

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945, Guelma
Faculté des sciences de la nature et de la Vie et des Sciences de la terre et de
l'Univers



Analyse Sensorielle des Produits

Alimentaires

Support de Cours et de Travaux Pratiques
L3 : Technologie Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

VHS : 45 heures VHH : 3 heures : 1h30 cours et 1h30 TP
Crédit : 3, Coefficient : 2

Dr. BOUSBIA A.

Année universitaire 2023/2024

AVANT-PROPOS

L'analyse sensorielle a toujours eu pour objectif de mieux comprendre les préférences des consommateurs. Aujourd'hui, l'évaluation des sensations au cours de la consommation du produit se trouve comme un enjeu majeur.

L'analyse sensorielle est présente dans le secteur alimentaire mais également cosmétique, pharmaceutique, automobile, etc. la mise en place de outils permettant de mieux comprendre les attentes du consommateur semble évidente afin d'optimiser le produit pour qu'il puisse rester sur le marché le plus longtemps possible.

Ce cours est adressé aux étudiants en Sciences Alimentaires afin de les préparer pour répondre à la nécessité de lignes directrices pour la réalisation de tests sensoriels de produits agricoles de base dans les laboratoires dont le personnel n'a que peu ou pas d'expérience en analyse sensorielle. Le présent cours est réparti en plusieurs chapitres : définition et objectif de l'analyse sensorielle, éléments de la physiologie sensorielle, les altérations organoleptiques éléments de base de l'analyse sensorielle, méthodologie générale de l'analyse sensorielle : les conditions de l'évaluation : le local, le panel, l'échantillonnage, le plan de présentation, méthodologie des tests sensoriels selon la problématique industrielle : les tests discriminants, les tests descriptifs, les test hédoniques, la sensométrie et l'analyses statistiques des données de et leurs interprétations.

Le cours ne renvoie à aucune référence particulière. Il a pour origine plusieurs ouvrages : SSHA. AFNOR, Watts B.M., M. Lewandowski. M. Moll. G. Debry. M. Feinberg. P. Hébel. F. Husson. J.J. Clautriaux, A. THOMAS.

Afin d'enrichir et d'améliorer de façon continue ce support pédagogique, toutes les remarques seront utiles et prises en considération.

Veillez contacter :

bousbia.aiissam@univ-guelma.dz

partie cours

Introduction à l'analyse sensorielle

Jusqu'à l'année 2016, l'analyse sensorielle compte plus de 252 000 résultats d'après le moteur de recherche Google, 2 740 000 pour son homonyme en langue anglaise, et plus de 6 600 travaux scientifiques référencés ces dix dernières années. Cette rapide recherche sur internet souligne la richesse de cette thématique. Cette introduction a pour but de rappeler brièvement quelques-unes des notions de l'analyse sensorielle.

1. Définition

Selon la norme française NF ISO 5492 (2008) l'analyse sensorielle est définie comme étant « l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens ». De part ces cinq sens (vue, ouïe, odorat, goût, toucher) l'être humain est devenu l'instrument de mesure des méthodes d'analyse sensorielle pour caractériser et évaluer des produits.

L'analyse sensorielle ou évaluation sensorielle permet de définir, mesurer, analyser et interpréter les caractéristiques d'un produit perçues par l'intermédiaire des organes des sens, c'est-à-dire ses propriétés gustatives, olfactives, visuelles, auditives et tactiles.

Dans ce cadre, l'homme, appelé juge ou répondant, est considéré comme instrument de mesure chaque fois qu'il n'existe pas de capteur physique capable de rivaliser avec son équivalent sensoriel, c'est-à-dire lorsque les méthodes instrumentales ne permettent pas de décrire et de quantifier les caractéristiques d'un produit telles que l'homme les perçoit.

2. Historique de l'analyse sensorielle

Ce n'est que dans les années 1940-1950, au sein de l'armée américaine, que l'analyse sensorielle a commencé à assoir sa position, en optimisant le degré d'acceptabilité des menus servis à ses soldats.

Concernant le terme « analyse sensorielle », il semble avoir été utilisé pour la première fois en 1961 lors d'une conférence donnée au centre technique de la biscuiterie. Vite adoptée par les industriels de l'agroalimentaire, l'analyse sensorielle est aujourd'hui vue comme un outil leur permettant de développer des produits aux caractéristiques qui les distinguent de la concurrence et ayant pour but de rester longtemps sur le marché tout en répondant aux demandes et exigences gustatives des consommateurs.

Les progrès des connaissances dans cette nouvelle discipline scientifique au cours des dernières trente années aussi bien dans le monde académique qu'industriel lui a ainsi permis un développement incontestable. Pour preuve, le plus important congrès international d'analyse sensorielle, *The Pangborn Sensory Science Symposium* qui a vu sa première édition se dérouler en Finlande en 1992, a accueilli en 2015 à Göteborg en Suède environ 900 participants d'une cinquantaine de pays et représentant autant la recherche académique qu'industrielle.

3. Applications l'analyse sensorielle

Depuis une trentaine d'années, d'autres domaines que l'agro-alimentaire ont ouvert leurs portes à cette science nouvelle. Parmi les plus représentatifs nous pouvons citer les secteurs des cosmétiques, de l'automobile, des produits d'hygiène, de l'emballage, de la mécanique, et plus récemment les secteurs de l'ameublement, de l'alimentation des animaux domestiques, du textile, de la publicité etc. Force est de constater que l'analyse sensorielle est là, présente chaque jour dans la vie du consommateur.

L'analyse sensorielle est au cœur du développement du produit. En caractérisant au mieux le produit, l'analyse sensorielle est aujourd'hui un outil indispensable pour les équipes de recherche et de développement mais également de marketing/communication afin de mieux communiquer sur leurs produits en interne avec les équipes de production et en externe auprès des consommateurs.

4. Objectifs et utilisations de l'analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est un passage obligatoire pour les industriels du marché agroalimentaire. En effet, cette technique vise la satisfaction des besoins du consommateur tout en réduisant les pertes aussi bien pour le fabricant que pour le revendeur. Ainsi, selon le type de l'épreuve sensorielle on peut citer les objectifs suivant :

4.1. Etablir un profil sensoriel

Déterminer un profil sensoriel consiste à synthétiser sur une fiche l'ensemble des informations dégagées par l'analyse rigoureuse du produit. Ainsi, pour chaque produit on procédera à l'analyse selon les descripteurs (odorat, vue, goût, etc...) tout en évaluant l'intensité d'un descripteur sur une échelle graduée.

4.2. Comparaison de produits

Les résultats d'une analyse peuvent être utilisés à la comparaison de produits en vue de leur commercialisation, cela peut aussi aider à la définition d'un standard de qualité pour un produit. Ainsi, la comparaison entre deux produits pour étudier l'influence de certains procédés technologiques sur les qualités organoleptiques.

4.3. Correction d'un produit

Dans ce cas d'analyse, on cherche simplement à améliorer le produit à travers de corrections gustatives ou esthétiques. Il faut d'abord procéder à une analyse puis à la recherche de points critiques. Le mieux est de pouvoir apporter des corrections immédiates afin de vérifier les corrections.

4.4. L'étude de la satisfaction des consommateurs et/ou de leurs préférences

L'analyse sensorielle constitue un véritable outil de mesure fiable et indépendant qui permet d'évaluer d'une part les préférences des consommateurs et prévoir ce qui motive leurs choix, et d'autre part, les caractéristiques organoleptiques des produits à savoir :

- **L'apparence** : aspect général, la couleur, la forme.
- **La saveur** : odeur, saveur (sucrée, salée, amère, acide) l'arôme (piquant, fruité, boisé),
- **La texture** : dureté, collant, cohésion, croquant, friabilité.

4.5. L'étude de l'évolution du produit dans le temps

L'analyse sensorielle vise à identifier l'effet des différents traitements technologiques sur le produit au cours de sa transformation. Ainsi, l'effet du stockage et de l'emballage pour assurer sa qualité.

5. Vocabulaire de l'analyse sensorielle

Pour qu'une analyse sensorielle soit efficace, il convient d'uniformiser le vocabulaire utilisé. Ci-après une liste des termes les plus employés.

5.1 Terminologie générale

Attribut : descripteur = caractéristique perceptible.

Organoleptique : qualifie une propriété perceptible par les organes des sens, c'est-à-dire un attribut d'un produit.

Attitude : inclination à répondre d'une certaine manière à l'égard d'une classe d'objets ou d'idées

Hédonique : se rapportant au caractère plaisant ou déplaisant

Jury : panel sensoriel = groupe de sujets participant à un essai sensoriel

Sujet sensoriel : toute personne prenant part à un essai sensoriel. Le sujet naïf est une personne ne répondant à aucun critère particulier. Le sujet initié ou expérimenté a déjà participé à un essai sensoriel.

Acceptabilité : degré auquel un stimulus plaît ou déplaît, globalement ou pour des attributs sensoriels particuliers.

Préférence : sélection, par un sujet, d'un stimulus ou d'un produit par rapport à d'autres dans une série donnée, basée sur des critères hédoniques.

Discrimination : différenciation qualitative et/ou quantitative entre deux ou plusieurs stimuli.

5.2 Terminologie sensorielle

- **Récepteur** : partie spécifique d'un organe sensoriel répondant à un certain type de stimulus
- **Stimulus** : ce qui excite un récepteur
- **Perception** : prise de conscience des effets des stimuli sensoriels simples ou multiples
- **Sensation** : réaction psychophysologique résultant de la stimulation sensorielle
- **Intensité** : degré du stimulus qui provoque la sensation perçue

5.3 Terminologie relative aux propriétés organoleptiques

- **Flaveur** : combinaison complexe des sensations olfactives et gustatives perçues au cours de la dégustation
- **Corps** : consistance, compacité de texture, plénitude, richesse.
- **Arrière-goût** : sensation olfacto-gustative qui apparaît après l'élimination du produit, et qui diffère des sensations perçues lorsque le produit était dans la bouche

5.4. Terminologie relative aux méthodes

- **Profil sensoriel** : description des propriétés sensorielles d'un échantillon consistant à évaluer les attributs sensoriels dans l'ordre de leur perception, attribuant à chacun une valeur d'intensité
- **Échelle hédonique** : échelle exprimant le degré du caractère plaisant ou déplaisant.
- **Classement par rang** : méthode dans laquelle une série de deux ou plusieurs échantillons est présentée simultanément et classée par ordre d'intensité ou de degré d'une propriété déterminée.
- **Classification** : méthode, avec une hypothèse de qualité inhérente à l'échelle, permettant de répartir des produits en groupes de qualité.

1. Mécanismes et caractéristiques d'une réponse sensorielle

Introduction

Nos sens nous permettent de capter un *stimulus* venant du monde extérieur et de le traduire en une information utilisable par le cerveau.

D'une manière succincte, le schéma général du codage sensoriel est le même pour tous les sens. Les figures 1 et 2 résument les étapes d'une réponse sensorielle.

Lorsqu'un aliment (*stimulus*) entre en contact avec les récepteurs sensoriels d'un être humain, l'influx nerveux engendré se propage jusqu'au système nerveux central, ce phénomène est appelé *sensation*

L'information est captée par une cellule réceptrice, subit un premier traitement durant son passage dans les fibres nerveuses puis est intégrée au niveau du cerveau.

Les informations concernant la qualité et l'*intensité* du *stimulus*, véhiculées depuis les organes récepteurs, vont converger vers le cerveau pour être comparées aux images sensorielles stockées dans notre mémoire.

Ce mécanisme d'*intégration* faisant intervenir la mémoire et la notion de plaisir engendra la réponse sensorielle.

Nos sens sont constamment en éveil, transmettant sans cesse des informations au cerveau. Le fait de passer les systèmes sensoriels en revue un par un ne doit pas nous faire oublier qu'ils fonctionnent simultanément et en continu. Les informations qui parviennent au cerveau sont d'origines très diverses.

Les règles de *codage sensoriel* sont pratiquement identiques quel que soit le *système sensoriel* considéré. Ce n'est qu'au niveau des centres supérieurs que les informations convergent vers un système intégrateur. A ce stade, l'information est comparée au stock d'informations déjà acquises entraînant une réponse sous la forme d'une *attente* ou d'un *comportement*, d'une satisfaction.

Avant que l'aliment soit absorbé, il a déjà été jugé via la vue, l'odorat et le toucher. Les informations recueillies sont suffisantes pour décider de l'acceptation ou du rejet de l'aliment. De plus, elles vont préparer le sujet aux stimuli qui vont être perçus durant la mastication, c'est ce qu'on appelle l'*attente*. La concordance de ces prévisions avec la réalité va à nouveau entraîner un comportement vis-à-vis de l'aliment.

La réception et la transmission de l'information sont indépendantes pour chaque système, ce n'est qu'au niveau des centres supérieurs que les informations convergent vers un système intégrateur.

En analysant la séquence de *stimulus* la plus fréquente intervenant pendant l'absorption d'un aliment, on constate que tous nos sens interviennent et qu'ils interviennent généralement dans un ordre particulier.

De plus, elles vont préparer le sujet aux stimuli qui vont être perçus durant la mastication, c'est ce qu'on appelle l'*attente*. La concordance de ces prévisions avec la réalité va à nouveau entraîner un comportement vis-à-vis de l'aliment.

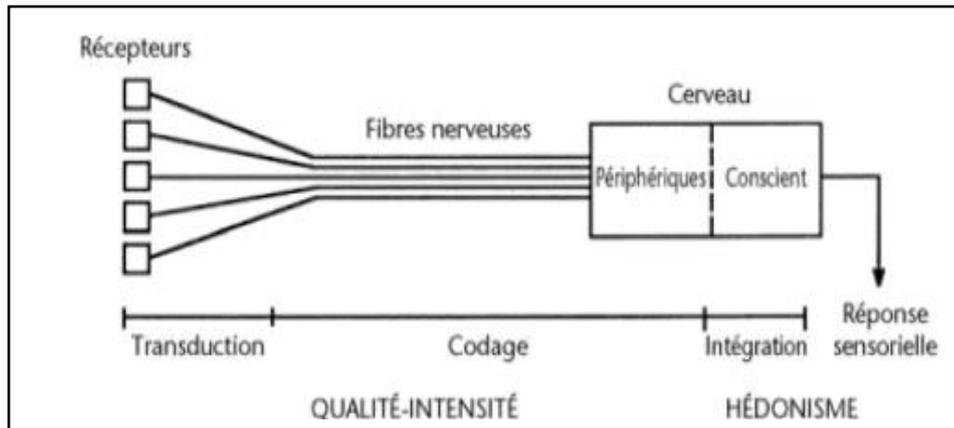


Figure 1. Étapes physiologiques de la perception

Monde extérieur		Sujet	
Stimulus ⇒	cellule réceptrice	neurones	cerveau
information	réception	Traitement du signal : -Transmission - Amplification - Sélection	Identification Intégration
	Qualité – Intensité		Réponse

Figure 2 : Le fonctionnement des sens

1.1. Qualité

1.1.1. La notion d’image sensorielle

Quel que soit le système sensoriel, les perceptions s’élaborent au niveau conscient en partant d’une information brute qui est essentiellement topographique. Le processus de traitement qui s’applique à ce type d’information est bien connu d’un point de vue théorique : c’est la *reconnaissance* de la forme.

Chaque codage topographique correspond à une forme ou image sensorielle, unique et reproductible.

Le tableau 1 résume sommairement les principales caractéristiques physiques, anatomiques et psychophysiologiques de nos *organes sensoriels*.

L’opération la plus simple qui s’applique aux formes des perceptions sensorielles est l’*identification*. Elle consiste à comparer entre elles deux ou plusieurs formes. Si la comparaison fait intervenir des perceptions antérieures mémorisées, on parle de la *reconnaissance*.

Dans sa forme la plus élémentaire, la *reconnaissance* est une simple opération logique avec deux issues possibles : la forme est reconnue, c’est-à-dire identique à une forme mémorisée, ou non.

Dans une autre forme de reconnaissance, plus spécifique du cerveau humain, on passe de la notion d'identité à celle de similitude : une perception actuelle, bien que certainement différente de toutes références mémorisées, peut présenter des analogies avec une ou plusieurs de ces derniers.

Tableau 1. Principales caractéristiques de nos organes sensoriels.

Système sensoriel	Nature de stimulus	Organe récepteur	Lieu de formation	Grandeurs psychophysiologique
Vision	Photos	Rétine (photorécepteur)	Rétine (neurones)	Taille Luminance Chrominance
Audition	Vibration de l'air et du crâne	Cochlée (cellules ciliées)	Noyau cochléaire	Auteur Intensité Timbre
Somesthésie (Toucher) :				
- Sensibilité tactile	- Contraintes mécanique	- Peau et muqueuses		- Rugosité - Astringence
- Sensibilité Kinesthésique	- Contraintes mécanique	- Muscle, tendon et ligaments	Circonvolution pariétale ascendante	- Dureté – élasticité - Plasticité
- Sensibilité thermique	- Chaleur	- Peau et muqueuses		- Chaud ou Froid
- Sensibilité chimique générale	- Molécule en contact direct	- Muqueuses		- Piquant-Brûlant - Irritant
Goût	Molécule en solution dans la salive	Bourgeons gustatifs de la langue	Noyau du faisceau solitaire	- Acidité - Amertume
Olfaction	Molécule en phase gazeuse	Muqueuses olfactives	Bulbe olfactif	- Intensité des odeurs - Descripteurs d'arômes.

La description d'une *perception* est une opération plus complexe que la simple reconnaissance. La description consiste à représenter une forme au moyen d'un ensemble des mots, qu'on appelle des *descripteurs*.

On distingue deux niveaux de descriptions :

- La description simple : c'est la représentation d'un objet par un ensemble de mots.
- La description quantifiée : c'est la représentation d'un objet par un ensemble de mots. Chaque mot étant assorti d'un nombre. Ce nombre sert à quantifier l'importance relative du descripteur auquel il est associé, par rapport à l'objet décrit.

1.1.2. Les descripteurs

Que la description soit simple ou quantifiée, le choix des descripteurs est une étape cruciale : de ce choix dépend le succès de l'opération. Pour être efficaces les descripteurs utilisés doivent répondre à trois exigences majeures : être pertinents, être précis et être

discriminant, auxquelles s'ajoutent deux exigences mineures : être exhaustifs et indépendants (maximum d'information pour un minimum des mots pour éviter la redondance).

Exemple (1) :

Absence de précision : Il serait parfaitement vain de vouloir mesurer la couleur d'une eau minérale.

Exemple (2) :

Le goût sucré est descripteur simple car parfaitement défini, aussi étroit que possible, puisqu'on se réfère directement au goût du saccharose. Par contre, le terme « doux » est ambigu, car il possède deux significations distinctes : l'une évoque le goût sucré ; l'autre évoque la texture, la douceur au toucher.

1.1.3. Le profil sensoriel

L'ensemble des descripteurs quantifiés constitue l'instrument le plus complet et le plus achevé que l'on puisse proposer dans la pratique. Cet ensemble constitue par définition ce que l'on appelle un profil sensoriel.

1.2. L'intensité

Toute sensation perçue possède une qualité et une intensité. Une *sensation*, dès lors qu'elle apparaît à la conscience et devient *perception*, possède une intensité qui influence sa tonalité hédonique.

A partir de quelle intensité d'un stimulus, un sujet perçoit-il quelque chose ?

Très schématiquement, la courbe donnant l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus présente en 4 domaines (**Figure3**).

○ *Le domaine infraliminaire*, dans lequel la sensation est confuse, instable, noyée dans le bruit de fond de système sensoriel, sans que le sujet puisse dans des conditions expérimentales maîtrisées, l'extraire de ce bruit de fond ;

○ *Le domaine liminaire*, dans lequel, la sensation est perçue, de façon aléatoire, parfois nette, parfois confuse, son intensité étant toujours faible ;

○ *Le domaine supraliminaire*, dans lequel la sensation est nette, son intensité, variant de faible à fort quand la grandeur du stimulus augmente ;

○ *Le domaine de saturation* : la sensation ne varie pratiquement plus en intensité quand on augmente la grandeur de stimulus ; de plus ; très fréquemment, dans cette zone de variation, la sensation s'accompagne de gêne, voire de douleur, quelle que soit la modalité sensorielle impliquée.

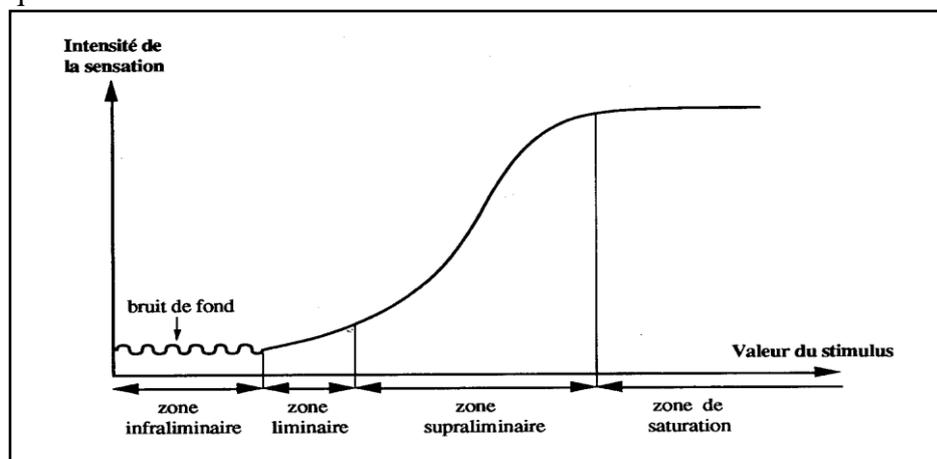


Figure 3. Courbe type donnant l'évolution de l'intensité de la sensation en fonction de la grandeur du stimulus.

1.2. Hédonisme

Le passé culturel et les expériences personnelles d'un sujet dictent dans une large mesure ses réactions hédoniques, plaisir ou aversion, il est donc logique qu'elles ne soient pas stables dans le temps et qu'elles soient variables d'un sujet à l'autre.

Bien que certaines réponses hédoniques puissent paraître innées chez l'homme, l'apprentissage peut les modifier.

Ainsi des stimuli initialement neutres ou même négatifs peuvent acquérir une valeur positive s'ils sont associés à des expériences agréables. On peut par exemple, surmonter une aversion innée pour des substances amères, pour s'intégrer dans le monde des adultes.

Inversement, des stimuli initialement neutres ou positifs peuvent acquérir une valeur négative s'ils sont associés à des expériences désagréables. C'est ainsi qu'un produit peut provoquer de l'aversion si l'on a été malade juste après l'avoir consommé, même s'il n'y a pas de véritable relation à cause à effet entre les deux événements.

La stabilité d'une réponse hédonique dépend de facteurs tels que l'âge d'acquisition d'une réponse et les circonstances dans lesquelles la réponse est acquise.

En effet les réponses hédoniques acquises dans la petite enfance semblent être très stables. Par exemple le goût de la première fois pour un aliment donné. De même, des formes de contrainte telles que l'ingestion forcée d'aliments non désirés ou des quantités excessives d'aliments en eux-mêmes agréables, conduisent à des aversions très stables.

Des facteurs tels que la familiarité avec l'aliment, la complexité de sa saveur, l'ennui ou l'irritation provoqués par une consommation prolongée, influencent souvent les réponses hédoniques.

La complexité du stimulus et son intensité jouent aussi un rôle important dans la détermination de la préférence.

La complexité perçue correspond à la sensation qu'une saveur est composée de nombreuses sous-saveurs différentes qui peuvent être perçues de façon soit simultanée, soit immédiatement successive.

Pour des épreuves d'évaluations, ne jamais utiliser de sujets entraînés pour aborder des aspects hédoniques.

2. Les systèmes sensoriels

L'organe des sens est défini comme un organe sensible aux stimulations en provenance de l'environnement, indispensable à la perception du milieu. Ce sont les yeux, les oreilles, la langue, le nez, la peau. De nombreux récepteurs sensoriels (structure localisée dans un organe des sens qui détecte les stimuli, chaque récepteur sensoriel est spécifique d'un stimulus) informent l'organisme de son état interne aussi bien que de ce qui se passe dans l'environnement.

Les systèmes sensoriels de l'être humain sont usuellement regroupés en 5 catégories :

2.1. La vision

C'est le système sensorielle qui entre en jeu le premier et qui sera l'origine d'une certaine attente vis-à-vis des produits alimentaires.

De ce fait, l'aspect du produit est le premier attribut que le juge ou le consommateur analyse. Il constitue le premier contact avec le produit.

L'étude de l'aspect fait bien évidemment appel à la vue. L'aspect englobe la couleur, la taille et la forme, ainsi la texture de surface et les propriétés géométriques.

La lumière de l'extérieure issue de l'objet est examinée et recueillie par l'œil qui la concentre sur la rétine. La rétine est recouverte de cellules en bâtonnets, sensibles à l'intensité

lumineuse, et de cônes, sensibles à la couleur. Les cônes contiennent trois types de pigments les rendant plus sensibles à trois zones de longueur d'ondes de la lumière (420 nm, 530 nm et 560 nm) et permettant ainsi de couvrir la gamme des longueurs d'onde du visible, d'environ 380 à 780 nm. L'arrivée des photons transforme le pigment sensible en générant un signal électrique qui est amplifié et concentré dans les fibres du nerf optique (**Figure 4**).

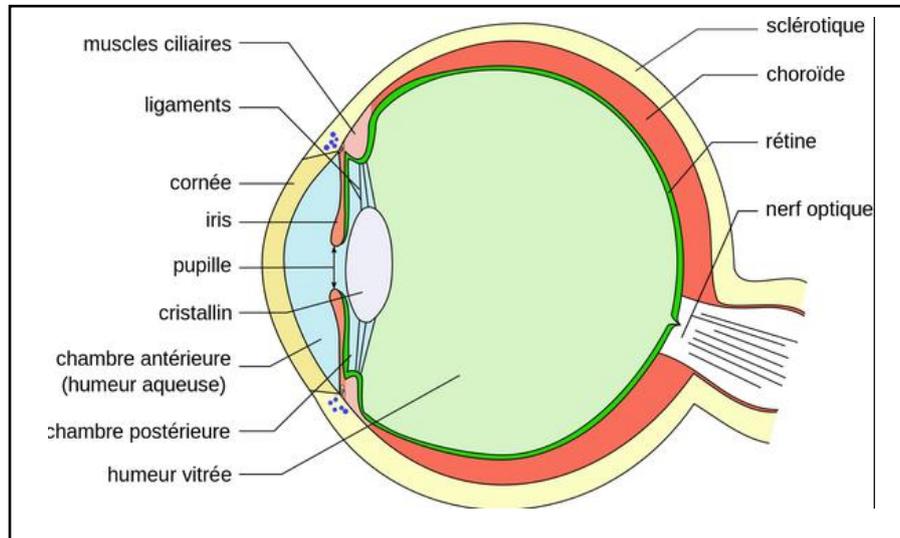


Figure 4. Coupe horizontale schématique de l'œil

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 pas d'un produit ;
- C'est le seul de nos cinq sens qui permet une comparaison simultanée d'échantillons (pour autant qu'il n'y en ait pas trop).

Corollaire de ceci, nous accordons parfois une trop grande confiance à la vue ou aux informations qu'elle nous apporte. Il y aura donc lieu de prendre des précautions lors de la présentation des échantillons à un sujet et de masquer ou d'atténuer d'éventuelles différences d'aspect, de forme, de couleur, si on ne désire pas que ces caractéristiques soient prises en compte.

Bien souvent, des références sont mises à la disposition des personnes chargées de l'appréciation visuelle de la couleur. Par exemple, une échelle constituée de biscuits à différents degrés de cuisson.

Cependant, l'évaluation de la couleur par l'œil humain est soumise à beaucoup de fluctuations, les facteurs pouvant influencer l'observation étant très nombreux.

Tout d'abord d'un observateur à un autre, la perception des couleurs n'est pas la même. Chacun n'a pas la même sensibilité visuelle ni la même façon d'interpréter ce qu'il voit.

Rappelons au passage que 4,25% de la population (8% des hommes et 0,25% des femmes) souffrent d'anomalies de la perception des couleurs, la plus connue étant le daltonisme.

La lumière incidente (l'éclairage) est un paramètre déterminant pour l'appréciation de la couleur. C'est ainsi qu'un article choisi au magasin sous la lumière artificielle peut sembler avoir une toute autre couleur à la lumière du jour.

