard est de 50 %. Souvent, les dégustateurs trouvent ce test plus facile que le test du triangle (**Roessler et al., 1978**).

Ce test est souvent utilisé à la place du test triangulaire lors de l'évaluation d'échantillons à forte saveur, car moins de comparaisons sont nécessaires. Les deux échantillons codés n'ont pas à être comparés l'un à l'autre (**Figure 10**) (**Stone et al., 1974**).



Figure 10 : Test duo-trio.

Le sujet reçoit un échantillon témoin, identifié comme tel et deux autres échantillons codés dont un est identique au témoin. Le sujet doit désigner l'échantillon codé qui est identique au témoin. Le sujet doit donner une réponse même s'il ne perçoit pas de différence entre les échantillons (Roessler *et al.*, 1978).

L'interprétation des résultats se fera sur base du nombre de réponses correctes, comparées à une table de valeurs. Cette table tient compte de la probabilité de donner la bonne réponse au hasard (Roessler *et al.*, 1978).

4.8.1.3 Test deux sur cinq

Le dégustateur reçoit cinq échantillons codés, on lui dit que deux des échantillons appartiennent à un ensemble et trois à un autre et on lui demande d'identifier les deux échantillons qui vont ensemble.

Cette méthode a des applications similaires au test du triangle. C'est statistiquement plus efficace que le test triangulaire car la probabilité de deviner la bonne réponse au test deux sur cinq est de 1 sur 10, contre 1 sur 3 pour le test triangulaire. Cependant, ce test est fortement affecté par la fatigue sensorielle.

Il est recommandé pour les tests visuels, auditifs et tactiles plutôt que pour les saveurs et les odeurs (Newell & Mac-Farlane, 1987 ; Roessler *et al.*, 1978 ; Stone *et al.*, 1974).

L'analyse des résultats du test deux sur cinq est basée sur la probabilité que s'il n'y avait pas de différence détectable, la bonne réponse serait donnée un dixième du temps.

Les résultats du test deux sur cinq indiquent s'il y a une différence entre deux groupes d'échantillons.

Vingt ordres de présentation sont possibles dans le test deux sur cinq :

AAABB	ABABA	BBBAA	BABAB
AABAB	BAABA	BBABA	ABBAB
ABAAB	ABBAA	BABBA	BAABB
BAAAB	BABAA	ABBBA	ABABB
AABBA	BBAAA	BBAAB	AABBB

4.8.1.4 Test de comparaison par paires

Dans ce test, le dégustateur reçoit une paire d'échantillons codés et est invité à comparer l'intensité d'une caractéristique particulière. Le panéliste est invité à indiquer quel échantillon a la plus grande intensité de la caractéristique étudiée.

Le test de comparaison par paires est utilisé pour déterminer si deux échantillons diffèrent par une caractéristique particulière. Les tests de différence, sauf deux sur cinq, présentés jusqu'ici, ne précisaient aucune caractéristique particulière, les panélistes ont basé leurs réponses sur toute différence détectable.

Le test de comparaison par paires peut être utilisé pour le contrôle de la qualité, pour déterminer si un changement de production a entraîné une différence détectable. Il peut également être utilisé pour sélectionner les panélistes.

La probabilité qu'un panéliste sélectionne un échantillon au hasard est de 50 % (**Figure 11**) (Pangborn, 1980 ; Gridgeman, 1959).

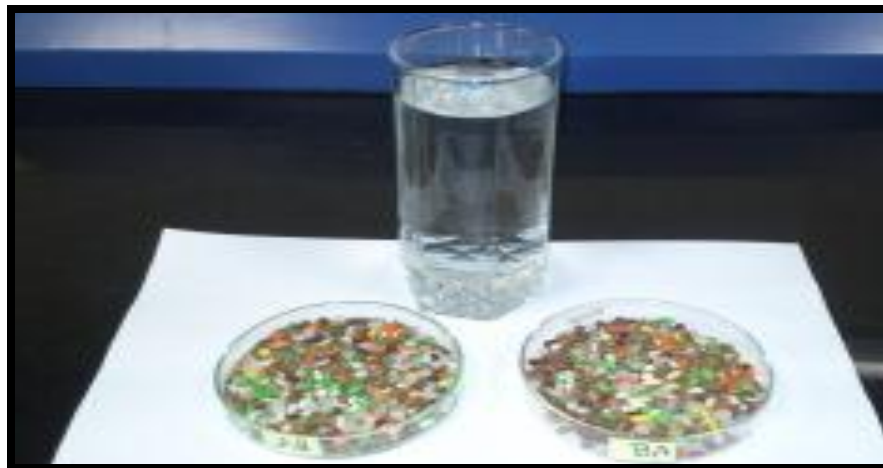


Figure 11 : Test de comparaison par paires.

Les tests de comparaison par paires ne donnent aucune indication sur l'ampleur de la différence entre les deux échantillons, mais déterminent s'il existe une différence détectable dans une caractéristique particulière (Jellinek, 1985 ; Stone *et al.*, 1974).

4.8.2 Les épreuves descriptives

Ces épreuves permettent d'identifier la nature des différences et de les quantifier. Leur mise en œuvre réclame pour la plupart un jury suffisamment entraîné et un traitement statistique complexe, elles font appel à différentes échelles de notation (Pangborn, 1980).

4.8.2.1 L'épreuve de classement

Elle consiste à ranger par ordre d'intensité croissante ou décroissante des échantillons présentés simultanément.

Cette épreuve présente de nombreux avantages:

- Elle est relativement simple à mettre en œuvre.
- Elle ne requiert pas de témoin ou de référence.
- Elle est facile à comprendre.
- Son processus est un processus naturel, nous effectuons régulièrement et spontanément des classements.
- A l'usage, elle se révèle assez efficace.

Elle possède toutefois deux inconvénients :

- Elle ne donne pas de valeur absolue pour un produit, mais seulement une valeur relative.
- Elle ne donne que des indications indirectes sur l'intensité des différences entre échantillons (**Pangborn, 1980**).

Cette épreuve est utilisée quand l'animateur connaît (ou soupçonne) la nature de la caractéristique responsable des différences, mais ignore quels échantillons sont différents.

