

Industries Agro-alimentaires et Aliments

pascale.chalier@umontpellier.fr

Définitions

- **Aliment** : «toute denrée destinée et convenant à l'alimentation humaine qui possède une valeur nutritive ou une qualité organoleptique »
 - vivant, inerte, transformé ou non transformé, entièrement formulé
 - **Valeur nutritive** : indispensable pour l'homme pour croissance, activité cérébrale et musculaire
 - **Qualité organoleptique** fait appel au 5 sens : Toucher, ouïe, vision, goût, odeur
- +++ Service : faciliter la vie du consommateur

Définitions

- L'**industrie alimentaire**, encore appelée « industrie agroalimentaire » (en abrégé IAA) est l'ensemble des activités industrielles qui transforment des matières premières issues de l'agriculture, de l'élevage ou de la pêche en produits alimentaires destinés essentiellement à la consommation humaine.
 - **Transformer**
 - **Puis Conditionner**
- Objectif principal :
 - Stabiliser le produit → le rendre sur et sain pendant un temps plus long
 - Transporter, distribuer : rendre accessible

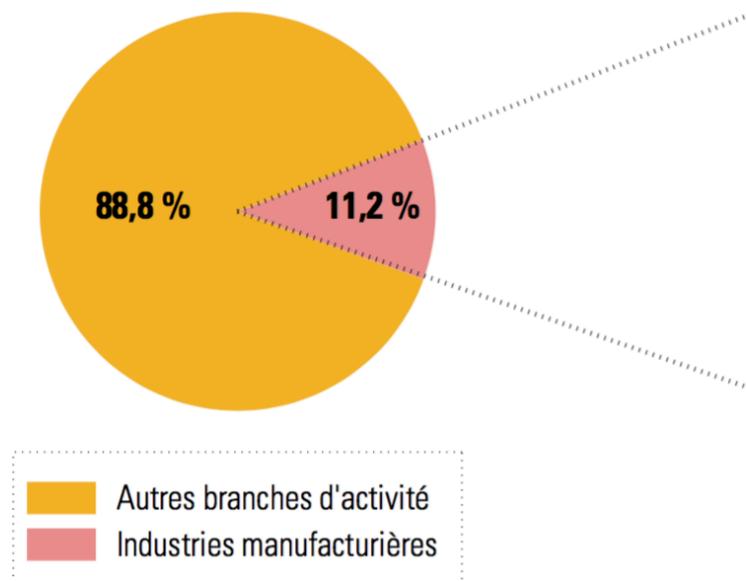
Industries alimentaires

- Premier secteur industriel français avec un chiffre d'affaires de **172 milliards d'euros** et le premier employeur industriel avec **427 213 salariés** .
- 15 789 Entreprises
- 98% sont des PME-TPE de moins de 250 salariés
- 6 eme exportateur mondial
- 2eme européen après l'Allemagne

Importance de l'IAA

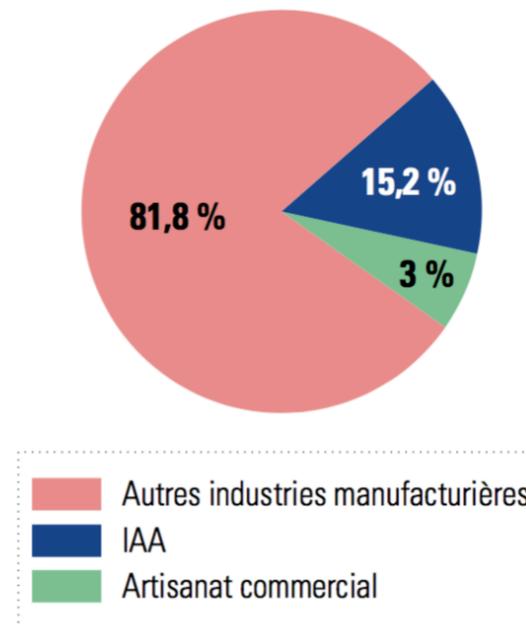
POIDS DES INDUSTRIES MANUFACTURIÈRES DANS LE PRODUIT INTÉRIEUR BRUT EN 2013

Source : Insee, comptes nationaux, base 2013 - traitement SSP.

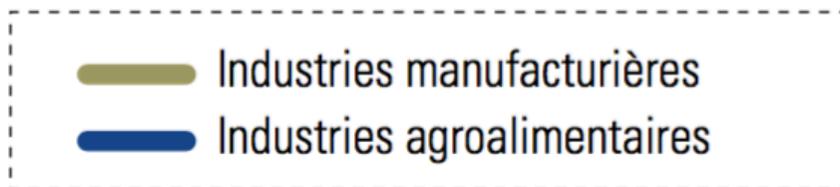
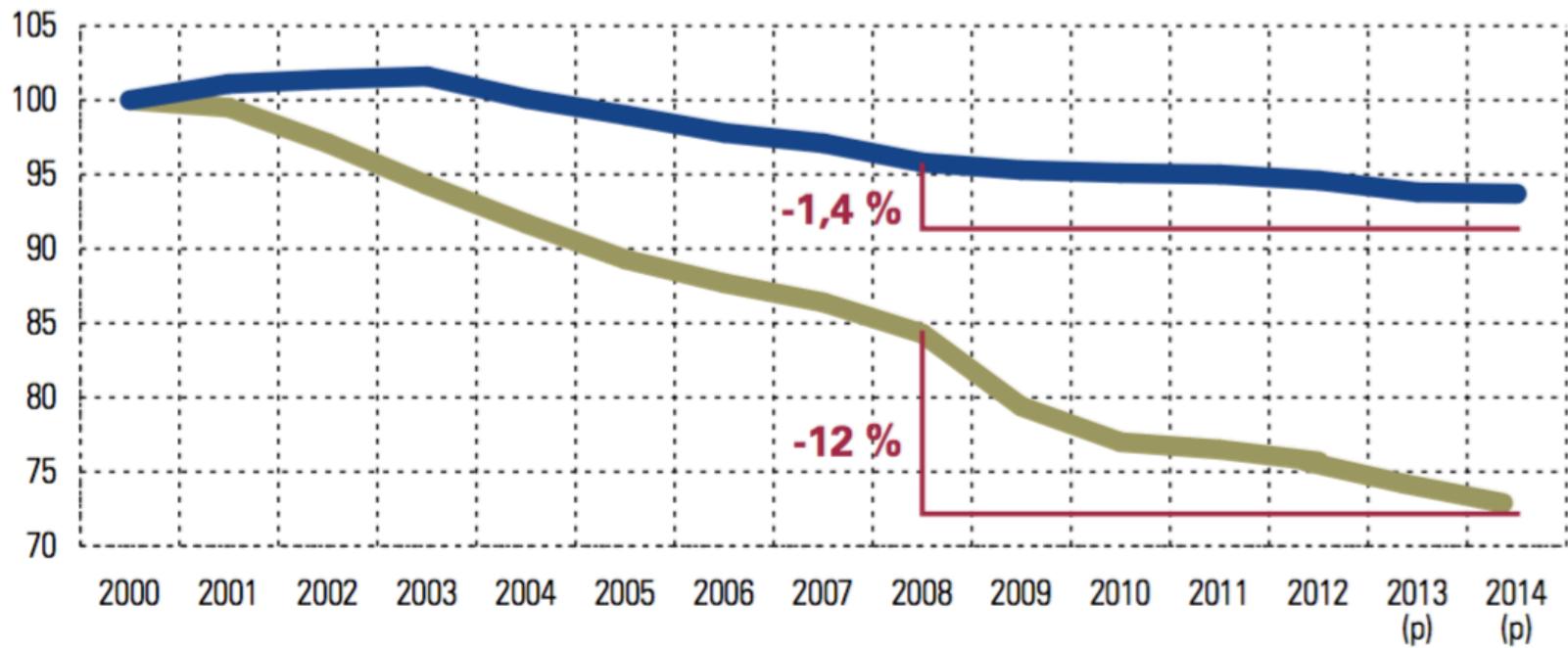


► POIDS DES IAA (VALEUR AJOUTÉE) DANS LES INDUSTRIES MANUFACTURIÈRES EN 2013

Source : Insee, Esane 2013.



