

## La gélatine : ses origines, sa fabrication, ses utilisations (1<sup>re</sup> partie).

par A. Flausch  
(Groupe Tessenderlo)

### 1. Introduction

Les livres traitant de la technologie de la gélatine reproduisent parfois une peinture ornant une tombe fouillée à Thèbes (Egypte) et datant de - 1500. La fresque montre des artisans employant de la colle animale, sœur mal venue de la gélatine, à l'assemblage de meubles; on a d'ailleurs identifié ces colles sur les objets eux-mêmes (1). C'est dire si cette industrie a ses lettres de noblesse. Cependant le public, et même les familiers des milieux techniques, ont généralement une connaissance très limitée de tout ce qui a trait à la gélatine. Les "secrets" n'ont pas franchi les portes des usines qui sont restées longtemps, et parfois encore aujourd'hui, propriété de familles. La nature et l'aspect inhabituel des matières premières, ainsi que la discrétion observée par certains utilisateurs, tels les fabricants de produits photographiques, ont achevé d'isoler le monde de la gélatine.

Les considérations qui suivent tendent à écarter ces écrans et à montrer l'intérêt et l'importance que présentent cette matière issue des tissus vivants.

### 2. Données économiques

L'industrie de la gélatine et ses associés amont et aval occupent un rang honorable parmi les industries moyennes.

2.1. La production mondiale de gélatine a atteint en 1976 environ 120 000 tonnes se répartissant de la façon suivante :

Europe occidentale 53 000 t, (Benelux 6 700, Gr.Bret. 14 000).  
Europe orientale 13 000 t,  
Amérique du Nord 31 000 t,  
Amérique du Sud 10 000 t,  
Japon 6 000 t,  
Divers (Australie,  
Afrique du Sud) 8 000 t.

Ces chiffres ne sont qu'approximatifs; ils ne résultent pas de statistiques officielles\*, et certains groupes, comme le Comecon, n'en publient aucune.

2.2. La valeur moyenne d'une tonne de gélatine, en Europe occidentale, oscille, en 1976, autour de 18 500 F Fr., mais les fluctuations peuvent être importantes, notamment en fonction de l'état du marché. Quant aux valeurs des différentes qualités, elles s'écartent très largement de part et d'autres de la moyenne citée. La valeur de la production mondiale se situe donc vers 2 milliards 185 millions de francs français.

2.3. La répartition de cette production entre les différents secteurs d'utilisation dépend de la structure industrielle de la région considérée, ainsi que de sa diététique.

En voici deux exemples :

	Europe Occidentale %	Japon %
Alimentation	77,0	30,0
Industrie pharmaceutique	13,0	19,5
Photographie	7,0	33,0
Usages techniques	3,0	17,5

\* Les pays ne regroupant qu'un ou deux producteurs ne publient pas de statistiques.

2.4. En terminant ce bref aperçu économique, nous citerons, à titre d'exemple, un des secteurs approvisionnant notre industrie en *matières premières* et un des *produits chimiques* consommés par la fabrication :

a) le seul sous-continent indien exporte annuellement 80 000 t d'os secs, qui fourniront 15 000 t de gélatine. Ceci représente un cheptel de 3 500 000 bovidés ;

b) la transformation de ces os en osséine, puis en gélatine requiert 90 000 tonnes d'acide chlorhydrique à 300 g/l.

Ces quelques chiffres montrent que si l'industrie gélatinière occupe une place relativement modeste dans la hiérarchie des chiffres d'affaires, elle touche cependant beaucoup plus de monde qu'on ne se l'imagine généralement.

### 3. La gélatine collagène dégradé

La gélatine est une polyamide protéinique naturelle, dont on peut considérer que ses 3 propriétés principales ne se retrouvent simultanément dans aucune autre substance :

● La gélatine est *soluble* dans l'eau à 40 °C, après gonflement à température ambiante.

● La solution passe, par simple refroidissement, à l'état de *gel*; cette transformation est *réversible*.

● La gélatine exerce vis-à-vis des réactions chimiques ou des changements d'état (cristallisation) une action de retardement ou d'inhibition dite *pouvoir retardateur*.