Enfin, le mode d'observation de l'objet influence également la perception. Ainsi, un objet placé sur un fond clair paraît plus foncé que s'il est placé sur un fond sombre : c'est l'effet de contraste. Un objet de petite taille peut sembler de couleur moins foncée ou moins vive qu'un objet de la même couleur mais dont la surface est plus grande : c'est l'effet de la surface. Enfin, l'angle d'observation de l'objet joue également un rôle non négligeable : c'est l'effet directionnel (peinture métallique, tissus moirés par exemple).

2.2. L'odorat

De nos cinq sens, il est le premier à se développer dans le ventre maternel. Tout aussi important que la vue ou l'ouïe, le sens de l'odorat nous influence quotidiennement sans que nous en soyons toujours conscients. Pourtant, cet organe, 1 000 fois plus sensible que le goût, est de moins en moins sollicité par l'homme. Les molécules odorantes doivent être volatiles pour pouvoir atteindre l'épithélium olfactif mais elles doivent également être hydrosolubles pour pouvoir atteindre les récepteurs des cils qui baignent dans le mucus.

Après la pénétration dans les fosses nasales, les molécules odorantes se dispersent dans le mucus (fine couche de glaire recouvrant la muqueuse des fosses nasales), puis vont se fixer sur les récepteurs des cils (**Figure 5**). Cela déclenche une stimulation nerveuse puis un message qui sera transmis par l'intermédiaire des voies nerveuses olfactives jusqu'au cerveau, au niveau des lobes temporaux.

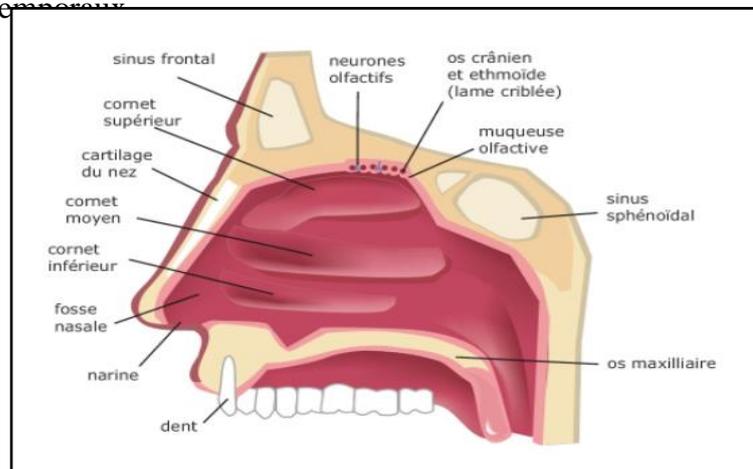


Figure 5. Anatomie du Nez

Les cellules réceptrices sont les cellules ciliées situées dans les fosses nasales. Ces cellules se renouvellent très rapidement (en 24 heures) et en permanence. Elles réagissent aux molécules dont le poids moléculaire est compris entre 30 et 300. Ces molécules sont d'une grande diversité :

- Composés minéraux : H_2S , NH_3 , SO_2 , acides minéraux.
- Composés organiques : aldéhydes, cétones, alcools, acides gras, acides organiques.

Ces molécules parviennent aux fosses nasales par deux voies : la voie directe et la voie rétronasale via la cavité buccale.

- Le terme arôme désigne la propriété organoleptique perceptible par l'organe olfactif par voie rétronasale lors de la dégustation.
- Le terme odeur désigne la propriété organoleptique perceptible par l'organe olfactif (par voie directe) en flairant certaines substances volatiles.

L'intensité de la sensation est fonction de la quantité de molécules qui parviennent aux cellules réceptrices. Durant une respiration normale, le flux d'air transportant les molécules stimulantes ne remplit pas l'entièreté des fosses nasales. La technique de flairage, augmente le flux d'air pénétrant dans les fosses nasales et le propulse dans toute la cavité augmentant ainsi à la fois la quantité de molécules et la surface d'échange.

Cette technique permet d'améliorer notablement la qualité de la perception. D'un point de vue pratique, elle consiste, comme son nom l'indique, à flairer, c'est-à-dire à prendre maximum trois inspirations brèves et rapides.

Les arômes naturels sont composés d'un certain nombre (parfois très important) de molécules. Chaque molécule étant responsable d'un certain pourcentage de l'arôme global, ainsi le parfum de la vanille est composée de plus de 300 molécules dont la vanilline qui participe pour 80 à 90 % à l'arôme total.

La diversité des molécules stimulantes et la complexité de leurs associations entraînera une multitude de sensations et de termes destinés à les décrire. Il n'est pas facile pour un sujet d'associer à une sensation unique le terme qui la décrit s'il n'a pas au préalable fait l'association entre le stimulus et le terme qui le désigne. Il est donc indispensable d'entraîner le sujet en lui permettant d'associer une molécule à un terme. C'est seulement après cette étape que l'on pourra procéder à des identifications en aveugle.

2.3. Le goût

Les saveurs (ou les goûts) sont perçues par l'organe gustatif (les papilles de la langue) lorsqu'il est stimulé par certaines substances solubles. Il s'agit des sensations salée, sucrée, acide et amère.

La saveur est définie comme étant la sensation perçue par l'organe gustatif lorsqu'il est stimulé par certaines substances solubles. Ces substances sont des molécules chimiques en solution dans la salive.

Les sensations trigéminales sont des sensations dues à la stimulation des terminaisons nerveuses de la muqueuse buccale par des agents chimiques. Ce sont par exemple le goût de métal, la sensation de fraîcheur, l'effet d'astringent, le piquant des plats épicés, etc.

La flaveur est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et trigéminales perçues lors de dégustation du produit (= saveurs + arôme + sensations trigéminales).

Les cellules réceptrices sont les bourgeons du goût situés sur la longueur et dans la cavité buccale. Elles ont une durée de vie moyenne de 7 à 10 jours.

Les stimuli sont de nature chimique, soit organiques (sucré, amer) soit ioniques (salé, acide).

Les quatre goûts de base peuvent être perçus en 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 6**).

Bien importantes que dans le cas de l'olfaction et de la somesthésie, il est ici aussi nécessaire de permettre au sujet que les sensations perçues et le vocabulaire pour les décrire soient comparativement moins d'associer terme et sensation avant d'exiger de lui une identification qualitative ou quantitative.

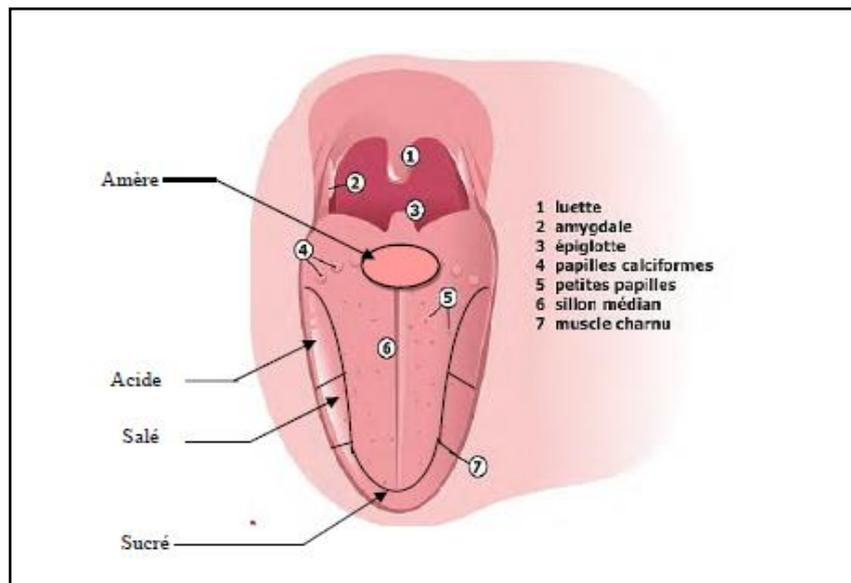


Figure 6. Zones gustatives de la langue

2.4. La somesthésie (le toucher)

La somesthésie désigne les sensations éveillées par des stimulations de nature mécanique, thermique ou chimique.

Le sens du toucher a de particulier qu'il n'est pas localisé dans un organe bien précis mais dispersé à travers tout le corps. De plus, la répartition des récepteurs est inégale, certaines zones étant plus innervées que d'autres. Il faut souligner la diversité des stimuli et donc des sensations couvertes par ce sens.

Les stimuli seront de nature mécanique, thermique ou chimique, chacun identifié par une ou plusieurs cellules réceptrices particulières. Ces cellules seront localisées sur la peau (**Figure 7**), les muqueuse, ou dans les muscles, les tendons, les ligaments.

Les informations perçues seront de nature très variées à savoir :

- 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).

Remarque : certaines caractéristiques de texture reconnues via le toucher peuvent également l'être via d'autres sens. Les caractéristiques de surface sont détectables à la vue et certaines caractéristiques mécaniques sont perceptibles à l'oreille (croquant, croustillant).

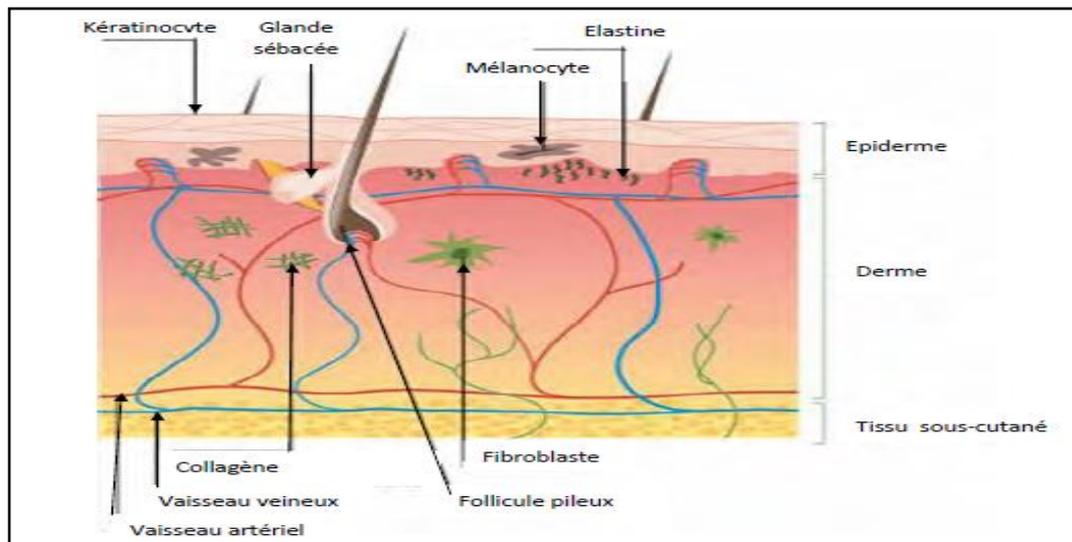


Figure 7. Coupe de la peau

Texture/Consistance/Viscosité : habituellement, la viscosité est évaluée pour les fluides homogènes newtoniennes consistances et/ou la viscoélasticité pour des fluides non newtoniens ou hétérogènes et les semi-solides (purée, confiture ...etc.) et la texture pour les solides ou les semi-solides. La mesure de ces paramètres fait essentiellement appel au sens du toucher, les propriétés mécaniques sont évaluées par les muscles (doigt, la langue, des joues..) qui mesurent la résistance des produits à la force qu'ils lui appliquent. Les propriétés géométriques et de surface (produit granuleux, sec, gras ...etc) sont quant à elles perçues par les récepteurs tactiles des mêmes organes. Il est à noter que la perception de la texture par les doigts est d'une grande importance, même dans le cas d'un produit alimentaire, ainsi, si un produit laisse les doigts gras, il sera perçu comme plus gras qu'un autre, même si ce n'est pas forcément le cas. Notons encore que l'ouïe joue également un rôle non négligeable dans l'appréciation de la texture. Elle intervient notamment dans la perception des croustillants. Les paramètres mécaniques les plus utilisés sont la dureté, la fracturabilité, la cohésion, l'adhésion, la densité et l'élasticité :

- **La dureté** est la force nécessaire pour obtenir une déformation ou une pénétration donnée ;
- **La fracturabilité** est la force nécessaire pour briser un produit ;
- **La cohésion** qualifie le point limite jusqu'auquel un produit peut être déformé avant de se rompre. C'est en quelque sorte la force qui relie les particules du produit les unes aux autres ;
- **L'adhérence** est la force nécessaire pour décoller le produit de l'intérieur de la paroi buccale. Elle mesure la façon dont le produit colle (aux dents, au palais...)
- **La densité** évalue la compaction du produit ;
- **L'élasticité** qualifie la façon dont le produit revient à son état initial quand la force de déformation cesse. Un produit est totalement élastique s'il revient vite à sa position de départ. Il ne l'est pas du tout si la déformation se maintient lorsque la contrainte cesse.

Il est également possible de quantifier l'effort à fournir pour mastiquer le produit. Les paramètres obtenus alors sont appelés :

- **Chewiness** : durée (ou nombre) de mastication (s) nécessaire (s) pour rendre le produit prêt à avaler ;
- **Gumminess** : énergie nécessaire pour mastiquer le produit et le rendre prêt à avaler.

Les paramètres géométriques sont liés à la perception des particules du produit, de leur taille et de leur forme. Les caractéristiques de surface regroupent la perception de l'eau

(sensation d'humidité) et des matières grasses (sensation de gras) dans le produit. Le **tableau 2** rend les principaux termes utilisés lors de l'évaluation de texture en analyse sensorielle. Chaque terme est mis en relation avec le paramètre mécanique ou géométrique auquel il est lié ainsi qu'avec un exemple de produit qui illustre la signification du paramètre.

Tableau 2. Principaux termes utilisés pour décrire la texture

Terme employé	Paramètre lié	Exemple
Paramètres mécaniques		
Mou	Dureté faible	Fromage blanc
Ferme	Dureté moyenne	Olive
Dur dureté élevée	Dureté élevée	Sucre, Carotte
Friable	Fracturabilité faible	Madeleine
Croquant	Fracturabilité moyenne	Pomme, carotte
Cassant	Fracturabilité élevée	Nougatine
Craquant	Fracturabilité élevée	Chips
Croustillant	Fracturabilité élevée	Croûte du pain
Collant	Adhérence faible	Guimauve
Adhérent	Adhérence moyenne	Caramel mou
Gluant, poisseux	Adhérence élevée	Riz trop cuit
Dense, compact, lourd	Densité élevée	Pâte d'amandes
Aéré, soufflé, léger	Densité faible	Meringue
Plastique	Elasticité absente	Margarine
Moelleux	Elasticité faible	Mie de pain
Malléable	Elasticité moyenne	Guimauve
Elasticité, caoutchouteux	Elasticité élevée	Calmar
Tendre	Chewiness faible	Petits poids
Masticable	Chewiness moyenne	Gomme
Coriace	Chewiness forte	Viande de bœuf dure
Sableux	Gumminess faible	Biscuit
Farineux	Gumminess moyenne	Pomme de terre
Pâteux	Gumminess moyenne	Crème de marrons
Gélatineux	Gumminess moyenne	Gélatine
Liquide, fluide	Gumminess élevée	Eau
Lié, sirupeux	Viscosité moyenne	Sirop
Crémeux, onctueux	Viscosité moyenne	Crème
Visqueux	Viscosité forte	Lait concentré, sucré, miel
Paramètres géométriques		
Lisse	Absence de particule	Fromage Blanc
Poudreux, Crayeux	Fine particule	Sucre glace
Granuleux, Sableux, grenu	Particules petites et dures	Poire, semoule
Grossier	Grandes particules	Gruau d'avoine
Fibreux	Particules allongés	Viande
Cellulaire	Particules arrondies	Orange
Cristallisé	Particules anguleuses	Sucre cristallisé
Paramètres de surface		
Sec	Humidité nulle	Biscuit sec
Humide	Humidité faible	Pomme
Mouillé	Humidité moyenne	Huitre
Juteux	Humidité élevée	Orange
Aqueux	Humidité élevée	Pastèque
Huileux	Gras ruisselant	Vinaigrette sur salade
Graisseux	Gras exsudant	Bacon, frite
Gras	Grande quantité de gras	Saindoux

2.5. L'audition

11% des informations reçues par le cerveau viennent des oreilles. Les oreilles sont les organes de l'audition et de l'équilibration. Elles sont situées de chaque côté du visage. L'audition c'est la perception des sons. Elle est assurée par l'oreille externe (**Figure 8**), moyenne et interne ainsi que par le système nerveux. Les cellules réceptrices sont les cellules de la cochlée située dans l'oreille interne. Le stimulus est une onde qui se propage dans l'air ou dans les os de la boîte crânienne. C'est ce dernier mode de transmission qui nous permet d'apprécier le «croquant» ou le «croustillant» de certains produits. Comparativement aux autres sens, l'audition est celui qui intervient le moins lors d'une dégustation. On aurait cependant tort de le négliger dans la mesure ou les stimuli auditifs peuvent servir de références hédoniques et déterminer l'acceptation ou le rejet d'un produit. Les vibrations sonores portées par l'air provoquent des palpitations du tympan. Les vibrations sont transmises à l'oreille interne par l'intermédiaire des osselets. C'est dans l'oreille interne que se trouve le système transducteur proprement dit est constitué par les cellules réceptrices ciliées de la cochlée qui transformera l'onde électrique. L'homme peut percevoir des stimuli sonores dont la fréquence est comprise entre 30 et 15000 Hz mais la gamme la plus sensible est de 500 à 4000 Hz. Les cellules réceptrices sont les cellules de la cochlée située dans l'oreille interne. Le stimulus est une onde qui se propage dans l'air ou dans les os de la boîte crânienne. C'est ce dernier mode de transmission qui nous permet d'apprécier le «croquant» ou le «croustillant» de certains produits. Comparativement aux autres sens, l'audition est celui qui intervient le moins lors d'une dégustation. On aurait cependant tort de le négliger dans la mesure ou les stimuli auditifs peuvent servir de références hédoniques et déterminer l'acceptation ou le rejet d'un produit.

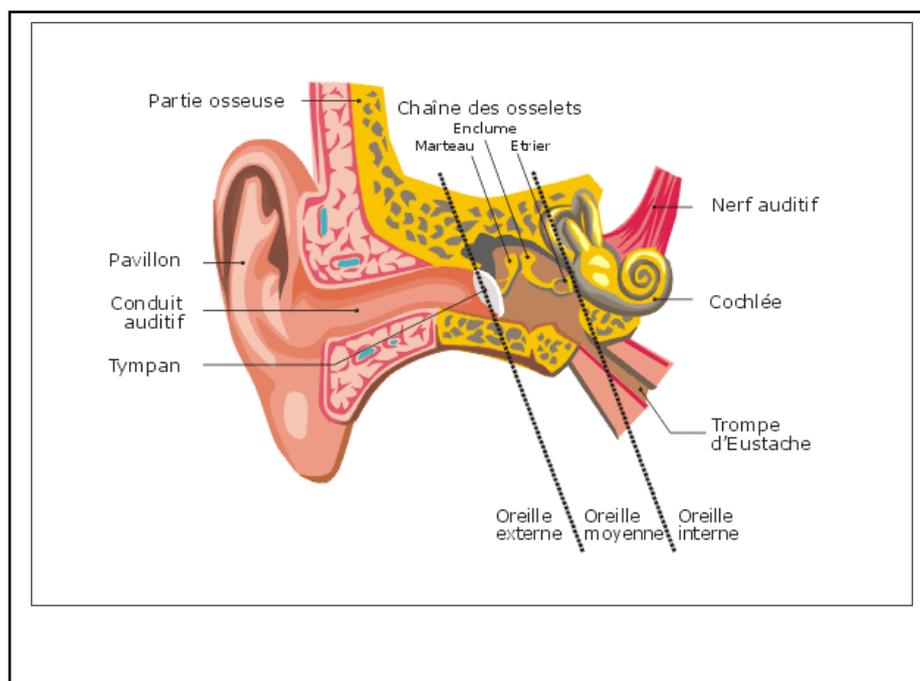


Figure 8. Anatomie de l'oreille humaine

Introduction

Les altérations organoleptiques sont celles perceptibles par nos sens, et concernent principalement : la Texture, le Goût, l'Odeur, l'Aspect et la Couleur.

Elles sont généralement associées aux produits à longue durée de vie qui s'altèrent avant de présenter un risque sanitaire : il s'agit donc des produits soumis à DLUO (Date Limite d'Utilisation Optimale) par opposition aux produits soumis à DLC (Date Limite de Conservation) pour lesquels le risque sanitaire prédomine.

Dans tous les cas, l'altération est susceptible de se produire à deux moments :

- Soit au cours du procédé de fabrication, c'est-à-dire directement sur le lieu de production.
- Soit au cours de la conservation du produit fini, c'est-à-dire dans les entrepôts, les magasins ou chez le consommateur.

Ce chapitre n'aborde que les altérations les plus importantes rencontrées lors de notre étude.

1. Les altérations de la couleur

L'altération de la couleur d'un aliment est ressentie en premier puisqu'elle concerne le visuel. On peut distinguer deux types d'altération :

- Les réactions de brunissement,
- Les réactions de décoloration : dégradations de pigments et blanchiment.

1.1. Brunissement

Les réactions de *Brunissement* ne sont pas forcément des réactions d'altération, elles peuvent parfois être recherchées.

Le brunissement (croûte dorée) que l'on observe dans les produits de cuisson céréaliers par exemple est souhaité. Cela constitue d'ailleurs un problème lors de la confection de pâtisseries sans sucre : en effet, le remplacement du saccharose par des polyols des génoises donne une croûte trop blanche.

A l'inverse, dans les fruits transformés, produits laitiers, des réactions de *Brunissement* sont indésirables, on parle alors d'altération.

On distingue 4 réactions principales de *Brunissement* : Brunissement Enzymatique et 3 qui sont de types chimiques.

1.1.1. Brunissement Enzymatique

1.1.1.1 La réaction : il s'agit d'une réaction d'oxydation catalysée par une enzyme : la polyphénol oxydase (PPO). Cette PPO est en fait un complexe enzymatique qui regroupe deux activités (figure 9).

- a) La première appelée crésolase permet de transformer les phénols qui ne sont pas des substrats de l'enzyme, en orthodiphénols toujours incolore mais qui sont les substrats de l'oxydation ;
- b) La seconde appelée catécholase correspond à l'activité oxydase à proprement parlé.

Ensuite, une série de réactions aboutit à la formation de *pigments brin* sans nécessiter d'action enzymatique : cyclisation, puis oxydation et enfin polymérisation en pigments (mélanine).

Un exemple plus fréquent de brunissement enzymatique sur des peaux de banane. Le brunissement enzymatique nécessite une exposition à l'oxygène, ce qui se produit par exemple quand une pomme est coupée ou même simplement blessée.

1.1.1.2 Les substrats

Les substrats phénoliques sont présents à l'état naturel dans de nombreux végétaux. Selon leur nature, la réactivité vis-à-vis de la PPO est plus ou moins forte et les colorations obtenues diffèrent. On trouve ainsi la tyrosine pour la pomme de terre, la dopamine pour la banane ou encore l'acide chlorogénique ($C_{16}H_{18}O_9$) dans les pommes, poires ou pomme de terre, mais également les flavonoïdes ou les tannins.

À l'inverse, certains fruits comme les agrumes ou les ananas ne contiennent pas de PPO et peu de substance phénoliques.

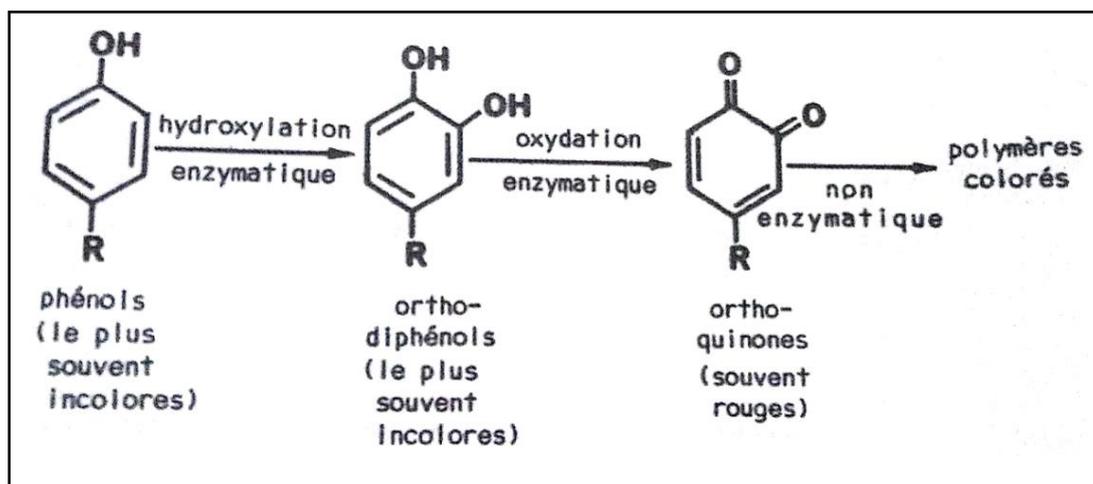


Figure 9. Réactions catalysée par la PPO

1.1.2. Brunissement non enzymatique

On distingue 3 types de réactions chimiques de brunissement : caramélisation, réaction de Maillard et oxydation de la vitamine C.

1.1.2.1. Caramélisation

On parle de caramélisation lorsque les sucres réagissent entre eux pour former des pigments bruns. Les réactions mises en jeu sont complexes et, selon les conditions, différents composés aromatiques vont être formés. On trouve ainsi des caramels colorants ou aromatiques mais si la réaction est mal maîtrisée, on obtient des arômes indésirables responsables d'amertume.

1.1.2.2. Réaction de Maillard

La réaction de Maillard débute par une simple condensation entre une fonction carboxylée libre ($-COOH$) et une fonction amine ($-NH_2$).

La fonction aminée est apportée par certains acides aminés des protéines comme la lysine dans le lait. La lysine, qui possède deux fonctions amino, est plus réactive que les autres acides aminés. Pour les autres, plus la fonction amine est éloignée de la fonction acide carboxylique et plus l'acide aminé est réactif. Les acides aminés les plus réactifs sont la lysine, le glycolle et la méthionine, les moins réactifs sont la cystéine, l'acide glutamique et l'asparagine.

La fonction carboxylée est la plupart du temps, apportée par les sucres à condition qu'il s'agisse de sucres réducteurs. Le saccharose, par exemple, ne peut donner lieu à des réactions de Maillard (sucre non réducteur). Par contre, s'il y a inversion en glucose et en fructose, donc en sucres réducteurs, la réaction est alors possible. De plus, selon leur nature, la réactivité des sucres réducteurs va être plus ou moins forte : pentoses > hexoses > disaccharides. Autrement dit, plus le sucre réducteur possède de carbone moins la réaction de Maillard est facilitée à la

suite de cette condensation, c'est tout un ensemble complexe de réactions qui conduit à la formation de pigment brun (réagencement d'amadori, dégradation de Strecker ...).

Comme la caramélisation, la réaction de Maillard s'accompagne de la formation des molécules aromatiques et, selon la nature de l'acide aminé, celles-ci seront différentes. C'est par exemple la réaction de la proline avec l'acide glutamique qui conduit à l'odeur caractéristique du pain frais. L'odeur caractéristique du chocolat, quant à elle, due à une réaction avec la valine. Néanmoins, il faut signaler que des réactions de Maillard peuvent se produire dans des produits exempts de sucre. En effet, dans les farines de poisson par exemple, il n'y a pas de sucres mais des lipides instaurés en quantité importante qui, par oxydation, peuvent conduire à la formation de fonctions carboxylées libres.

1.1.2.3. Oxydation de l'acide ascorbique

Cette réaction concerne la plupart des fruits transformés (jus concentré). Sous l'action de l'oxygène, l'acide ascorbique (ou vitamine C) va se dégager jusqu'à la formation de furfuraldéhyde à l'origine du brunissement. Il faut noter que cette réaction s'accompagne d'un dégagement de CO₂.

1.1.3. Facteurs affectant le brunissement

Le tableau 3 résume l'effet des principaux facteurs sur les différentes réactions de brunissement.

Tableau 3. Effet des principaux facteurs sur les différentes réactions de brunissement.

Réaction de Brunissement	Facteur			
	Sucre	O ₂	pH OPT	T °C
Enzymatique (PPO)	0	+	6-6,5	- **
Maillard	+ (doit être réducteur)	0	Alcalin *	+/-
Caramélisation	+ (indispensable)	0	Acide et alcalin	+
Oxydation Vitamine C	0	+	Acide	+

+ : effet positif ; - : effet négatif ; 0 : n'intervient pas dans la réaction. * : un pH acide favorise la réaction à basse température (< 20 °C) alors qu'à partir de 30 °C c'est pH alcalin qui favorise la réaction. ** La PPO est inactivée par la température. +/- : La réaction de Maillard se produit dans pratiquement tous les aliments et plus spécifiquement dans les aliments qui sont traités thermiquement.