Le nombre d'échantillons présentés est variable et dépend de la nature de la caractéristique incriminée. Il sera acceptable de classer une vingtaine d'échantillons sur base de leur couleur, mais sûrement pas sur base de leur goût.

L'interprétation statistique recourt à des tests de rang tels que les tests de Friedman qui indiqueront si une différence significative existe entre tous les échantillons. Si tel est le cas, il faudra déterminer quels couples sont différents grâce à un test de comparaisons multiples (**Newell & Mac-Farlane, 1987 ; Roessler et al., 1978**).

4.8.2.2 L'épreuve de profil

Les produits alimentaires sont des produits complexes engendrant une multitude de sensations. Lorsque l'animateur a mis en évidence une différence, mais qu'il ne connaît pas sa nature, il est nécessaire de recourir à un profil (**Prell, 1976**).

Cette méthode consiste à décrire le produit le plus complètement possible à l'aide de descripteurs. Chaque descripteur représentant une grandeur sensorielle simple, les descripteurs devront être non redondants.

Une fois les descripteurs définis, ils sont accompagnés d'une échelle graduée qui permet d'exprimer leur intensité. Le profil permet donc de décrire les sensations apportées par un produit en qualité et en intensité (Stone *et al.*, 1974).

La création d'une liste de descripteurs comprend plusieurs étapes :

- A. **Recherche du plus grand nombre de descripteurs:** Le jury est invité à goûter une série de produits représentant la gamme des produits à tester et à décrire ces produits en utilisant le plus de mots possible.
- B. **Premier tri:** Les termes générés sont listés et tous les termes à connotation hédonique sont rejetés. Les synonymes sont retenus s'ils satisfont à la première condition.
- C. **Deuxième tri:** Les descripteurs retenus sont listés et accompagnés d'une échelle graduée. Les juges sont invités à refaire une séance de dégustation avec différents produits bien typés et à coter ces produits sur l'échelle pour tous les termes retenus. Ces résultats sont ensuite traités statistiquement de façon à éliminer les termes qui ont le moins de sens ou qui contiennent le moins d'information.
- D. **Entraînement:** L'animateur devra fabriquer des références, c'est-à-dire faire en sorte que chaque descripteur représente la même sensation pour tous les juges (aspect qualitatif). De même, il devra construire des produits qui permettront aux juges de se calibrer sur l'échelle d'intensité qui accompagne chaque descripteur (aspect quantitatif).

Dans le cas où une liste existe déjà dans la littérature, le travail du groupe commencera à la dernière étape. L'entraînement des juges sera une étape très importante. Elle prendra un temps considérable (12 à 15 semaines, voire plus).

L'entraînement ne devrait prendre fin qu'en fonction des performances de juges et non à une date convenue à l'avance (Newell & Mac-Farlane, 1987 ; Roessler *et al.*, 1978).

4.8.3 Les épreuves affectifs

Les tests affectifs sont utilisés pour mesurer les attitudes subjectives envers un produit en fonction de ses propriétés sensorielles. Les résultats des tests donnent une indication de la préférence (sélectionnez l'un plutôt qu'un autre), de l'appréciation (degré d'appréciation ou d'aversion) ou de l'acceptation (acceptation ou rejet) d'un produit (Pangborn, 1980).

Les tests sont généralement utilisés auprès d'un grand nombre de répondants non formés pour obtenir une indication de l'attrait d'un produit par rapport à un autre.

Les tests affectifs suivent généralement les tests discriminatoires et descriptifs, au cours

desquels le nombre d'alternatives de produits a été réduit à un sous-ensemble limité.

Trois méthodes de test affectif fréquemment utilisées sont la comparaison par paires, la mise à l'échelle hédonique et le classement (**Prell, 1976**).

4.8.3.1 Test de préférence de comparaison appariée

Le test de comparaison appariée utilisé dans les tests de préférence est similaire à celui utilisé dans les tests discriminatifs.

Le test demande au dégustateur d'indiquer lequel des deux échantillons codés est préféré. L'inclusion d'une option "aucune préférence" ou "n'aime pas les deux également" sur le bulletin de vote n'est recommandée qu'avec un panel de plus de 50 répondants.

Les panélistes sont toujours soucieux de faire le bon choix. Ils se rabattront souvent sur l'option "aucune préférence", si elle est incluse. Par conséquent, on demande généralement aux dégustateurs de choisir un échantillon, même s'ils perçoivent les deux échantillons comme étant identiques, en gardant le test comme un test à choix forcé.

Deux échantillons codés (A et B) sont servis simultanément, avec un style de présentation identique, c'est-à-dire la même taille d'échantillon, la même température et le même contenant. Il y a deux ordres de présentation possibles, (A-B) ou (B-A).

L'ordre dans lequel le dégustateur doit évaluer les échantillons est indiqué sur le bulletin de vote. Les dégustateurs n'évaluent généralement qu'une seule paire d'échantillons dans un test sans réplication. Ils sont autorisés à re-goûter les échantillons (**Jellinek, 1985 ; Stone et al., 1974**).

L'animateur doit décider si le test est un test unilatéral ou bilatéral. Si l'objectif est de confirmer une "amélioration" ou un effet de traitement défini sur la préférence de l'échantillon, il s'agit alors d'un test unilatéral. Si l'objectif est de trouver lequel de deux échantillons est préféré sans aucun résultat préconçu, le test est un test bilatéral.

Bien que les résultats des tests puissent indiquer une préférence pour un échantillon par rapport à un autre, ils ne donnent aucune donnée sur l'ampleur de la différence de préférence entre les échantillons ou sur ce que la préférence était basée.

4.8.3.2 Test d'échelle hédonique

Le test le plus couramment utilisé pour mesurer le degré d'appréciation d'un échantillon est l'échelle hédonique. Le terme « hédonique » est défini comme « ayant à voir avec le plaisir ».

L'échelle comprend une série d'énoncés ou de points par lesquels le panéliste exprime un

degré d'appréciation ou d'aversion pour un échantillon. Des échelles de longueurs variables peuvent être utilisées, mais la plus courante est l'échelle hédonique à 9 points, allant de « j'aime énormément » à « je n'aime pas du tout » avec un point central de « ni j'aime ni je n'aime pas ». Les échantillons sont codés et servis dans un style de présentation identique.