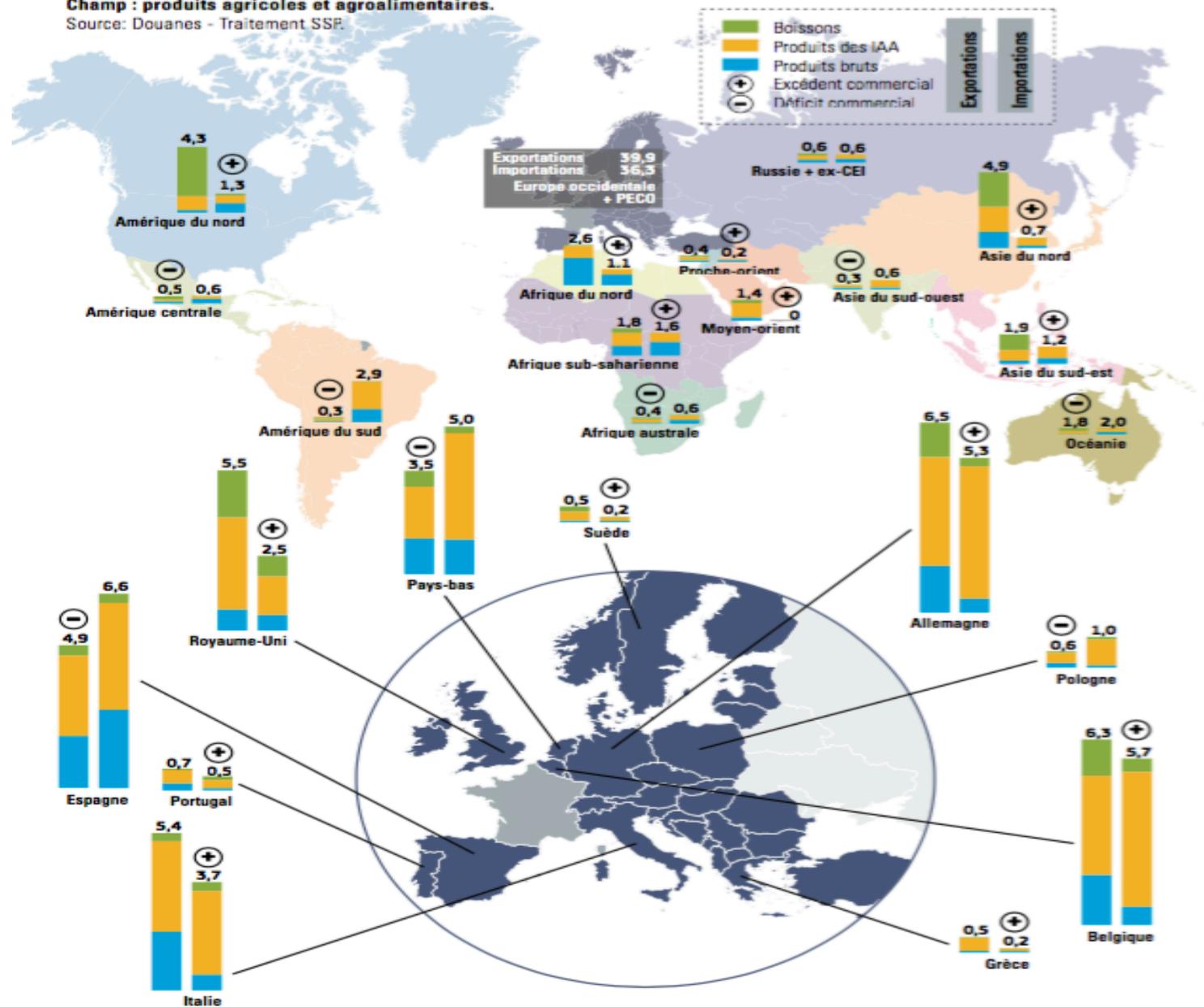
Evolution de l'emploi dans les IAA



EXPORTATIONS ET IMPORTATIONS DE PRODUITS AGRICOLES ET AGROALIMENTAIRES DE LA FRANCE DANS LE MONDE (en milliards d'euros)

Champ : produits agricoles et agroalimentaires.

Source: Douanes - Traitement SSP.



L'Union européenne est prépondérante dans les échanges agroalimentaires de la France.

Classement des industries françaises au niveau mondial

- 1^{er} : Nestlé (Suisse)
- 2^{ème} : Archer (USA)
- 3^{ème} : Pepsico (USA)
- 6^{ème} : Coca-cola (USA)

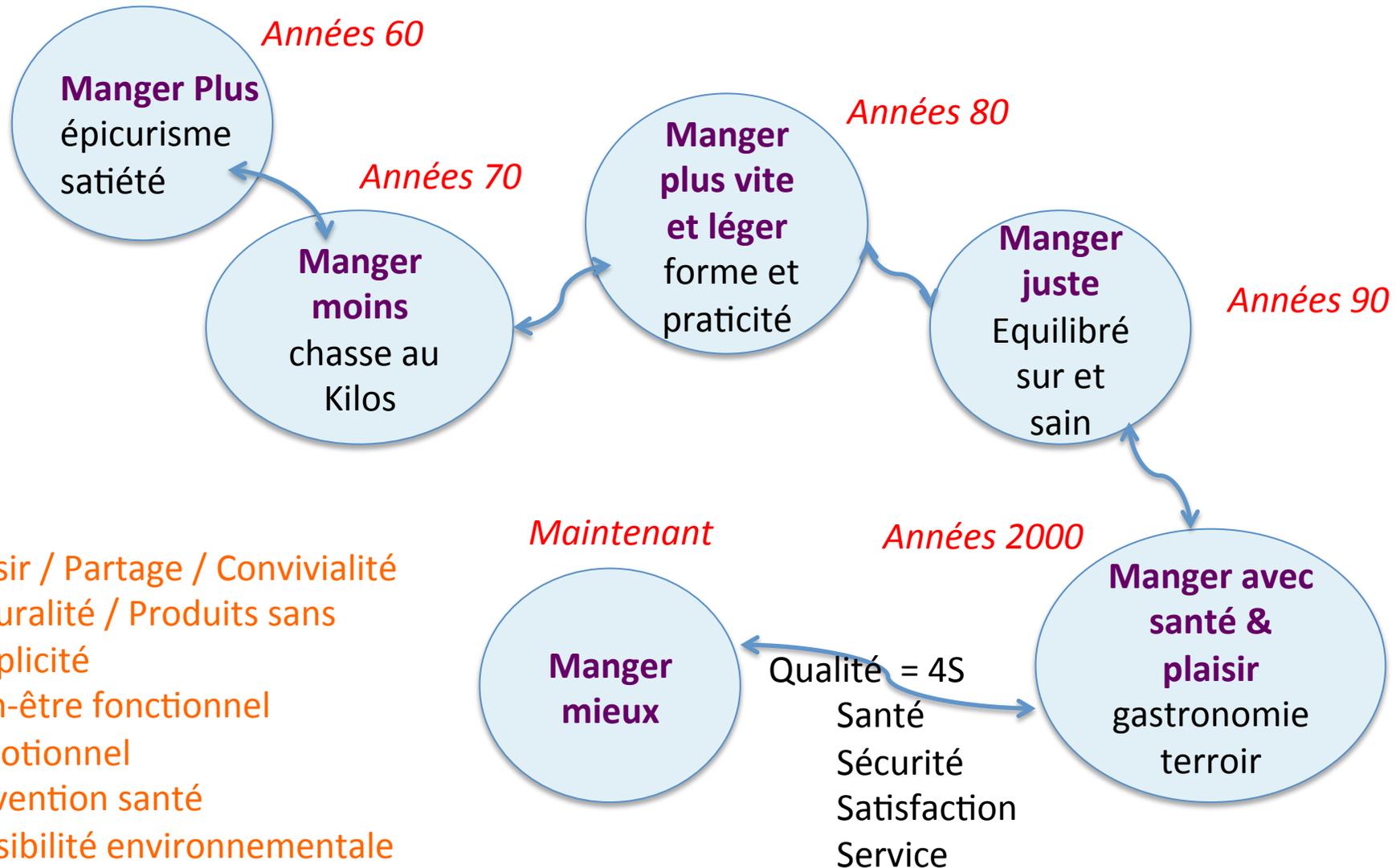
.....

- Danone 13^{ème}
- Lactalis 15^{ème}
- Pernod-ricard 43^{ème}

Divisés en secteurs ou filières : 9

- Transformation et conservation de la viande et préparation de produits à base de viande
- Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques
- Transformation et conservation de fruits et légumes
- Fabrication d'huiles et graisses végétales et animales, margarines
- Fabrication de produits laitiers
- Travail des grains, fabrication de produits amylacés
- Fabrication de produits de boulangerie-pâtisserie et de pâtes alimentaires
- Fabrication d'autres produits alimentaires chocolat, confiserie, café et thé conditionnés, épices, herbes aromatiques, condiments, vinaigres, sauces préparées, aliments diététiques, aliments pour bébés, produits de régime, petits déjeuners, entremets, desserts, bouillons, potages, levures, etc...
- Fabrication de boissons vins, eaux de vie, distillation d'alcool, apéritifs, champagne, bière, cidre, jus de fruits et de légumes, autres boissons non alcoolisées, eaux minérales.