1.2. Décoloration

1.2.1. Dégradation de pigments

À l'inverse des réactions de brunissement qui conduisent à la formation de pigments, de nombreux pigments existent déjà à l'état naturel et sont susceptibles de s'altérer au cours de la production ou de la conservation des aliments.

1.2.1.1. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles. Ils sont notamment responsables de la coloration jaune orangé du jaune d'œuf et du beurre pour les produits animaux, mais également de la carotte ou de l'abricot pour les produits végétaux. Le β-carotène est d'ailleurs autorisé comme colorant (E160) dans les boissons par exemple.

Les pigments caroténoïdes sont sensibles à l'oxydation ce qui conduit à une perte de la couleur jaune-orangée. C'est le cas, par exemple, de la mie de pain qui a subi un pétrissage intensif : le carotène est oxydé par la lipoxygénase et la mie est trop blanche.

1.2.1.2. Les anthocyanes

Les anthocyanes sont, elles, hydrosolubles. Ces pigments sont responsables de la couleur attirante de nombreux fruits rouges, ou légumes dont ils sont d'ailleurs extraits pour donner des colorants naturels (E163). Par contre, la teinte qu'ils donnent au produit varie selon le pH, allant du rouge au bleu.

1.2.1.3. La myoglobine

La myoglobine est une protéine riche en fer qui donne à la viande sa couleur. La couleur est utilisée par les consommateurs pour déterminer si la viande est fraîche et bonne à manger. Elle est un facteur déterminant le plus important dans la décision d'un consommateur pour acheter ou consommer de la viande.

La myoglobine est le fer contenant des protéines qui donne à la viande sa couleur et elle est une excellente source de fer alimentaire. La myoglobine stocke l'oxygène dans les cellules musculaires et est similaire à l'hémoglobine qui stocke l'oxygène dans les cellules sanguines.

Plus la viande contient de la myoglobine, plus l'apparence de la couleur rouge sera foncée. Le contenu en myoglobine est plus élevé dans la viande bovine et est inférieur dans la viande de volaille.

L'âge d'un animal a aussi un impact sur le contenu de la myoglobine des muscles alors que les animaux plus âgés ont plus de myoglobine et leur viande est plus sombre.

Les muscles qui sont utilisés pour le mouvement ont également plus de contenu en myoglobine que les muscles utilisés pour le soutien.

La myoglobine a trois couleurs naturelles en fonction de son exposition à l'oxygène et de l'état chimique du fer (figure 10).

- **La myoglobine (Mb^{++}) pourpre** : S'il n'y a pas de présence d'oxygène, la viande est rouge pourpre, comme dans la viande emballée sous vide, et est à l'état de désoxymyoglobine.

- **L'oxymyoglobine (MbO_2^{++}) rouge vif** qui dérive de l'oxygénation de la myoglobine. La viande est d'un rouge vif lorsqu'elle est exposée à l'air, ce qui est typique de la viande retrouvée dans les étalages au détail. La couleur rouge vif indique la présence d'oxymyoglobine.

La viande brune ou beige apparaît lorsqu'il y a seulement de très petites quantités d'oxygène présentes, par exemple lorsque deux pièces de viande rouge vif sont empilées les unes sur les autres en créant une exclusion de l'oxygène.

- **La metmyoglobine ($MetMb^{+++}$) brune** qui dérive de l'oxydation de la myoglobine (la valence du Fer passe de II à III) : La viande peut également apparaître brune quand la vie de la couleur de la viande est épuisée, tard dans les étalages de viande au détail, le fer dans le pigment ayant été oxydé. La metmyoglobine est l'état le fer de la myoglobine a oxydé, et la couleur est alors beige ou brune.

En salaison, le nitrite se fixe sur la myoglobine avec oxydation de fer qui passe de valence II à III. Le composé formé appelé nitrometmyoglobine $MbFe(III)NO$ est gris, celui-ci se traduit ensuite en nitrosomyoglobine rosé (nitroso Mb^{++}).

Sous l'action de la chaleur la myoglobine se dénature pour donner :

- La couleur brune des viandes cuites
- ou rose en présence de nitrites ou en l'absence d'oxygène

Le développement de bactéries peut conduire à la formation de :

- H_2S qui va réagir avec les dérivés de la myoglobine pour former des sulfomyoglobines
- H_2O_2 qui va réagir avec la myoglobine pour former de la cholemyoglobine

Ces deux produits conduisent au verdissement mais ne peuvent se former qu'en présence d'oxygène (même à des taux très faibles, surtout en présence de lumière qui est très puissant catalyseur de cette réaction).

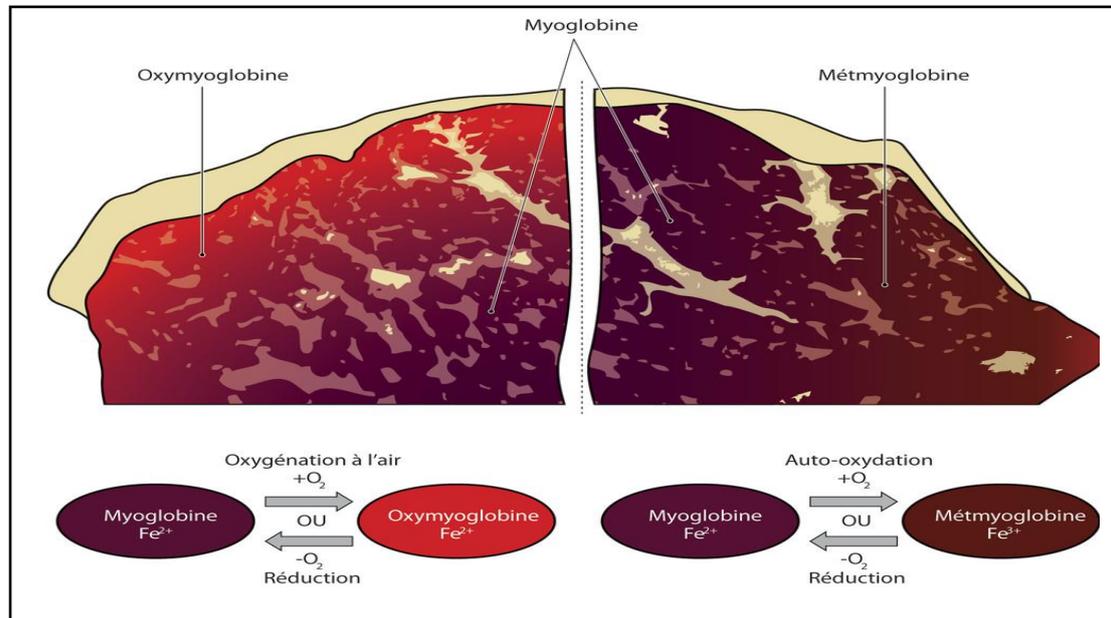


Figure 10. Les trois couleurs naturelles de la viande

1.2.2. Condition de décoloration de pigments

Pour tous les pigments, les facteurs de décoloration sont les suivants :

- L'activité de l'eau (a_w) : des bonbons plus humides se décolorent plus vite
- La lumière
- Le pH
- L'oxygène

Néanmoins, la sensibilité des colorants à ces facteurs diffère selon leur nature chimique (Tableau 4).

Tableau 4. Comparaison de la sensibilité de 2 pigments à différents facteurs de décoloration

Pigment	Facteurs			
	pH	Température	Lumière	O ₂
Anthocyanes	-	-	+/-	+
Caroténoïdes	+	+/-	+/-	-

1.2.3. Blanchiment du chocolat

Le chocolat peut subir deux types de blanchiment, soit sucré, soit gras.

Le blanchiment sucré est dû à une solubilisation suivie d'une recristallisation du sucre.

Ainsi, si le chocolat est conservé dans une ambiance humide, il va s'humidifier en surface, ce problème pouvant parfois aller jusqu'à la formation de condensation. Le sucre ayant une grande affinité pour l'eau, il se dissout en partie dans cette phase aqueuse de surface. Lorsque le chocolat se retrouve en conditions plus sèches, l'eau s'évapore et le sucre recristallise, donnant un aspect blanc et parfois un peu rugueux au chocolat.

Le blanchiment gras est dû à une recristallisation de la matière grasse.

En effet, le beurre de cacao est matière grasse polymorphe qui contient quatre formes de cristaux ayant chacun des chaleurs latentes et des points de fusions différents (Tableau 5).

les formes γ , α et β' sont thermodynamiquement instables par rapport à la forme β . Le tempérage a pour but d'obtenir un maximum de cristaux β de façon à obtenir une cristallisation stable. En effet, si la cristallisation se fait sous forme γ , α ou β' , celle-ci est instable puisqu'elle tend à évoluer vers une cristallisation β . Cette dernière forme de cristallisation a une maille plus serrée que les autres et une partie de la graisse est donc chassée hors du réseau cristallin vers la surface du chocolat, ce qui donne un aspect mat et blanc. Si le chocolat est mal tempéré, il fond dans la main, manque de brillant et blanchit.

Tableau 5. Caractéristiques des 4 principales formes de cristaux de beurre de cacao.

Forme	Point de Fusion (°C)
γ	17,3
α	23,3
β'	25,5/27,3
β	33,8/36,3

2. Autres altérations liées à l'aspect

2.1. L'emballage

Les altérations de l'aspect du produit concernent les modifications visuelles (autres que la couleur traitée précédemment). Il s'agit donc essentiellement de développement de moisissures et de modifications de l'emballage : soit celui-ci est gonflé alors que le consommateur attend un emballage rétracté (exemple : le café moulu sous vide), soit, au contraire, l'emballage est trop rétracté et écrasé le produit (exemple : produits de panification précuits).

Deux causes peuvent être à l'origine de ces défauts :

- Un problème de soudure de l'emballage,
- Une modification de la composition de l'espace de tête (c'est-à-dire du gaz entre le produit et l'emballage) :
 - ❖ Par perte de gaz dans le produit ou à travers l'emballage,
 - ❖ À l'inverse par production de gaz (CO_2) par des micro-organismes tels que des levures ou la flore lactique hétérofermentaire.

2.2. Les moisissures

2.2.1. Effet organoleptiques et sanitaires

Les conséquences d'un développement de moisissure sont avant tout organoleptiques avec une altération visuelle du produit, mais également avec des altérations de goût et/ou d'odeur. En effet, les moisissures sont dotées d'un équipement enzymatique très efficace : les flores lipolytiques capables d'altérer les matières grasses en sont un exemple.

Au niveau sanitaire, certaines moisissures peuvent générer des réactions allergiques parfois graves par inhalation (*Aspergillus*) ou par ingestion.

De plus, un certain nombre de souche de moisissures sont capables de produire des mycotoxines. L'accumulation des mycotoxines dans l'organisme peut avoir des effets cancérigènes.

Par ailleurs, les moisissures (toujours grâce à leur équipement enzymatique) sont capables d'adapter leur environnement, par exemple en augmentant localement le pH de l'aliment. En conséquence les bactéries peuvent alors se développer sur des aliments qui, habituellement, ne permettent pas leur croissance.

2.2.2. Sources de contamination

2.2.2.1. Les matières premières

La contamination par les matières premières est fréquente et très variable selon la nature de celles-ci.

2.2.2.2. L'environnement

Les possibilités de contamination par l'environnement (air ambiant, surface...) sont extrêmement nombreuses : les emballages et suremballages de matières premières par exemple comme le bois des palettes, les cartons ou le textile (sacs de jute) constituent bien souvent des « nids » de contamination.

L'air ambiant est caractérisé par une humidité relative (HR). Lorsque celle-ci est élevée (HR>80%), les moisissures vont pouvoir se développer et ceci d'autant plus que les fluctuations de température seront importantes (risque de condensation) ; c'est pourquoi certains ateliers peuvent être contaminés de façon visible par les moisissures.

2.2.3. Dissémination

La dissémination des moisissures se fait à l'aide de spores. Lorsqu'une spore se dépose sur un substrat favorable, elle germe et produit un ensemble de filaments appelé mycélium.

2.2.4. Facteurs influençant le développement des moisissures

2.2.4.1. La température

Si les moisissures ne sont pas détruites au cours du procédé de fabrication, elles vont par la suite être capables de se développer en fonction notamment de la température de conservation.

La température de croissance optimale des moisissures se situe en générale entre 15 et 30 °C. Certains souches se développent à des températures nettement plus basses et peuvent coloniser des chambres froides. D'autres résistent à des températures plus élevées surtout en chaleur sèche, et peuvent donc se retrouver dans des milieux tels que des tunnels de séchage.

2.2.4.2. Le pH

Contrairement aux autres micro-organismes, les moisissures sont extrêmement tolérantes au pH puisqu'elles sont susceptibles de se développer dans une gamme de pH allant de 2 à 9 (avec un optimum de 4 à 6,5)

2.2.4.3. Le taux d'oxygène

La plupart des moisissures sont aérobies strictes, c'est-à-dire qu'elles ont besoin d'oxygène pour se développer. Les moisissures vont donc croître préférentiellement en surface des aliments.

Néanmoins, certaines souches micro aérophiles : elles sont capables de se développer même à de très faibles taux d'oxygène résiduel. De telle souche sont donc aptes à se développer dans la masse (autour des fruits dans une pâtisserie par exemple). Certaines peuvent même supporter une anaérobiose très stricte.

2.2.4.4. L'activité de l'eau

Plus encore que l'humidité (c'est-à-dire la teneur en eau), c'est l'activité de l'eau (ou a_w) qui détermine le développement des moisissures.

En effet, certains aliments peuvent contenir plus d'eau que d'autres, mais être moins sensibles au développement de micro-organismes du fait d'une a_w plus grande ($\sim 0,85$) que les fruits confits (20-25% d'eau pour une a_w de $\sim 0,63$).

L' a_w est paramètre variant de 0 à 1 qui représente la disponibilité de l'eau. Plus l' a_w est basse, moins il y a de l'eau disponible, notamment pour le développement des micro-organismes. Alors que sous une a_w de 0,91, les risques liés à la croissance des bactéries, notamment pathogènes, sont très nettement réduites, la plupart des moisissures sont encore capables de se développer à une a_w de 0,80.

L' a_w évolue au cours du temps pour tendre vers l'équilibre. Au cours de la mise à l'équilibre, des transferts d'eau ont lieu, aussi bien lors de la fabrication que pendant le stockage. Ces transferts d'eau peuvent avoir lieu au sein du produit ou entre le produit et l'air ambiant.

Pendant la fabrication, les transferts d'eau ont lieu essentiellement entre les différents ingrédients. Ainsi, lors de la préparation d'une pâte, les ingrédients humides hydratent la farine. Cependant, des transferts entre le produit et l'air ambiant peuvent également être observés.

Lors du séchage des saucissons, par exemple, l'humidité relative de l'air est inférieure à l' a_w du saucisson et le transfert d'eau a lieu de la surface du saucisson vers l'air.

De même en pâtisserie, une partie de l'eau contenue au départ dans la pâte s'évapore pendant la cuisson, mais aussi lors du refroidissement. Une fois refroidis, les produits sont alors susceptibles de reprendre de l'eau de l'air ambiant si celle-ci est suffisamment humide et ainsi créer des conditions favorables au développement des moisissures. Il est donc important d'emballer les produits avant cette reprise d'humidité.

3. Les altérations de texture

La texture des aliments repose sur la réparation des différents constituants entre eux et leurs interactions. L'eau joue bien sûr un rôle majeur sur les propriétés sensorielles des aliments, via l'hydratation des différents constituants.

De même, la présence de solutés comme les acides sels, etc. va agir sur la structure des constituants majoritaires : protéines, glucides et lipides en modifiant leur hydratation et/ou leur solubilité.

3.1 Les protéines

Les protéines jouent un rôle fondamental dans la texture des produits alimentaires grâce à leurs propriétés technico-fonctionnelles : solubilité, pouvoir de rétention de l'eau, propriétés interfaciales (pouvoir émulsifiant et foisonnant), interactions protéine-protéines (coagulation, agrégation)

Dans les produits de viande, les caractéristiques technologiques comme les rendements de cuisson, et organoleptique comme la jutosité, sont influencées par les propriétés de rétention d'eau des protéines.

Le blanc d'œuf est bien entendu un parfait exemple de pouvoir moussant des protéines utilisées en biscuiterie pour la confection de meringues ou encore de la génoises. Dans ces produits, les globulines du blanc d'œuf apporteraient le pouvoir moussant à proprement parler et l'ovomucine dénaturée permettrait de stabiliser la mousse.

Le jaune d'œuf est utilisé pour émulsionner les aliments. En effet, les lipoprotéines qu'il contient ont un bon pouvoir émulsifiant. D'autres protéines végétales ou animales ont des telles fonctionnalités : les protéines de soja par exemple.

Le procédé de fabrication du fromage exploite les propriétés de coagulation des caséines par la présure ou par acidification.

Lors du pétrissage des pâtes, les protéines du gluten forment un réseau élastique. Celui-ci permet la rétention des gaz et donc la levée des pâtes lors de la fermentation. Lors de la cuisson, ce réseau se dénature et se fige, permettant la formation des alvéoles de la mie.

Les propriétés fonctionnelles des protéines dépendent des conditions du milieu et notamment :

- du traitement thermique : ainsi, les protéines de gluten se dénaturent et coagulent à partir de 70 °C, elles perdent alors leur affinité pour l'eau au profit de l'amidon. L'ensemble de ces phénomènes participe à la texture des produits de cuisson céréaliers ;
- de la force ionique et du pH : lorsque le milieu s'acidifie les viandes perdent leur solubilité et leurs propriétés de rétention d'eau.

3.2. Les glucides

Il faut distinguer d'une part les « petits sucres » (di et mono saccharides) qui vont surtout agir par leur affinité avec l'eau, et d'autre part les polymères comme l'amidon.

3.2.1. L'amidon

Lorsque les amidons sont chauffés en présence de l'eau, ils vont être capables de développer une viscosité dans le milieu. Ce pouvoir épaississant est utilisé dans de nombreux produits alimentaires.

On distingue ainsi 4 phases :

1. Tout d'abord lorsque l'amidon est agitée dans l'eau à froid, il forme une suspension, c'est-à-dire qu'il est insoluble et, dès que l'on arrête l'agitation, il se dépose.
2. par contre lorsqu'on chauffe cette suspension d'amidon et que l'on atteint une température dite de gélatinisation, l'eau pénètre dans les grains d'amidon et ceux-ci gonflent, ce qui se traduit par une augmentation de la viscosité. On obtient ainsi un empois d'amidon plus ou moins translucide.
3. en continuant à chauffer l'empois d'amidon, on atteint un pic de viscosité puis celle-ci diminue. Cette diminution s'explique par la perte de la structure granulaire ; les macromolécules (essentiellement l'amylose) sortent du grain pour se solubiliser à l'extérieur de ce dernier. Si l'on continue le chauffage, on aboutit à une dispersion complète de toutes les macromolécules du grain.
4. Par la suite, lorsque l'on refroidit la solution, on observe une reprise de la viscosité. Ceci est due à une réassociation macromolécules (essentiellement l'amylose) qui forment un gel. Ce gel a tendance à être de plus en plus ferme et à expulser l'eau qui se trouve entre les chaînes de macromolécules : c'est la rétrogradation. On assiste alors à un relargage d'eau qui est appelé synérèse. Contrairement à l'épaississement observé au chauffage, la rétrogradation est complètement indésirable.

Ces propriétés de solubilisation, gélification et rétrogradation jouent un rôle prépondérant dans la texture des produits de boulangerie. Dans la pâte, l'amidon se trouve en présence de l'eau. Lors de la cuisson, l'amidon se solubilise et gélatinise. Lors du refroidissement, une partie de l'amidon (l'amylose) entame sa rétrogradation, ce qui confère à la mie sa fermeté. Par après, au cours du stockage, le reste de l'amidon (l'amylopectine) poursuit la rétrogradation. Celle-ci n'est pas recherchée puisqu'elle provoque le rassissement du pain. Le rassissement des produits de boulangerie n'est donc pas dû à un dessèchement mais à une recristallisation de l'amidon (Figure 11).

Il est possible de retarder la rétrogradation de l'amidon, par exemple par l'emploi d'émulsifiants (mono et di glycérides d'acides gras) qui complexent l'amidon.

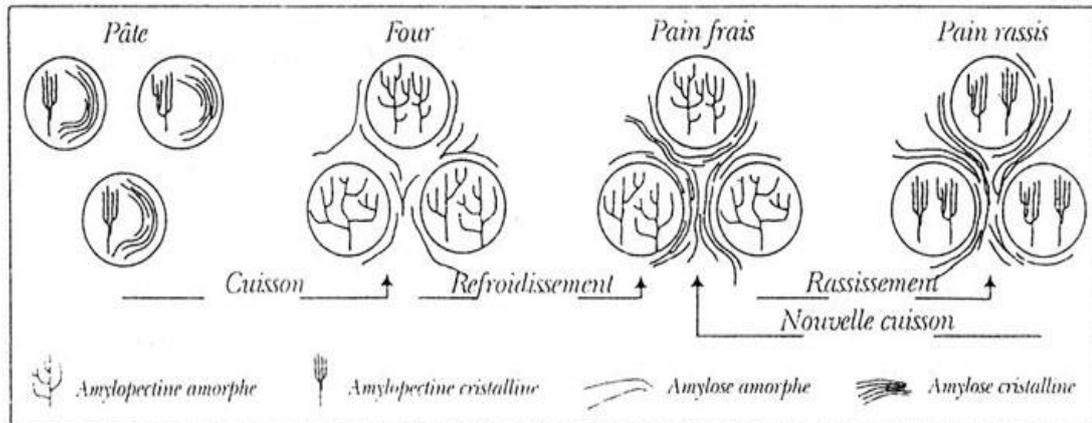


Figure 11. Comportement de l'amidon lors de la cuisson des produits de boulangerie

3.2.2. Rôle des mono- et disaccharides dans la texture des confiseries

La transformation du sucre dans différentes conditions permet d'obtenir des structures très variées utilisées en confiseries, comme le montre la figure 12.

Ainsi, l'incorporation d'air va permettre un foisonnement, et donc un blanchiment de la masse comme dans les nougats par exemple.

L'ajout d'agent texturants comme la gélatine permet l'obtention d'articles gélifiés. La pénétration du sucre par osmose est utilisée pour l'obtention des fruits confits ou des pâtes de fruits.

La cristallisation est utilisée en dragéification ou dans les fondants si elle est partielle. Par contre elle est partielle. Par contre, elle n'est pas toujours recherchée : dans certains articles comme les pâtes de fruits ou les nappages, la présence de cristaux sous la dent n'est pas agréable. Or, ce phénomène est lié à la concentration en sucre : au plus celle-ci est élevée, au plus les molécules de sucre vont réagir entre elles plutôt qu'avec l'eau.

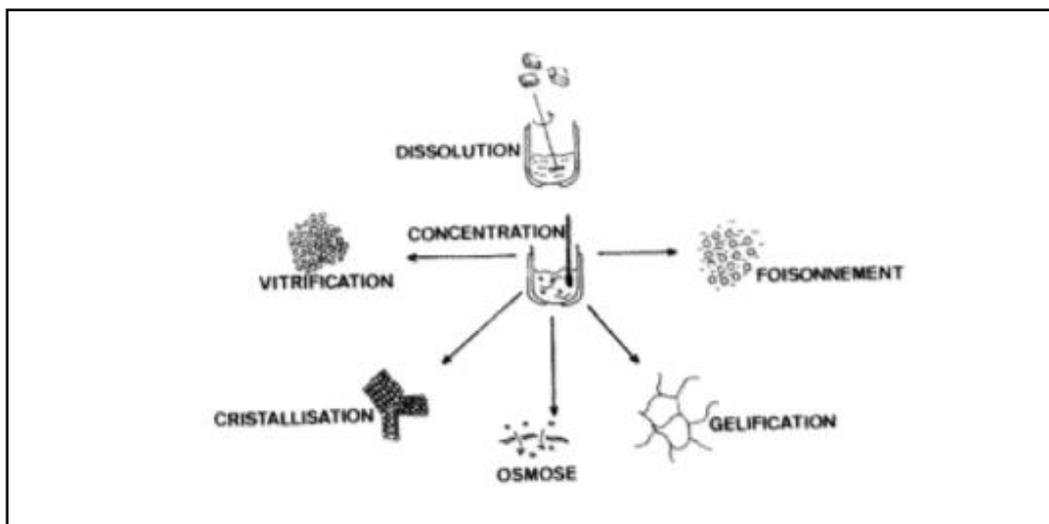


Figure 12. Principales opérations technologiques de la confiserie

Dans les produits confiseries et autres produits riches en sucres, la cristallisation (appelée grainage) dépend bien sûr de la teneur en eau, mais aussi de la composition de la phase glucidique ; ainsi, l'ajout de sirop de glucose ou de sucre inverti permet de repousser les limites de saturation de chaque sucre. Par exemple, la limite de solubilité du saccharose seul à 20 °C se situe à 67,1%, mais peut augmenter jusqu'à 76% en mélange avec le sucre inverti.

3.2.3. Les lipides

Le comportement d'un corps gras en fonction de la température dépend notamment de son profil en acides gras : plus les acides gras sont insaturés et/ou à chaîne courte, plus leur point de fusion est bas. La position des acides gras sur le glycérol ainsi que la (les) forme(s) polymorphe(s) en présence influencent également ce comportement.

3.2.4. Les transferts d'eau

Les transferts d'eau sont à l'origine de nombreuses altérations observées dans les produits notamment composites au cours de leur conservation. On peut ainsi citer le ramollissement de la croûte du pain par l'eau qui migre de la mie vers l'extérieur, le ramollissement des biscuits par reprise d'humidité.

En fait, ces transferts d'eau sont régis par une tendance à l'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire que les transferts d'eau vont tendre à équilibrer les activités d'eau (a_w).

Ces transferts peuvent prendre place entre le produit et l'atmosphère ou entre différentes phases du produit, en cours de fabrication ou pendant le stockage, les transferts d'eau pouvant prendre place dans les produits composites (Figure 13).

Ces transferts étant dus à un déséquilibre des a_w , Cela passe notamment par une étude de la formulation et la maîtrise de l'environnement (humidité relative ...) et les opérations telles que la cuisson, le séchage ...etc.

Il est également possible de limiter les transferts, notamment par le choix de l'emballage. Au sein du produit, il est possible d'appliquer des barrières : on peut aussi appliquer une fine couche imperméable (matière grasse par exemple) entre la pâte et un fourrage aqueux.

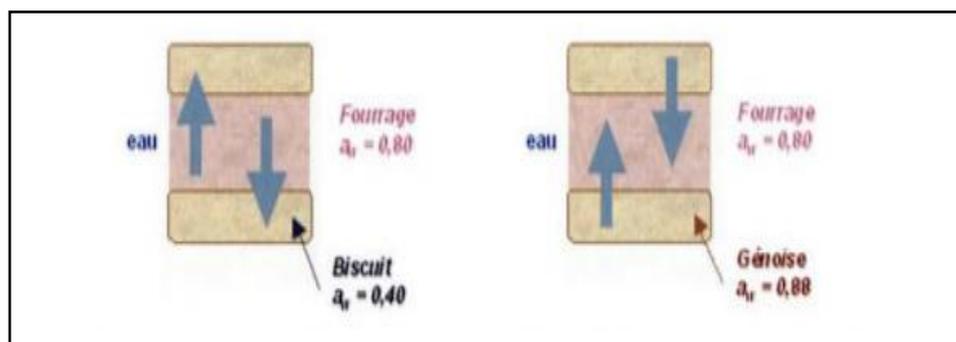


Figure 13. Exemples de transferts d'eau entre différentes phases d'un aliment composite en fonction de l' a_w

4. Les altérations de goût et d'odeur

4.1. Altérations des matières grasses

Les matières grasses sont susceptibles de s'altérer lors de la conservation. Deux type de réaction peuvent conduire à l'altération des matières grasses : l'hydrolyse et l'oxydation, ces deux réaction pouvant avoir une origine chimique ou enzymatique.

4.1.1. L'hydrolyse

L'hydrolyse peut être chimique (en condition alcalines on parle de saponification) ou enzymatique. Elle conduit dans tous les cas à la décomposition partielle des triglycérides en leurs éléments constitutifs, c'est-à-dire à la libération d'acides gras libres.