L'ordre de présentation des échantillons est randomisé pour chaque panéliste, l'ordre est indiqué sur le bulletin de vote. Les échantillons peuvent être servis simultanément ou un à la fois (**Figure 12**) (**Jellinek, 1985 ; Stone *et al.*, 1974**).



Figure 12 : Test d'échelle hédonique.

Les réponses sont converties en valeurs numériques allant de 1 pour « N'aime pas du tout » à 9 pour « aime beaucoup ». Les données sont analysées soit par test *t* de Student si seulement deux échantillons sont évalués, soit par analyse de variance si trois échantillons ou plus sont évalués (**Peryam & Girardot, 1952**).

4.8.3.3 Épreuve de classement

Le test de classement nécessite qu'un panéliste évalue au moins trois échantillons et de les classer par ordre croissant ou décroissant de préférence ou goût. Chaque échantillon doit se voir attribuer un rang, pas de liens autorisés. Le panéliste peut être invité à classer par préférence globale ou à se concentrer sur un attribut spécifique, tel que la préférence de couleur ou de saveur.

Codez et présentez les échantillons dans un style identique. Randomiser la commande des échantillons pour chaque panéliste et indiquer l'ordre sur le bulletin de vote. Servir les échantillons simultanément pour permettre toute comparaison "parmi" les échantillons nécessaires pour attribuer des rangs. Additionnez les rangs pour chaque traitement et testez la signification à l'aide d'un test de Friedman pour les données classées. Comparez les différences entre toutes les paires de rangs possibles.

Bien que les traitements soient classés par ordre croissant ou décroissant de préférence ou d'appréciation, les valeurs de classement n'indiquent pas la quantité ou le degré de différence entre les traitements.

De plus, en raison de la nature relative du classement, les valeurs d'un ensemble d'échantillons ne peuvent pas être comparées directement à un autre ensemble d'échantillons, à moins que les deux ensembles ne représentent les mêmes traitements (**Jellinek, 1985 ; Stone et al., 1974**).

4.9 Rapport d'analyse sensorielle

Dans toute étude ou expérience, un rapport précis et complet est essentiel à l'utilité éventuelle des résultats. Tout rapport doit contenir suffisamment de détails pour :

- Permettre au lecteur de comprendre l'étude, de juger de la pertinence des procédures et d'évaluer la fiabilité des résultats.
- Permettre la répétition de l'étude.
- Permettre des comparaisons intra et inter-laboratoires (**Prell, 1976**).

Lors de la préparation d'un rapport, suivez ces directives : titre, résumé, introduction, méthodes expérimentales, résultats et discussion, conclusion et références (**Larmond, 1981 ; (Meilgaard et al., 1987)**).

4.9.1 Titre

La première information nécessaire dans un rapport est le titre de l'expérience, les noms des personnes chargées de réaliser le travail, leurs affiliations et la date à laquelle le travail a été effectué.

4.9.2 Résumé

Si le rapport est destiné à être publié dans une revue, incluez un court résumé de 100 à 200 mots (la longueur est spécifiée par la revue). Dans le résumé, énoncez l'objectif, une description de l'expérience ou des expériences, les principales observations, les résultats significatifs et une conclusion.

Même si le rapport n'est pas destiné à être publié, un bref résumé peut être utile au lecteur, en particulier aux lecteurs non techniques, tels que les gestionnaires.

4.9.3 Introduction

Dans l'introduction, indiquez clairement le but du projet ainsi que les objectifs de chaque test au sein de ce projet. Définir le but ou le problème à résoudre, par exemple, le

développement de nouveaux produits, l'appariement des produits, l'amélioration des produits, la stabilité au stockage, etc.

4.9.4 Méthode expérimentale

Décrire les procédures sensorielles et analyses statistiques utilisées. Donnez suffisamment de détails sur la méthode et équipement permettant de répéter le travail. Citez toujours les méthodes acceptées par des références appropriées et complètes.

L'utilisation de sous-titres ici peut aider à apporter de la clarté, ce qui rend les informations plus utiles. Prendre en compte les sous-titres suivants : conception expérimentale, méthode sensorielle, panel sensoriel, conditions environnementales, préparation des échantillons, techniques statistiques (**Newell & Mac-Farlane, 1987 ; Roessler et al., 1978**).

4.9.4.1 Conception expérimentale

Inclure ici la conception statistique utilisée (par exemple, bloc complet randomisé, bloc incomplet ou parcelle fractionnée), les mesures effectuées (sensorielles, chimiques et physiques); le nombre de répétitions. Indiquez toutes les limites de la conception, comme le fait que seuls certains lots soient disponibles pour l'échantillonnage (**Newell & Mac-Farlane, 1987**).

4.9.4.2 Méthode sensorielle

Identifiez-la ou les méthodes sensorielles utilisées et donnez les références appropriées, telles que l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), American Society for Testing and Materials (ASTM) ou des articles de revues à comité de lecture.

4.9.4.3 Panel sensoriel

Indiquer la source du panel (interne ou recruté en dehors de l'organisation) et le nombre de panélistes. Si les panélistes ont été formés, donner des détails sur la méthode de sélection et de formation. Les informations sur la composition du panel, telles que l'âge et le sexe, sont généralement importantes lorsque des tests affectifs sont utilisés (**Prell, 1976**).

4.9.4.4 Conditions environnementales

Décrire le lieu du test (c'est-à-dire le laboratoire, centre commercial ou maison) et l'éclairage. Inclure d'autres informations, telles que la température de la pièce ou l'existence de distractions.

4.9.4.5 Préparation et présentation des échantillons

Fournir des détails sur l'équipement et méthodes de préparation des échantillons (par exemple, four électrique, temps et température).

Précisez l'utilisation des codes d'échantillon (nombres aléatoires à trois chiffres), l'ordre de présentation, la taille de l'échantillon, le transporteur, température, récipient, ustensiles, heure de la journée, instructions spéciales pour dégustateurs, intervalles de temps, agent(s) de rinçage, si les échantillons ont été avalés ou expectorés et toute autre condition contrôlée ou susceptible d'influencer les données recueillies (**CNERNA, 1992**).

4.9.4.6 Techniques statistiques

Décrire les tests statistiques utilisés pour permettre l'analyse des données.