Evolution des attentes et besoins des consommateurs

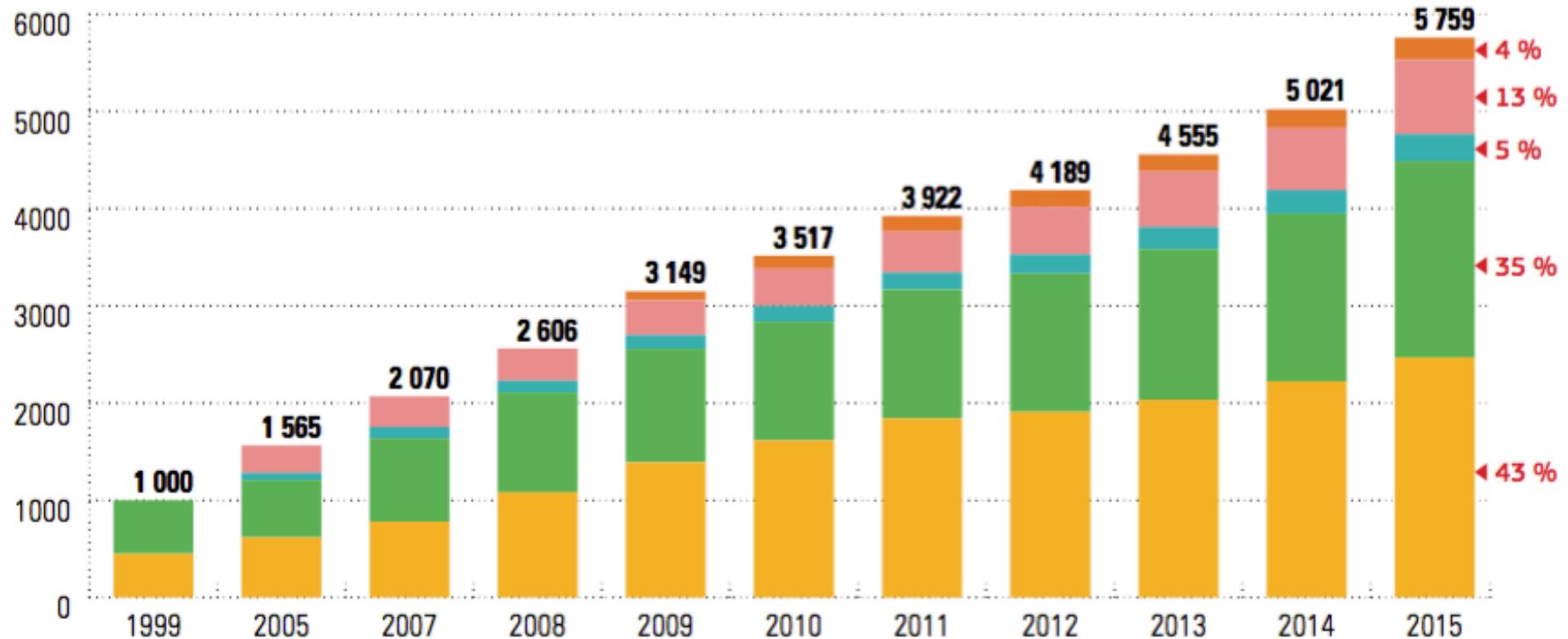


- Plaisir / Partage / Convivialité
- Naturalité / Produits sans
- Simplicité
- Bien-être fonctionnel et émotionnel
- Prévention santé
- Sensibilité environnementale

L'agriculture biologique

▶ ÉVOLUTION DU CHIFFRE D'AFFAIRES BIO PAR CIRCUIT DE DISTRIBUTION DE 1999 À 2015 (en millions d'euros)

Source : Agence Bio/ANDi - 2016.



Grandes et moyennes surfaces

Artisans commerçants

Distribution spécialisée bio

Vente directe

Restauration collective

► LES DIFFÉRENTS SIGNES D'IDENTIFICATION DE LA QUALITÉ ET DE L'ORIGINE (SIQO)

Source : Maaf, au 1^{er} mai 2016 en France.



Label rouge : plus de 420 cahiers des charges homologués



AOP/AOC : 98 appellations (hors vins et spiritueux), 360 vins et 50 spiritueux



IGP : 131 indications (hors vins et spiritueux) et 75 vins



STG : 1 spécialité

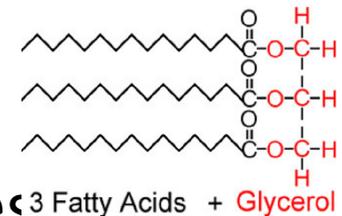


AB : 5% de la surface agricole utile (fin 2015)

Les constituants des aliments

- Macro-constituants :

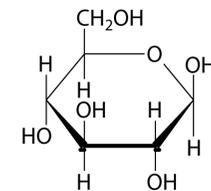
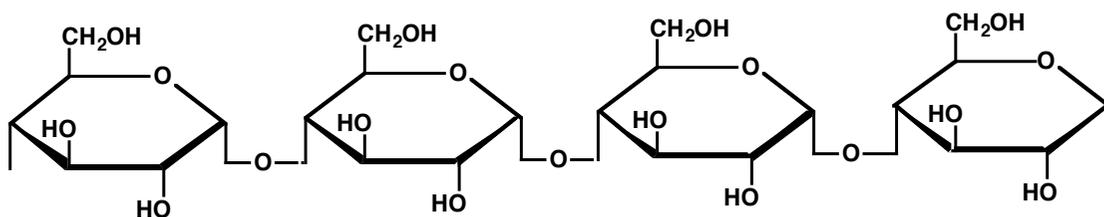
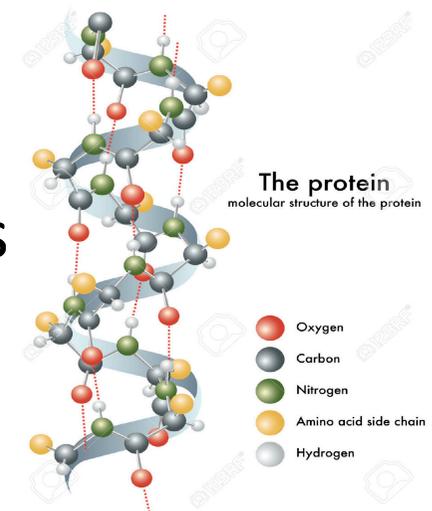
- **Lipides** : acides gras sous formes estérifiés



- **Protéines** : polymères d'acides aminés 20 acides aminés différents

- **Glucides**

- Oses simples : Glucose, Fructose
- Diholosides : Lactose, Saccharose
- Polymères (>100) : amidon, cellulose, gomme



Les constituants des aliments

- Micro-constituants : ppm (mg/L)
 - Minéraux
 - Calcium, fer, magnésium, sodium
 - Vitamines
 - Vitamines liposolubles : vitamines A, D, E, K
 - Vitamines hydrophiles : vitamines C, B
 - Colorants et pigments
 - Anthocyanes
 - Caroténoïdes
 - Chlorophylle
 - Arômes
 - Terpènes, acides, esters, aldéhydes, alcools

Les constituants des aliments

l' eau

ALIMENTS	TENEUR EN EAU (%)
Viandes de bœuf	50 à 70
Viande de poulet	74
Poissons	65 à 81
Poires	80 à 85
Pommes, pêches, oranges	85 à 90
Tomates, fraises	90 à 95
Avocat, banane	74 à 80
Carotte, pomme de terre	80 à 90
Laitue, lentilles	90 à 95
Miel	20
Confiture	28
Farine, riz	12
Poudre de lait	4

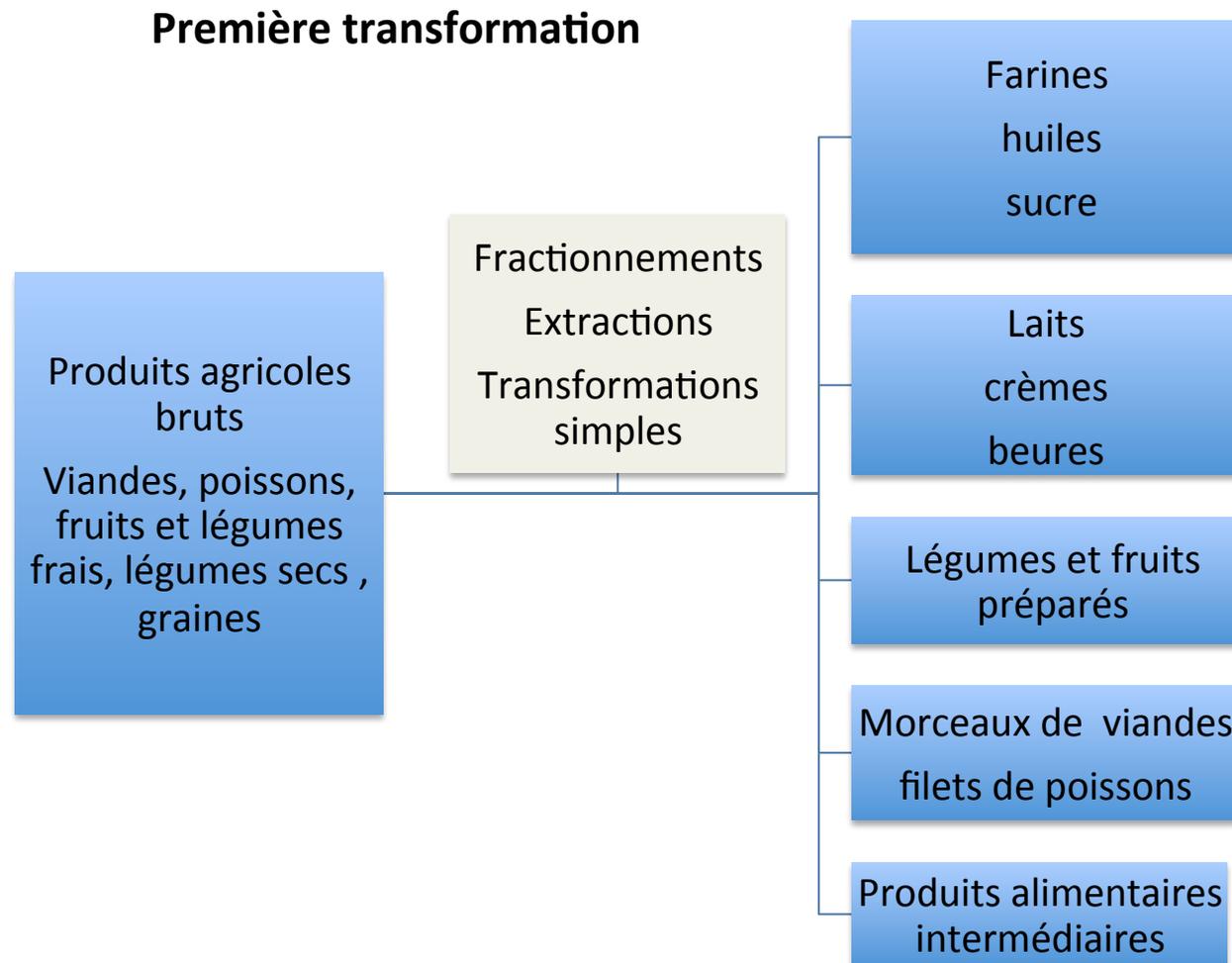
Les constituants des aliments

- **Additif** : toute substance qui n'est pas normalement consommée en tant que denrée alimentaire en soi ou utilisée comme ingrédient caractéristique d'une denrée et dont l'addition intentionnelle dans un but technologique ou organoleptique peut affecter les caractéristiques de la denrée : colorants E1..., conservateurs E2..., anti-oxygène E3.. Émulsifiants E7... E48..., Epaississants et gélifiants E40. E41.