4.1.1.1. La saponification

La saponification entraîne la formation de goût de savon. Pour avoir lieu, la saponification nécessite des conditions alcalines, ce qui est rarement dans les produits alimentaires, accompagnées d'une élévation de température. Néanmoins dans le secteur de la biscuiterie et de pâtisserie, l'utilisation de la poudre à lever (agents alcalins) peut entraîner de tels problèmes.

À noter qu'avec des graisses très riches en acides laurique comme le coprah ou le palmiste, la présence d'eau conduit automatiquement à la formation de goût de savon.

4.1.1.2. L'hydrolyse enzymatique (ou lipolyse)

L'hydrolyse enzymatique peut se faire à une température ambiante. Elle a lieu sous l'action d'une enzyme, la lipase. La lipase responsable de l'altération du produit peut être présente naturellement dans celui-ci (la farine par exemple contient des lipases). Il existe également des micro-organismes dits lipolytiques (moisissures, levures ou bactéries) capables de produire des lipases et donc d'altérer les matières grasses ou les produits en contenant. L'efficacité de la lipase (figure 14) varie en fonction du micro-organisme qui l'a produit selon l'ordre décroissant suivant : moisissures > levures > bactéries.

Les acides gras à chaînes courtes sont responsables de goût et d'odeurs piquantes. Par exemple l'acide butyrique donne des goûts de parmesan (fromage italien) et l'acide caprique des goûts de fromage bleu.

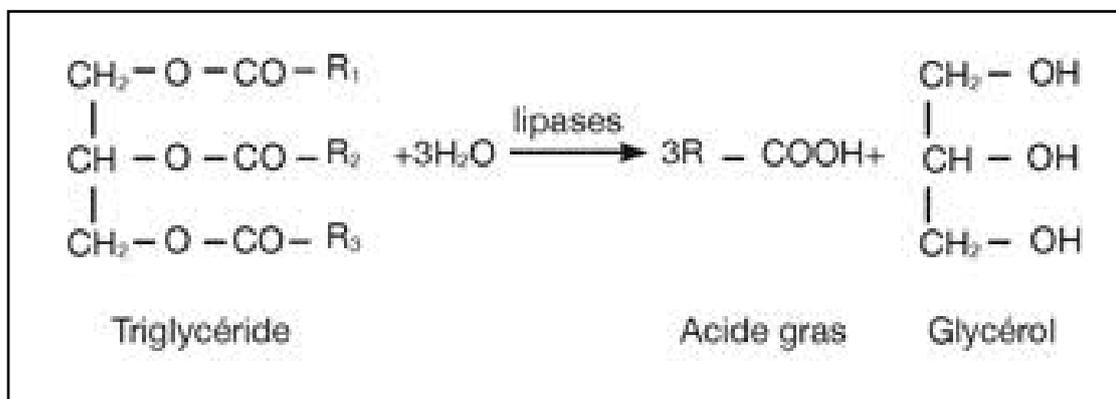


Figure 14. La réaction de l'hydrolyse enzymatique des glycérides

4.1.2. L'oxydation

Les réactions de l'oxydation de la matière grasse peuvent être quatre types :

- **Auto-oxydation** : la réaction démarre par la formation des radicaux libres à partir des acides gras (action de la chaleur, de la lumière, de catalyseurs) ; elle mène à la formation de cétones, d'aldéhydesetc.
- **Photo-oxydation** : l'oxydation est activée par la lumière et régit avec des acides gras insaturés (addition sur les doubles liaisons) pour former des hydro-peroxydes sans passer par la formation de radicaux.
- **Oxydation enzymatique** : l'oxydation est limitée par une enzyme (lipogénèse, cyclooxygénase).

- **Thermo-oxydation** : la thermo-oxydation prend place à haute température (huile de friture par exemple). Diverses réactions secondaires interviennent : isomérisation ; polymérisations ; cyclisations ; hydrolyse.... etc.

Les réactions d'oxydation des lipides donnent naissance à de nombreux composés parmi lesquels des molécules volatiles responsables des odeurs indésirables. Des odeurs et saveurs désagréables peuvent même apparaître dans des produits alimentaires qui contiennent de très faibles quantités de lipide : de tel goût ont été trouvés dans des aliments ne contenant pas plus de 0,5% de lipides. En effet, certaines de ces molécules, telles que l'hexanal, sont perçues à des concentrations très faibles de l'ordre du microgramme par litre.

4.1.2.1. La réaction d'auto-oxydation : l'auto-oxydation des lipides se déroule en trois phases (figure 15) :

- **Initiation** : transformation des acides gras insaturés en radicaux libres sous l'action de la chaleur, de la lumière, de métaux, etc.
- **Propagation** : les radicaux libres réagissent avec l'oxygène pour donner des radicaux peroxy ; ces radicaux peroxy réagissent avec les acides gras ce qui forme des hydro peroxydes et de nouveaux radicaux libres (réactions de chaînes).
- **Terminaison** : les radicaux s'associent pour donner des composés très divers menant à des saveurs parasites.

L'oxydation des corps gras est influencée par différents facteurs : les acides gras, l'oxygène, la température, la disponibilité en eau, les catalyseurs et les inhibiteurs.

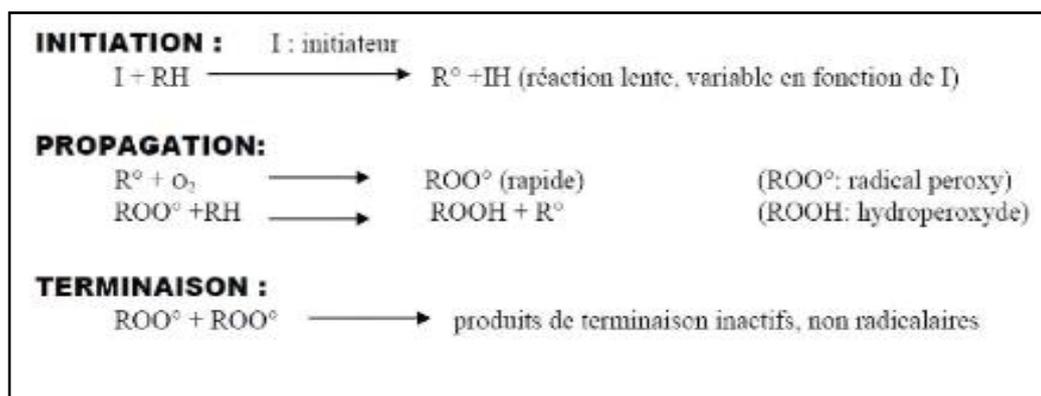


Figure 15. La réaction d'auto-oxydation des lipides ou mécanismes de la peroxydation lipidique

4.1.2.2. Les acides gras

Les acides gras sont d'autant plus susceptibles de s'oxyder que leur niveau d'insaturation augmente. Leur sensibilité est également plus grande à l'état libre que lorsqu'ils font partie de molécules de triacylglycérols (triglycérides) ou phospholipide. Leur distribution dans le produit influence aussi grandement leur susceptibilité à l'oxydation. Ainsi dans le beurre, qui est une émulsion (gouttelettes d'eau dans une phase matière grasse), les lipides sont facilement oxydés du fait de la présence de l'eau libre. De ce fait, le beurre concentré qui ne contient presque pas d'eau est beaucoup plus résistant à l'oxydation.

4.1.2.3. L'oxygène

La présence des composés oxydants est nécessaire pour que l'oxydation ait lieu. L'oxydant le plus rencontré est l'oxygène puisque il est naturellement présent dans l'atmosphère.

4.1.2.4. La température

L'augmentation de la température accélère les phénomènes d'oxydation particulièrement au cours des opérations de battage de la matière grasse, mais l'oxydation est susceptible de se produire même au cours du stockage en froid négatif. En effet, il faut descendre jusqu'à -35°C pour ralentir la cinétique d'oxydation.

4.1.2.5. La disponibilité en eau

L'eau influence l'oxydation des lipides de différentes manières : d'autre part elle réduit la réactivité des peroxydes et des métaux limitant ainsi les phénomènes d'oxydation et d'autre part, elle augmente l'effet protecteur par certains antioxydants (tocophérols). De 0 à 0,2 et au-delà de 0,6, une augmentation de l' a_w ralentit l'oxydation des lipides. Au contraire, entre 0,2 et 0,6, une augmentation de l' a_w accélère les réactions de l'oxydation.

4.1.2.6. Les catalyseurs

- **Les métaux** : le fer et le cuivre notamment sont des agents pro-oxydants très efficaces. il est donc indispensable de s'assurer auprès de son fournisseur que les matières grasses utilisées en contiennent le moins possible et que le matériel est exempt de traces de métaux.
- **Les détergents** : les détergents sont également de puissants oxydants, il est nécessaire de respecter les procédures de nettoyage et notamment de rincer à l'eau chaude pour en éliminer toutes traces résiduelles.
- **La lumière** : les rayons ultra-violets accélèrent fortement l'oxydation des lipides (photo-oxydation). Les emballages opaques aux UV constituent un moyen de lutte efficace.
- **le recyclage** : le recyclage de produit est également une cause de rancissement prématuré.
- **Les enzymes** : les lipogénases sont des enzymes qui catalysent la formation de peroxydes à partir de certains acides gras polyinsaturés.

4.1.2.7. Les inhibiteurs

Les antioxydants : sont toutes les substances qui ralentissent le phénomène d'oxydation. Certains antioxydants peuvent être naturellement présents dans les produits alimentaires. Les principaux sont les polyphénols voir (1.1.1.2).

L'acide citrique et certaines protéines sont capables d'inhiber et empêcher les réactions d'oxydation.

4.2. Modification du profil aromatique

Beaucoup de molécules aromatiques sont volatiles et donc susceptibles de disparaître au cours du procédé de fabrication, surtout lorsque celui-ci comprend des traitements thermiques ou des opérations de brassage intensif.

Ainsi, dans le traitement thermique des fruits, la cuisson peut se faire dans des boules de cuisson sous vide pour éviter une perte aromatique trop élevée, et parfois les arômes évaporés peuvent être condensés pour être réintégrés dans le produit.

Cette dispersion aromatique est également susceptible de se produire au cours de la conservation. La perméabilité de l'emballage, est un facteur qui va accentuer ce phénomène.

Enfin, des odeurs et des saveurs parasites sont susceptibles de se former suite à des dégradations enzymatiques ou chimiques, ou encore à des migrations : des pâtes sèches emballées directement dans un carton finissent par exemple par en prendre le goût.

1. Définitions et méthodes d'évaluation sensorielle (deux approche complémentaire)

Le système sensoriel réagit à un stimulus suivant trois dimensions :

- **La perception qualitative** : la sensation suscitée par le produit est décrite par ses caractéristiques propres : ce melon est sucré, cette tomate est aigre ...etc.
- **La perception quantitative** : la sensation peut être quantifiée en terme d'intensité (peu sucré, très sucréetc.).
- **La réaction hédonique** : la sensation engendre chez celui qui la perçoit un plaisir ou déplaisir.

Celles-ci sont étudiées selon deux approches distinctes (figure 1), avec d'une part **l'analyse descriptive des propriétés sensorielles** et d'autre part **l'étude de des préférences ou de satisfaction des consommateurs**. La première approche est dite analytique, la seconde hédonique.

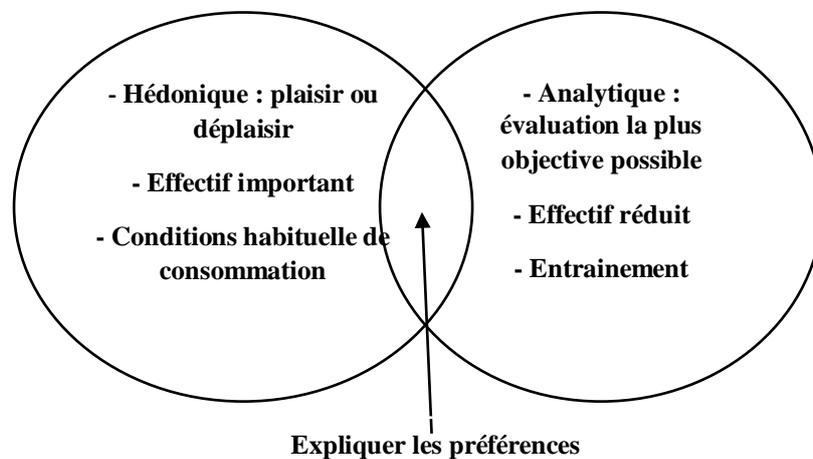


Figure 1. Deux approches complémentaires de l'évaluation sensorielle

Pour utiliser l'une ou l'autre des approches, il convient de bien définir les questions posées. Ainsi le test et le panel utilisés ne seront pas les mêmes si la question est : de ces trois variétés de fraises, quelle est celle qui est préférée ? ou de ces trois variétés de fraises quelle est la plus sucrée ?

Il apparaît donc indispensable de savoir exactement ce que l'on cherche à connaître. D'une manière générale, on peut distinguer deux grands cas de figure :

1- on cherche à mettre en évidence des **préférences** : on fait alors appel à l'aspect hédonique de la réponse sensorielle en employant un jury de **sujets naïfs**.

2- on cherche à identifier et/ou décrire des **différences ou des préférences** : on fait alors appel à un jury formé et **entraîné** ou semi entraîné = initié

Lorsqu'on cherche à répondre à une question d'ordre analytique, il convient de s'assurer tout d'abord que la question ne peut pas être résolue instrumentalement.

Exemple : pour calibrer des fruits, on obtiendra de façon beaucoup plus efficace un résultat avec une mesure instrumentale qu'avec une mesure sensorielle.

La figure 2 montre les grandes orientations que peut prendre l'analyse sensorielle.

Il est également possible de combiner les épreuves. Ainsi, une épreuve hédonique peut être menée pour déterminer si une préférence existe et être suivie, dans l'affirmative par une

épreuve descriptive afin d'expliquer cette préférence. Toutefois, si les démarches analytique et hédonique peuvent être combinées, elles ne peuvent être en aucun cas se confondre.

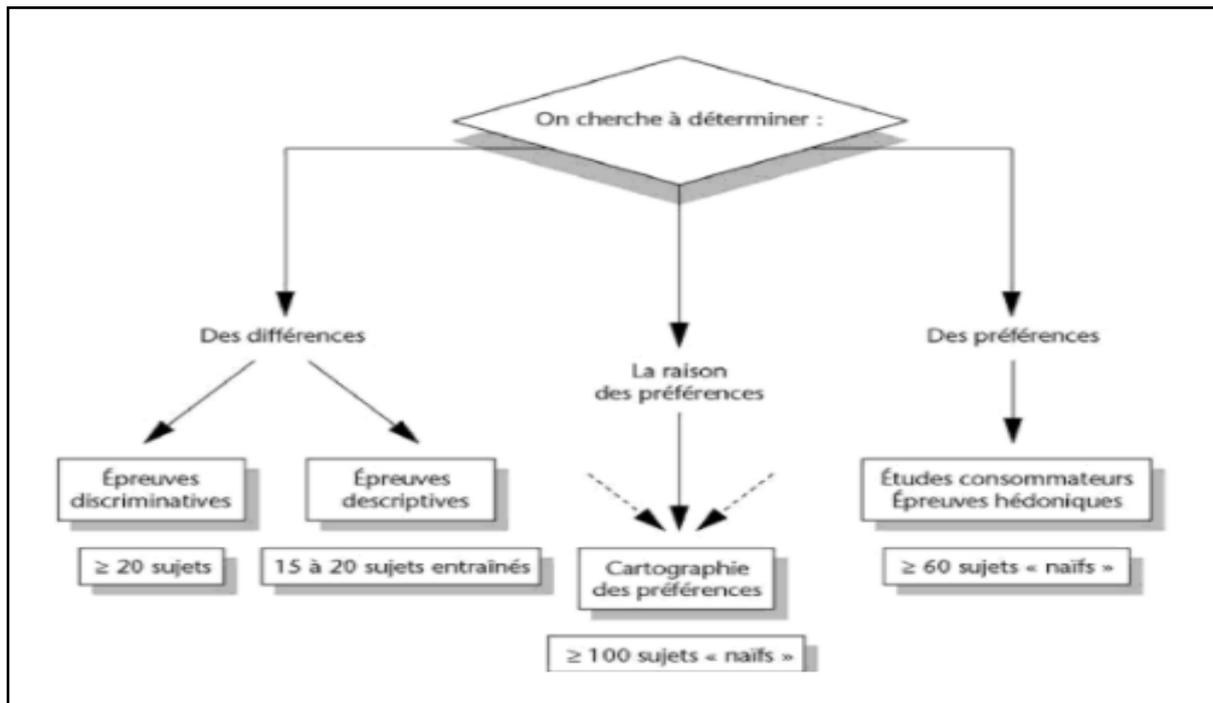


Figure 2. Les grands types d'épreuves en analyse sensorielle

2. Les épreuves sensorielles

Dans la pratique, l'analyse sensorielle repose sur l'organisation de séances l'évaluation avec un panel, où les sujets ont un niveau de connaissance de l'univers produit et/ou de la méthode employée plus ou moins développé en fonction de la tâche à réaliser. Classiquement, l'analyse sensorielle regroupe trois familles de méthodes (épreuves) d'analyse sensorielle (Tableau 1).

- Les épreuves hédoniques (tests affectifs)
- Les épreuves discriminatives ou de différences (tests analytiques)
- Les épreuves descriptives (tests analytiques)

✓ **Remarque :** on peut rajouter une quatrième famille d'analyse sensorielle : cartographie des préférences dont l'objectif est de relier par exemple les préférences des consommateurs aux caractéristiques physico-chimiques et/ou sensorielles d'un produit, et visualiser ces relations sur une carte « facilement » lisible.

Tableau 1 classification des différentes méthodes des tests d'analyse sensorielles

Classe	Question	Types de test	Type de panel
Affective	dans quelle mesure les produits sont-ils appréciés ou quels sont les produits préférés ?	Hédonique	Naïf
Différence ou discrimination	les produits sont-ils différents ?	Analytique	Initié (semi-entraîné)
Descriptives	En quoi les produits diffèrent-ils par leurs caractéristiques sensorielles spécifiques ?	Analytique	Entraîné

2.1. Les épreuves hédoniques : les épreuves hédoniques sont axées sur deux principales approches :

- ❖ **Les tests hédonique qualitatifs** = une mesure de préférence : un produit est soumis au choix parmi un ou plusieurs autres produits, par exemple : lors des tests de préférence, le jury doit indiquer quel produit il préfère ou classer les produits par ordre de préférence. Le test de préférence par paires est le test de préférence le plus simple mais les tests de classement par rang servent aussi souvent à déterminer la préférence.
- ❖ **Les tests hédonique quantitatifs** = une mesure d'acceptabilité ou d'appréciation : un produit est évalué selon une échelle de mesure selon un ou plusieurs attributs, par exemple : au cours des tests d'appréciation, le jury doit examiner son opinion du produit sur une échelle de « très mauvais » à « excellent » ou 1 à 9 par exemple.

En générale, pour la réalisation des épreuves hédoniques, soit en laboratoire, soit en situation naturelle, il faut prendre en considération les mesures suivantes :

- Déterminer précisément la nature de la question à laquelle on veut répondre ;
- Utiliser des groupes bien définis des sujets non entraînés ;
- Poser uniquement des questions hédoniques simples, ou demander des comparaisons simples.

Selon l'aspect méthodologique, les tests hédoniques peuvent être classés en deux catégories :

- Tests hédoniques non spécifiques
- Tests hédoniques spécifiques

2.1.1 Tests hédoniques non spécifique

2.1.1.1 Mesure de préférence = mesure comparative

2.1.1.1.1 Test par paire = « Quel échantillon préférez-vous ? »

A) Domaine d'application : l'épreuve par paire présente l'avantage de demander au sujet quelque chose qui lui semble naturel, c'est-à-dire simplement examiner sa préférence entre deux produits.

B) Procédure expérimentale

On demande aux dégustateurs lequel de deux échantillons codés ils préfèrent. Ils doivent en choisir un, même s'ils leur semblent égaux. Par exemple, deux échantillons (A et B) sont présentés dans des contenants identiques codés avec des numéros aléatoires à trois chiffres. On peut les présenter dans deux ordres, soit A d'abord puis B (AB), ou B d'abord puis A (BA). Chaque ordre doit être présenté un nombre égal de fois. S'il y a 20 dégustateurs dans le panel, dix devront se voir remettre la combinaison AB et dix la combinaison BA.

C) Analyse des données et interprétation statistique : exemple d'un test de préférence par paires administré à un panel de dégustateurs naïf pour déterminer la préférence entre des fèves en purée.

On a préparé des purées de fèves à partir de deux variétés de fèves noires, un échantillon A codé (631) et un échantillon B codé (228). On s'est servi d'un test de préférence par paires pour déterminer si une des purées de fèves était préférée à l'autre. On a recruté 40 dégustateurs amateurs sur place. On a présenté les deux échantillons à chaque dégustateur simultanément. Chacun a évalué les deux échantillons une seule fois. Vingt d'entre eux ont

2.1.1.1.2 Tests de classement par rang = « classez les échantillons en fonction de leur caractère agréable »

A) Domaine d'application : cette épreuve est utilisée quand l'animateur connaît (ou soupçonne) la nature de la caractéristique responsable des différences, mais ignore quels échantillons sont différents.

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, le classement réalisé n'est valable que pour les produits testés au cours d'une même séance ;
- Elle ne donne que des indications indirectes sur l'intensité des différences entre échantillons.

B) Procédure expérimentale : on demande aux dégustateurs de classer par rang des échantillons codés en fonction de l'acceptation en allant du moins acceptable au plus acceptable. En règle générale, on ne permet pas les égalités.

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. Si le nombre d'échantillons est trop élevé, on recourra à un plan d'expérience en blocs incomplets équilibrés (BIE).

À titre d'exemple, on présente trois échantillons ou plus dans des contenants identiques, codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres comme (654). Chaque échantillon a un numéro distinct. Tous les échantillons sont présentés simultanément à chaque dégustateur dans un ordre prévu à l'avance ou au hasard, et ils ont droit de goûter plusieurs fois les échantillons. La Figure 4 donne un exemple du bulletin à remplir pour le classement par rang de l'acceptation.

Nom : _____	
Date : _____	
<p>Goûtez chacun des échantillons de fèves noires dans l'ordre indiqué ci-dessous. Donnez la cote 1 à l'échantillon dont la texture est la plus acceptable, la cote 2 à l'échantillon suivant le plus acceptable, et la cote 3 à l'échantillon le moins acceptable. Ne pas donner la même cote à deux échantillons.</p>	
Code	Classement par rang
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Figure 4. Bulletin pour le test de classement par rang (cote) d'acceptabilité de la

texture des fèves.

C) Analyse des données et interprétation statistique

Aux fins de l'analyse des données, on fait le total des classements attribués à chaque échantillon. On procède ensuite à la détermination de la signification des différences en comparant les totaux des classements pour toutes les paires possibles des échantillons en se servant du test de Friedman

Exemple de classement interprété grâce au test de Friedman : On a préparé des échantillons de fèves cuites à partir de trois variétés de fèves noires. On s'est servi d'un test de classement par rang pour obtenir une indication de la texture la plus acceptable. Un panel de 30 dégustateurs amateurs a été recruté au sein de l'institution. Les trois types d'échantillons ont été présentés en même temps à chaque dégustateur qui ne pouvait les évaluer qu'une fois. Les trois échantillons pouvaient être présentés dans six ordres possibles, comme on le voit au Tableau 3 (3 ordres possibles : CAB, ACB et BCA répété 10 fois = 3 x 10 = 30 présentations). En effet chaque produit est dégusté en premier lieu en second et en dernier lieu le même nombre de fois comme montre le tableau des fréquences des positions ou de rang de dégustation = [une bonne orthogonalité produit-juge, produit succession et produit juge]. (Tableau 3, 4 et 5).

Tableau 3. Matrice des fréquences des positions ou rang de dégustation

	R1	R2	R3
Variété A	10	10	10
Variété B	10	10	10
Variété C	10	10	10

Tableau 4. Matrice des carry-over (succession des produits)

	Variété A	Variété B	Variété C
Variété A	0	10	10
Variété B	10	0	10
Variété C	10	10	0

❖ **Remarque** : le tableau 3, 4 et 5 montre la qualité d'un plan d'expérience pour l'analyse sensorielle. Afin d'éviter que certains produits soient pénalisés, il faut donc de faire en sorte que les produits soient vus aussi souvent que possible dans les 3 positions possibles (R1 =R2 =R3) au cours de l'analyse (Tableau 3). La matrice de carry-over est une matrice qui fait apparaître à la position ij le nombre de fois que le produit i précède le produit j dans le plan (Tableau 4). Les produits doivent être examinés par autant de sujets que possible et avec une fréquence globale pour les différents produits aussi homogène que possible (Tableau 5).

Tableau 5. Trois ordres possibles pour servir les échantillons

Jury	Variété de la fève		
	R1	R2	R3
1	256 (C)	349 (B)	831 (A)
2	831 (A)	256 (C)	349 (B)
3	670 (B)	831 (A)	256 (C)
28	256 (C)	670 (B)	831 (A)
29	831 (A)	256 (C)	670 (B)
30	670 (B)	831 (A)	256 (C)

Le bulletin servant au classement par rang de l'acceptabilité est celui de la Figure 4. On a demandé aux dégustateurs de classer la texture des échantillons en termes d'acceptabilité sans donner d'égalité, en donnant à chaque échantillon un rang différent même s'il semblait comparable. L'échantillon auquel on accordait la texture la plus acceptable se voyait donner le rang 1, le suivant le rang 2 et celui qui paraissait le moins acceptable le rang 3. Les rangs de classement donnés à chaque échantillon par les 30 dégustateurs ont été regroupés sous forme de tableau (Tableau 6).

Tableau 6. Données du test de classement¹ par rang d'acceptation.

Jury	Variété de la fève		
	Variété A	Variété B	Variété C
1	1	2	3
2	1	3	2
3	1	2	3
4	1	2	3
5	1	3	2
6	1	2	3
7	1	2	3
8	1	3	2
9	1	2	3
10	2	1	3
11	1	3	2
12	1	3	2
13	1	3	2
14	1	2	3
15	1	3	2
16	1	2	3
17	1	3	2
18	1	2	3
19	1	2	3
20	1	3	2
21	1	3	2
22	1	2	3
23	1	2	3
24	1	3	2
25	1	3	2
26	2	1	3
27	1	2	3
28	1	3	2
29	1	3	2
30	2	1	3
Sommes des rangs	33	71	76

¹ 1 rang le plus élevé =1 texture la plus acceptable, 3 = texture la moins acceptable.

Les différences entre les paires de totaux étaient les suivantes :

$$C-A = 76 - 33 = 43$$

$$C-B = 76 - 71 = 5$$

$$B-A = 71 - 33 = 38$$

La valeur critique calculée pour $p = 0,05$, pour 30 dégustateurs et trois échantillons est **19** d'après le Tableau 5. La texture cuite des variétés de fèves A et C était donc significativement différente et la texture cuite des variétés de fèves A et B était aussi significativement différente.

Le panel des juges naïfs a trouvé que la texture cuite des variétés de fèves noires B et C était moins acceptable que la texture cuite des fèves de variété A. Il n'y avait pas de différence d'acceptabilité de la texture entre les variétés B et C.