Cette substance unique n'existe toutefois pas en tant que telle dans la nature : on l'obtient par modification et dégradation physico-chimique du collagène qu'il est indispensable de décrire avant d'entamer notre sujet proprement dit.

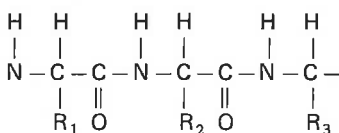
#### 3.1. Le collagène

Cette protéine est un des constituants les plus importants des êtres vivants : le collagène forme les "tissus conjonctifs", éléments de soutien des os, des peaux, des tendons et des parois de divers organes, la dentine, par exemple, ou la membrane des vessies. Il représente, chez les vertébrés, près du tiers du poids de leurs protéines. Des organes spécialisés, les *blastés*, les synthétisent au sein des êtres vivants.

##### 3.1.1. Structure primaire du collagène

Les éléments de base du collagène sont les acides *aminés*, ceux-là même qu'on suppose être à l'origine des premiers organismes vivants, lorsque des masses organiques comprenant les composés de C, H, O et N se formèrent à la surface des océans, sous l'action de rayonnements ou de décharges intenses d'énergie. Ces acides sont liés entre eux par des *liaisons peptidiques* qui confèrent rigidité et solidité à la macromolécule. (L'énergie d'activation de la liaison est de 20 000 kcal).

L'enchaînement se schématise comme suit (dans le plan)



R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> etc. représentent les résidus des différents acides aminés présents dans la chaîne. Les groupes NH et C=O formant la liaison présentent toujours la configuration "trans" comme le montre le schéma ci-dessus. Cette constance est un des éléments contribuant à donner sa structure à la macromolécule.

Toutes les protéines du monde vivant sont formées par l'enchaînement d'un certain nombre, ou de la totalité, des acides aminés connus, au nombre d'une vingtaine. 18 d'entre eux sont réunis dans le collagène, le *tryptophane* et 2 acides aminés contenant du soufre, la *cystine* et la *cystéine*, lui faisant défaut.

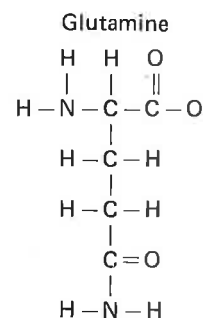
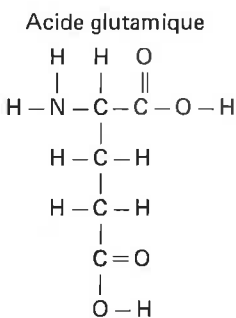
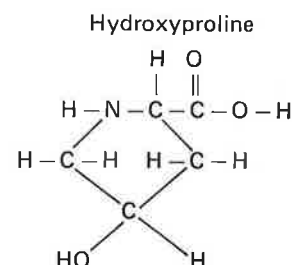
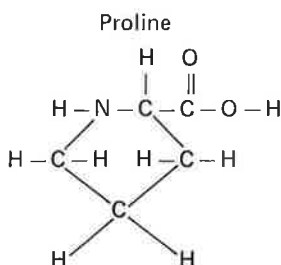
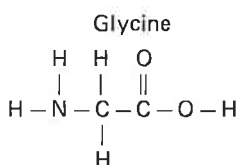
Ces acides sont tous du type L.

On ne rencontre pas des composés de type D dans les éléments constituants des animaux supérieurs.\*

Voici, pour rappel, la formule de quelques uns des acides aminés les

\*Des travaux récents (Nitschmann et Frey) ont cependant conclu à la présence d'une petite quantité d'acides aminés D dans le collagène.

plus importants associés dans le collagène :



Si la composition qualitative des collagènes de provenances différentes est identique, les quantités respectives des divers acides aminés présents ne sont pas les mêmes. Ces variations ne sont toutefois pas très importantes, particulièrement dans le cas des acides figurant en proportions notables.

Parmi ceux-ci, on notera en tout premier lieu la glycine, ou acide amino acétique, molécule à très faible encombrement, son "résidu" étant réduit à un atome d'hydrogène. Il représente à lui seul le 1/3 des constituants.