4.9.5 Résultats et discussion

Présentez les résultats de manière claire, en résumant les données pertinentes, mais en fournissant suffisamment de données pour justifier les conclusions.

Lorsque vous rapportez des tests de signification, indiquez le niveau de probabilité, les degrés de liberté, la valeur calculée du test. En plus des mots, utilisez des tableaux ou des figures pour présenter les résultats. Les tableaux peuvent également être utilisés pour rendre compte de l'analyse des résultats, la variance, les moyennes et l'erreur standard. Les données sont souvent plus faciles à comprendre et à discuter si elles peuvent être visualisées à l'aide de tableaux et de graphiques.

Les résultats doivent être "interprétés, comparés et contrastés". La discussion doit identifier à la fois la signification théorique et pratique des résultats et doit relier les nouvelles découvertes à tous les résultats antérieurs, si possible. Il est préférable de discuter des résultats dans le même ordre que l'étude a été réalisée (**Prell, 1976**).

4.9.6 Conclusion du rapport

Inclure un dernier paragraphe avec les conclusions tirées de l'étude dans le rapport. Gardez les conclusions brèves et clairement énoncées. Faire des recommandations pour une étude plus approfondie dans l'avenir (**Prell, 1976**).

5. METHODES INSTRUMENTALES

5. METHODES INSTRUMENTALES

5.1 Introduction

Les industriels du secteur alimentaire visent de plus en plus à utiliser l'analyse instrumentale en complément ou en remplacement de l'analyse sensorielle. Les jurys d'experts restent cependant incontournables dans certains cas et en particulier pour valider les méthodes instrumentales.

Les méthodes instrumentales visent à opérer selon le même principe que nos sens. Ainsi, se retrouve de nos jours sur le marché une panoplie d'appareils permettant une évaluation de la couleur des produits alimentaires, de leur odeur ou de leur texture (somesthésie et/ou audition) (Schreiner, 1982).

5.2 L'appréciation instrumentale de la couleur

Un large éventail de méthodes a été développé pour la quantification de la couleur, permettant ainsi une expression plus aisée et précise de celle-ci. Les premières tentatives de mesure de la couleur se basaient sur la quantification de la transmission ou de la réflectance à des longueurs d'onde spécifiques à l'aide d'un instrument appelé spectrophotomètre.

Par la suite, d'autres approches ont été élaborées par des organismes internationaux spécialisés dans les domaines de l'éclairage et de la couleur, tels que la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE).

Ces nouvelles méthodes ont contribué à améliorer la précision et la normalisation des mesures de couleur, offrant ainsi des outils plus sophistiqués pour évaluer et décrire les caractéristiques chromatiques des objets et des produits, notamment dans l'industrie alimentaire.

Les deux méthodes les plus connues sont l'espace couleur (Yxy), qui se base sur les valeurs tristimulus (XYZ) définies par la CIE, et l'espace couleur (L*a*b*) (aussi appelé CIELAB), conçu en 1976. L'espace couleur (L*a*b*) essaie de rapprocher les écarts de couleur mesurés aux écarts de couleur tels qu'ils sont perçus par l'œil humain.

Aujourd'hui, les espaces couleur (Yxy) et (L*a*b*) sont utilisés dans le monde entier pour exprimer la couleur (Schreiner, 1982).

Remarque: l'espace couleur est défini comme étant la méthode qui permet d'exprimer la couleur d'un objet ou d'une source lumineuse au moyen d'une notation spécifique, telle que des chiffres.

Le concept des valeurs tristimulus (XYZ) vient de la théorie que la perception des couleurs se fait selon trois composants: l'œil possède des récepteurs pour les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu) et toutes les couleurs sont perçues comme des mélanges de ces trois couleurs. Les valeurs tristimulus (XYZ) sont calculées en utilisant les fonctions de mélanges de l'observateur standard défini par la CIE. L'espace couleur (Yxy) découle de ce concept.

(Y) est la clarté (identique à la valeur tristimulus (Y) et (x) et (y) sont les coordonnées de chromaticité calculées à partir des valeurs tristimulus (XYZ).

L'espace couleur ($L^*a^*b^*$) a été défini bien plus tard, de façon à réduire l'un des principaux problèmes de l'espace couleur (Yxy), à savoir que des distances égales sur le diagramme de chromaticité (x, y) ne représentent pas des différences égales des couleurs perçues. Dans l'espace couleur ($L^*a^*b^*$), (L^*) indique la clarté tandis que (a^*) et (b^*) sont les coordonnées de chromaticité (a^*) et (b^*) indiquent le sens des couleurs: ($+a^*$) va vers le rouge, ($-a^*$) vers le vert, ($+b^*$) va vers le jaune, ($-b^*$) vers le bleu (**Figure 13**).



Figure 13 : Colorimètres.

Toute une série de colorimètres exploitant ces principes sont actuellement commercialisés afin de répondre aux demandes des industrielles. Ces appareils comportent généralement une source lumineuse incorporée ainsi qu'un jeu de photocellules filtrées pour correspondre aux fonctions de l'observateur standard (Schreiner, 1982).

5.3 L'évaluation instrumentale de l'odeur

Si le nez humain peut se montrer d'une très haute performance et d'une grande sensibilité, son utilisation pour le contrôle de routine reste difficile à mettre en œuvre. Dans ce contexte, des méthodes instrumentales peuvent constituer une alternative moins coûteuse et plus rapide pour l'évaluation de l'odeur des produits alimentaires (Schaller *et al.*, 2000).

Quatre caractéristiques des composés volatils responsables de l'odeur et de l'arôme

rendent leur étude instrumentale délicate:

- a) Sauf cas exceptionnel, ils sont très nombreux, en général une ou plusieurs centaines.
- b) Ils appartiennent à toutes les classes chimiques possibles, hydrocarbures, acides, alcools, hétérocycles, ...
- c) Ils sont à des concentrations faibles, de l'ordre de quelques microgrammes voir nanogrammes par kilogramme.
- d) Ils peuvent être sensibles à l'oxygène ou à la chaleur.

5.3.1 Les analyses chimiques

Comme dans toute analyse chimique, l'analyse instrumentale de l'arôme comprend trois étapes: l'extraction de l'arôme, la séparation des différents constituants de l'extrait et l'identification de chacun de ces constituants.