Tableau 5. Différences des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de «tous les traitements, à un seuil de signification de 5 %

Dégustateurs	Nombre d'échantillons									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	6	8	11	13	15	18	20	23	25	28
4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	33
5	8	11	14	17	21	24	27	30	34	37
6	9	12	15	19	22	26	30	34	37	42
7	10	13	17	20	24	28	32	36	40	44
8	10	14	18	22	26	30	34	39	43	47
9	10	15	19	23	27	32	36	41	46	50
10	11	15	20	24	29	34	38	43	48	53
11	11	16	21	26	30	35	40	45	51	56
12	12	17	22	27	32	37	42	48	53	58
13	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61
14	13	18	24	29	34	40	46	52	57	63
15	13	19	24	30	36	42	47	53	59	66
16	14	19	25	31	37	42	49	55	61	67
17	14	20	26	32	38	44	50	56	63	69
18	15	20	26	32	39	45	51	58	65	71
19	15	21	27	33	40	46	53	60	66	73
20	15	21	28	34	41	47	54	61	68	75
21	16	22	28	35	42	49	56	63	70	77
22	16	22	29	36	43	50	57	64	71	79
23	16	23	30	37	44	51	58	65	73	80
24	17	23	30	37	45	52	59	67	74	82
25	17	24	31	38	46	53	61	68	76	84
26	17	24	32	39	46	54	62	70	77	85
27	18	25	32	40	47	55	63	71	79	87
28	18	25	33	40	48	56	64	72	80	89
29	18	26	33	41	49	57	65	73	82	90
30	19	26	34	42	50	58	66	75	83	92
31	19	27	34	42	51	59	67	76	85	93
32	19	27	35	43	51	60	68	77	86	95
33	20	27	36	44	52	61	70	78	87	96
34	20	28	36	44	53	62	71	79	89	98
35	20	28	37	45	54	63	72	81	90	99
36	20	29	37	46	55	63	73	82	91	100
37	21	29	38	46	55	64	74	83	92	102
38	21	29	38	47	56	65	75	84	94	103
39	21	30	39	48	57	66	76	85	95	105
40	21	30	39	48	57	67	76	86	96	106
41	22	31	40	49	58	68	77	87	97	107
42	22	31	40	49	59	69	78	88	98	109
43	22	31	41	50	60	69	79	89	99	110
44	22	32	41	51	60	70	80	90	101	111
45	23	32	41	51	61	71	81	91	102	112
46	23	32	42	52	62	72	82	92	103	114
47	23	33	42	52	62	72	83	93	104	115
48	23	33	43	53	63	73	84	94	105	116
49	24	33	43	53	64	74	85	95	106	117
50	24	34	44	54	64	75	85	96	107	118
55	25	35	46	56	67	78	90	101	112	124
60	26	37	48	59	70	82	94	105	117	130
65	27	38	50	61	73	85	97	110	122	135
70	28	40	52	64	76	88	101	114	127	140
75	29	41	53	66	79	91	105	118	131	145
80	30	42	55	68	81	94	108	122	136	150
85	31	44	57	70	84	97	111	125	140	154
90	32	45	58	72	86	100	114	129	144	159
95	33	46	60	74	88	103	118	133	148	163
100	34	47	61	76	91	105	121	136	151	167

Tableau 6. Différences des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de «tous les traitements, à un seuil de signification de 1 %

Dégustateurs	Nombre d'échantillons									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	—	9	12	14	17	19	22	24	27	30
4	8	11	14	17	20	23	26	29	32	36
5	9	13	16	19	23	26	30	33	37	41
6	10	14	18	21	25	29	33	37	41	45
7	11	15	19	23	28	32	36	40	45	49
8	12	16	21	25	30	34	39	43	48	53
9	13	17	22	27	32	36	41	46	51	56
10	13	18	23	28	33	38	44	49	54	59
11	14	19	24	30	35	40	46	51	57	63
12	15	20	26	31	37	42	48	54	60	66
13	15	21	27	32	38	44	50	56	62	68
14	16	22	28	34	40	46	52	58	65	71
15	16	22	28	35	41	48	54	60	67	74
16	17	23	30	36	43	49	56	63	70	77
17	17	24	31	37	44	51	58	65	72	79
18	18	25	31	38	45	52	60	67	74	81
19	18	25	32	39	46	54	61	69	76	84
20	19	26	33	40	48	55	63	70	78	86
21	19	27	34	41	49	56	64	72	80	88
22	20	27	35	42	50	58	66	74	82	90
23	20	28	35	43	51	59	67	75	84	92
24	21	28	36	44	52	60	69	77	85	94
25	21	29	37	45	53	62	70	79	87	96
26	22	29	38	46	54	63	71	80	89	98
27	22	30	38	47	55	64	73	82	91	100
28	22	31	39	48	56	65	74	83	92	101
29	23	31	40	48	57	66	75	85	94	103
30	23	32	40	49	58	67	77	86	95	105
31	23	32	41	50	59	69	78	87	97	107
32	24	33	42	51	60	70	79	89	99	108
33	24	33	42	52	61	71	80	90	100	110
34	25	34	43	52	62	72	82	92	102	112
35	25	34	44	53	63	73	83	93	103	113
36	25	35	44	54	64	74	84	94	105	115
37	26	35	45	55	65	75	85	95	106	117
38	26	36	45	55	66	76	86	97	107	118
39	26	36	46	56	66	77	87	98	109	120
40	27	36	47	57	67	78	88	99	110	121
41	27	37	47	57	68	79	90	100	112	123
42	27	37	48	58	69	80	91	102	113	124
43	28	38	48	59	70	81	92	103	114	126
44	28	38	49	60	70	82	93	104	115	127
45	28	39	49	60	71	82	94	105	117	128
46	28	39	50	61	72	83	95	106	118	130
47	29	39	50	62	73	84	96	108	119	131
48	29	40	51	62	74	85	97	109	121	133
49	29	40	51	63	74	86	98	110	122	134
50	30	41	52	63	75	87	99	111	123	135
55	31	43	54	66	79	91	104	116	129	142
60	32	45	57	69	82	95	108	121	135	148
65	34	46	59	72	86	99	113	126	140	154
70	35	48	61	75	89	103	117	131	146	160
75	36	50	64	78	92	106	121	136	151	166
80	37	51	66	80	95	110	125	140	156	171
85	38	53	68	83	98	113	129	144	160	176
90	40	54	70	85	101	116	132	149	165	181
95	41	56	71	87	103	120	136	153	169	186
100	42	57	73	89	106	123	140	157	174	191

2.1.1.2 Mesure d'acceptabilité = mesure absolue

2.1.1.2.1 Évaluation hédonique : les tests hédoniques sont conçus pour mesurer le degré d'appréciation d'un produit. On se sert d'échelles de catégories allant de «aime beaucoup» à «n'aime pas du tout» en passant par «neutre» avec un nombre variable de catégories intermédiaires. Dans les épreuves d'évaluation hédoniques, les échantillons sont présentés de façon monadique. Le sujet doit exprimer leur avis concernant leur caractère agréable sur une échelle de cotation à 9 points ou sur une échelle d'intervalle

A) Domaine d'application : quand on désire avoir une estimation dans l'absolu du caractère agréable, et quand aucun standard bien connu n'est disponible. Ainsi, les méthodes comparatives ne permettent pas une évaluation quantifiée de la préférence.

B) Procédure expérimentale : on demande au jury d'évaluer des échantillons codés de plusieurs produits en indiquant leur degré d'appréciation sur une échelle à 9 niveaux. Pour cela, ils indiquent une catégorie sur une échelle qui va de «aime beaucoup» à «n'aime pas du tout».

Les échantillons sont présentés dans des contenants identiques, codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres (voir le tableau 7 où on génère des codes anonymes aléatoires pour les 5 premiers juges en utilisant la fonction EXCEL : (ALEA.ENTRE.BORNES, fonction)). Le nombre d'échantillon à évaluer au cours d'une séance dépend du type de produit, mais ne devrait jamais dépasser 20, pour éviter la fatigue sensorielle des sujets (fatigue sensorielle = phénomène physiologique complexe comprenant l'adaptation, la fatigue musculaire, la démotivation pour la tâche en cours). Les échantillons sont présentés dans un ordre différent à chaque sujet afin d'éviter les effets de l'ordre. Dans les épreuves d'évaluation hédonique, les échantillons sont présentés de façon monadique (les échantillons sont présentés un à un d'une façon individuelle). Lors de la présentation des échantillons, on attendra au minimum 1 minute, pour réduire l'influence de l'adaptation, et pour les produits très adaptant, on attendra 3 minutes (adaptation sensorielle = modification temporaire de la sensibilité d'un organe sensoriel à la suite d'une simulation prolongée).

❖ **Remarque :** Une erreur méthodologique est souvent commise lors de l'évaluation hédonique, où les échantillons sont présentés tous en même temps, car cela facilite l'administration du test, et permet aux dégustateurs de réévaluer les échantillons s'ils le souhaitent et de faire des comparaisons entre eux.

Exemple d'un test hédonique utilisé par un panel de dégustateurs amateurs pour déterminer le degré d'appréciation de variétés de fèves. On a réalisé un test hédonique pour déterminer le degré d'appréciation des dégustateurs pour cinq variétés (traitements) de fèves noires cuites en se servant de l'échelle à 9 catégories, illustrée à la Figure 5.

Vous recevez l'échantillon numéro : (par exemple : 256)
 Analyser le (goûter le) et indiquer dans quelle mesure vous avez aimé ou pas aimé chaque échantillon en cochant le numéro correspondant à votre appréciation

- Extraîraient désagréables : **1**
- Très désagréables : **2**
- Désagréable : **3**
- Assez désagréable : **4**
- Ni désagréable ni agréable : **5**
- Assez agréable : **6**
- Agréable : **7**
- Très agréable : **8**
- Extrêmement agréable : **9**

Figure 5. Bulletin pour le test hédonique sur les variétés de fèves en se servant d'une échelle à neuf niveaux.

Vingt-huit dégustateurs naïfs recrutés sur place ont évalué une fois les cinq échantillons. On a présenté d'une manière monadique à chaque dégustateur des échantillons de 10 g des cinq variétés de fèves dans des tasses en polystyrène avec couvercles. Cinq échantillons permettaient d'avoir plusieurs ordres différents de présentation possibles, mais avec uniquement 28 dégustateurs, il était possible de proposer le plan optimal dans le tableau 7. Chaque échantillon doit avoir un numéro distinct (code anonyme).

Tableau 7. Ordres possibles pour servir les échantillons

Juge	R1	R2	R3	R4	R5
J1	P4 (300)	P1 (213)	P3 (338)	P2 (272)	P5 (392)
J2	P3 (452)	P1 (327)	P5 (257)	P2 (577)	P4 (485)
J3	P4 (370)	P1 (562)	P3 (336)	P2 (592)	P5 (493)
J4	P3 (578)	P1 (454)	P5 (495)	P2 (363)	P4 (593)
J5	P1 (477)	P2 (390)	P5 (538)	P3 (410)	P4 (357)
J6	P4	P5	P3	P2	P1
J7	P4	P3	P2	P5	P1
J8	P2	P3	P1	P4	P5
J9	P3	P1	P5	P2	P4
J10	P1	P4	P2	P3	P5
J11	P4	P5	P1	P3	P2
J12	P1	P5	P4	P3	P2
J13	P4	P5	P3	P1	P2
J14	P2	P3	P5	P4	P1
J15	P5	P4	P2	P1	P3
J16	P1	P4	P2	P5	P3
J17	P1	P2	P5	P3	P4
J18	P5	P2	P1	P4	P3
J19	P5	P2	P1	P4	P3
J20	P3	P5	P4	P1	P2
J21	P2	P4	P3	P5	P1
J22	P5	P4	P2	P1	P3
J23	P3	P4	P2	P1	P5
J24	P2	P3	P4	P5	P1
J25	P5	P3	P1	P4	P2
J26	P5	P2	P4	P1	P3
J27	P1	P2	P4	P3	P5
J28	P2	P3	P4	P5	P1

Les données des échelles à 9 points sont analysées à l'aide des analyses statistiques paramétriques, tests t de Student sur les moyennes de deux produits, ou analyse de la variance (ANOVA) suivie de comparaisons de moyens pour plus de deux produits.

Remarque : avant d'utiliser les tests paramétriques ANOVA et t de Student il faut bien vérifier les conditions d'application de ces deux tests, si les conditions ne permettent pas il faut utiliser les tests non paramétriques Mann-Whitney à la place de t de Student, et Kruskal-Wallis à la place de l'ANOVA.

2.1.2 Tests hédoniques spécifiques

2.1.2.1 Le test de lassitude : Cette épreuve a pour objectif de prédire l'apparition d'une lassitude pour un produit.

Les sujets reçoivent une quinzaine d'échantillons (environ un cinquième d'une portion normale) du même produit. L'expérimentateur ou l'animateur leur demande de consommer la totalité de l'échantillon, puis de donner un avis au moyen d'une échelle classique (1 à 9). Les

sujets sont informés du fait que les produits sont très semblables, mais que des différences peuvent apparaître.

Après analyse des résultats, on peut observer que la satisfaction décroît au fur et à mesure que le produit est consommé (figure 6). Sur plusieurs séances, il est possible de comparer plusieurs produits. On constate alors que la lassitude apparaît plus vite pour certains produits que pour d'autres. Cette méthode est surtout valable lorsque les produits testés sont homogènes (Yaourts, boisson aux fruits...), dans le cas de produits hétérogènes (Fruits et produits composés tels que les biscuits fourrés ...), la variabilité interne des produits peut provoquer un renouvellement des stimuli qui raniment l'intérêt du sujet pour le produit. La méthode est moins appropriée aux produits qui provoquent rapidement une saturation. En effet, de tels produits, l'influence de la saturation vient d s'ajouter à l'influence de la lassitude.

Cette méthode est uniquement indicative, puisque sa capacité de prédiction en situation naturelle est difficile à tester. On peut néanmoins la considérer comme fiable et l'utiliser dans l'étape finale du choix d'un produit.

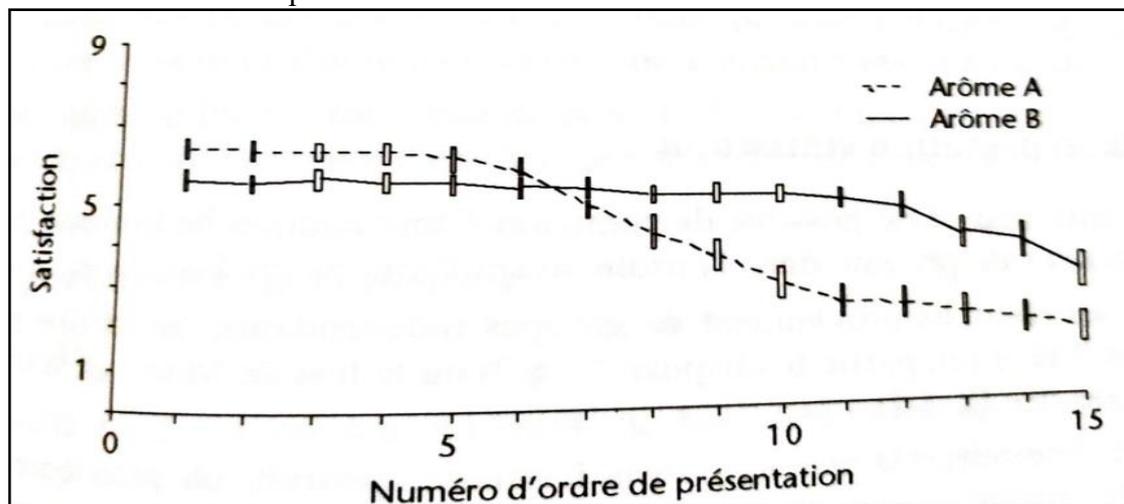


Figure 6.épreuve de lassitude

2.1.2.2. Epreuve d'aversion : cette méthode a été développée pour prédire l'apparition éventuelle d'une aversion de la part des consommateurs pour un produit. A titre d'exemple, on peut utiliser cette méthode pour avoir une indication sur les quantités optimales de produit par unité d'emballage (ex : barre en chocolat).

En ce qui concerne la procédure expérimentale : les sujets sont des consommateurs ou des consommateurs potentiels d'un produit. La taille de chaque groupe est comprise de 36 à 60 sujets. Ce qui signifie que pour une comparaison de 3 produits, il faudra au minimum 108 sujets. L'épreuve se déroule en 5 étapes :

- Etape 1 : Au début de l'épreuve on donne aux sujets une petite quantité (environ le cinquième d'une portion normale) de produit, et on leur demande le caractère agréable du produit sur une échelle de notation de 9 points.
- Etape 2 : On leur donne ensuite une grosse portion (une fois et demi la portion normale) ; on leur demande de la consommer en totalité, puis d'évaluer de nouveau le caractère agréable sur une échelle de 9 points, pour chaque sujet, on mesure le temps passé à manger la portion.
- Etape 3 : Ensuite, ils reçoivent de nouveau une portion de la même taille, dont ils mangent la quantité qu'ils désirent, pendant un laps de temps donné, ils notent alors de nouveau le produit sur le même type d'échelle (1 à 9). Leur consommation pendant ce laps de temps est ensuite mesurée en pesant la quantité restante.

- Etape 4 : puis ils reçoivent une autre petite portion (de la même taille que la première) et donne leur appréciation, toujours sur le même type d'échelle.
- Etape 5 : Enfin, on demande aux sujets d'estimer le poids de produit qu'ils ont mangé. En divisant ce poids par celui de leur consommation réelle, on obtient un rapport qui indique s'ils surestiment (rapport >1) ou sous-estiment (rapport <1) leur consommation.

Par conséquent, on obtient pour chaque produit :

- Quatre évaluations de son caractère agréable ;
- Deux observations de comportement (temps passé à manger la première grosse portion, et quantité consommée de la deuxième grosse portion) ;
- Une estimation par le sujet de la quantité consommée.

La figure 7 donne un exemple pour deux variétés d'un même produit

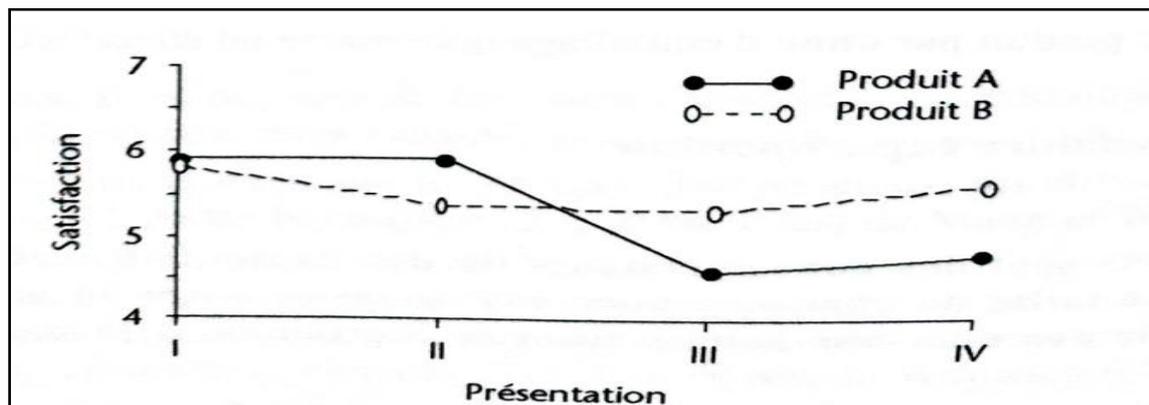


Figure 7. Epreuve d'aversion

2.1.2.3. Epreuve d'authenticité

L'épreuve d'authenticité a pour objectif l'estimation de la similitude entre un produit et le standard interne des sujets pour ce type de produit.

Pour le domaine d'application, cette méthode a été utilisée principalement dans études concernant des produits diététiques à titre d'exemple, on pouvait diminuer la teneur en matière grasse sans que le produit perde son image d'authenticité. Mais elle peut aussi être utilisée pour comparer différentes versions d'un même produit.

En ce qui concerne la réalisation de cette épreuve : l'épreuve d'authenticité ne doit être effectuée qu'avec des consommateurs réguliers du type de produit étudié. Le groupe (N>36) peut être utilisé plusieurs fois, à condition que les séances soient espacées d'au minimum une semaine afin d'éviter l'influence de l'épreuve elle-même sur les standards internes des sujets.

Les résultats de l'épreuve sont traités à l'aide du test binomial (épreuve par paire). De plus on peut calculer le % de cas où chacun des produits est considéré comme authentique.

2.1.2.4. Epreuve de consommation

Le test de consommation consiste à observer le comportement du consommateur en situation réelle plutôt qu'à lui poser des questions. En effet, le fait même de s'interroger sur ses préférences est un exercice qui n'est pas habituel pour un sujet naïf. Au lieu d'imposer un test au sujet, l'expérimentateur ou l'animateur se contente d'observer le sujet et de mesurer par différents paramètres son comportement (quantité consommée, fréquence de consommation, etc.).

Généralement, les sujets ne savent pas qu'ils font l'objet d'une observation, ils sont invités tous à prendre part à une activité (goûter, conférence, verre de remerciement, séance d'information, etc.). Durant cette activité, ils sont mis en présence des produits à évaluer.

L'expérimentateur devra avoir prévu un moyen de mesurer la consommation de chaque produit, par exemple en distribuant aux sujets un carnet de coupons que le sujet échange contre une portion de produit. En reprenant à intervalle fixe les coupons, l'expérimentateur pourra ainsi mesurer la quantité totale consommée, l'évolution de la quantité consommée au cours du temps, la vitesse de consommation de chaque produit, etc.

2.2. Les épreuves discriminatives ou de différences : détecter une différence sensorielle entre des produits sans décrire la différence

Les tests destinés à évaluer les différences sont conçus pour déterminer s'il est possible de distinguer deux échantillons l'un de l'autre au moyen de l'analyse sensorielle. Ces tests peuvent servir à déterminer s'il y a eu une modification perceptible de l'apparence, de la saveur ou de la texture d'un aliment à la suite de l'entreposage, d'un changement des méthodes de préparation ou de la modification d'un ingrédient.

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.

Donc l'objectif est de déterminer s'il existe une différence perceptible entre produits ou bien une similitude sans décrire la nature de celles-ci.

Ces épreuves précèdent les épreuves de type descriptifs ou hédonique. Si aucune différence n'a été mise en évidence globalement, il ne paraît pas intéressant de chercher à la décrire ou à organiser un test de préférence.

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. Les données recueillies sont ensuite analysées par des traitements statistiques adaptés.

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.

2.2.1. Le test triangulaire

L'épreuve triangulaire présente les avantages classiques des méthodes discriminatives : facile à mettre en œuvre, simple à réaliser pour les sujets, interprétation aisée. Elle permet aussi de suivre la qualité des réponses des sujets.

A) Domaine d'application

L'épreuve triangulaire est l'épreuve discriminative la plus universellement utilisée. Elle est recommandée dans la plupart des circonstances où l'on cherche à déterminer la détection ou non de différences entre deux produits. Elle a largement prouvée son efficacité par sa grande utilisation. Elle ne s'applique qu'à des produits relativement homogènes.

B) Procédure expérimentale

Le sujet reçoit trois échantillons codés dont deux sont identiques et un différent. Le sujet doit indiquer lequel est différent, comme dans le premier cas, il doit donner une réponse. Donc le principe du test est très simple, 3 produits, dont 2 identiques, sont proposés à N juges (figure 8). En effet, la tâche, pour les sujets, consiste à déterminer quel est l'échantillon non

répété (ou éventuellement les deux échantillons doublés). Les trois échantillons sont présentés dans des contenants identiques codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres. Les trois numéros de codes des échantillons remis à chaque dégustateur doivent être différents, même si deux échantillons sont identiques.

Il y a six possibilités d'ordre de présentation avec le test triangulaire et ils sont indiqués au Tableau 8. On doit se servir de chaque ordre de présentation un nombre égal de fois, pour équilibrer l'ordre de présentation. Cela n'est possible que s'il y a six dégustateurs ou un multiple de six. Dans les autres cas, l'ordre de présentation peut être fait au hasard afin que chaque dégustateur ait une chance égale de se voir attribuer n'importe laquelle des six combinaisons possibles.

Tableau 8. Six ordres possibles pour servir les échantillons dans un test triangulaire.

Jury	Ordre de présentation		
	Premier	Second	Troisième
1	256 (A)	831 (A)	349 (B)
2	256 (A)	349 (B)	831 (A)
3	670 (B)	256 (A)	831 (A)
4	349 (B)	670 (B)	256 (A)
5	349 (B)	256 (A)	670 (B)
6	831 (A)	349 (B)	670 (B)

Les échantillons sont présentés tous ensemble à chaque dégustateur dans l'ordre retenu afin qu'ils puissent évaluer les échantillons de la gauche vers la droite. Ils peuvent les goûter plusieurs fois. La Figure 8 (exemple d'un questionnaire pour l'épreuve triangulaire) illustre un bulletin préparé pour un test triangulaire. Il faut indiquer sur les bulletins l'ordre dans lequel les dégustateurs doivent évaluer les échantillons.

Nom :	prénom :	date :
Trois échantillons vous sont proposés, numérotés :		
256	831	349
Deux proviennent d'un même produit, le troisième d'un autre produit.		
Quel est l'échantillon que vous percevez comme différent ?		
<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		
Donnez une réponse même si vous n'êtes pas certain.		

Figure 8. Bulletin pour le test triangulaire

C) Analyse des données et interprétation statistique : l'interprétation des résultats : on teste l'hypothèse de l'identité entre produit. L'hypothèse est rejetée si la proportion de réponses correctes est suffisamment supérieure à ce que laisserait prévoir le hasard. L'interprétation se fait sur base du nombre de réponses correctes, comparées à une table de valeur. Cette table est différente de celle utilisée pour le test précédent (Test binomial à une deux queue). Puisque la probabilité de donner la réponse au hasard est 1/3 dans le cas du test triangulaire. Le test triangulaire diffère également du test par paires en ce sens que la probabilité de choisir le bon échantillon au hasard est de 1/3 (Test binomial à une queue). Probabilité de jugements corrects égale ou supérieure à X avec n essais ($p=1/3$). Avec les tests

par paires, cette probabilité est de 1/2. Le tableau dont on se sert pour le test triangulaire (Tableau 9) n'est donc pas le même que celui pour les tests par paires (Tableau 2).

Dans le test triangulaire, on totalise le nombre de dégustateurs ayant identifié l'échantillon différent et on vérifie la signification du total en se servant du Tableau 9. Dans ce tableau, X représente le nombre de dégustateurs qui choisissent l'échantillon différent et n représente le nombre total de dégustateurs participant au test. Le tableau 9 donne des probabilités à 3 décimales pour certaines combinaisons de X et de n. Dans le Tableau 7.9, la virgule décimale a été omise faute d'espace et il faut donc lire 868 comme étant 0,868. C'est ainsi que si 9 dégustateurs sur 17 ont identifié l'échantillon différent, la probabilité, d'après le Tableau 7.9 (X= 9, n = 17), est de 0,075. Comme on estime en général qu'il faut une probabilité égale ou inférieure à 0,05 pour que la différence soit significative, on conclurait dans ce cas qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux échantillons. La fiabilité et la sensibilité de ce type de test sur la différence sont améliorées si on augmente le nombre de dégustateurs.

❖ **Remarque :** On peut utiliser l'Excel pour calculer les probabilités en utilisant la formule suivante :=1-(loi.binomiale(nb_succès;nb_réponse;1/3;vrai)-loi.binomiale(nb_succès;nb_réponse;1/3;faux))

❖ **Exemple du test triangulaire** administré à un panel de dégustateurs experts pour déceler la différence entre des échantillons traités et non traités.

On a procédé à un test triangulaire pour déterminer si des fèves noires qui avaient été traitées à la chaleur avant entreposage étaient sensiblement différentes des fèves non traitées, après que les deux aient été entreposées dans les mêmes conditions pendant six mois. Chaque échantillon de fèves a été cuit à point en suivant une procédure standard.

Un panel de 36 dégustateurs recrutés sur place a évalué les échantillons de fèves cuites. On a présenté simultanément à chaque dégustateur trois échantillons. Les six ordres de présentation indiqués au Tableau 4 ont été utilisés pour six dégustateurs. On a choisi ensuite les échantillons correctement codés pour chaque dégustateur et on les lui a remis avec un bulletin indiquant les numéros de codes dans l'ordre de la dégustation. Le bulletin utilisé apparaît à la Figure 8.

Quand tous les dégustateurs ont eu fini le test, on a indiqué la bonne réponse avec un (+) quand ils avaient bien identifié l'échantillon distinct ou avec un (-) dans le cas de mauvaises réponses. Les résultats ont été présentés sous forme de tableau (Tableau 9). Au moyen du Tableau statistique 8, on a comparé le nombre total de dégustateurs ayant de bonnes réponses (X) au nombre total de dégustateurs (n) et déterminé le niveau de signification. Le Tableau 9 indique que pour un ensemble de 36 dégustateurs et 20 bonnes réponses, le niveau de signification est de 0,005. On en a conclu que la différence entre les échantillons était significative au niveau de probabilité de 0,005, puisque 20 des 36 dégustateurs avaient bien choisi l'échantillon différent. Après six mois d'entreposage, les fèves qui avaient reçu un traitement avant entreposage étaient donc bien différentes des fèves qui n'en avaient pas reçu.