Viennent ensuite 2 imino-acides, la proline et l'hydroxyproline. Ce dernier est un véritable marqueur du collagène, tant il est rare dans les autres protéines. La présence d'un hétéro-cycle dans ces 2 acides contribue à déterminer la structure de l'ensemble et à renforcer sa rigidité.

Ces 3 acides aminés totalisent plus de la moitié des résidus présents dans la macromolécule, comme le montre l'examen du tableau I.

La séquence des acides aminés dans la chaîne linéaire qui constitue l'unité de base est donc parfaitement définie par les processus qui ont conduit à son élaboration. Elle se présente comme une succession de triades d'acides aminés dont le premier est toujours la glycine, et où le motif glycine-proline - R (ou gly - hy - R) revient fréquemment.

Une séquence de 337 triades formant une chaîne de 1011 acides est responsable de la structure microcristalline de l'ensemble. Aux 2 bouts de la chaîne on trouve une séquence moins ordonnée, englobant une quarantaine de résidus, qui ne participe pas à l'organisation globale. Ces fragments sont appelés *télopeptides*. (8)

Tableau I (d'après Eastoe et Leach)

Acides aminés de divers collagènes (Résidus pour 1000)				
	Os		Peaux	
	Bovidés	Homme	Bovidés	Vessie d'esturgeon
Glycine . . . . .	314,0	319,0	335,0	337,0
Proline . . . . .	118,8	123,4	118,6	102,2
OH-Proline . . . . .	100,8	100,2	92,6	82,2
Total . . . . .	533,6	542,6	546,2	521,4
Alanine . . . . .	109,7	113,5	109,7	118,9
Sérine . . . . .	37,8	35,9	38,4	50,5
Thréonine . . . . .	19,7	18,4	18,0	29,2
Isoleucine . . . . .	12,3	13,3	13,5	11,4
Valine . . . . .	21,2	23,6	19,9	18,0
Phénylalanine . . . . .	14,1	13,9	13,4	14,1
Tyrosine . . . . .	2,9	4,5	5,1	2,4
Méthionine . . . . .	5,1	5,3	6,2	8,8
Ac. Aspartique . . . . .	49,8	47,0	49,4	47,5
Ac. glutamique . . . . .	75,8	72,2	71,5	70,5
Arginine . . . . .	49,0	47,1	44,7	52,4
Histidine . . . . .	5,8	5,8	4,3	4,8
Lysine . . . . .	26,2	28,0	25,7	21,8
OH-Lysine . . . . .	6,4	3,5	6,6	10,7

3.1.2. Structures secondaire et tertiaire du collagène.

De très nombreux travaux théoriques et pratiques ont été consacrés au collagène, mettant en jeu notamment l'examen des diagrammes de diffraction de rayons X et la photographie de fibres via le microscope électronique. Vers 1955, la structure de base était connue, et les travaux ultérieurs, y compris l'emploi de méthodes d'analyse précises et rapides, ont généralement confirmé le schéma primitif, tout en l'affinant considérablement.

Les chaînes peptidiques prennent individuellement la forme d'une *hélice gauche* (Pauling) maintenue par des liaisons hydrogènes se formant entre les groupes NH et CO de deux liaisons peptidiques situées à 3 positions de distance. Ces liaisons sont plus ou moins parallèles à l'axe de l'hélice. Les dimensions caractéristiques de l'hélice ont été mesurées; elles sont les principaux paramètres de la *structure secondaire*.