L'extraction: Cette étape est certainement la plus délicate à mettre en œuvre étant donné la diversité des composés volatils à extraire et leur concentration dans l'aliment. Les techniques d'extraction sont nombreuses et il n'existe pas de technique idéale s'appliquant à tous les aliments et tous les composés. Le choix sera effectué en fonction de l'aliment à étudier et du résultat attendu (**Schaller *et al.*, 2000**).

Les méthodes de prélèvement d'effluves (headspace en anglais) sont les plus faciles à mettre en œuvre, les plus rapides et les moins coûteuses. Dans la version statique, la phase gazeuse en équilibre avec l'échantillon placé dans une enceinte fermée est prélevée avec une seringue à gaz et directement analysée par chromatographie en phase gazeuse (CPG).

Dans la version dynamique, un courant de gaz inerte passant sur, ou traversant, l'échantillon permet de prélever une plus grande quantité de composés. Ces derniers sont soit condensés par refroidissement à très basse température, soit piégés sur un adsorbant, avant d'être injectés sur la colonne de chromatographie (**Vinaixa *et al.*, 2005 ; Santos *et al.*, 2004**).

Contrairement aux techniques d'analyse des effluves, la distillation permet d'isoler de plus grandes quantités de composés, mais elle nécessite un matériel plus coûteux et une mise en œuvre plus longue.

Un troisième type d'extraction très courant en chimie utilise les propriétés d'extraction des solvants organiques vis-à-vis des molécules apolaires. Cette méthode ne peut s'appliquer à des aliments contenant des lipides, mais s'adapte bien aux boissons alcoolisées ou non.

Une technique beaucoup plus récente, la SPME (*Solid Phase Micro Extraction*) utilise aussi le caractère souvent apolaire des composés responsables d'arômes. Son principe consiste à absorber ces composés dans une phase apolaire déposée sur une fibre de silice.

L'appareil est très simple, il s'agit d'une seringue dont le piston est constitué d'une fibre de silice recouverte de phase. Lorsque le piston est poussé, la phase sort de l'aiguille et entre en contact avec la phase gazeuse au-dessus de l'aliment ou liquide alimentaire lui-même. Une fois la répartition des composés en équilibre entre le milieu à extraire et la phase, le piston est rétracté.

L'aiguille de la seringue est introduite dans l'injecteur du chromatogramme et le piston est repoussé de façon à résorber les composés par la chaleur (**Schaller *et al.*, 2000**).

La séparation et l'identification: Autant l'extraction de l'arôme demande des techniques spécifiques, autant le fractionnement d'un extrait aromatique est devenu désormais aisé grâce aux développements de la chromatographie en phase gazeuse (CPG).

L'étape d'identification des molécules est fortement liée à l'étape de séparation. Le couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-SM) permet d'identifier directement les composés élués de la colonne et il n'est plus nécessaire d'isoler le composé pour l'identifier (**Santos *et al.*, 2004**).

L'olfactométrie se situe à l'interface de l'analyse instrumentale et de l'analyse sensorielle. Cette technique consiste à évaluer l'odeur des composés dès leur sortie de la colonne chromatographique.

Généralement, l'effluent de la colonne est divisé en deux parties: l'une est dirigée vers le détecteur en vue d'obtenir un chromatogramme (le détecteur le plus courant reste le détecteur à ionisation de flamme à cause de sa large gamme de linéarité et de son universalité), l'autre traverse la paroi du four en passant par un tube chauffé pour éviter les condensations.

Le juge place son nez à l'extrémité de ce tube et détecte les composés odorants au fur et à mesure de leur élution, ce qui permet d'établir un aromagramme. La comparaison du chromatogramme et de l'aromagramme permet de repérer les composés clés de l'arôme d'un produit (**Vinaixa *et al.*, 2005**).

5.3.2 Les nez électroniques

Un nez électronique, également connu sous le nom d'olfactomètre électronique, est un dispositif sophistiqué qui réplique la capacité humaine à détecter et à identifier les odeurs.

Il se compose d'un ensemble de capteurs chimiques spécifiques à certaines molécules odorantes et d'un système de traitement des données permettant de reconnaître et d'analyser les odeurs simples ou complexes.

Le fonctionnement du nez électronique repose sur la capacité de ses capteurs chimiques à réagir de manière sélective aux composés chimiques présents dans un échantillon gazeux. Chaque capteur est sensible à un ensemble spécifique de molécules odorantes, ce qui lui confère une spécificité partielle. Lorsqu'un échantillon d'air est introduit dans le nez électronique, les capteurs réagissent aux composés chimiques présents en produisant une réponse électrique. Cette réponse est ensuite convertie en données numériques.

Le système de reconnaissance de formes du nez électronique analyse les données générées par les capteurs pour identifier l'empreinte olfactive de l'échantillon. Il compare cette empreinte à une base de données contenant des profils olfactifs connus pour déterminer la nature de l'odeur détectée. Le résultat de cette analyse est ensuite affiché ou transmis sous une forme compréhensible pour l'utilisateur.

Pour le grand public, le nez électronique se présente souvent comme une "boîte noire" simple à utiliser. Il suffit d'introduire l'échantillon dans le dispositif, et celui-ci fournit rapidement une évaluation de l'odeur, que ce soit pour des applications telles que la qualité de l'air intérieur, la détection d'odeurs anormales dans l'industrie alimentaire, ou d'autres domaines où la détection et l'identification des odeurs sont importantes.

Pour les industriels, le nez électronique représente un outil précieux dans le contrôle de la qualité, le suivi des processus de production, et la recherche et développement de nouveaux produits. Il permet de réaliser des analyses olfactives rapides et reproductibles, contribuant ainsi à garantir la cohérence et la conformité des produits.

De plus, il peut être utilisé pour détecter des variations subtiles dans les odeurs, ce qui peut être essentiel pour la détection précoce de problèmes de production ou de qualité. Le nez électronique améliore la précision, l'efficacité et la fiabilité des processus liés à la détection et à l'analyse des odeurs (**Strike et al., 1999**).

En réalité, l'instrumentation comprend 4 parties :

- a) Le système d'introduction de l'échantillon (pompe, débitmètre, unité de concentration).
- b) La chambre des capteurs (réseau de capteurs).