Apports nutritionnels des aliments

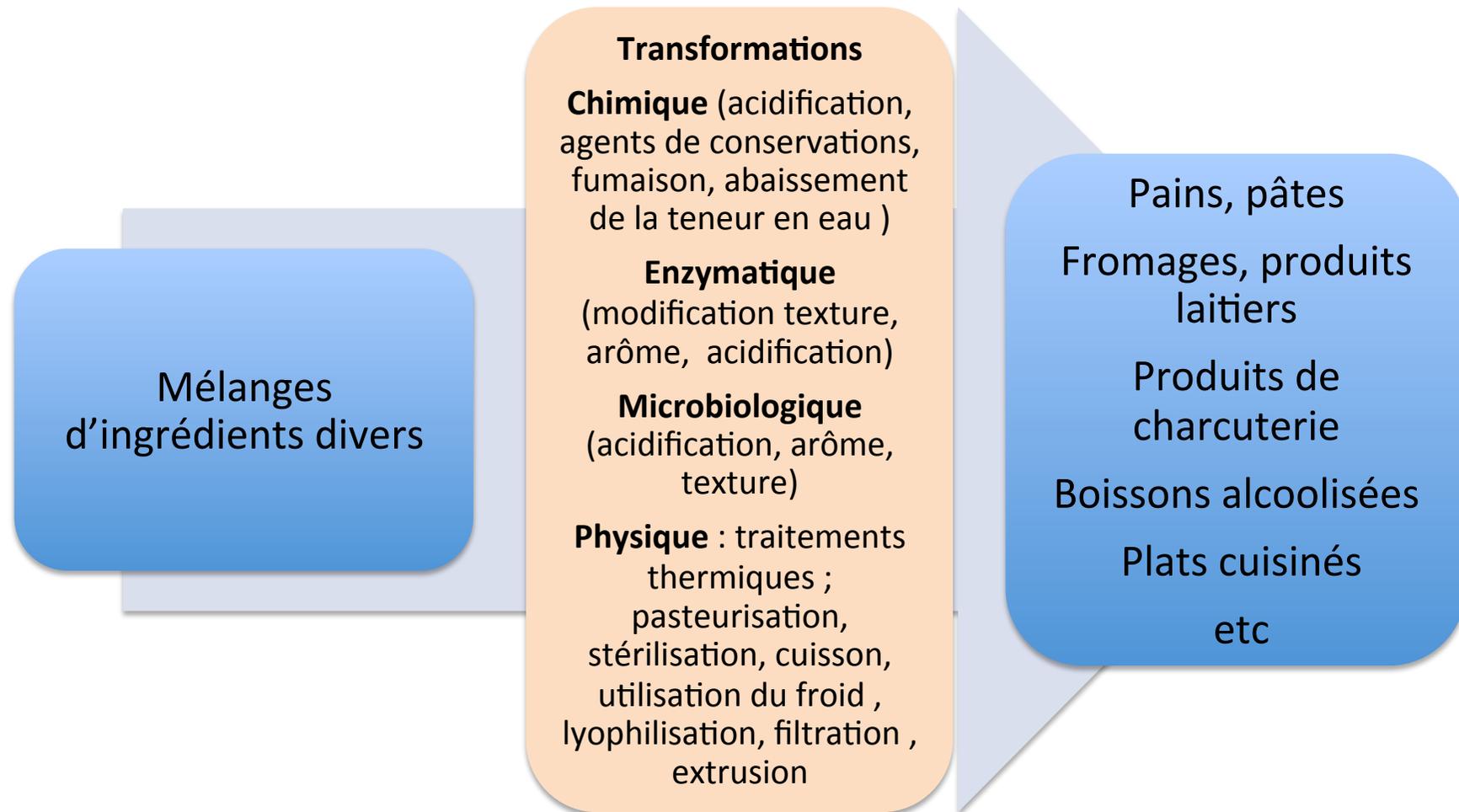
- Apport d'énergie mais aussi d'éléments structuraux : glucides, lipides et protéines
- **Apport de composés essentiels** : hommes incapables de les synthétiser doivent être apportés par l'alimentation
 - Certains acides aminés des protéines (pb des régimes végétariens)
 - Acides gras essentiels: Acides gras $\omega 6$ et $\omega 3$
 - Vitamines
 - Minéraux
- Fibres : glucides: cellulose (végétaux) aide à la digestion

Devenir des produits agricoles bruts



Obtention des produits de base

Devenir des produits agricoles et de base



- ✓ Assurer la qualité sanitaire
- ✓ Favoriser la digestibilité
- ✓ Développer les propriétés organoleptiques et l'appétence

80 % des aliments consommés en France ont été transformés

Exemple de procédé de transformation : yaourts

- Le **yaourt**, **yogourt** ou **yoghourt**, est un **lait fermenté** obtenu par le développement de 2 bactéries lactiques thermophiles : *lactobacillus* et *streptococcus* qui doivent être ensemencées ensemble et se trouver vivantes dans le produit fini ≠ des produits gélifiés
- Procédés de fabrication différents selon la texture désirée



- **Le yaourt "ferme"** : Conditionnement en pots => (fermentation étuve 45°C pendant 3 heures)



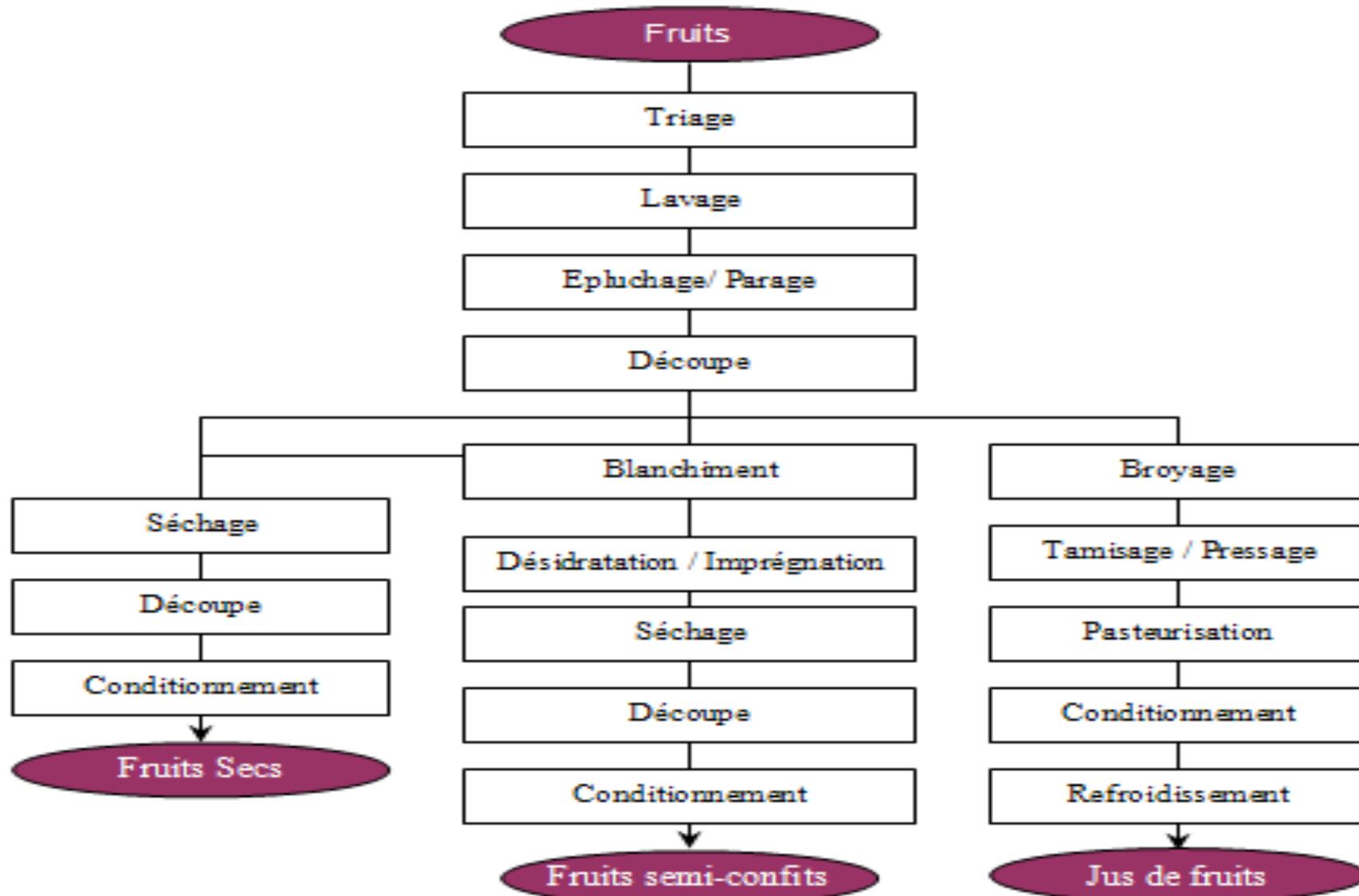
- **Le yaourt "brassé"** : Fermentation en vrac => gélification dans les cuves, Brassage puis refroidissement , Conditionnement en pots de 125ml