Tableau II. Différences de composition entre chaînes (en résidus pour 1 000 résidus)  
Collagène de peau de rat (Piez et al, cité dans Veis)

	$\alpha_1$	$\alpha_2$
Hydroxy-proline	97,0	86,0
Ac. aspartique	46,0	44,0
Thréonine	19,9	19,8
Sérine	42,0	43,0
Ac. glutamique	74,0	66,0
Proline	129,0	113,0
Glycine	330,0	336,0
Alanine	112,0	102,0
Valine	19,6	32,0
Méthionine	8,0	6,1
Isoleucine	6,4	16,1
Leucine	18,1	32,4
Tyrosine	2,1	2,4
Phénylalanine	11,6	10,1
Hydroxylysine	4,3	8,0
Lysine	30,4	22,4
Histidine	1,9	8,5
Arginine	49,0	51,0

Si nous considérons maintenant que 3 de ces chaînes "spirales", disposées à 120° l'une de l'autre autour d'un axe central parallèle à leurs propres axes, s'enroulent autour de cet axe pour former une *hélice droite*, on définira la *structure tertiaire* de la macromolécule. Ce double enroulement serré (coiled coil) est possible, et seulement possible, parce qu'un résidu sur 3 dans les chaînes, constitué par l'hydrogène, occupe un espace réduit (glycine).

Des liaisons H entre chaînes, et quelques liaisons chimiques viennent consolider l'ensemble, ou structure en *triple hélice* du collagène (Ramachandran) (6) (7).

Les trois chaînes ont une composition globale identique, mais elles se séparent en 2 types, dénommés  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  caractérisés par des séquences et des proportions légèrement différentes d'acides aminés. Le triplet se compose de 2 chaînes de type  $\alpha_1$  et d'une chaîne de type  $\alpha_2$ .

3.1.3. Structure quaternaire du collagène.

Enfin, dernière étape de l'analyse et de la compréhension de cette matière dont nous sommes si dépendants, les mensurations précises conduites sur les fibrilles de collagène magnifiées 75 000 fois grâce au microscope électronique ont permis de démêler les arrangements de ces unités au sein de la matière vivante.

Une structure probable grouperait des unités répétitives de 5 rangées parallèles de molécules de collagène alignées bout à bout, chaque molécule dans une rangée étant décalée par rapport à sa voisine dans l'autre rangée de 670 Å. (Smith 1968) (8).

5 décalages sont possibles relativement à la longueur d'une chaîne (3000 Å), mais il subsiste un vide entre la 1<sup>re</sup> et la 5<sup>e</sup> chaîne.

Ajoutons qu'un autre type de substances accompagne le collagène dans les os et les peaux : il s'agit de polysaccharides, mucoprotéines et sulfate de chondroïtine, ce dernier en quantité plus élevée dans les cartilages. Ces polysaccharides semblent contribuer à renforcer la structure du tissu collagène en reliant des ensembles de fibrilles voisines. On doit les éliminer lorsqu'on désire des gélatines très pures, pour usage photographique par exemple. L'opération du chaulage accomplit cette élimination.

3.1.4. Conclusion

Les collagènes d'origines les plus diverses ont été étudiés : bovins, porcins, provenant de crapaud, baleine, escargot, crocodile... Certains d'entre eux fournissent un matériel de choix, comme les tendons de la queue du rat ou du kangourou de rochers (wallaby), et ont donc été étudiés plus souvent que les autres. Mais bien des aspects de cette matière doivent encore être établis.

Retenons trois faits de cette brève revue :

- a) l'identité du collagène se maintient à travers la diversité du monde animal;
- b) la structure complexe très particulière de la macromolécule est "inscrite" déjà dans la structure primaire, et notamment dans les faits suivants :
  - répétition tout au long de la chaîne de liaisons peptidiques de configuration "trans";
  - présence dans la chaîne d'une molécule de glycine toutes les 3 molécules, en séquence Gly - Pro - R;
  - présence d'imino-acides en proportion supérieure à celle rencontrée dans toute autre protéine.
- c) les ensembles de fibres de collagène sont insolubles dans l'eau.

3.2. Passage du collagène à la gélatine

Si la connaissance théorique avait dû précéder la pratique industrielle, il est probable que la gélatine n'aurait vu le jour que très récemment ! L'entreprise consistant à transformer le collagène avec sa structure ordonnée, résistante et insoluble, en une matière soluble, gélifiable, plastique et assimilable aurait découragé les industriels du XIX<sup>e</sup> siècle. Théorie et pratique se sont maintenant épaulées mutuellement, et les idées qu'on se fait de cette transformation se sont peu à peu clarifiées.