- c) Les éléments électroniques (conversion signal chimique/électronique, amplification, conditionnement, multiplexage, conversion et alimentation).
- d) Le système central (processeur, mémoire, logiciels de traitement des données et affichage).

Les principaux types de capteurs connus pour la détection de gaz et de composés volatiles sont les semi-conducteurs dopés, les polymères conducteurs, les cristaux à onde acoustique de volume, les résonateurs à onde acoustique de surface. D'autres types de capteurs sont utilisés de manière marginale, ou sont en cours de développement.

Les qualités attendues d'un capteur idéal sont une haute sensibilité aux composés chimiques, une faible sensibilité à l'humidité et à la température, une haute stabilité, une bonne reproductibilité, un temps de réponse court, un calibrage aisé, une bonne robustesse et un bas prix (Vinaixa *et al.*, 2005).

Voici quelques-unes des nombreuses applications des nez électroniques dans le domaine agro-alimentaire :

- **Caractérisation des produits carnés** : Les nez électroniques peuvent être utilisés pour évaluer la fraîcheur, la qualité et la détection de contaminants tels que la salmonelle dans la viande. Ils aident également à contrôler la saveur et l'arôme des produits carnés, ce qui est essentiel pour assurer la satisfaction des consommateurs.
- **Analyse des céréales** : Les céréales, qu'elles soient utilisées pour la fabrication de produits de boulangerie, de céréales pour le petit-déjeuner ou d'autres produits alimentaires, peuvent être évaluées en termes de qualité, de taux d'humidité et d'odeur grâce aux nez électroniques.
- **Fruits et légumes** : Les nez électroniques peuvent aider à évaluer la maturité des fruits et légumes, à détecter la présence de contaminants ou de moisissures, et à surveiller la qualité aromatique de ces produits frais.
- **Café** : Dans l'industrie du café, les nez électroniques sont essentiels pour évaluer la qualité du café en termes d'arôme, de torréfaction et d'altération due à des facteurs tels que l'oxydation.
- **Contrôle de la qualité** : Les nez électroniques sont souvent utilisés pour le contrôle de la qualité des produits alimentaires en vérifiant la conformité aux normes et en détectant les défauts qui pourraient affecter la sécurité alimentaire.

- **Développement de nouveaux produits :** Les nez électroniques sont un outil précieux pour les entreprises agro-alimentaires lors du développement de nouveaux produits, en aidant à créer des saveurs et des arômes spécifiques recherchés par les consommateurs.
- **Traçabilité et authenticité :** Les nez électroniques peuvent être utilisés pour vérifier l'authenticité des produits alimentaires en détectant les contrefaçons ou les substitutions potentielles, contribuant ainsi à la traçabilité des produits.

Les nez électroniques jouent un rôle clé dans l'industrie agro-alimentaire en garantissant la qualité, la sécurité et la satisfaction du consommateur tout en aidant à développer de nouveaux produits et à assurer la conformité aux normes de l'industrie.

5.4 Les méthodes instrumentales d'analyse de la texture

5.4.1 La perception sensorielle de la texture

La texture est l'ensemble des propriétés rhéologiques et de structure (géométrique et de surface) d'un produit alimentaire, perceptible par les mécano-récepteurs, les récepteurs tactiles et éventuellement par les récepteurs visuels et auditifs (**Schreiner et al., 1982**).

Au cours d'une dégustation, la texture est appréciée en trois phases:

- a) **La phase d'attente:** Rien qu'à la vue et dans certains cas, à la prise en main de l'aliment, le dégustateur manifesterà une certaine attente vis-à-vis de sa texture.
- b) **La mastication:** Cette étape va entraîner la dégradation mécanique de l'aliment, le transformant en un bol alimentaire dont la texture va permettre une déglutition plus aisée. La mastication est partiellement volontaire, partiellement réflexe, le mouvement continu des mâchoires est commandé par la pression sur les mécano-récepteurs des joues, des gencives et de la langue. Ce sont les mêmes récepteurs qui permettent d'identifier les propriétés mécaniques et rhéologiques du produit.
- c) **La déglutition:** Cette phase correspond à un mécanisme complexe permettant le passage du bol alimentaire de la bouche à l'estomac. Elle fait intervenir l'activité synchronisée de la langue, du palais mou, du pharynx, de l'œsophage et de plus de 22 groupes de muscles différents (**Caussin & Nusinovi, 1988**).

5.4.2 L'analyse instrumentale de la texture

On peut distinguer trois grandes catégories de mesures instrumentales de la texture correspondant à des objectifs différents:

- a) **Les mesures comparatives** pour comparer des produits entre eux ou par rapport à des produits de référence.
- b) **Les mesures imitatives** pour quantifier objectivement une propriété d'usage ou de texture.
- c) **Les mesures fondamentales**, du domaine de la rhéologie, pour comprendre les mécanismes de formation de la texture dans les systèmes alimentaires.

Les mesures comparatives et imitatives sont des mesures empiriques qui permettent de caractériser les produits de manière relative. Elles dépendent des appareils et des conditions opératoires et peuvent être exprimées en unités arbitraires ou physiques (force de rupture par exemple) (Figure 14) (Schreiner *et al.*, 1982).



Figure 14 : Analyseurs de texture (Pénétrromètre).

Les tests comparatifs peuvent être effectués à l'aide d'appareils très simples (viscosimètres Brookfield, viscosimètres à chute de bille, pénétromètre, ...) ou plus performants (analyseurs de texture) (**Caussin & Nusinovici, 1988**).

Les mesures imitatives sont obtenues par des dispositifs qui essaient de reproduire un acte sensoriel comme la mastication par exemple. Ce sont également des mesures comparatives, mais facilement corrélables aux appréciations sensorielles.

On peut citer comme autres exemples de tests imitatifs, les tests de tranchage ou les tests concernant des propriétés d'usage comme la facilité de pelage d'opercules de pots de yaourt.

Ces tests mesurent des grandeurs physiques qui sont fortement corrélées à certains paramètres sensoriels et l'expérience acquise dans ces corrélations est l'un des arguments forts des analyseurs de texture (**Schreiner et al., 1982**).