Tableau 8. Test binomial à une queue Probabilité de jugements corrects égale ou supérieure à X avec n essais (p=1/3)

TABEAU
Test binomial à une queue
Probabilité de jugements corrects égale ou supérieure à X avec n essais (p=1/3)

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
5		868	539	210	045	004																								
6		912	649	320	100	018	001																							
7		941	731	429	173	045	007																							
8		961	805	532	259	088	070	003																						
9		974	857	623	350	145	042	008	001																					
10		983	896	701	441	213	077	020	003																					
11		988	925	766	527	289	172	039	009	004																				
12		992	946	819	607	368	178	066	019	004	001																			
13		995	961	861	678	448	241	104	035	009	002																			
14		997	973	895	739	524	310	149	058	017	004	001																		
15		998	981	921	791	596	382	203	088	031	008	007																		
16		998	986	941	834	661	453	263	126	050	016	004	001																	
17		999	990	956	870	719	522	326	172	075	027	008	002																	
18		999	993	967	898	769	588	391	223	108	043	014	004	001																
19		999	995	976	921	812	648	457	279	146	065	024	007	002																
20		999	997	982	940	848	703	521	339	191	092	038	013	004	001															
21		998	987	954	879	751	581	399	240	125	056	021	007	002																
22		998	991	965	904	794	638	460	293	163	079	033	017	003																
23		999	993	974	924	831	690	519	349	206	107	048	019	006	002															
24		999	995	980	941	862	737	576	406	254	140	068	028	010	003															
25		999	996	985	954	888	778	630	462	304	178	092	047	016	006															
26		997	989	964	910	815	679	518	357	220	121	068	025	009	003															
27		998	992	972	928	847	725	572	411	266	154	079	036	014	005	002														
28		999	994	979	943	874	765	623	464	314	191	104	050	022	008	003														
29		999	996	984	955	897	801	670	517	364	232	133	068	031	013	005	001													
30		999	997	988	965	916	833	714	568	415	276	166	090	043	019	007	002													
31		998	991	972	932	861	754	617	466	322	203	115	059	027	011	004	001													
32		998	993	978	946	885	789	662	516	370	243	144	078	038	016	006	002													
33		999	995	983	957	905	821	705	565	419	285	177	100	051	023	010	004	001												
34		999	996	987	965	922	849	744	612	468	330	213	126	067	033	014	006	002												
35		999	997	990	973	937	873	779	656	516	376	257	155	087	044	020	009	003	001											
36		998	992	978	949	895	810	697	562	422	293	187	109	058	028	012	005	002	001											
37		998	994	963	959	913	838	735	607	469	336	223	135	075	038	018	007	003	001											
38		999	996	987	967	928	863	769	650	515	381	261	164	095	051	025	011	004	002											
39		999	997	990	973	941	885	800	689	560	425	301	196	118	066	033	016	007	003	001										
40		999	997	992	979	952	903	829	726	603	470	342	231	144	083	044	021	010	004	001										
41		998	994	983	961	920	854	761	644	515	385	268	173	104	057	029	014	006	002	001										
42		999	995	987	968	933	876	791	683	558	428	307	205	127	073	038	019	008	003	001										
43		999	996	990	974	945	895	820	719	600	471	347	239	153	091	050	025	012	005	002	001									
44		999	997	992	980	955	917	845	753	639	514	389	275	187	131	063	033	016	007	003	001									
45		999	998	994	984	964	936	867	783	677	556	430	313	213	135	079	043	022	010	004	002	001								
46		998	995	987	970	938	887	811	713	596	472	352	246	161	098	055	029	014	006	003	001									
47		999	996	990	976	949	904	836	745	635	514	392	282	189	119	070	038	019	009	004	002	001								
48		999	997	992	980	958	919	859	776	672	554	433	318	220	142	086	048	025	012	006	002	001								
49		999	998	994	984	966	932	879	803	706	583	473	356	253	168	105	061	033	017	008	003	001								
50		999	998	996	987	972	943	896	829	739	631	513	395	287	196	126	076	042	022	011	005	002	001							

Note : Il faut rajouter devant chaque chiffre «0,».

Tableau 5. Résultats du test triangulaire

Sujets	Ordre	Ordre de présentation des échantillons			Réponses
1	ABB	391	289	100	-
2	BAB	284	253	193	+
3	BBA	298	208	344	-
4	AAB	295	314	256	+
5	BBA	251	354	218	+
6	ABB	143	275	306	+
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
31	BAA	147	381	327	-
32	ABA	135	193	363	+
33	AAB	341	355	229	+
34	BAA	298	103	330	-
35	ABA	157	179	228	-
36	BAB	270	195	274	1
Total					20 (1)

2.2.2. Le 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 (figure 9).

L'avantage de ce test par rapport au test triangulaire, est que les sujets n'ont pas choisir qu'entre deux échantillons ; elle s'applique donc bien pour des produits à saveur intense.

A) domaine d'application : son application principale est le contrôle de qualité, là où existe un témoin stable dans le temps. Elle peut être utilisée dans les mêmes circonstances que le test triangulaire, mais particulièrement adaptée lorsqu'on veut limiter le nombre d'échantillons.

Nom : _____ Date : _____

Prénom : _____

Un témoin vous est proposé, il est marqué T. Vous le goûtez.

Ensuite vous goûtez les échantillons codés 842 et 736 et vous indiquez lequel des deux est identique au témoin.

Donnez une réponse dans tous les cas, même en cas de doute.

Figure 9. Bulletin pour l'épreuve duo-trio

B) Analyse des données et interprétation statistique : il faut comptabiliser le nombre de réponses correctes et comparer les valeurs obtenues aux valeurs tabulées dans le tableau 2 (Test binomial à deux queues $p=1/2$).

2.2.3. Le test 2 parmi 5 : au cours de l'épreuve triangulaire les sujets doivent choisir 1 échantillon parmi 3. Il est possible de compliquer la tâche des sujets en diminuant la probabilité de donner la réponse correcte au hasard par une augmentation du nombre

d'échantillon. Le principe est le même que celui de l'épreuve triangulaire avec un nombre d'échantillon important, ce qui augmente la difficulté. Le nombre de sujets nécessaire est donc plus faible.

❖ **Remarque** : plusieurs combinaisons sont envisageables pour ce test également connu par le nom de test « p parmi n » : 1 parmi 4 ; 2 parmi 5 ; 3 parmi 7.

❖ A partir de 7 échantillons (3 parmi 7) la probabilité descend en dessous du seuil de 5% ; on peut donc considérer alors qu'une seule réponse suffit qu'un sujet a effectivement perçu une différence. Toutefois, le nombre d'échantillons à comparer rend l'épreuve particulièrement difficile à réaliser par les sujets.

A) Domaine d'application

Pour le domaine d'application, ce test bien que très satisfaisant d'un point de vue statistique, se montrent rapidement difficiles à réaliser aux circonstances où la comparaison de nombreux produits ne pose pas de problème pour les sujets, par exemple la comparaison visuelle.

B) Procédure expérimentale

Les sujets reçoivent 5 échantillons X, Y, Z, T, U, provenant de 2 produits A et B dont l'un est doublé et l'autre est triplé. Ils doivent regrouper les produits identiques, on a par exemple X= A, Y = A, Z = A T = B, U = B. La réponse correcte est X= Y = Z, T= U.

Les échantillons sont présentés dans un ordre variable selon les sujets et les répétitions. Soient les deux produits A et B. Si l'on prend l'exemple de l'épreuve 2 sur 5, il existe 10 présentations possibles lorsque l'un ou l'autre des deux produits est doublé. La figure 10 donne un exemple de questionnaire pour une épreuve 2 sur 5.

Nom : _____ Date : _____

Prénom : _____

5 échantillons vous sont présentés. Vous devez les répartir en deux groupes (l'un de 2, l'autre de 3 échantillons identiques).

Les échantillons portent les numéros :

425 736 257 849 333

Donnez obligatoirement une réponse.

Figure 9. Bulletin pour l'épreuve 2 sur 5

Les échantillons sont présentés dans un ordre variable selon les sujets et les répétitions. Soient les deux produits A et B. Si l'on prend l'exemple de l'épreuve 2 sur 5, il existe 10 présentations possibles lorsque l'un ou l'autre des deux produits est doublé.

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

Pour l'interprétation des résultats, on comptabilise le nombre de bonnes réponses que l'on compare à la table de signification (tableau 6).

Tableau 8. Table de signification (test 2 parmi 5).

Nombre de sujets	Nombre minimal de réponses correctes pour une différenciation au niveau de signification de 5%
5	3
6	3
7	3
8	3
9	4
10	4
11	4
12	4
13	4
14	4
15	5
16	5
17	5
18	5
19	5
20	5
21	6
22	6
23	6
24	6
25	6
26	6
27	6
28	7
29	7
30	7

❖ **Remarque :**

Le nombre de sujets nécessaires pour un test discriminatif dépend du risque qu'on accepte de prendre. Le panel pour un test triangulaire est plus important que pour un test 2 parmi 5

- Triangulaire : 18 à 25 sujets minimum, 30 souhaitables ;
- 2 parmi 5 : 10 à 12 sujets minimum ;

Il est recommandé d'utiliser des sujets ayant une certaine connaissance du principe du test.

Le choix du test prend en compte le risque acceptable défini par l'expérimentateur ; le nombre de sujets disponibles et l'effet saturant du produit (Tableau 9).

Tableau 9. Les différents tests descriptifs

Essais	Commentaires	Questions
Duo-Trio	Le test du duo-trio est simple mais peu puissant statistiquement	La technique A apporte – t – elle une différence sur le

Triangulaire	Le test triangulaire nécessite un effectif plus important que le test 2 parmi 5	goût des fruits par rapport à la technique B ?
2 parmi 5	Le test 2 parmi 5 qui est statistiquement le plus robuste tolère un effectif plus réduit	Une modification de la fertilisation entraîne-t-elle une différence sur le goût du produit ?

2.2.4. L'épreuve d'appariement

L'épreuve d'appariement permet de déterminer rapidement les proximités entre plusieurs produits.

Le principe est le suivant : plusieurs produits sont présentés aux sujets, en étant identifié (par exemple A, B C, D..etc). Puis ces mêmes produits sont présentés dans un ordre ordinaire, et codés, de telle sorte que les sujets ne puissent les identifier. Les sujets doivent alors reconnaître la concordance entre les témoins et les produits codés. Le nombre de produits à comparer en une seule fois ne saurait dépasser 6.

A) domaine d'application : cette méthode permet de comparer rapidement une série de produits entre eux. Par exemple pour situer la production d'un fabricant par rapport à l'ensemble des concurrents, ou pour former des groupes de produits voisins.

B) Procédure expérimentale

Cette épreuve ne demande pas un entraînement spécial de la part des sujets, qui n'ont pas à décrire les différences mais juste à appairer un échantillon à un témoin. Une trentaine de réponse est nécessaire, et il faut veiller à ce que le nombre total de réponses par produit soit identique sans que pour autant chaque sujet reçoive exactement la même présentation.

A titre d'exemple la présentation des échantillons est faite comme suit : avec 4 témoins A, B, C, et D, les sujets reçoivent 8 échantillons, certains produits étant doublés, d'autre triplés. On a 24 sujets, 4 témoins et 8 échantillons présentés le tableau 10 montre une présentation possible. Les échantillons sont codés et présentés dans un ordre aléatoire afin qu'il n'y ait aucune succession prévisible. .

Tableau 10 : ordres possibles pour servir 4 échantillons témoins dans un test d'appariement.

Sujets	Produits présentés			
1	AAA	B	CC	DD
2	AAA	BB	C	DD
3	AAA	BB	CC	DD
4	A	BBB	CC	DD
5	AA	BBB	C	DD
6	AA	BBB	CC	D
7	A	BB	CC	DD
8	AA	B	CCC	DD
9	AA	BB	CCC	DD
10	A	BB	CC	DDD
11	AA	B	CC	DDD
12	AA	BB	C	DDD
13	AAA	B	CC	DD
14	AAA	BB	C	DD
15	AAA	BB	CC	D
16	A	BBB	CC	DD

17	AA	BBB	C	DD
18	AA	BBB	CC	D
19	A	BB	CC	DD
20	AA	B	CCC	DD
21	AA	BB	CCC	DD
22	A	BB	CC	DDD
23	AA	B	CC	DDD
24	AA	BB	C	DDD

Les sujets reçoivent simultanément les témoins et les divers échantillons à comparer. Ils doivent compléter le questionnaire (figure 10) en associant chaque échantillon à un témoin.

Quatre produits témoins vous sont présentés; ils sont codés A, B, C et D
Après les avoir évalués, vous évalueriez l'ensemble des échantillons codés et vous indiquerez pour chacun à quel témoin il correspond.

N°	547	686	591	625	388	264
T. Correspondant						

Figure 10. Bulletin pour épreuve d'appariement

3. Les épreuves descriptives : décrire les différences

les épreuves descriptives se pratiquent avec un jury d'experts, elles permettent par exemple de faire une relation entre l'appréciation d'un produit et certains de ces attributs, d'expliquer en quoi deux échantillons sont différents, de relier l'analyse sensorielle et les analyses instrumentales, d'étudier l'évolution d'un produit au cours du temps, de sélectionner les attributs à étudier durant les tests consommateurs ou encore de fixer des spécifications de produit, les épreuves descriptives peuvent porter sur un seul ou plusieurs des attributs du produit. Dans ce dernier cas, on obtient un profil du produit. La figure 11 illustre la position que peuvent occuper les épreuves descriptives dans une étude d'analyse sensorielle.

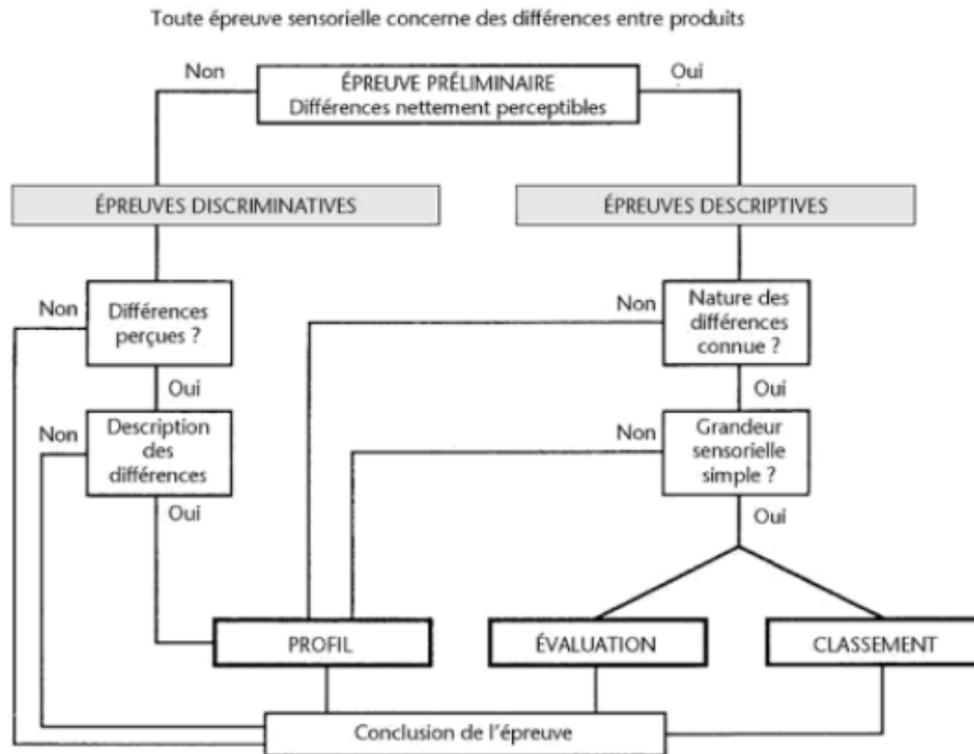


Figure 11. Les principales étapes du choix de l'épreuve sensorielle

Plusieurs aspects interviennent dans l'analyse descriptive. Tout d'abord, l'approche qualitative consiste à décrire le produit sous un ou plusieurs de ses différents aspects (aspects, arôme, texture...). La première difficulté est de mettre tous les juges d'accord sur les termes à employer. Il est important d'arriver à un langage commun, c'est pourquoi il est recommandé de se référer à un vocabulaire commun.

Ensuite, l'approche quantitative consiste à mesurer l'intensité des différents descripteurs énoncés lors de la phase qualitative. Cela est habituellement réalisé à l'aide de test de classement sur échelles. Il n'est pas toujours possible (et pas utile) de quantifier tous les descripteurs caractérisant le produit. Une sélection est plus souvent opérée. C'est le cas par exemple lors d'un suivi au cours de vie : il n'est pas intéressant de quantifier les attributs connus pour être stables au cours de la conservation. Le sous chapitre « génération d'un descripteur » propose une méthodologie de génération et de sélection des descripteurs pour l'analyse descriptive. Lorsque plusieurs descripteurs sont étudiés, un profil sensoriel est obtenu.

Enfin, l'ordre dans lequel ces descripteurs interviennent peut être étudié. Cela permettra par exemple de distinguer le goût et l'arrière-goût.

Les tests discriminatifs permettent de déterminer s'il existe des différences sensorielles entre les produits ou bien des similitudes, sans décrire la nature de celles-ci. Ils peuvent alors constituer une première étape avant de chercher à préciser ces différences.

En fonction de la question posée et des moyens à disposition, différents types de tests peuvent être utilisés pour décrire les différences sensorielles.

On distingue 2 types : les essais dits de positionnement et les techniques de profil sensoriel.

Ces essais sont menés dans des conditions maîtrisées avec un panel entraîné selon un protocole précis dépendant de la question posée. Les données recueillies sont ensuite analysées par des traitements statistiques adaptés.

Le choix et la mise en place des tests descriptifs ont été résumés dans le tableau 9

Tableau 9. Choix, objectifs et la mise en place des tests descriptifs

Essais (tests)	Objectif	Question
Positionnement (E. d'intervalle) Par paires Classement Notation Remarque : recrutement interne	Positionner des produits différents en fonction d'une caractéristique sensorielle, la nature de la différence étant connue.	Classer ces produits selon l'intensité croissante de la saveur sucrée (test de classement par exemple)
Profil sensoriel Remarque : recrutement externe	Décrire et évaluer en qualité et en intensité un ensemble des caractéristiques sur un ou plusieurs produits.	Evaluez les échantillons et indiquez l'intensité perçue pour chaque critère

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 cotation.

Remarque :

Cotation : Méthode de classement en catégories placées sur une échelle ordinale (exemple : faible, moyen et fort).

Notation : Attribution des notes ayant une signification mathématique en fonction de l'intensité d'une propriété (exemple de 0 à 10).

Catégorisation : Méthode de répartition dans des catégories prédéterminées nominales. Les juges doivent choisir les termes qui leur semblent adéquats pour décrire le produit. Par exemple, pour une boisson, les termes proposés peuvent être sucrés, acide, rafraîchissant..etc. Le choix des termes proposés est capital et peut entraîner des biais considérables. Les résultats en catégorisation sont difficiles à traiter.

Classement par rang : une série d'échantillons est classée dans l'ordre de l'intensité d'une propriété définie. Cette méthode est ordinale et nécessite pas d'estimer l'importance de la différence. Par exemple : $A < B < C$.

Note importante sur les échelles

Échelle peut être fixée par des mots par exemple de « très mou » à « très dure » par exemple pour les tests de cotation ou par des chiffres « 0 » à « 10 » pour les tests de notations.

L'échelle peut être universelle ou spécifique au produit. Dans le premier cas, les valeurs extrêmes de l'échelle correspondent à des références qui représente les intensités extrêmes du paramètre étudié par exemple pour la dureté « 0 » correspond au fromage blanc et « 10 » correspond au sucre candy. Sur une échelle spécifique les valeurs extrêmes correspondent aux intensités extrêmes rencontrées pour la famille du produit étudié. Par exemple pour la dureté et pour un produit de type cake « 0 » correspond à un cake très moelleux et « 10 » correspond à un cake rassis et desséché.

Pour l'utilisation des échelles, il est donc souvent nécessaire (au moins dans un premier temps) de donner des références au jury (limites minimales et maximales par exemple). La difficulté réside dans le choix de ces références. Une autre technique consiste à définir les graduations de l'échelle non pas par les mots ou des chiffres mais par des produits réels qui servent de témoin. C'est possible, par exemple, pour l'intensité de goût ou d'une odeur mais c'est beaucoup plus difficile pour les paramètres de texture notamment.

3.1. Tests de classement sur une échelle ou test de positionnement : il peut s'agir d'un test de cotation (échelle nominale) ou de notation (échelle numérique).

- **Échelle nominale :** Les échelles nominales sont les plus simples. Quand on les utilise, les nombres représentent des étiquettes ou des noms de catégories et non pas des valeurs numériques réelles. C'est ainsi qu'on peut demander aux dégustateurs d'utiliser une échelle nominale pour identifier des caractéristiques d'odeurs de la sauce tomates où 1 =fruité, 2 = sucré, 3 = épicé, et 4 =piquant. Ils inscrivent le numéro de chaque caractéristique d'odeur qu'ils retrouvent dans chaque échantillon et l'animateur prépare un tableau des fréquences d'apparition de chaque caractéristique pour chaque échantillon. On procède alors à la comparaison des produits en observant la fréquence de chaque caractéristique d'odeur dans chaque échantillon.
- **Echelle numérique :** nous avons déjà parlé là-dessus dans les tests de notations

Dans ce genre de test, des distances égales correspondent à des différences d'intensité perçue égales, quelle que soit la zone de l'échelle considérée. Autrement dit, pour adopter un langage plus imagé et dépourvue de toute ambiguïté, dans une épreuve d'intervalle, la distance sensorielle entre deux « barreaux » est la même tout au long de l'échelle

Dans les épreuves dite épreuve d'intervalle ou de positionnement ou classement sur échelle, on peut utiliser cette notion échelle structurée ou non structurée

Une échelle structurée porte la graduation, une échelle non structurée est une simple droite entre deux extrémités. Une échelle non structurée présente l'avantage de n'être pas biaisée par des graduations et des niveaux qui seraient mal choisis ou mal placé.

Dans une échelle structurée, la signification de chaque barreau de l'échelle est indiquée sur le questionnaire au moyen d'un chiffre (d'une note) ou d'un terme. Des exemples sont donnés dans les figures 12 et 13.

Questionnaire

Nom : _____ Date : _____
 Prénom : _____

Pour les cinq viandes qui vous seront présentées, il vous est demandé d'évaluer leur caractère sec ou juteux.
 Cochez la case correspondant à l'impression ressentie :

très sec	sec	ni sec ni juteux	juteux	très juteux
<input type="checkbox"/>				

Figure 12. Exemple d'échelle structurée

Questionnaire

Nom : _____ Date : _____
 Prénom : _____

Pour cinq viandes qui vous seront présentées, il vous est demandé d'évaluer leur caractère dur ou tendre.
 Placez les échantillons sur l'échelle :

	2	3	4	5	6	7	8	9
très dur		dur		ni dur ni tendre		tendre		très tendre

Figure 13. Exemple d'échelle structurée

Dans une échelle non structurée est formée par un segment de droite dont deux extrémités où la longueur de l'échelle peut varier mais on utilise souvent une longueur de 15 cm. Le sujet est invité à sélectionner ce segment par un trait à l'endroit correspondant à l'intensité de la sensation perçue, un exemple est donné dans la figure 14.

Nom :	Date :
Prénom :	
Quatre échantillons de gels sont placés dans quatre verres.	
Flairez chaque verre et indiquez votre réponse sur l'échelle ci-dessous :	
Attention : vous utilisez un feuillet par échantillon, c'est-à-dire que vous utilisez une échelle par échantillon sans essayer de comparer entre eux les échantillons.	
Éch. ne présentant pas d'odeur de menthe	Éch. présentant une odeur de menthe extrêmement forte

Figure 14. Exemple d'échelle non structurée

Dans une échelle non structurée, le sujet supposé être capable de créer par lui-même des barreaux vérifiant la règle de l'égalité des barreaux. Son origine vient de l'opinion selon laquelle la définition, inadéquates, des différents barreaux de l'échelle structurée crée une confusion dans l'esprit du sujet et qu'il est donc préférable de laisser le sujet se construire lui-même sa propre échelle.

Exemple : un industriel souhaite mettre en évidence l'absence de différence entre le biscuit A et B du point de vue de leur croustillance.

20 sujets évaluent l'intensité du caractère croustillant des biscuits A et B sur une échelle non structurée de 10 cm.

L'industriel ne sait pas a priori lequel des deux biscuits est le plus croustillant, mais il veut absolument qu'ils soient perçus aussi croustillant l'un que l'autre.

3.2. Les test de classement par rang

Une série d'échantillon est doit être classée dans l'ordre de l'intensité d'une propriété définie. Autrement dit, ce test consiste à ranger par ordre d'intensité croissante ou décroissante des échantillons présentés simultanément.

Ces tests impliquent le positionnement logique des échantillons les uns par rapport aux autres. Il peut s'agir de tests hédoniques si la classification se fait selon la préférence du jury pour les produits. Ce sont en général des essais de classement qui sont utilisés pour l'analyse descriptive.

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, le classement réalisé n'est valable que pour les produits testés au cours d'une même séance ;
- Elle ne donne que des indications indirectes sur l'intensité des différences entre échantillons.

Pour le domaine d'application de 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. Si le nombre d'échantillons est trop élevé, on recourra à un plan d'expérience en blocs incomplets équilibrés.

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.

Un exemple d'épreuve de classement est donné dans la figure 15 ; il s'agit d'ordonner cinq échantillons de céleri du point de vue de l'uniformité de leur couleur.

Questionnaire

Nom : _____ Date : _____

Prénom : _____

Cinq échantillons de céleris sont disposés chacun sur une assiette blanche.

Vous devez les classer selon l'uniformité de leur couleur.

Éch. présentant la couleur la moins uniforme → Éch. présentant la couleur la plus uniforme

Figure 15. Exemple de questionnaire : épreuve de céleris selon l'uniformité de la couleur.

Remarque : Fondamentalement l'épreuve par paire est l'épreuve de classement la plus simple qui puisse exister puisqu'elle porte seulement sur deux échantillons.

3.3. Test de cotation

Dans une épreuve de cotation, le sujet est invité à placer chaque échantillon dans une catégorie, les catégories formant une échelle ordonnée. D'une manière générale, l'épreuve de cotation appartient aux épreuves ordinales puisque la distance entre deux catégories adjacentes ne sont pas nécessairement égales. Mais elle se distingue de l'épreuve de classement en ce sens qu'elle n'est pas soumise à la contrainte de l'épreuve de classement, imposant d'évaluer au même moment tous les échantillons. A cet égard, elle est donc intermédiaire entre l'épreuve de classement et d'intervalle (figure 16)

Questionnaire _____

Nom : _____ Date : _____

Prénom : _____

Des échantillons de couscous cuit vont vous être servis successivement.

Vous devez indiquer, pour chacun d'eux, la classe à laquelle il appartient.

Échantillon	Les grains se démottent		
	très facilement	facilement	difficilement

Figure 16. Un exemple de questionnaire pour une épreuve de cotation

3.4. 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.

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.

Des listes de descripteurs se trouvent dans la littérature. Si celles-ci ne conviennent pas, le jury pourra créer lui-même sa propre liste.

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

- **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 ;

- **Premier tri** : les termes générés sont listés, et tous les termes à connotation hédonique sont rejetés. Les synonymes sont retenus si ils satisfont à la première condition ;

- **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, ainsi qu'à regrouper les termes qui ont la même signification de façon à garder les plus significatifs ;

- **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 en fonction de la longueur du profil).

L'entraînement ne devrait prendre fin qu'en fonction des performances de juges et non à une date convenue à l'avance.

Travaux Pratiques

TP1 : mesure et appréciation de la couleur

I – Introduction

L'évaluation sensorielle est un outil complémentaire aux mesures physiques et chimiques plus courantes dans l'analyse de la matière alimentaire

Certains critères ne sont évalués que par l'analyse sensorielle. La capacité de discrimination de nos sens est importante et met en jeu la mémoire de manière permanente. Actuellement aucun instrument de mesure ne peut prédire la perception en bouche l'homme reste l'outil indispensable. Malgré tout, nos sens ne captent pas toutes les propriétés telles que certains sons ou rayons et nos capacités de discrimination ont des limites. Des différences interindividuelles se manifestent également, notamment par des seuils de sensibilités différents (sexe, âge, culture, expérience état psychologique ...etc).

Les connaissances sur la couleur et son contrôle sont souvent incomplètes. On se heurte régulièrement à des problèmes lorsqu'il s'agit de quantifier ou de qualifier la couleur d'un produit. Existe-t-il un moyen d'exprimer la couleur d'un objet donné avec précision, de la décrire à une autre personne qui pourrait à son tour la reproduire correctement ?

Contrairement à la longueur, au poids, il n'existe pas de grandeur physique pour mesurer la couleur. Chaque personne peut répondre différemment à la question « quelle est la couleur de cet objet ? » il y a souvent autant de définitions que de personnes tentant de la décrire.