3.2.1. Les collagènes solubles

Les efforts des chercheurs se sont portés, en premier lieu, sur la solubilisation du collagène, et ce sont leurs travaux qui nous ont

familiarisés avec la constitution de la macromolécule; ils ont aussi permis d'évaluer les poids moléculaires de l'ensemble et des fragments séparés. Si on traite la membrane de la vessie natatoire de la carpe par un système *acide citrique-tampon citrate*, et qu'on purifie la solution, on trouve dans la solution visqueuse une petite quantité de collagène. La configuration complexe du collagène est encore présente, mais disparaît rapidement par simple chauffage à 40 °C : les modifications simultanées de la viscosité et du pouvoir rotatoire témoignent de la disparition de la structure ordonnée : la gélatine a remplacé le collagène. Si l'on veut obtenir une solution du même genre au départ de peaux de bovidé, il est indispensable de disposer de peaux d'animaux très jeunes (10-15 jours), les ensembles de macromolécules devenant très rapidement moins solubles en fonction de l'âge de l'individu.

Des traitements en *milieu alcalin* peuvent aussi conduire à cette solubilisation : action de la soude caustique en présence d'un restricteur de gonflement, le sulfate de soude par exemple.

Une dernière possibilité est offerte par l'emploi d'enzymes, comme la papaïne ou la bromélaïne, qui détruisent également l'édifice formé par les chaînes. Au-delà de leur intérêt théorique, ces travaux ont débouché sur la préparation de gélatine à propriétés améliorées : on peut en effet espérer que l'hydrolyse chimique et le traitement thermique ultérieur n'ont provoqué que peu de ruptures dans une même chaîne et que toutes les entités présentes dans la solution (ou presque) sont des chaînes *séparées*, mais *complètes*. De nombreux brevets ont été déposés, revendiquant cet avantage pour ce genre de traitements.

La figure 1 montre les éléments d'un collagène soluble (employé dans la préparation de cosmétiques), séparés par électrophorèse sur gel d'acrylamide. Les trois types de groupements coexistent : chaînes simples  $\alpha$  (pic de gauche), chaînes doubles  $\beta$  (pic central) et structures assimilables au triplet  $\gamma$  (pic de droite). Les poids moléculaires de ces entités sont généralement dans les rapports 1/2/3.

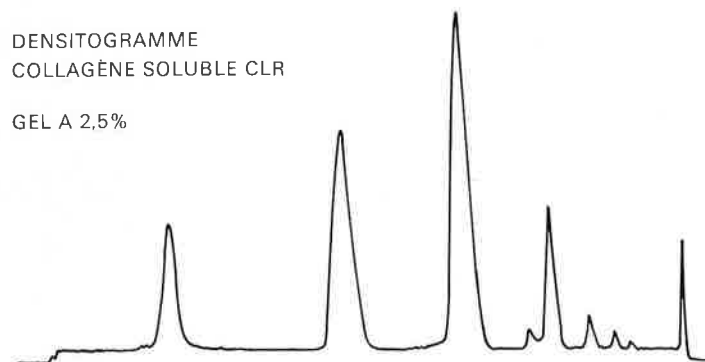


Figure 1. Collagène soluble.

### 3.2.2. Traitements industriels classiques

La pratique industrielle courante n'emprunte pas le chemin du collagène soluble. Elle provoque la désorganisation du matériau original en le soumettant à 2 types de traitements, chacun d'eux conduisant à un type de gélatine différent.

#### 3.2.2.1. Traitement alcalin

L'action prolongée de la *suspension de chaux* éteinte, à température ambiante, est sans doute la technique la plus ancienne. Son exécution est décrite en 4.4. Ce "chaulage" provoque diverses modifications : a) Un *gonflement* des fibres correspondant probablement à une hydrolyse de liaisons inter-chaînes. Il comporte 2 stades d'amplitudes et de vitesses inégales : en 3 jours, les 80 % du gonflement total sont atteints; les 20 % restants s'étendent sur 60 jours environ. Ce gonflement n'altère pas la structure générale, qui apparaît inchangée au microscope électronique.

b) Une hydrolyse des groupes *amides* de l'asparagine et de la glutamine, qui se retrouvent sous leur forme acide. Cette réaction est très

avancée après une dizaine de jours : le pH isoionique (point isoélectrique) de l'oséine est à ce moment de 5,0; il atteindra sa valeur finale (4,7 - 4,8) après 60 jours.