Les mesures fondamentales sont souvent basées sur la caractérisation de comportements rhéologiques plus complexes: rhéofluidification, thixotropie, seuil d'écoulement et viscoélasticité. Elles concernent davantage les aliments fluides ou les liquides épaissis (**Koehl, 1989**).

6. CONCLUSION

6. CONCLUSION

L'évaluation sensorielle est un outil essentiel pour mesurer les préférences alimentaires à l'aide des organes sensoriels humains, repose sur l'exploitation de nos sens pour appréhender la texture, l'aspect visuel, l'odeur et la saveur des produits alimentaires. L'être humain est doté de cinq sens, à savoir le goût, l'odorat, le toucher, la vue et l'ouïe, qui tous jouent un rôle crucial lorsque nous dégustons un aliment.

Aucun instrument ne peut prétendre égaler ou reproduire la finesse de ces sens humains, ce qui souligne l'importance incontestable de l'évaluation sensorielle.

L'objectif premier de l'évaluation sensorielle est de définir les caractéristiques de qualité des produits alimentaires et d'évaluer leur conformité aux normes légales ainsi qu'aux préférences de consommation. Ces caractéristiques sensorielles revêtent une importance capitale, car elles représentent une appréciation globale du produit qui demeure irremplaçable par toute autre méthode.

Au fil du temps, l'évaluation sensorielle des produits alimentaires a gagné en importance, remplissant plusieurs rôles essentiels, tels que le contrôle qualité, la détection des variations de processus, la réduction des coûts, l'amélioration des produits, la détermination de leur durée de conservation, le développement de nouvelles créations et l'analyse du marché. Cette discipline se révèle complexe et spécialisée, exigeant une expertise précise.

Il est fondamental de garder à l'esprit qu'aucun équipement de laboratoire ne peut égaler la capacité inhérente aux sens humains du goût, de l'odorat, du toucher et de la vue pour détecter les moindres nuances dans les saveurs, les textures et les aspects visuels des aliments. Par conséquent, il est fortement recommandé que l'évaluation sensorielle soit toujours associée à l'analyse instrumentale dans les laboratoires et les entreprises agroalimentaires.

L'évaluation sensorielle représente un élément clé dans l'appréciation et la garantie de la qualité des produits alimentaires, grâce à l'exploitation de notre précieux ensemble de sens. Elle demeure au cœur de l'industrie agroalimentaire, contribuant à sa prospérité et à son développement continu.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adams J, Williams A, Lancaster B, Foley M. (2007). Advantages and uses of check-allthat-apply response compared to traditional scaling of attributes for salty snacks. 7th Pangborn Sensory Science Symposium. Minneapolis, USA.

Amerine M.A, Pangborn R.M, Roessler E.B. Principles of sensory evaluation of food. *Academic Press*, 1965; 602.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Manual on sensory testing methods. *ASTM STP 434*. 1968; 77.

Baumgardt E, Galifret Y, Viaud G. 1° Vision. In: *L'année psychologique*. 1952. vol. 52, n°2. pp. 480-485.

Bérodier F, Lavanchy P, Zannoni M, Casals J, Herrero L, Adamo C. Guide d'évaluation olfacto-gustative des fromages à pâte dure et semi-dure. *u.-Technol*. 1997; 30 :653-665.

Carpenter R.P, Lyon D.H, Hasdell T.A. Guidelines for Sensory Analysis in Food Product Development and Quality Control. *Aspen Publishers*. 2000; 71-91.

Caussin J.P & Nusinovici D.W. Beard Using digitized X-ray powder diffraction scans as input for a new PC-AT Search/match program. *X-Ray Anal*. 1988; 31:423-430.

Chochole R. 2° Audition. In: *L'année psychologique*. 1952 vol. 52, n°2. pp. 485-498.

CNERNA. (Centre national d'études et de recommandations sur la nutrition et l'alimentation). Plaisir et préférences alimentaires. *Polytechnica*. 1992; 145.

Cortada et al., 2021, *Int J Mol Sci*.

Dairou V & Sieffermann J.M. (2002). A Comparison of 14 Jams Characterized by Conventional Profile and a Quick Original Method, the Flash Profile. *Journal of Food Science*, 67, 826-834.

Delarue J, Lawlor B, Rogeaux M. *Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods* (2014) Editions Elsevier.

Depledt & Sauvageot. *Evaluation sensorielle des produits alimentaires - F4000* (2004). Techniques del'ingénieur.

Depledt & SSHA. *Évaluation sensorielle - Manuel méthodologique* (2009).Coord. Editions

TEC ET DOC.

Desai & Oppenheimer. 2020, The Journal of Allergy and Clinical Immunology.

Ellis B.H. A guide book for sensory testing. *Continental Can Co.* 1961; 111:155.

Faurion C. Physiologie sensorielle à l'usage des IAA (2004). Editions TEC ET DOC

Finidori J.B. Analyse sensorielle. *Association française de normalisation (AFNOR)*. 2002; 936.

Gervais R & Salesse R. Odorat et goût: De la neurobiologie des sens chimiques aux applications (2013). Edition Quae.

Gridgeman N.T. Pair comparison, with and without ties. *Biometrics*. 1959; 15:382-388.

IOS. International Organization for Standardization. Sensory analysis, General guidance for the design of testing facilities. *Kroll, B.J.* 1985.

ISO 22935-1:2009. Norme FIL Internationale 99C. Evaluation sensorielle des produits laitiers par cotation - Méthode de référence. *FIL*. 2009; 99-2.

ISO 3972. Sensory Analysis- Methodology- Method of Investigating Sensitivity of Taste. 1991; www.iso-standards.com.au. Accessed at May, 26 2022.

Jellinek G. Sensory evaluation of food - Theory and practice. *ID Morton*. 1985; 34.

Kemp S.E, Hollowood T, Hort J. Sensory Evaluation A Practical Handbook. *Wiley-Blackwell Publisher*. 2009; 208.

Koehl L. Conception et réalisation d'un estimateur de dimension fractale par utilisation des techniques floues. Thèse de doctorat de l'Université des sciences et technologies de Lille, soutenue en 1998; 139.

Kroll B.J & Pilgrim F.J. Sensory evaluation of accessory foods with and without carriers. *J Food Sci*. 1961; 26:122-124.