- **Le yaourt "à boire" (ou liquide)** : Fermentation en vrac, Après brassage, il est battu dans les cuves, Conditionnement en bouteilles



- Date limite de consommation de 28 jours maximum pour conservation à $T < 6^{\circ}\text{C}$
 - **Le procédé et la durée de vie va déterminer la nature de l'emballage**

Transformation des fruits



Fabrication des pâtes alimentaires

Procédé de structuration des pâtes : 3 étapes

Etape 1 : Structuration

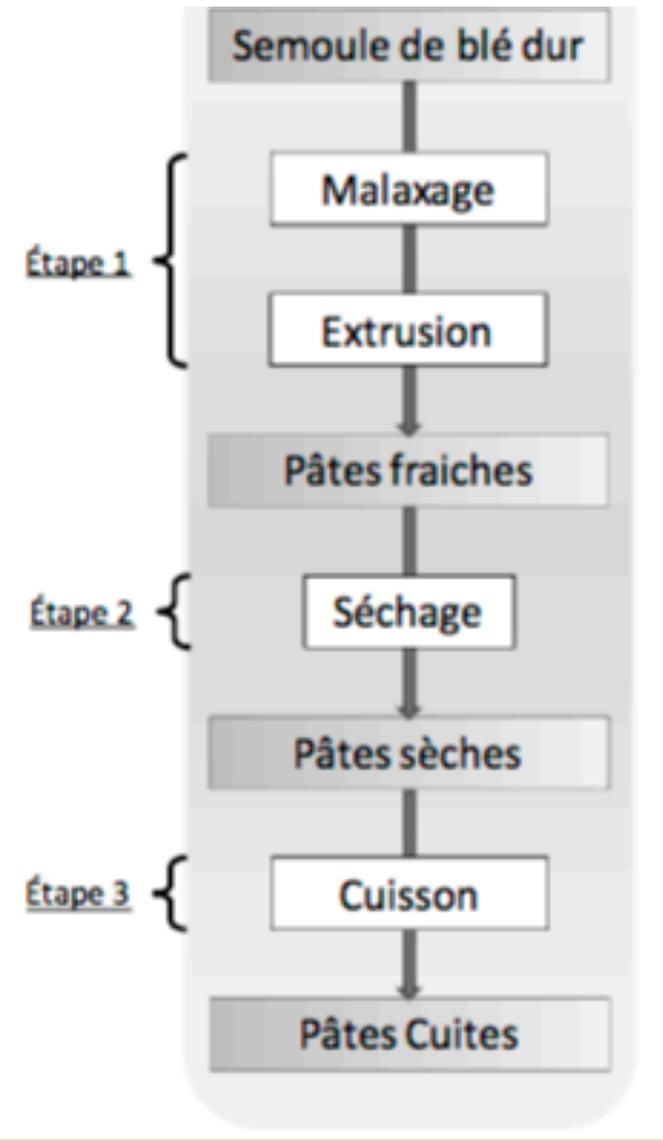
Développer la structure de la pâte
Donner la forme de la pâte

Etape 2 : Stabilisation

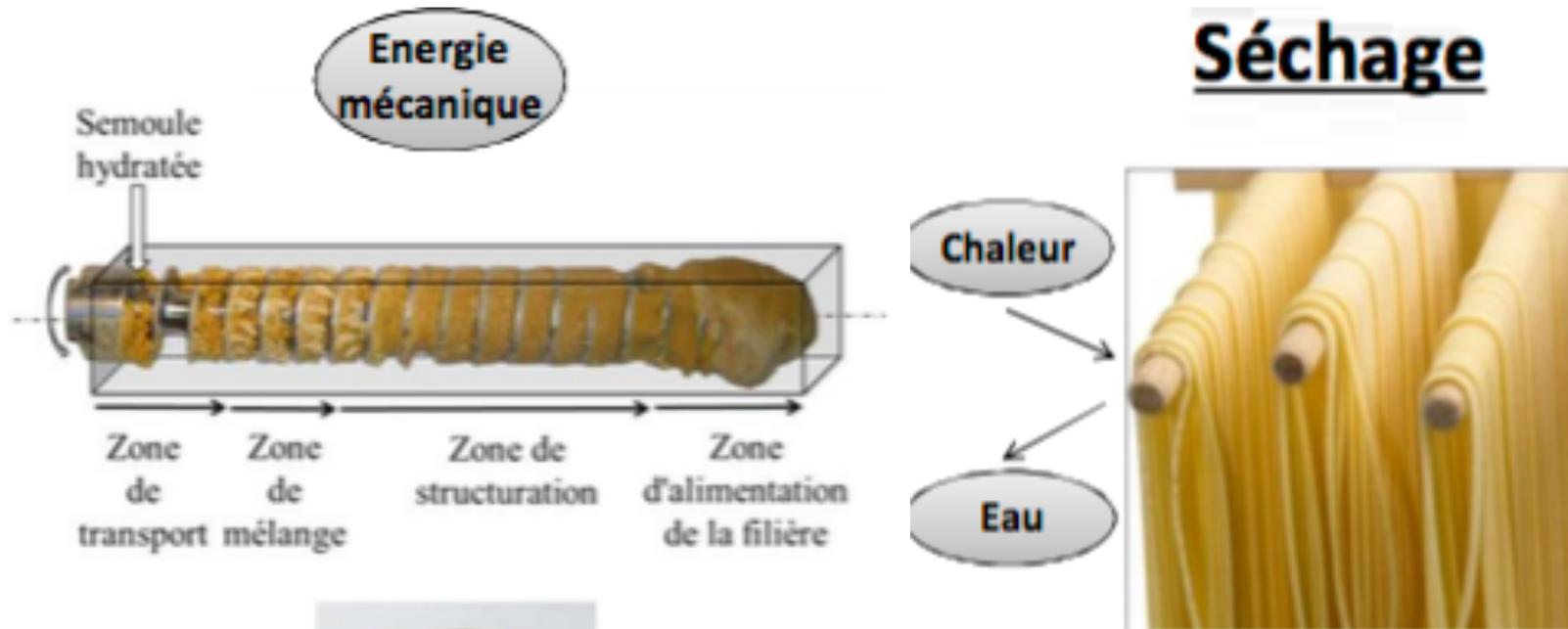
Séchage des pâtes (réduction de a_w)
Traitement thermique (renforcement de la structure)

Etape 3 : Cuisson

Gélatinisation de l'amidon
Hydratation



Fabrication des pâtes alimentaires



Filière



L'étape du **séchage** assure le **renforcement de la structure** et la **stabilisation de la pâte**.

CONSERVATION

Date limite de consommation (DLC) « consommer avant le »
« DLUO », date limite d'utilisation optimale, « à consommer de préférence avant » telle date sur la conserve

Date de durabilité minimale DDM

Réglementation

Un produit qui a dépassé sa DLC est impropre à la vente (viande, yaourts...)

Un produit peut être commercialisé au-delà de sa DDM. Une fois la date passée, **la denrée ne présente pas de danger**

La DLC ne suffit pas à elle seule : Pb si mauvaises conditions de conservation, rupture de la chaîne du froid, détérioration de l'emballage, contamination croisée dans le réfrigérateur ou le congélateur.

Les produits ont une DLC calculée pour éviter au maximum les risques aux utilisateurs.

Produits du vivant

protéines, glucides, lipides, vitamines...