La couleur est pourtant une **propriété sensorielle primaire** des aliments. Il s'agit de l'un de leurs attributs les plus importants : si l'apparence d'un aliment n'est pas attrayante, le consommateur ne prendra même pas la peine d'en évaluer les autres attributs sensorielle (flaveur, texture ...).

Bien que la couleur ne reflète pas nécessairement la valeur nutritionnelle ni la qualité organoleptique de l'aliment, bon nombre d'altérations sont accompagnées d'une modification de la couleur.

La couleur semble donc être la propriété organoleptique la plus naturelle à contrôler mais elle est l'une des plus trompeuses car elle dépend à la fois de l'objet, de l'éclairage et de l'observateur.

II-Appréciation visuelle de la couleur

La couleur peut bien sûr être évaluée par l'œil humain. Cela peut être réalisé par un jury lors de séances d'analyse sensorielle ou par les opérateurs. Le contrôle peut survenir en cours de production (exemple : contrôle de la couleur en sortie de cuisson) ou intervenir par après lors du contrôle final.

Bien souvent, des références sont mises à la disposition des personnes chargées de cette évaluation (par exemple, une échelle constituée de biscuits à différents degrés de cuisson).

Cependant, l'évaluation de la couleur par l'œil humain est soumise à beaucoup de fluctuation, les facteurs pouvant influencer l'observation étant très nombreux.

Tout d'abord d'un observateur à l'autre, la perception des couleurs n'est pas la même. L'éclairage est un paramètre déterminant pour l'appréciation de la couleur. C'est ainsi qu'un article choisi en magasin sous la lumière artificielle peut sembler avoir une toute autre couleur à la lumière du jour. En fin le mode d'observation de l'objet influence également la perception. Ainsi, un objet placé sur un fond clair paraît plus foncé que s'il est placé sur un fond sombre : c'est l'effet contraste. Un objet de petite taille peut sembler de couleur moins foncée ou moins vive qu'un objet de la même couleur mais dont la surface est plus grande : c'est l'effet de surface. Enfin l'angle d'observation de l'objet joue également un rôle non négligeable : c'est l'effet directionnel.

Par ailleurs, la mise en œuvre des tests d'analyse sensorielle est toujours longue et fastidieuse (fatigant). Au vu de tout ceci, il semble donc important de pouvoir obtenir une mesure rapide, faible et objective de la couleur.

III-Espaces colorimétriques

Afin de pouvoir identifier objectivement une couleur, des systèmes colorimétriques de référence ont été définis. Citons entre autres le système CIE (commission internationale d'éclairage). L'espace colorimétrique le plus utilisé est l'espace (CILAB) ou (L*, a*, b*). Les axes L*, a* et b* sont orthogonaux. La valeur L* représente la position sur l'axe de luminosité (ou clarté) Elle est directement liée à la sensation visuelle de luminosité, a* représente la position sur l'axe rouge-vert et b* représente la position sur l'axe bleu-jaune (Figure 1). Δ a* positif indique un décalage vers le rouge et un Δ a* négatif indique un décalage vert le vert. De même, un Δ L* positif indique une augmentation de la clarté tandis qu'un Δ b* négatif correspond à une évolution vers le bleu.

(L* = 0 noir et L* = 100 incolore), a* désigne la composante de couleur rouge/vert (a* >0 rouge, a* < 0 jaune, b*)

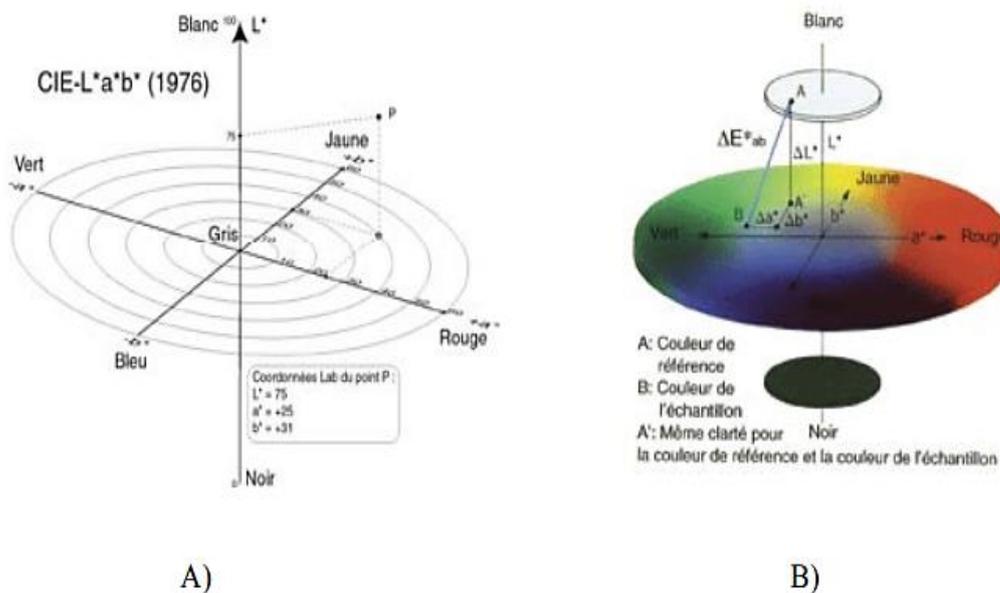


Figure 1 : A) la représentation colorimétrique de l'espace chromatique CIELAB ou espace L* a* b* et B) l'écart de couleur ΔE*

Une couleur (point m) est caractérisée par sa **teinte**, sa **clarté** et sa **saturation** C* indique la saturation où la saturation mesure l'indice de pureté ou le contraste d'une couleur, Ainsi un Δ C* positif indique une augmentation de la saturation

L'angle de la teinte (H* : qui indique la teinte : varie entre 0 et 360°) et (C* : qui indique la saturation) ont été calculés comme suit :

$$\text{Chroma (saturation) : } C^* = [a^{2*} + b^{2*}]^{1/2}$$

$$\text{Angle de teinte : } H^* = \tan^{-1} [b^*/a^*]$$

En conclusion ce système permet de décomposer une couleur en trois critères physiologiques

- la teinte qui correspond à la perception de la couleur, $0 \leq H^* \leq 360$ (elle est déterminée en colorimétrie par la longueur d'onde dominante de la couleur considérée)
- la saturation qui correspond à la pureté de la couleur (vif ou terne), $0 \leq C^* \leq 1$ (couleur vif = 1, couleur terne = 0)
- la luminance correspondant à la quantité de lumière de la couleur (clair =1 ou sombre =0),
- $0 \leq L^* \leq 1$

TP2 METHODOLOGIE DE L'ANALYSE SENSORIELLE

I - BUT

Lors de l'organisation de l'analyse sensorielle, différents éléments sont à prendre en compte : les locaux et leur équipement, la préparation des échantillons, le jury, le questionnaire, donc la maîtrise des conditions pour le bon déroulement des analyses sensorielle est indispensable pour la réussite de cette évaluation.

II – LES ETAPES D'UNE ANALYSE SENSORIELLE

L'analyse sensorielle étant un outil complexe, elle demande une grande rigueur si l'on veut pouvoir en retirer des résultats exploitables. D'une manière générale, une étude doit être menée en respectant les sept étapes ci-dessous.

1- déterminer l'objectif de l'étude : dans quel cadre s'inscrit-elle ?

2- déterminer l'objectif de chacun des tests

3- examiner les échantillons : lister tous les attribuer du produit de façon à identifier les plus pertinents, mais aussi l'influence qu'ils peuvent avoir les uns sur les autres.

4- Concevoir les tests : choix du test, sélection et entraînement du jury ; conception du questionnaire, détermination du mode de préparation et de présentation des échantillons ; choix de la méthode de présentation des résultats.

5- Réaliser les tests.

6- Analyser les résultats : l'analyse statistique des résultats peut s'expliquer aussi bien aux données issues du test qu'à d'autres informations annexes telles que l'âge ou le sexe des membres du jury par exemple.

7- Interpréter les résultats et les mettre en forme.

Pour chacune de ces étapes, il est important de garder en perspective le traitement statistique des résultats.

III – LES SUJETS OU LE JURY D'ANALYSE SENSORIELLE

L'approche qui prédomine en analyse sensorielle est de considérer le jury comme un instrument de mesure.

Il s'agit cependant d'un instrument de mesure très particulier puisqu'il est sujet à des émotions et possède un vécu, une éducation, des habitudes ...etc. C'est un donc un instrument très sensible à la subjectivité et qui présente en conséquence une grande variabilité dans le temps, mais également d'un juge à l'autre. Les résultats obtenus peuvent, de plus, être très facilement biaisés par des facteurs autant psychologiques que physiologique.

Il est donc nécessaire de prendre certaines précautions afin d'obtenir des résultats fiables : les résultats doivent être répétées, le nombre de jury doit être suffisant pour être représentatif et les juges doivent respecter les consignes qui leur sont données.

Les individus ou sujets/jury requis pour effectuer des évaluations sensorielles forment des ensembles ou sous-ensembles qu'on appelle groupes.

On peut classer les groupes d'évaluation sensorielle en fonction de leur vocation : on distingue les groupes à vocation qualitative et quantitative, et les groupes à vocation hédonique.

On distingue habituellement quatre groupes de sujets :

- Les sujets *naïfs* : ne dispose aucune connaissance ou formation particulière, ils sont utilisés dans les tests consommateurs.

- Les sujets *initiés* : sont familiarisés avec l'analyse sensorielle

- Les sujets **qualifiés** : sont sélectionnés et entraînés, par exemple à un type de test.
- Les **experts** : sont, de par leurs aptitudes, leur formation et leurs expériences, spécialisées dans l'étude de produits spécifiques.

Le groupe peut être interne ou externe de l'entreprise, le choix étant lié à des problèmes d'organisation.

En termes d'effectif, le nombre de juges dépend du type de test à effectuer et de la signification statistique désirée.

Le jury peut subir un entraînement plus ou moins poussé. Cependant, il doit au minimum avoir été familiarisé avec la procédure à suivre pour évaluer le produit et avec le questionnaire qui lui est soumis (terminologie, échelles, forme des réponses à donner ...etc). Il peut être utile de remettre au jury un document reprenant toutes les notions et informations nécessaires au bon déroulement de la séance.

Par ailleurs, le jury est prié de respecter quelques consignes avant et pendant les séances :

- ne pas se parfumer ;
- ne pas porter de rouge à lèvres ;
- ne pas fumer, boire du café ou manger juste avant la séance ;
- être ponctuel et prévenir en cas d'absence ;
- avertir d'une éventuelle maladie ou grossesse, de la prise de certains médicaments ;
- si un juge se présente dans un état psychologique qui ne lui permet pas de se concentrer, il est préférable qu'il se désiste ;
- lire attentivement les questions et vérifier qu'aucune n'a été oubliée ;
- se rincer la bouche entre chaque échantillon ;
- conserver le silence tout au long de la séance et maintenir une ambiance propice à la concentration ;
- si une question doit être posée, appeler discrètement l'animateur et poser la question à voix basse.

Les jurys de consommateurs : les jurys de consommateurs sont constitués d'un large panel de « goûteur » consommateurs ou consommateurs potentiels. Ces jurys permettent par exemple d'évaluer le succès potentiel d'un nouveau produit, ou de le positionner par rapport à un concurrent.

Le recrutement du panel se fait à grande échelle (100 à 500 personnes). Le formulaire de recrutement comporte des questions telles que les coordonnées, des données personnelles (âge, sexe, professions...). Les goûts et habitudes alimentaires, les éventuelles allergies, la disponibilité ...etc. il est possible d'utiliser un jury représentatif de la population.

Les tests consommateurs peuvent se dérouler dans un laboratoire d'analyse sensorielle où les juges sont conviés par petits groupes, dans une grande salle où les juges sont tous réunis.

Les jurys de consommateurs effectuent des tests hédoniques (voir le chapitre 3) mais peuvent également réaliser des tests de différenciation.

Les jurys d'experts : les jurys d'experts sont constitués d'un plus petit nombre de jurys, qui ont été recrutés, sélectionnés, formés, entraînés et suivent.

Recrutement

Le recrutement peut se faire en interne (au sein de l'entreprise) ou en externe. Le recrutement se fait avec le même questionnaire que pour le jury de consommateurs auquel on peut ajouter quelques questions sur le sujet qui sera étudié, afin d'évaluer les connaissances préalables du jury.

Le recrutement interne permet de travailler avec un jury qui connaît bien le produit (ce qui n'est pas toujours souhaité), qui ne doit pas être rémunéré (si les tests ont lieu pendant les heures de travail).

Le recrutement externe est plus coûteux (rémunérations, convocations) mais permet de travailler avec des juges plus disponibles et sans a priori sur le produit. Il permet également de constituer un jury plus nombreux et plus facilement renouvelable.

La table 1, donne un exemple de questionnaire permettant de recueillir plusieurs informations sur les candidats

Table1. Exemple de questionnaire utilisé lors du recrutement

<i>Nom :</i>	
<i>Adresse :</i>	
<i>Téléphone (domicile et travail) :</i>	
<i>Comment avez-vous entendu parler de ce groupe d'évaluation sensorielle ?</i>	
<i>Disponibilités :</i>	
1. Y a-t-il des jours de la semaine où vous n'êtes pas disponible régulièrement ?	
2. Combien de semaines de vacances avez-vous l'intention de prendre entre le 1er juin et le 1er septembre ?	
<i>Santé :</i>	
1. Avez-vous ?	
problèmes dentaires	_____
diabète	_____
affections buccales	_____
hypoglycémie	_____
allergies alimentaires	_____
hypertension	_____
2. Prenez-vous des médicaments qui affectent vos sens, en particulier votre goût et votre odorat ?	
<i>Habitudes alimentaires :</i>	
1. Suivez-vous régulièrement un régime amaigrissant ?	
Si oui, précisez :	
2. Combien de fois par mois mangez-vous à l'extérieur ?	
3. Combien de fois par mois mangez-vous un repas complet surgelé ?	
4. Quel(s) est (sont) votre (vos) aliment(s) préféré(s) ?	
5. Quel(s) est (sont) l'aliment (les aliments) que vous aimez le moins ?	
6. Quels aliments ne pouvez-vous pas manger ?	
7. Quels aliments n'aimez-vous pas ?	
Quelqu'un de votre famille proche travaille-t-il dans l'industrie agro-alimentaire ?	
<i>Questionnaire :</i>	
1. Si une recette nécessite du thym et que vous n'en avez pas : que lui substitueriez-vous ?	
2. Citez des aliments dont le goût se rapproche de celui du yaourt :	
3. Comment décririez-vous la différence entre flaveur et texture ?	
4. Comment décririez-vous brièvement la différence entre croquant et croustillant ?	
5. Décrivez quelques-unes des saveurs que l'on trouve dans la mayonnaise :	

La sélection : toute sélection doit être précédée d'un entraînement sommaire visant à faire prendre conscience aux individus de ce qu'est l'évaluation sensorielle, du rôle des sens, des différentes caractéristiques sensorielles telles que l'odeur, textures, arômes, saveurs, flaveurs. Il est important que ces personnes aient pu goûter, sentir, toucher les solutions ou produits utilisés ultérieurement dans les épreuves de sélection en connaissant leur identité.

Les essais utilisés lors de la sélection doivent permettre de cerner les sujets à plusieurs niveaux.

Niveau général :

- Capacité à comprendre les questions ;
- Capacité à répondre à un questionnaire ;
- Capacité à s'exprimer, à décrire ;

Niveau particulier ou spécifique

- Aptitude à discriminer les stimuli ;
 - Aptitude à apprendre et mémoriser des stimuli ;
 - Aptitude à différencier les intensités ;
 - ❖ *les aptitudes d'ordre général* peuvent être vérifiées dans le cadre des essais spécifiques ou grâce à d'autres techniques du type : explication puis système questions réponses relatives aux explications données ; questionnaires comprenant divers systèmes de réponses (cocher, souligner, entourer, mettre une croix..etc.).
 - ❖ *les aptitudes les plus particulières* seront évaluées soit sur des substances très variées, soit sur des substances directement en rapport avec les produits à analyser.
- **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.

Le tableau 1 indique pour quatre saveurs et une sensation trigéminal, les substances, la concentration à utiliser et le pourcentage de réponses correctes observées.

Tableau 1. Exemple des produits pour des essais de reconnaissances

Saveur	Substance	Concentration (g/l)	% 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

Il y a 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 appairer 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.

- **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 apparier. 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 2 donne les descripteurs, les substances utilisées, les concentrations préconisées et les taux de reconnaissance.

Tableau 2. Exemple des produits pour des essais de reconnaissances 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

- **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 (Tableau 3)

Remarque : 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.

Tableau 3. Exemple des produits pour des essais de classement

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

- **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.

- **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 (voir chapitre 3) peuvent être proposés afin d'évaluer l'aptitude des sujets à discriminer deux stimuli différents ou deux stimuli d'intensité différente.
- **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. L'animateur mettra l'accent sur l'importance de la formation et la durée prévue des tests. Le juge ainsi informé pourra prendre l'engagement de rester toute la durée des tests.
 - ◆ **L'entraînement** : 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,
 - d'apprendre à évaluer les produits,
 - d'augmenter sa connaissance sensorielle,
 - de donner des jugements purement qualitatifs sans tenir compte de ses préférences,
 - de comparer sa perception à celle des autres juges afin de réduire les différences interindividuelles.

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

- **La formation théorique** comprend les notions de base en physiologie sensorielle, différences inter et intra individuelles, phénomène d'adaptation, consignes générales.
- **La partie 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 (un juge a toujours le droit de ne pas être d'accord avec la réponse supposée correcte).

Dans les cas où l'animateur ne connaît pas avec précision la réponse correcte (évaluation de la tendreté d'un morceau de viande sur une échelle de 0 à 10) celui-ci calculera la moyenne des cotations et en fera part au jury, les membres qui sont le plus éloignés de cette moyenne seront invités à regoûter. 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 s'est fixé soient atteintes. A partir de ce moment, le groupe sera considéré comme un groupe qualifié et pourra travailler en routine.

III - EQUIPEMENTS

La réalisation d'essais sensoriels ne nécessite pas des installations sophistiquées mais elle impose le respect de certaines exigences de base pour être efficace et donner des résultats fiables. S'il est évident que des installations permanentes, conçues spécialement pour l'analyse sensorielle, offrent un meilleur cadre pour les essais sensoriels, n'importe quel laboratoire peut être adapté à cette fin. Il suffit d'y aménager un secteur pour la préparation des aliments, un secteur pour les discussions en panel, un secteur tranquille équipé d'isolaires, et un bureau pour l'animateur du panel, sans compter les fournitures pour la préparation des échantillons et pour les servir.

Le local doit permettre 4 types d'activité :

- La préparation administrative des épreuves et leur interprétation ;
- La préparation des produits ;
- L'évaluation sensorielle des produits ;
- L'organisation des réunions avec les sujets ou la réalisation de travaux en groupe.

Les tests d'analyses sensorielles se déroulent en général dans des boxes d'isolement (figure1). De cette façon les interactions entre les juges sont minimisées et la concentration augmentée. Chaque box est équipé d'une petite porte permettant le service et dispose également d'un interrupteur actionnant un signal lumineux. Celui-ci est visible du préparateur et permet au juge de communiquer avec lui (pour lui indiquer qu'il a terminé un test par exemple). On peut aussi y installer un évier ou un ordinateur.

Pour ce qui concerne les éviers. Il faut disposer d'au moins deux éviers alimentés en eau chaude et en eau froide. Il est également utile de disposer d'eau distillée dans un laboratoire d'essais sensoriels. Si l'eau du robinet a une odeur ou un goût, on doit se servir d'eau distillée pour la cuisson et le nettoyage des plats, et en donner aux dégustateurs pour qu'ils se rincent la bouche.

Le matériel nécessaire pour l'analyse (crayon, eau, couverts) sera disposé dans chaque box avant le début de la séance.

Les séances de formation, d'entraînement, de choix des descripteurs se déroulent plus généralement autour d'une table, de façon à rendre possible la discussion. Il est aussi possible d'utiliser des cloisons amovibles qui seront installées ou non en fonction du type de séance organisée.

Les isoloirs peuvent être construits avec des cloisons inamovibles ou être simplement formés d'un plan de travail séparé par des cloisons amovibles. Chaque isoloir doit être profond d'environ 60 cm et large d'au moins 60 cm mais la dimension idéale est de 76 sur 86 cm. Le plan de travail des isoloirs doit avoir la même hauteur que celui servant à la préparation des aliments pour qu'on puisse facilement se servir du passe-plat dans les deux sens. On peut lui donner la hauteur d'un bureau, soit 76 cm ou d'un plan de travail, soit 90 cm. La hauteur d'un plan de travail est, en général, plus pratique et plus utile du côté consacré à la préparation des aliments. Les partitions qui délimitent les isoloirs doivent avoir au moins 90 cm de haut et dépasser d'environ 30 cm le bord du plan de travail pour assurer l'intimité des dégustateurs. Un exemple de plans de cabines de dégustation est proposé à la figure 2.

Chaque cabine de dégustation est équipée d'une chaise, un passe plat, un éclairage spécifique et crachoir. Le nombre de poste de dégustation est le plus souvent compris entre 10 et 15.



Figure 1. Boxes d'analyse sensorielle

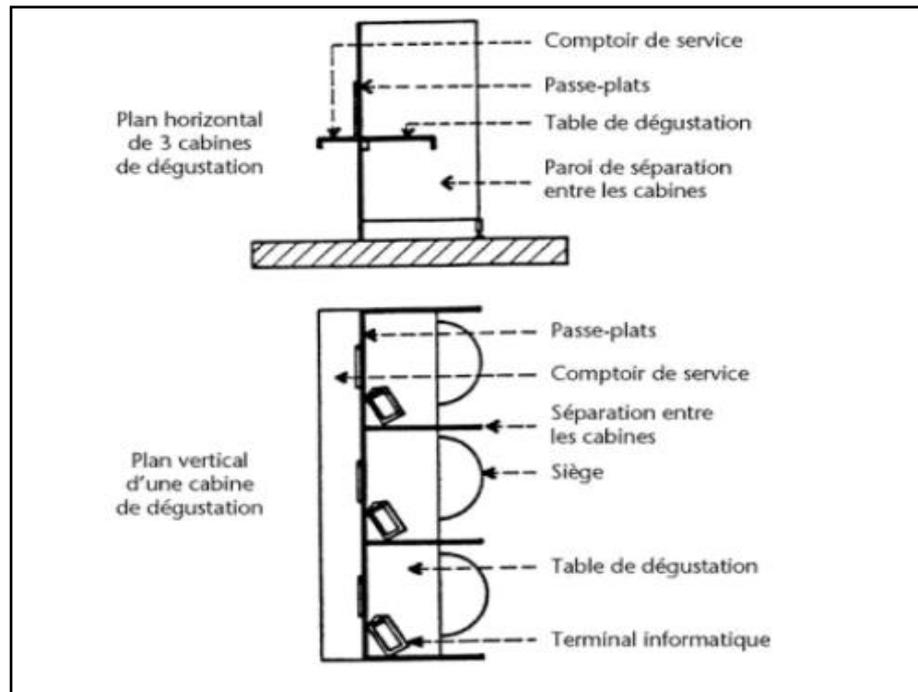


Figure 2. Plans de cabines de dégustation

La salle d'analyse sensorielle est avoisinante à une salle de préparation. Celle-ci sera équipée de tout ce qui est nécessaire à la présentation des échantillons (four, trancheuse... etc) mais aussi à leur stockage (température ambiante, réfrigération et congélation). Cette zone doit être proche de la salle d'analyse sensorielle afin de faciliter le service, mais elles doivent absolument être séparées physiquement. La zone de préparation sera suffisamment isolée de la salle d'analyse que pour empêcher les odeurs de se propager à celle-ci (figure 3).

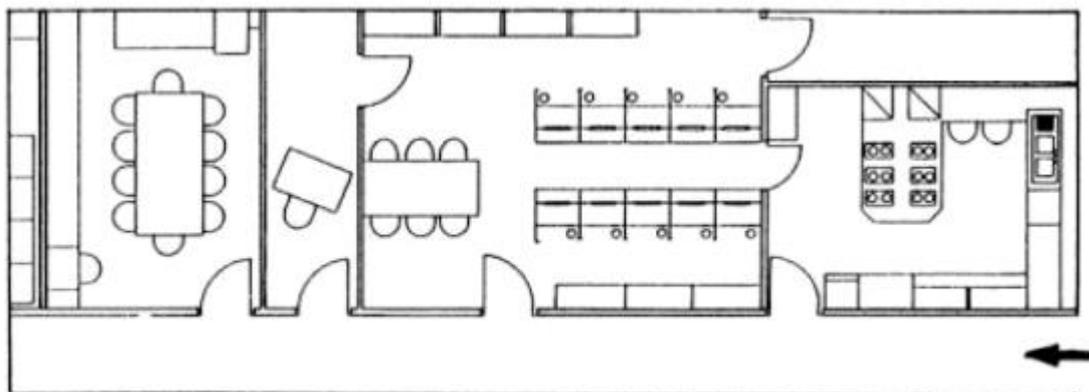


Figure 3. Local comprenant un bureau, une salle de réunion, une salle d'évaluation et une salle de préparation juxtaposée.

Afin de favoriser la concentration et de limiter les influences sur les résultats, la salle d'analyse sensorielle doit être la plus neutre possible. Les murs sont clairs et unis, de préférence blancs ou beiges, et il est exempt d'odeurs. Les matériaux utilisés sont faciles d'entretien et permettent une bonne hygiène. Le choix de l'éclairage a également son importance. En général, on choisit une lumière blanche de bonne intensité (attention : une intensité trop forte peut influencer le jury) et les boxes sont éclairés d'une manière uniforme (pas de zone d'ombre par exemple). Cependant dans certains cas, des lumières colorées sont utilisées, notamment pour masquer les différences d'aspect lorsque c'est la texture ou le goût qui sont étudiés. Une bonne circulation de l'air est également nécessaire afin de conserver une température et une humidité agréable durant les tests et constantes d'un test à l'autre (environ 20 °C et 50% HR). Enfin, la salle d'analyse sensorielle sera située dans un lieu calme afin d'éviter que les juges ne soient perturbés par divers bruits d'extérieurs.

Il faut choisir les contenants à échantillons en fonction de la taille et des caractéristiques de l'échantillon. La taille du contenant sera fonction du type de produit soumis aux essais et de la quantité qu'on veut y mettre. Les contenants en papier, en plastique ou en polystyrène jetables de 30 à 60 ml, les assiettes pétri et en papier jetables sont tous pratiques mais coûtent assez cher. Les contenants réutilisables comme les verres sont des solutions de remplacement acceptables. Il faut des couvercles pour empêcher les échantillons d'aliments de sécher ou de changer de température ou d'apparence et pour empêcher la poussière de les contaminer. Les couvercles présentent une importance particulière quand on doit évaluer les odeurs de l'échantillon d'aliments. Les couvercles permettent aux odeurs de l'échantillon de s'accumuler dans le contenant afin que les dégustateurs les sentent pleinement quand ils ouvrent le contenant. Lors de l'achat des contenants à échantillons, il est important de vérifier qu'ils n'aient pas d'odeurs. Il faut acheter suffisamment de contenants de la même taille et de la même forme pour s'assurer qu'on puisse en utiliser d'identiques pour tous les échantillons servis pendant une étude.

IV – PREPARATION ET PRESENTATION DES ECHANTILLONS

Tout d'abord, afin de n'introduire aucun biais, tous les échantillons doivent être préparés de façon rigoureusement identique. Il est également important de respecter les mesures élémentaires d'hygiène lors de la préparation des échantillons. Les matériaux utilisés sont les plus inertes possibles : verre ou acier inoxydable plutôt que plastique ou bois. Ceci est également valable pour le stockage des échantillons.

Pour les tests employant un jury d'expert, le mode de préparation à retenir est celui qui permet la meilleure perception du paramètre étudié. Pour les tests consommateurs, au contraire, les échantillons sont préparés de façon la plus proche possible de leur mode de consommation habituel.

La façon dont les échantillons sont présentés aux sujets est importante : elle doit permettre de minimiser l'influence des facteurs extérieurs au produit sur les réponses des sujets.