Langlois D. L'analyse instrumentale de l'arôme des aliments. *OCL*. 1999; 6(4):325-329.

Larmond E. Better reports of sensory evaluation. *Tech Q Master Brew*. 1981; 18(1):7-10.

Le-Grand Y. Optique physiologique. Tome 2. *Lumière et couleurs*. 1972; 141.

Leod P & Sauvageot F. Bases neurophysiologiques de l'évaluation sensorielle des produits alimentaires. *Cahiers ENS*. 1986; 5:3-165.

Marshall S.G & Vaisey M. Sweetness perception in relation to some textural characteristics of hydrocolloid gels. *J Texture Stud*. 1972; 3:173-185.

Mason R. Sensory Evaluation Manual. *The University of Queensland and Stephen Nottingham*. 2002; 100.

Meilgaard M, Civille G.V, Carr B.T. Sensory evaluation techniques. *Boca Raton*. 1987; 1:159.

Newell G.J & Mac-Farlane J.D. Expanded Tables for Multiple Comparison Procedures in the Analysis of Ranked Data. *Journal of Food Science*, 1987; 52:1721-1725.

Pangborn R.M & Szczesniak A.S. Effect of hydrocolloids and viscosity on flavour and odour intensities of aromatic flavour compounds. *J Texture Stud*. 1974; 4:467-482.

Pangborn R.M. Sensory science today. *Cereal Foods World*. 1980; 25(10):637-640.

Peryam D.R & Girardot N.F. Advanced taste test method. *Food Eng*. 1952; 24:58-61.

Piéron H. Les échelles subjectives peuvent-elles fournir la base d'une nouvelle loi psychophysique ?. *L'année psychologique*. 1959; 59(1):1-34.

Piggott J.R. Sensory analysis of food. *Elsevier Applied science*. 1988; 426.

Prell P.A. Preparation of reports and manuscripts which include sensory evaluation data. *Food Technol*. 1976; 40-46.

Roessler E.B, Pangborn R.M, Sidel J.L, Stone H. Expanded Statistical Tables for Estimating Significance in Paired- Preference, Duo-Trio and Triangle Tests. *Journal of Food Science*. 1978; 43:940-947.

Santos J.P, Arroyo T, Aleixandre M, Lozano J, Sayago I, Garcia M, Fernandez M.J, Ares L, Gutierrez J, Cabellos J.M. A comparative study of sensor array and GC-MS: application to Madrid wines characterization. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2004; 102(2):299-307.

Schaller E, Zenhäusern S, Zesiger T, Bosset J.O, Escher F. Use of the preconcentration techniques to MS-based "electronic nose". *Analisis*, 2000; 28:743-749.

Schreiner W.N, Surdukowski C, Jenkins R.J. A new minicomputer search/match/identify program for qualitative phase analysis with the powder diffractometer, *Appl. Crystallogr.* 1982; 15:513-523.

Stanley S.S. On the psychophysical law. *Psychological Review*, 1957; 64(3):153-181.

Stone H & Sidel J.L. Sensory evaluation practices. *Academic Press*. 1985. 311.

Stone H, Sidel J, Oliver S, Woolsey A, Singleton R.C. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technol.* 1974; 28(11):24-31.

Strike D, Meijerink J.M, Koudelka-Hep G.H.M. Electronic noses - *A mini review*. *Journal of Analytical Chemistry*. 1999; 364:499-505.

Vinaixa M, Vergara A, Duran C, Llobet E, Badia C, Brezmes J, Vilanova X, Correig X. Fast detection of rancidity in potato crisps using e-noses based on mass spectrometry or gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2005; 106(1):67-75.

Watts B.M, Ylimaki G.L, Jeffery L.E, Elias L.G. Basic Sensory Method for Food Evaluation. *International Development Research Centre*. Canada. 1989; 164.

8. ANNEXES

8. ANNEXES

Annexe I : Normes AFNOR

Références normatives	Normes AFNOR correspondantes
Norme FIL 50C :1995 Lait et produits laitiers – Directives pour l'échantillonnage	
ISO 5492 :1992 Analyse sensorielle – Vocabulaire	NF V 00150
ISO 4121 :1987 Analyse sensorielle – Méthodologie – Evaluation de produits alimentaires par des méthodes utilisant des échelles	NF V09-015
ISO 6658 :1985 Analyse sensorielle – Méthodologie – Directives générales	NF V09-001
ISO 8589 :1988 Analyse sensorielle – Directives générales pour la conception des salles d'essais	NF V09-105
ISO 8586-1 :1993 Analyse sensorielle – Directives générales pour la sélection, la formation et le contrôle des évaluateurs – Partie 1 : Évaluateurs sélectionnés	NF V09 -003
ISO 8586-2 :1994 Analyse sensorielle – Directives générales pour la sélection, la formation et le contrôle des évaluateurs-Partie 2 :Experts	NF V09-003
ISO 5496 :1992 Analyse sensorielle – Méthodologie – Initiation et formation d'évaluateurs à la détection et à la reconnaissance d'odeurs	3 NF V09-006
Norme FIL 136A :1992 Lait et produits laitiers – Echantillonnage – Inspection par variables	
ISO 11035 - 1995 - Analyse sensorielle – Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel par approche multidimensionnelle.	NF ISO 11035
ISO 11035 - 2007 - Analyse sensorielle – Méthodologie – Essai triangulaire.	NF ISO 11035
ISO 8586 - 2014 - Analyse sensorielle – Lignes directrices générales pour la sélection, l'entraînement et le contrôle des sujets qualifiés et sujets sensoriels experts.	NF EN ISO 8586
NF EN 13299 - 2016 - Analyse sensorielle - Méthodologie - Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel.	NF EN 13299
ISO 6658- Novembre 2017 - Analyse sensorielle – Méthodologie – Lignes directrices générales.	NF ISO 6658

Annexe II : Echelle de la magnitude de la déviation

Echelle de la magnitude de la déviation	
Points	
5	conformité à la spécification sensorielle préétablie
4	déviaton minime par rapport à la spécification sensorielle préétablie
3	déviaton notable par rapport à la spécification sensorielle préétablie
2	déviaton considérable par rapport à la spécification sensorielle préétablie
1	déviaton très considérable par rapport à la spécification sensorielle préétablie
0	impropre à la consommation humaine