Facteurs intrinsèques

Aw (eau)
pH
Enzymes endogènes

Facteurs extrinsèques

Température
Oxygène
Lumière
Enzymes exogènes
Métaux
Mécanique

ALTERATIONS
d'origine microbienne
Physico-chimiques
physiologique

Techniques de
conservation

**Modification
de la salubrité**

invisibles

**Modification
des ptés fonctionnelles**

**Modification
des ptés nutritionnelles**

visibles

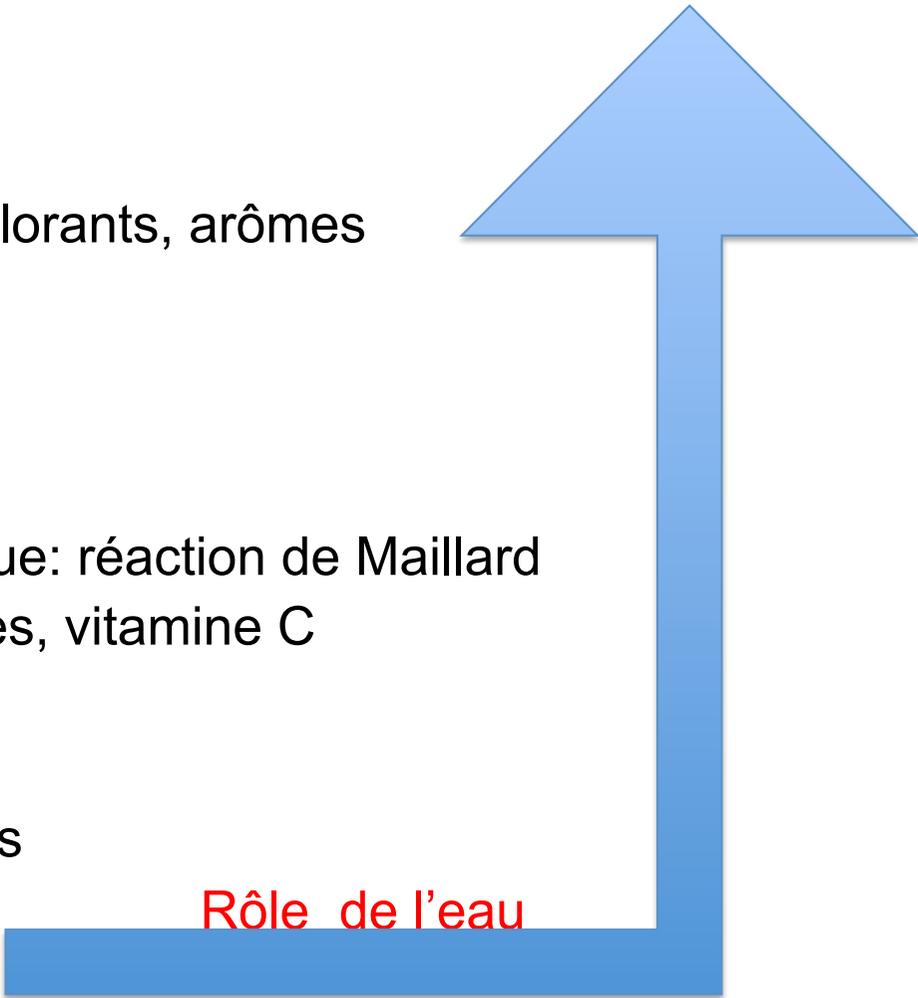
**Modification
des ptés organoleptiques**

Toxicité ? Néoformés

Les principales réactions de dégradation

- **Altérations microbiologiques**
- **Réactions physico-chimiques**
 - Oxydation
Lipides, protéines, vitamines, colorants, arômes
 - Brunissement enzymatique
Composés phénoliques + O₂
 - Brunissement non enzymatique: réaction de Maillard
Acides aminés, protéines, glucides, vitamine C
- **Réactions physiologiques**
 - Maturation des fruits et légumes

Rôle de l'eau



L' eau dans les aliments

= constituant principal de nombreux aliments

- Influence les **propriétés mécaniques** des aliments
- Contribue à l' **appétence** des aliments
 - Texture des fruits et des légumes, jutosité de la viande
- Influence **les réactions chimiques** (rôle de solvant ou réactif)
- Influence le développement des micro-organismes (si taux d' hydratation >12-14%)

Conditionne l' aptitude des aliments à la détérioration

- Procédés de conservation = **réduction de la disponibilité réactionnelle de l' eau**
 - Par séchage = enlèvement de l' eau
 - Par congélation = eau non réactive
 - Par addition d' agents dépresseurs (sels, solutés)

a_w : définition

- Dans un produit alimentaire, on distingue :
 - L'eau libre.
 - L'eau capillaire ou eau absorbée en surface, moyennement réactive.
 - L'eau liée ou eau de constitution intimement liée aux composants biochimiques et ayant perdue toutes ses qualités réactives.

a_w : part de l'eau libre dans un produit, disponible pour participer aux échanges et réactions par exemple pour la croissance de micro-organismes.

$$a_w = \frac{P_w}{P_{w0}}$$

P_w = Pression de la vapeur d'eau présent dans le produit

p_{w0} = Pression de la vapeur de l'eau pure

l' a_w est comprise entre 0 et 1.

$$a_w = \frac{HR}{100}$$

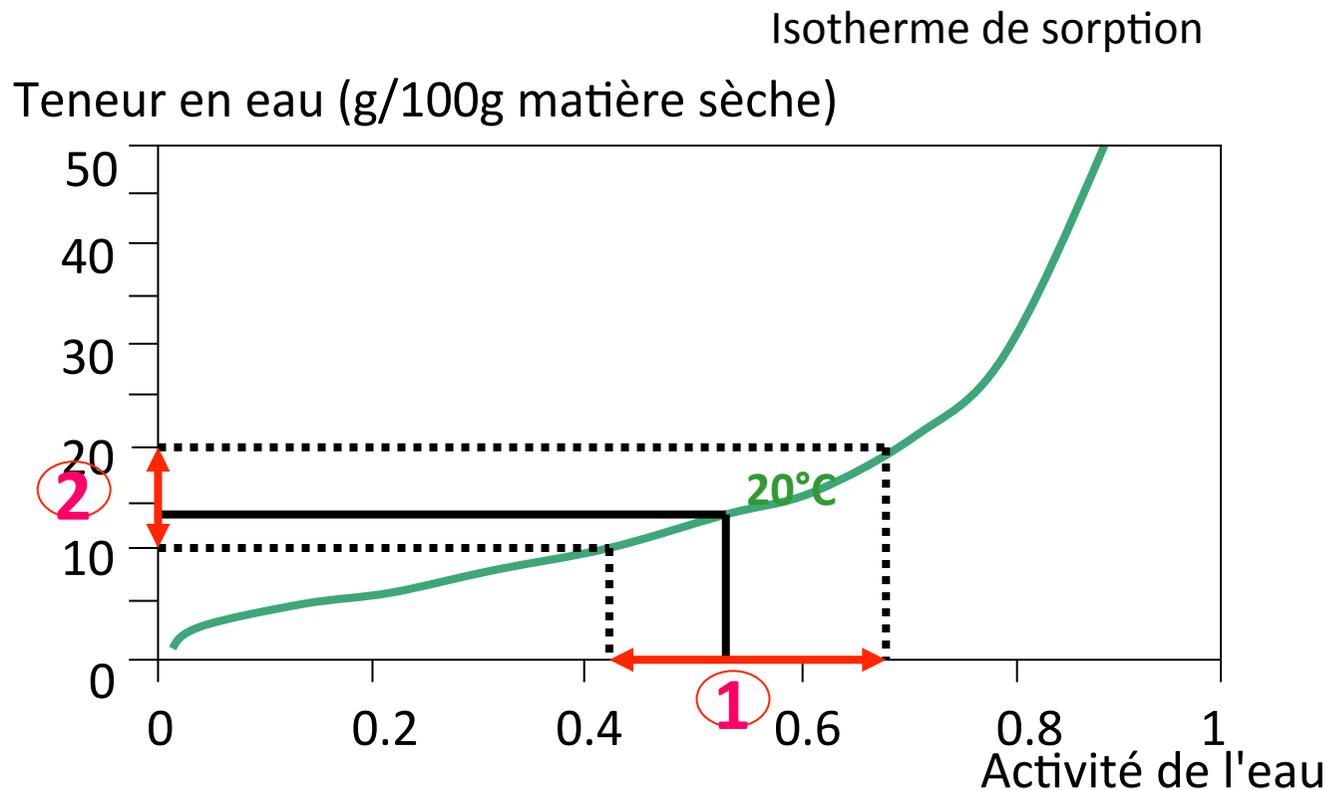
Si le produit est en équilibre avec l'atmosphère

Doit être distinguée de la teneur en eau du produit (g d'eau par g de substance).

Comportement au cours de l'entreposage d'un produit sensible à l'eau

La teneur en eau d'un produit à une a_w donnée est déterminée à partir de son isotherme de sorption et dépend de sa composition.

Influence d'une **variation d'humidité relative d'équilibre autour d'un aliment non protégé**



a_w de différents produits alimentaires

Produits divisés en 3 types

Produits secs : a_w entre 0.05 et 0.50

Produits à humidité intermédiaire : a_w entre 0.55-0.85

Produits humides : $a_w > 0.85$

Paramètre essentiel pour l'évaluation et la maîtrise des risques d'altération pendant l'entreposage des denrées alimentaires.