- **Anonymat des échantillons** : la présentation dite en aveugle est obligatoire quand on travaille sur les caractéristiques quantitative et qualitative des produits. Les échantillons doivent être transvasés dans des récipients neutres. Lorsque cela n'est possible (pour les

produits gélifiés, dont le transvasement modifierait la texture), il faut camoufler l'emballage par enrobage de papier collant, de papier d'aluminium ou par tout autre système rendant méconnaissable l'emballage d'origine).

- **Codage des échantillons** : afin de repérer les différents produits, on attribue à chacun d'entre eux un code à trois chiffres, pris au hasard, en veillant à ce que deux codes ne présentent pas de trop grande ressemblance. La table 2 donne des nombre tirés au hasard

Table2. Table de nombres au hasard

Les échantillons seront codés par un nombre aléatoire (EXCEL/génération de nombre aléatoire) avec un nombre de dégustation imposé (Voir TP2).

73074	20921	61482	82259	96842	97097	30317	80435	64203	61765	43860	96964	49593	54800	95681
55692	65506	76913	37648	10965	20452	63236	25683	39363	34659	57027	95214	88848	71707	87432
25221	61246	47126	45447	80190	59515	58320	02644	03453	41939	23323	46233	24904	95658	00299
79843	38273	38410	36694	21457	02108	81100	79376	99833	36862	26124	29135	63631	43170	14631
49840	32493	12674	78043	35771	18002	21583	48936	14683	76099	71474	63778	22248	70866	40023
57620	82788	53822	92661	74004	50987	17040	00651	05519	71286	95286	78615	82853	46687	09503
25042	10580	29787	36421	35104	39725	55302	45763	86078	87436	13949	72783	72390	46696	67166
67686	89747	78588	81286	90100	81063	59066	99066	62021	41994	91197	09802	42049	47494	72950
99045	26543	50008	60709	74922	04847	00540	41967	21949	12984	95473	19015	69124	70574	17123
82893	37193	14887	70776	74005	63868	90655	14472	17419	73371	03210	20441	49285	51633	62270
80589	74467	15539	27795	13192	00337	57093	66543	03022	47419	44623	95494	52995	23393	77624
33046	38273	20499	84225	67387	41826	32925	64600	83713	25910	62261	44693	08062	73145	92765
00894	85892	71684	31264	71251	12536	60227	17575	04494	92962	94725	59482	33826	61225	86756
13172	45444	00059	08762	36698	78618	97590	59313	16174	61671	71390	75076	10435	52587	26256
87251	50854	26285	06166	49357	13895	15315	12009	68998	58237	41336	34891	61057	55358	92360
23971	96156	19493	02526	63565	75692	87530	80452	40224	66251	95338	46191	88793	42594	85533
89601	53472	98737	23579	13246	33244	96553	03038	66939	20306	64113	87814	78436	02656	30659
79778	79362	25367	08919	43630	59367	65916	24083	15325	72837	12993	74652	15335	24454	90720
00683	57464	07586	07221	10886	97248	09679	99158	55141	21145	01105	46469	82880	66123	95580

- **Présentation homogène des échantillons** : Tous les facteurs extrinsèques au produit (température, quantité présentée, récipientetc) doivent être absolument homogènes. Cette condition est essentielle pour les épreuves discriminatives (voir chapitre 3), si par exemple la réponse correcte d'un sujet est basée sur une différence de température, le but de l'épreuve n'est pas atteint. Pour les épreuves descriptives, l'homogénéité de présentation est également importante : une différence de température peut modifier la perception de certaines caractéristiques. On peut parfois souhaiter homogénéiser la couleur des échantillons : en effet quand on s'intéresse à la flaveur des produits, les différences de couleur peuvent constituer un biais. Dans le cas des boissons, on peut avoir recours à l'utilisation des verres noirs.
- **Mode de présentation des échantillons** : d'une manière générale, on cherchera à se rapprocher le plus possible des conditions naturelle de consommation.
Exemple : c'est ainsi une glace sera dégustée entre -10 et -5 °C, et non pas fondue.

- **Ordre de présentation des échantillons (planification d'un plan d'expérience) :** l'influence de l'ordre dans lequel le sujet dégusté les produits sur ses réponses est évitée en changeant cet ordre d'un sujet à l'autre et d'une répétitions à l'autre pour le même sujet. Lorsque le nombre du produits égal à 2, on utilisera les deux ordres possibles un même nombre de fois.

Lorsqu'on a 3 produits c'est-à-dire un test portant sur trois échantillons, six ordres de présentations sont possibles (six combinaisons possibles) : ABC, ACB, BAC, BCA, CAB, CBA. Chaque échantillon apparait deux fois à chacune des positions. Dans cet exemple, il est donc préférable d'utiliser un nombre de juge multiple de 6.

Lorsque le nombre de produit devient supérieur à trois, on peut appliquer la randomisation (tirage au sort, pour chaque sujet, de l'ordre de présentation des produits). Mais la meilleure démarche reste un plan de présentation équilibré : les carrés latins.

Un carré latin est un carré dans lequel chaque ligne et chaque colonne comporte tous les traitements. Deux carrés latins sont dits orthogonaux si leur superposition crée toutes les paires possibles.

Les carrés latins mutuellement orthogonaux, ou MOLS (mutually orthogonal latin squares), permettent une maîtrise de l'ordre de présentation des produits, chaque produit étant présenté le même nombre de fois en première, en seconde ...et en dernière position. et ils permettent également la maîtrise des arrières effets : chaque produit est dégusté avant chaque autre produit le même nombre de fois (maîtrise des effets d'ordre 1). De tels plans imposent un nombre de sujets qui soit un multiple du nombre des produits étudiés (cas pair) ou de son double (cas impair). Dans la pratique, la maîtrise des arrières effets d'ordre 1 est sans doute suffisante.

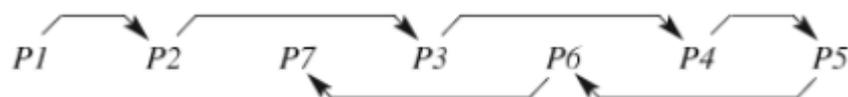
Exemple : Pour un nombre de produit pair, un carré latin, permettant la maîtrise des effets d'ordre et des arrières-effets de l'ordre 1, peut être construit comme suit :

Pour le premier sujet : en première position le produit 1, en seconde position le produit 2, puis on saute une place à chaque fois pour les produits suivants : le produit 3 sera donc donné en quatrième position, le produit 4 en sixième position ...etc. jusqu'à atteindre la dernière position, ensuite on revient en arrière en comblant les positions non occupées à la troisième position.

Exemple : avec 8 produits, on aura pour le premier sujet :



Lorsque le nombre de produits est impair, seule la stratégie de fin de ligne est différente



Pour les sujets suivants, on effectue une permutation circulaire sur les produits.

Exemple : avec 8 produits le plan complet est :

<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P8</i>	<i>P3</i>	<i>P7</i>	<i>P4</i>	<i>P6</i>	<i>P5</i>
<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P1</i>	<i>P4</i>	<i>P8</i>	<i>P5</i>	<i>P7</i>	<i>P6</i>
<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P2</i>	<i>P5</i>	<i>P1</i>	<i>P6</i>	<i>P8</i>	<i>P7</i>
<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P3</i>	<i>P6</i>	<i>P2</i>	<i>P7</i>	<i>P1</i>	<i>P8</i>
<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P4</i>	<i>P7</i>	<i>P3</i>	<i>P8</i>	<i>P2</i>	<i>P1</i>
<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P5</i>	<i>P8</i>	<i>P4</i>	<i>P1</i>	<i>P3</i>	<i>P2</i>
<i>P7</i>	<i>P8</i>	<i>P6</i>	<i>P1</i>	<i>P5</i>	<i>P2</i>	<i>P4</i>	<i>P3</i>
<i>P8</i>	<i>P1</i>	<i>P7</i>	<i>P2</i>	<i>P6</i>	<i>P3</i>	<i>P5</i>	<i>P4</i>

Cependant le plan obtenu, s'il est équilibré pour les ordres de présentation, ne l'est pas pour les arrières-effets. Il faut donc le compléter en recommençant une série avec les produits présentés dans l'ordre inverse.

Exemple : avec 7 produits le plan complet est :

<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P7</i>	<i>P3</i>	<i>P6</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>
<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P1</i>	<i>P4</i>	<i>P7</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>
<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P2</i>	<i>P5</i>	<i>P1</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>
<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P3</i>	<i>P6</i>	<i>P2</i>	<i>P7</i>	<i>P1</i>
<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P4</i>	<i>P7</i>	<i>P3</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>
<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P5</i>	<i>P1</i>	<i>P4</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<i>P7</i>	<i>P1</i>	<i>P6</i>	<i>P2</i>	<i>P5</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>
<i>P7</i>	<i>P6</i>	<i>P1</i>	<i>P5</i>	<i>P2</i>	<i>P4</i>	<i>P3</i>
<i>P6</i>	<i>P5</i>	<i>P7</i>	<i>P4</i>	<i>P1</i>	<i>P3</i>	<i>P2</i>
<i>P5</i>	<i>P4</i>	<i>P6</i>	<i>P3</i>	<i>P7</i>	<i>P2</i>	<i>P1</i>
<i>P4</i>	<i>P3</i>	<i>P5</i>	<i>P2</i>	<i>P6</i>	<i>P1</i>	<i>P7</i>
<i>P3</i>	<i>P2</i>	<i>P4</i>	<i>P1</i>	<i>P5</i>	<i>P7</i>	<i>P6</i>
<i>P2</i>	<i>P1</i>	<i>P3</i>	<i>P7</i>	<i>P4</i>	<i>P6</i>	<i>P5</i>
<i>P1</i>	<i>P7</i>	<i>P2</i>	<i>P6</i>	<i>P3</i>	<i>P5</i>	<i>P4</i>

- **Le nombre d'échantillons présentés** : le nombre d'échantillons à présenter par séance dépend donc à la nature du produit et du type de test (tableau 4).

Tableau 4. Nombre d'échantillons qui peuvent être évalués au cours d'une séance de 4 h, en fonction du type de produits (épreuves descriptives).

Boissons	15-20 boissons, chaque échantillon étant séparé du suivant par une attente de 5 minutes
Sauces	12-15 sauces, chaque échantillon étant séparé du suivant par une attente de 10 minutes
Bonbons	12 échantillons, en se rinçant soigneusement la bouche
Gâteaux	12 échantillons
Glace	10 échantillons
Aliment épicés	8-10 échantillons, avec une attente d'au moins de 10 minutes entre les échantillons.

Lorsque le nombre de produits à étudier dépasse cet optimum, on peut procéder à répartir la présentation des produits sur plusieurs séances.

- **La représentativité des échantillons** : l'échantillonnage doit être représentatif des produits étudiés. Le problème de la représentativité de l'échantillon de produits peut être illustré par l'exemple suivant

Exemple : si l'on veut comparer les boites de conserves fabriquées dans deux usines différentes, on prendra dans chaque usine des boites provenant de lots différents. L'échantillon, ainsi obtenu, sera plus hétérogène que si toutes les boites provenaient du même lot, mais il sera plus représentatif du produit que l'on veut étudier.

Une autre méthode consiste à réaliser le test sur un seul lot, puis à le répéter sur d'autres lots. Cette méthode est plus longue mais permet de respecter à la fois l'homogénéité de l'échantillon lors d'un test, et la prise en compte de la diversité entre les lots.

○ **l'instrument de mesure humain :** la qualité essentielle d'un instrument de mesure étant la *fidélité*, il faut en évaluation s'assurer de cette *fidélité* en répétant les essais.

On peut vérifier la *répétabilité* des résultats en introduisant au cours de la même séance plusieurs fois le même produit.

La *reproductibilité* en évaluation sensorielle peut consister en accord entre les résultats obtenus par des laboratoires différents, par des groupes différents dans le même laboratoire, ou par un même groupe à des dates différentes.

La *sensibilité* aux stimuli sensoriels est spécifique à chaque individu, mais s'affine grâce à l'entraînement. Elle se traduit par le seuil : seuil de détection (plus petite valeur détectée du stimulus).

D'autre part, les réponses diffèrent toujours d'un individu à l'autre : il n'existe pas d'observateurs standard, d'où la nécessité de recueillir les réponses d'un groupe et non d'un sujet.

V – QUESTIONNAIRE

Le questionnaire doit être le plus clair possible. Toutes les explications et instructions nécessaires doivent s'y trouver. Si des questions ouvertes sont posées, une place suffisante doit être prévue pour les réponses ; le style de réaction doit être si possible semblable pour toutes les questions ; la longueur du questionnaire doit être en adéquation avec le temps dont disposent les juges ; le questionnaire doit être dispensé de façon à poser le moins de questions possible tout en permettant d'atteindre les objectifs fixés.

Les questions doivent se succéder de manière logique : s'il est demandé au jury de justifier sa préférence, il faut se faire immédiatement après le test de préférence concerné et pas à la fin du questionnaire. Il est possible de poser des questions hédoniques et descriptives sur le même questionnaire, mais celles-ci doivent être clairement distinctes. Les questions doivent être apparaitre dans l'ordre de l'importance. Si c'est la différence globale entre les échantillons qui est déterminante, elle sera examinée en premier lieu. En revanche, s'il est important que tous les aspects du produit soient examinés avant de donner une appréciation globale, les questions portant sur les différents attributs seront posées les premiers.

Les tables 3 et 4 présentent les deux types de questionnaires pouvant être utilisés.

Nom :	Date :
Prénom :	
Vous recevez l'échantillon n° <input type="text"/>	
Goûtez-le et cochez le numéro correspondant à votre impression.	
<input type="checkbox"/>	1. Extrêmement désagréable
<input type="checkbox"/>	2. Très désagréable
<input type="checkbox"/>	3. Désagréable
<input type="checkbox"/>	4. Assez désagréable
<input type="checkbox"/>	5. Ni désagréable ni agréable
<input type="checkbox"/>	6. Assez agréable
<input type="checkbox"/>	7. Agréable
<input type="checkbox"/>	8. Très agréable
<input type="checkbox"/>	9. Extrêmement agréable

Nom :

Date :

Prénom :

Vous recevez l'échantillon n°

Goûtez-le et indiquez son caractère désagréable ou agréable sur l'échelle ci-dessous :

—+————+
Très agréable

TP3 : Évaluation hédonique

I - Objectif

Objectif : mesurer le degré d'aimer ou détester un produit. Il s'agit d'interroger des individus non entraînés uniquement sur le plaisir éprouvé. L'évaluation hédonique a pour objectif d'analyser le niveau de satisfaction, à un instant donné, des consommateurs interrogés pour une famille de produits

III-Travail à faire

On demande au jury d'évaluer des échantillons codés de 3 marques de couscous en indiquant leur degré d'appréciation sur une échelle à 9 niveaux. Pour cela, ils indiquent une catégorie sur une échelle qui va de «aime beaucoup» à «n'aime pas du tout».

- Préparation des échantillons (codage aléatoire)
- Construit le plan d'expérience : donne les produits à déguster et l'ordre, pour chaque juge (réalisation d'un bloc complet : carré latin)
- Analyser et indiquer dans quelle mesure vous avez aimé ou pas aimé chaque échantillon en cochant le numéro correspondant à votre appréciation
 - Extraordinairement désagréables : **1**
 - Très désagréables : **2**
 - Désagréable : **3**
 - Assez désagréable : **4**
 - Ni désagréable ni agréable : **5**
 - Assez agréable : **6**
 - Agréable : **7**
 - Très agréable : **8**
 - Extrêmement agréable : **9**
- Dépouillement des résultats de dégustation pour l'ensemble des sujets
- Interprétation des résultats
- Rédaction d'un rapport final d'évaluation sensorielle

TP2 : épreuves discriminatives : Test triangulaire

I – Introduction

Le nom de test triangulaire vient de ce que 3 produits anonymes sont présentés aux membres du "jury". Il est stipulé que deux de ces produits sont identiques, et chaque jury doit alors identifier le produit différent (choix forcé : quand le jury ne voit aucune différence, il doit indiquer un choix au hasard). Il faut un certain nombre de bonnes réponses pour que les deux produits soient désignés "probablement différents", avec une probabilité que l'on calcule

II- Organisation de test

Panel : le nombre de sujets nécessaires pour un test discriminatif dépend du risque qu'on accepte de prendre. Le nombre du panel pour un test triangulaire est plus important que pour un test 2 parmi 5 :

- Triangulaire : 18 à 25 sujets minimum, 30 souhaitables ;
- 2 parmi 5 : 10 à 20 sujets minimum

Il est recommandé d'utiliser des sujets ayant une certaine connaissance du principe du test (initiés).

Lieu: le test se réalise de préférence dans le laboratoire d'analyse sensorielle sinon l'isolement de chaque est obligatoire dans tous les cas (voir TP 1 : organisation pratique de la mesure sensorielle).

Préparation des échantillons :

Il est impératif de prévoir au départ un nombre de produits suffisants, compte tenu de l'hétérogénéité des produits. Les produits seront choisis les plus homogènes possibles en quantité, en forme, calibre, coloration afin que visuellement aucune différence ne puisse être détectable, les produits doivent être présentés simultanément.

Les échantillons seront codés par un nombre aléatoire (EXCEL/génération de nombre aléatoire) avec un nombre de dégustation imposé.

Un jeu de 3 échantillons codés dont deux sont identiques est présenté à chaque sujet. Celui-ci doit sélectionner l'échantillon qu'il juge différent. Il est obligé de faire un choix.

Les six ordres possibles de présentation sont les suivants : AAB, ABA, BAA, BBA, BAB, ABB. Chacune de ces dispositions devra être présentée un nombre de fois équivalent dans le plan de présentation.

Exemple : Exemple de présentation d'un plan d'expérience pour le test triangulaire

	Produit 1	Produit 2	Produit 3
J1	P2	P1	P2
J2	P1	P1	P2
J3	P2	P2	P1
J4	P1	P2	P2
J5	P1	P1	P2
J6	P1	P1	P2
J7	P1	P1	P2
J8	P1	P2	P1
J9	P1	P2	P1
J10	P2	P2	P1

J11	P1	P1	P2
J12	P1	P1	P2
J13	P2	P2	P1
J14	P1	P2	P2
J15	P2	P2	P1
J16	P2	P1	P2
J17	P2	P1	P2
J18	P2	P1	P1
J19	P1	P2	P1
J20	P1	P2	P1
J21	P2	P2	P1
J22	P2	P1	P2
J23	P1	P2	P1
J24	P2	P1	P2
J25	P2	P2	P1
J26	P2	P2	P1
J27	P1	P2	P1
J28	P1	P2	P2
J29	P1	P2	P2
J30	P2	P1	P1

III – Objectif

Objectif : les dégustateurs perçoivent-ils une différence sensorielle entre 2 produits du lait de boisson (lait reconstitué UHT « vs » lait reconstitué pasteurisé). « Les 2 produits sont-ils perçus comme différents ? »

IV – Protocol

Trois verres vous sont proposés. Deux proviennent d'un même produit, le troisième d'un autre produit. Il vous est demandé de le sentir un par, dans l'ordre de présentation :

827 162 903

Indiquez le code correspondant à l'échantillon que vous percevrez comme différent

Donnez une réponse même si vous n'êtes pas certain. Merci de votre contribution

V – Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats : on teste l'hypothèse de l'identité entre produit. L'hypothèse est rejetée si la proportion de réponses correctes est suffisamment supérieure à ce que laisserait prévoir le hasard. Le traitement est fondé sur l'utilisation de la loi binomiale (probabiliste 1/3, test unilatéral). On comptabilise le nombre de bonnes réponses que l'on compare au tableau du nombre minimal de réponses correctes pour établir une différence significative à trois niveaux de signification (5%, 1% et 0,01%) pour l'essai triangulaire.

Exemple : Sur 33 réponses, on comptabilise 17 réponses correctes. Une différence significative a été perçue entre le lot 1 et le lot 2 au seuil de 5%

Nombre minimal de réponses correctes pour établir une différence significative à trois niveaux de signification pour l'essai triangulaire

Nombre de réponses	Nombre minimale de réponses correctes			Nombre de réponses	Nombre minimale de réponses correctes		
	≤ 0,05	≤ 0,01	≤ 0,001		≤ 0,05	≤ 0,01	≤ 0,001
5	4	5	/	38	19	21	23
6	5	6	/	39	19	21	23
7	5	6	7	40	19	21	24
8	6	7	8	41	20	22	24
9	6	7	8	42	20	22	25
10	7	8	9	43	20	23	25
11	7	8	10	44	21	23	26
12	8	9	10	45	21	24	26
13	8	9	11	46	22	24	27
14	9	10	11	47	22	24	27
15	9	10	12	48	22	25	27
16	9	11	12	49	23	25	28
17	10	11	13	50	23	26	28
18	10	12	13	51	24	26	29
19	11	12	14	52	24	26	29
20	11	13	14	53	24	27	30
21	12	13	15	54	25	27	30
22	12	14	15	55	25	28	30
23	12	14	16	56	26	28	31
24	13	15	16	57	26	28	31
25	13	15	17	58	26	29	32
26	14	15	17	59	27	29	32
27	14	16	18	60	27	30	33
28	15	16	18	61	27	30	33
29	15	17	19	62	28	30	33
30	15	17	19	63	28	31	34
31	16	18	20	64	29	31	34
32	16	18	20	65	29	32	35
33	17	18	21	66	29	32	35
34	17	19	21	67	30	33	36
35	17	19	22	68	30	33	36
36	18	20	22	69	31	33	36
37	18	20	22	70	31	34	37

Extrait de la norme NF V09-013 AFNOR, 1983

La méthode la plus efficace pour analyser la signification des résultats à l'aide d'un test binomial à une queue. Ce test convient puisqu'on sait qu'il y a un échantillon qui est différent et qu'il n'y a donc qu'une réponse « correcte ». Dans le test triangulaire, on totalise le nombre de dégustateurs ayant identifié l'échantillon différent et on vérifie la signification du total en se servant dans le tableau ci-après (test binomial à une queue), X représente le nombre de dégustateurs qui choisissent l'échantillon différent et n représente le nombre total de dégustateurs participant au test. Le tableau donne des probabilités à 3 décimales pour certaines combinaisons de X et de n.

Le tableau ci-après montre un exemple d'une feuille de résultats qui facilite le dépouillement des résultats lors des épreuves discriminatives

Sujets	Ordre	Ordre de présentation des échantillons			Réponses
1	ABB	391	289	100	0
2	BAB	284	253	193	1
3	BBA	298	208	344	0
4	AAB	295	314	256	1
5	BBA	251	354	218	1
6	ABB	143	275	306	1
7	BAA	147	381	327	0
8	ABA	135	193	363	1
9	AAB	341	355	229	1
10	BAA	298	103	330	0
11	ABA	157	179	228	0
12	BAB	270	195	274	1

TABEAU
Test binomial à une queue
Probabilité de jugements corrects égale ou supérieure à X avec n essais (p=1/3)

n	X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
5	0	868	539	210	045	004																									
6	0	912	649	320	100	018	001																								
7	0	941	711	429	173	045	007																								
8	0	961	805	532	259	088	070	003																							
9	0	974	857	623	350	145	042	008	001																						
10	0	983	896	701	441	213	077	020	003	001																					
11	0	988	925	746	527	289	172	039	009	004	001																				
12	0	992	946	819	607	368	178	066	019	004	001																				
13	0	995	961	861	638	448	241	104	035	009	007																				
14	0	997	973	895	739	524	310	149	058	017	004	001																			
15	0	998	981	921	791	596	382	203	088	031	008	007																			
16	0	998	986	941	834	661	453	263	126	050	016	004	001																		
17	0	999	990	956	870	719	522	326	172	075	027	008	002																		
18	0	999	993	967	898	769	588	381	223	108	043	014	004	001																	
19	0	995	976	921	812	648	457	279	146	065	024	007	007																		
20	0	997	982	940	848	703	521	339	191	092	038	013	004	001																	
21	0	998	987	954	879	751	581	399	240	175	056	021	007	002																	
22	0	998	991	965	904	794	638	460	293	163	079	033	012	003	001																
23	0	999	993	974	924	831	690	519	349	206	107	048	019	036	007																
24	0	999	995	980	941	862	737	576	406	254	140	068	028	010	003	001															
25	0	999	996	985	954	888	778	630	467	304	178	092	047	016	006	007															
26	0	997	989	964	910	815	678	518	357	220	121	068	025	009	003	001															
27	0	998	992	972	928	847	725	572	411	266	154	079	036	014	005	002															
28	0	999	994	979	943	874	765	623	464	314	191	104	050	022	008	003	001														
29	0	999	996	984	955	897	801	670	517	364	232	133	068	031	013	005	001														
30	0	999	997	988	965	916	833	714	568	415	276	166	090	043	019	007	002														
31	0	998	991	972	932	861	754	617	466	322	203	115	059	077	011	004	001														
32	0	998	993	978	946	885	789	662	516	370	243	144	078	038	016	006	002	001													
33	0	999	995	983	957	905	821	705	565	419	285	177	100	051	023	010	004	001													
34	0	999	996	987	965	922	849	744	617	468	330	213	126	067	033	014	006	002	001												
35	0	999	997	990	973	932	861	754	617	466	322	203	115	059	077	011	004	001													
36	0	998	993	978	946	885	789	662	516	370	243	144	078	038	016	006	002	001													
37	0	998	994	963	959	913	838	735	607	469	336	223	135	075	038	018	007	003	001												
38	0	999	996	987	967	928	863	769	650	515	381	261	164	095	051	025	011	004	002	001											
39	0	999	997	990	973	941	885	800	688	560	425	301	196	118	066	033	016	007	003	001											
40	0	999	997	995	992	979	952	903	829	726	603	470	342	231	144	083	044	021	010	004	001										
41	0	999	994	983	961	920	854	761	644	515	365	268	173	104	067	029	014	006	002	001											
42	0	999	995	987	968	933	876	791	683	558	428	307	205	127	073	038	019	008	003	001											
43	0	999	996	990	974	945	895	820	719	600	471	347	239	153	091	050	025	012	005	002	001										
44	0	999	997	992	980	955	917	845	753	639	514	389	275	182	111	063	033	016	007	003	001										
45	0	999	998	994	984	963	976	867	783	677	556	430	313	213	135	079	043	022	010	004	002	001									
46	0	999	996	987	970	938	887	811	713	596	472	352	246	161	098	065	029	014	006	003	001										
47	0	999	996	990	976	949	904	836	745	635	514	397	282	189	119	070	038	019	009	004	002	001									
48	0	999	997	992	980	958	919	859	776	654	534	413	318	220	147	086	048	025	012	006	002	001									
49	0	999	998	994	984	965	932	879	803	706	593	473	356	253	168	105	061	033	017	008	003	001									
50	0	999	998	996	987	972	943	896	829	739	631	513	395	287	196	126	076	042	022	011	005	002	001								

Note : Il faut rajouter devant chaque chiffre «0».

VI-Travail à faire

- Chaque groupe doit être subdivisé en deux sous-groupes, groupe des animateurs et groupe du jury
- Préparation des échantillons
- Construit le plan de dégustation : donne les produits à déguster et l'ordre, pour chaque juge
- Trois verres vous sont présentés, deux proviennent d'un même produit et le troisième d'un autre produit
- Indiquez le code correspondant à l'échantillon que vous percevez comme différent du point de vue sensoriel
- Vérification de résultats par plusieurs instruments de mesure (mesure de la couleur «espace couleur CIELAB », pH, la matière sèche soluble en degré Brix)
- Dépouillement des résultats de dégustation pour l'ensemble des sujets
- Interprétation les résultats en calculant le *p*
- Rédaction d'un rapport final d'évaluation sensorielle

TP1 : Tests de classement par rang

I - Objectif

Tests de classement par rang = « classez les échantillons en fonction de leur caractère agréable ». Cette épreuve est utilisée quand l'animateur connaît (ou soupçonne) la nature de la caractéristique responsable des différences, mais ignore quels échantillons sont différents.

II-Travail à faire

On demande aux juges de classer par rang des échantillons codés en fonction de l'acceptation en allant du moins acceptable au plus acceptable. En règle générale, on ne permet pas les égalités

- Préparation des échantillons (codage aléatoire)
- Construit le plan d'expérience : donne les produits à déguster et l'ordre, pour chaque juge (réalisation d'un bloc complet : carré latin)
- Analyser chacun des 3 échantillons de couscous dans l'ordre indiqué ci-dessous. Donnez la cote 1 à l'échantillon dont la texture est la plus acceptable, la cote 2 à l'échantillon suivant le plus acceptable, et la cote 3 à l'échantillon le moins acceptable.
- Dépouillement des résultats de dégustation pour l'ensemble des sujets
- Interprétation des résultats
- Rédaction d'un rapport final d'évaluation sensorielle