Exemple d' a_w et de teneur en eau des produits céréaliers

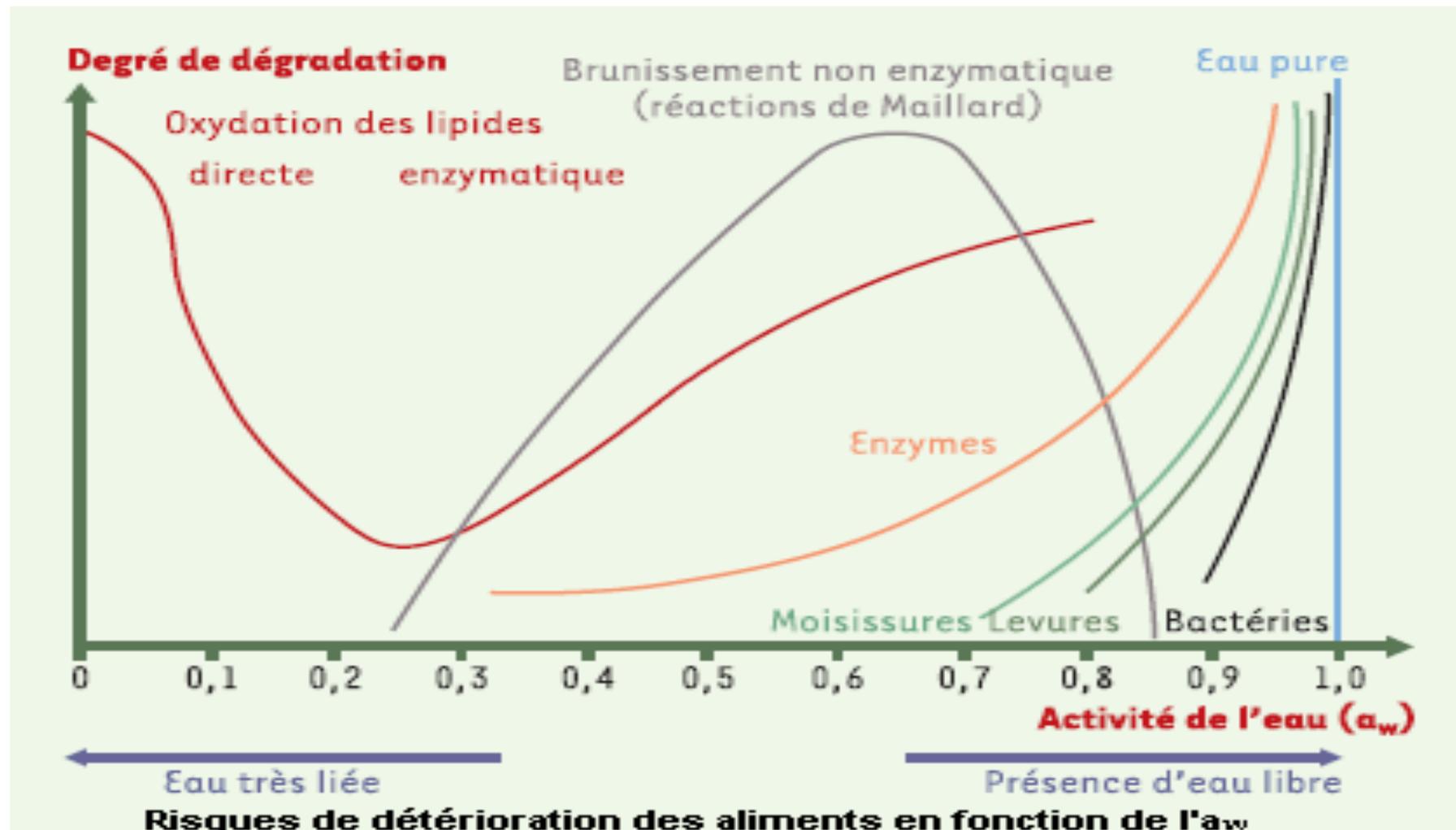
produit	a_w	Teneur en eau (% ms)
Génoise	0,7	16-18
Cake aux fruit	0,7	16-18
Pain d' épice	0,59	14,4
Pain	0,50	12,1
Boudoir	0,3	10,7
Biscotte	0,2	10,4

Si HR de l' air : 55-60% (condition courante): 2 comportements

-produits à a_w élevée : perte d' eau : → phénomène de rassissement
+émiettement

-produits à a_w faible : tendance à s' hydrater: perte de croustillance
emballages barrières à l' eau

Lien entre activité de l'eau et réactions de dégradation



Altération microbiologique

Provenance et impact des micro-organismes

Provenance

- Ingrédients
- Procédés (insuffisants et risques de re-contaminations)
- Contaminations par environnement (air, eau, matériel mal lavé contact humain, emballage)

Les dégradations visibles d'origine microbienne

- la décoloration, la pigmentation, l'épaississement de la surface, un aspect trouble, la décomposition

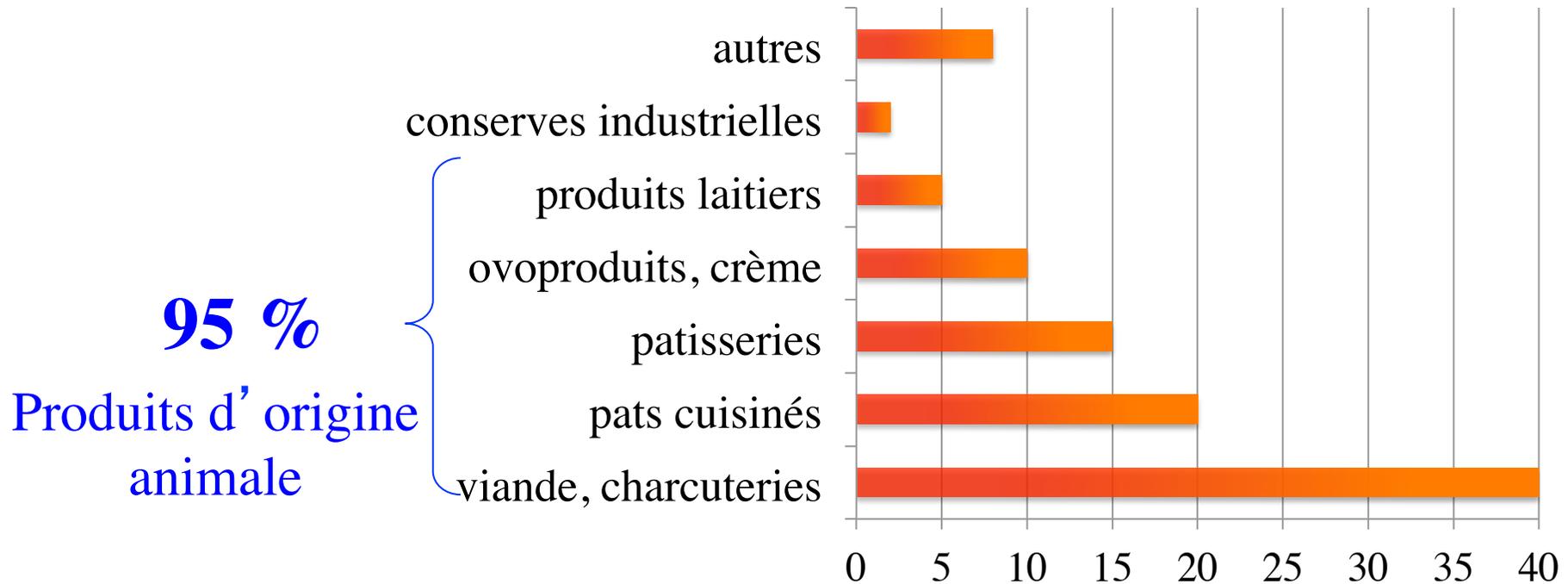
Conséquences :

odeur néfaste (*Pseudomonas fragi*)

source d'acidité et d'aigreur (*Lactobacillus*)

formation de gaz (*Escherichia coli*)

Aliments responsables de pathologies



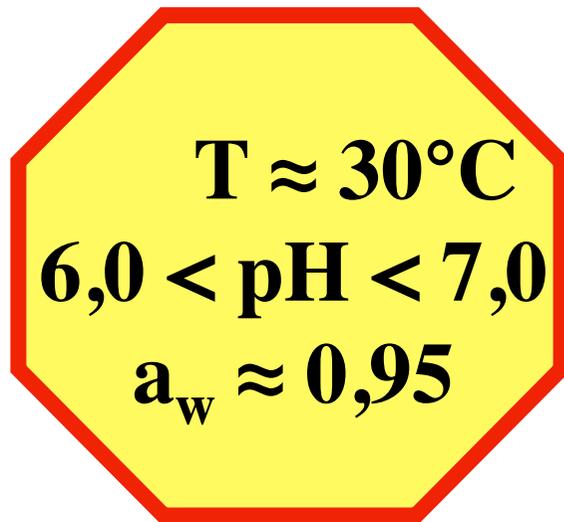
Les risques de **mortalité** liés aux maladies microbiennes sont faibles (quelques dizaines par an) mais l'impact économique des **maladies** microbiennes est élevé (250 €- 1000 € par cas en France).

Conditions de croissances de certains micro-organismes néfastes

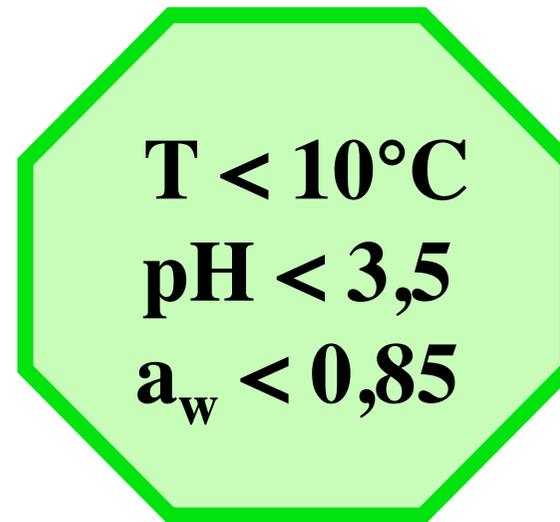
Types de microorganismes	pH minimum	Aw minimum pour croissance	Croissance en anaérobie (sans O ₂)	T°C minimale de croissance
<i>Bacillus cereus</i>	4.4	0.93	oui	4
<i>Campylobacter-species</i>	4.9	0.987	non	30.5
<i>Clostridium botulinum</i>	4.7	0.94-0.97	Oui	3-10
<i>Clostridium perfringens</i>	4.5	0.93	Oui	12
<i>Listeria monocytogenes</i>	4.3	0.92	oui	-0.4
<i>Escherichia coli</i>	4.4	0.93	Oui	7-8
<i>Lactobacillus</i>	3.5	0.9	Oui	4
<i>Pseudomonas</i>	5	0.97	Non	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	4.0	0.83	Oui	7
levures	1.5	0.62	oui	Levure rose (-34°C)
moisissures	1.5	0.61	non	Variable (-12°C)

Risques et synergie des paramètres

Chaque fois qu'un paramètre s'écarter significativement de la valeur optimale, l'être vivant va avoir plus de difficultés à se développer



Risque microbien majeur
en particulier par des
pathogènes



Risque microbien
marginal par des
souches non pathogènes

Comment réduire la croissance des micro-organismes

- Détruire les micro-organismes : Traitements thermiques
stérilisation (120°C), pasteurisation (90°C): couples temps
températures

Traitements haute pression

(400-600 MPa)

- Empêcher leur prolifération

Réduire la température de stockage → Congélation (-18°C),

Réfrigération

Réduire l'aw → Séchage, lyophilisation, addition d'agent
dépresseur : sucre, sel,

Acidification → addition d'acides lactique, acétique

Utilisation de conservateurs → nitrite, sulfite, nisine

OXYDATION

- **Composés oxydables**

Macronutriments : lipides et protéines

Micronutriments : vitamines et minéraux, pigments, composés d'arôme

Propriétés nutritionnelles: acides gras essentiels et vitamines

Propriétés sensorielles: colorants et arômes

Qualité fonctionnelle: lipides et protéines

Pertes nutritionnelles + rejet des produits par consommateurs

→ Formation de composés mal-odorants : odeur de foin, de fève, de carton ,
de mouillé , métallique, de champignon

+ Risques sanitaires : toxicité

Durée de conservation raccourcie

Mécanismes d'oxydation

- **Auto-oxydation** : catalysée par température, métaux et radicaux, met en jeu l'oxygène triplet : oxygène de l'air
- **Photo-oxydation** : catalysée par la lumière photo-sensibilisateurs, met en jeu l'oxygène singulet
- **Par action d'enzymes** = lipoxygénases, peroxydases présentes dans les végétaux mais aussi chez les animaux, met en jeu l'oxygène de l'air

L'oxygène triplet de l'air $^3\text{O}_2$ n'agit pas directement sur les constituants mais sur les radicaux

A l'état triplet il n'est pas réactif.

Passage à l'état excité **oxygène singulet $^1\text{O}_2$** grâce à des photosensibilisateurs présents dans les aliments: riboflavine, chlorophylle, hémoprotéines :Protoporphyrines de la myoglobine

Quels sont les principaux aliments touchés par l'oxydation

-Tous ceux qui contiennent des matières grasses et des protéines....

- huiles, beurres, margarines
- laits et produits dérivés (fromage)
- pâtisseries, biscuits.....
- cacahouètes, amandes, noisettes, pistaches et produits les contenant...
- charcuteries
- produits de la mer
- farines
- plats cuisinés

....Mais aussi des vitamines, arômes, des pigments

- Vins, jus de fruits, laits et produits dérivés....

Facteurs pro-oxydants

Facteurs physiques

- Forte pression en oxygène
- Température $>60^{\circ}\text{C}$ mais ont aussi lieu à -18°C
- Source lumineuse

Facteurs biologiques

- Enzymes: Peroxydase, Lipoxygénases

Facteurs chimiques

- Métaux et traces d'ions métalliques (Cu, Fe)
 - Hème de l'hémoglobine ou de la myoglobine
- A_w faible et élevée ($>0,65$) néfaste
- Nature des réactifs : degré d'insaturation des AG

Comment contrôler les réactions d'oxydation

- En inactivant les enzymes → Blanchiment
- En utilisant des antioxydants → vit C, vit E, etc
- En contrôlant la température → Réfrigération, congélation
- En limitant la présence d'ions métalliques → procédés
- En limitant le contact avec l'oxygène → Encapsulation
- En contrôlant l' a_w → utilisation de dépresseur de l' a_w
- En contrôlant la lumière → conserver à l'obscurité

Brunissement enzymatique

- **Absent des tissus sains**

Se développe dès que l'intégrité cellulaire est atteinte : *Choc, découpe, broyage, réfrigération, congélation et décongélation*

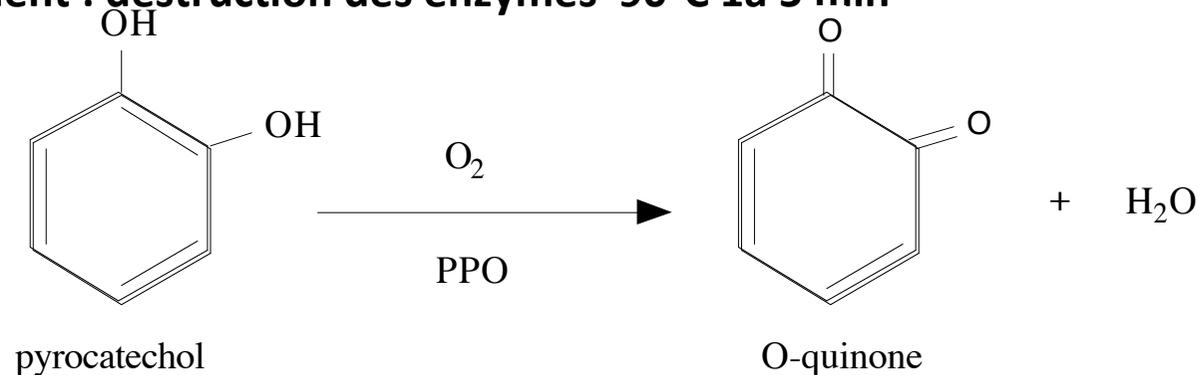
- **Formation de pigments bruns à partir de polyphénols et en présence d'oxygène et d'enzyme : polyphénol-oxydase**

- réduit la valeur marchande et obligation de retrait

- **Produits concernés** : pommes, poires, pêches, bananes, pommes de terre, aubergines, champignons, avocats et leurs produits dérivés jus de fruits, nectars, purées, compotes, vins, cidres,

- Favorables pour d'autres produits : thé, café, cacao, cidre, figues, raisins secs, bières

- **Prévention : Blanchiment : destruction des enzymes 90°C 1à 5 min**



Réactions de Maillard ou brunissement non enzymatique

- Réactions entre acides aminés et sucres
- **Conséquences positives** sur les propriétés organoleptiques des aliments.
 - Viande, pain etc
- **Mais aussi néfastes** pour les produits alimentaires :
 - dégradation de composés indispensables à l'organisme humain, acides aminés essentiels, vitamine C (dérivée du glucose).
 - brunissement non souhaité,
 - apparition d'odeurs et de saveurs indésirables,
 - effets antinutritionnels encore mal connus

lait, jus de fruits

Facteurs influençant la réaction de Maillard

- **Température (le+ important) : ↗ avec forte température**
- Nature et concentrations initiales des réactifs
- Métaux
 - Cations inhibiteurs : Mn^{2+} ou Sn^{2+}
 - Cations catalyseurs : Cu^{2+} et Fe^{3+}
- Activité de l' eau
 - Brunissement maximal pour des a_w **de 0,55 à 0,75**

Forte réactivité peut avoir lieu pendant le procédé si nc maitrise de la température et pendant le stockage si non respect des conditions (T°C et HR)

Maturation des fruits et légumes

- **Maturation**: période où s'élabore la qualité organoleptique
 - très courte
- Maîtriser les évolutions indésirables en tenant compte du métabolisme interne
 - Augmentation de la respiration avec la croissance du fruit (besoin d'O₂ et rejet de CO₂)
 - Augmentation dite climactérique qui s'accompagne d'une production maximale en CO₂ : se produit avant ou après récolte
 - Légère diminution de la respiration quand le fruit est mature

Maturation des fruits

- 2 types de fruits :

- **climactériques et non climactériques**

: présentent ou non un pic de respiration et de synthèse d'éthylène au cours de la maturation

Pour **fruits climactériques** : pic d'éthylène initiateur de la maturation ou crise climactérique

→→ doivent être récoltés dans la période où l'autocatalyse par l'éthylène est possible et avant la crise climactérique:

Abricot, Avocat, Banane, Figue, Goyave, Kiwi, Mangue, Melon, Nectarine, Pêche, Poire, Pomme, Tomate

Pour fruits **non climactériques** : mécanisme mal connu, l'éthylène pourrait avoir un effet

→→ doivent être ramassés à maturité organoleptique et il faut freiner ensuite leur altération :

Ananas, Cerise, Citron, Concombre, Fraise, Litchi, Mandarine, Myrtille, Olive, Orange, Pamplemousse, Pastèque, Raisin

Maturation des fruits : rôle de l'O₂ et du CO₂

- Activité respiratoire ; consommation d' O₂ et dégagement de CO₂

→ Si faible niveau d' O₂ : Ralentissement de l' IR et de la maturation

Ex pomme réduction de 50% de la production d' éthylène si niveau en O₂ de 1 à 1,5%

→ CO₂: inhibiteur compétitif de l' action de l' éthylène

IR est diminuée avec l' élévation de la teneur en CO₂

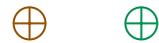
Stockage en atmosphère contrôlée O₂ et CO₂

Conclusion

Réactions de dégradation:

Produits inertes

Physico-chimie



Microbiologie



Physiologie



Produits respirants

Lumière

Température

humidité

Qualité des produits initiaux (t_0)

+

Cinétiques de dégradation $f(t)$:

✓ Conditions opératoires

✓ Conditions de stockage et de distribution:
l'**emballage** joue un rôle majeur

Limiter les transferts de masse: oxygène, eau,
composés d'arômes, contaminants etc...

Protéger contre la lumière, la chaleur

Attentes et contraintes

Des produits qui évoluent dans le temps donc à surveiller

Combien de produits sont transportés, vendus, stockés sans bénéficier d'un emballage plus ou moins sophistiqué ?

Une solution optimale à établir par rapport à un cahier des charges