La structure résultant de ces différentes actions serait proche de celle du collagène; son établissement nécessite un séjour de 50 à 80 jours dans la chaux suivant le type d'os, les conditions de travail et le but recherché. Le diagramme d'électrophorèse de la figure 2 est celui d'une gélatine d'os chaulée.

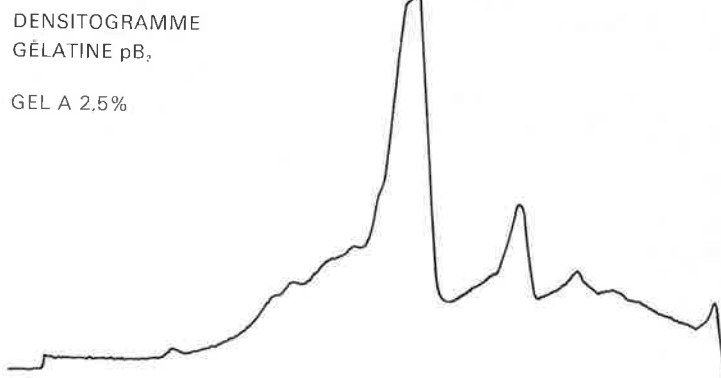


Figure 2. Gélatine chaulée.

#### 3.2.2.2. Traitement acide

La matière peut alternativement être soumise à l'action d'un bain acide (pH 1-2). Dans le cas des peaux de porcs (matière qui n'est jamais traitée par la chaux), on constate un important gonflement. Le traitement est bref : 1 à 2 jours seulement. Le pH isoionique, pour des raisons inverses à celle exposées au § précédent est supérieur à celui du collagène; il atteint des valeurs allant de 7 à 9. (Formes glutamine et asparagine). L'agressivité du milieu entraîne l'hydrolyse de certaines liaisons peptidiques *dans* les chaînes, mais la structure générale reste plus complexe que celle résultant du traitement alcalin, la structure tertiaire subsistant partiellement. Ces divergences se matérialisent notamment dans les valeurs, assez différentes que prennent les coefficients K et  $\alpha$ , caractéristiques des chaulées et des acides, dans l'équation  $[\eta] = KM^x$  reliant la viscosité intrinsèque au poids moléculaire (M). A poids moléculaire égal, la viscosité intrinsèque d'une gélatine acide sera plus faible que celle d'une gélatine chaulée.

Le diagramme de la figure 3 montre la structure complexe d'une gélatine de peaux de porcs, ayant subi le traitement acide. Il est difficile à interpréter en termes d'unités  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

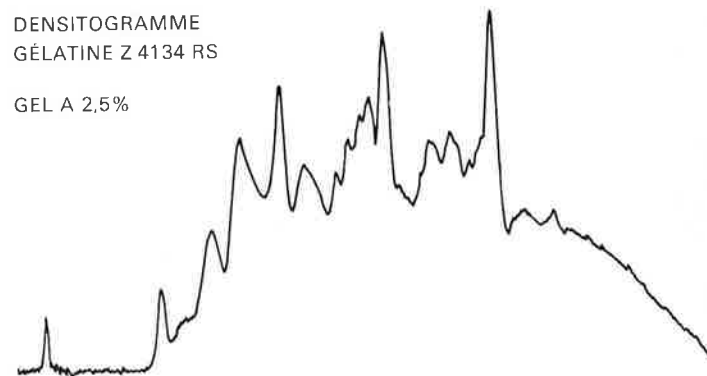


Figure 3. Gélatine acide de peaux de porcs.

En conclusion, le collagène qui a subi l'un ou l'autre traitement décrit ci-dessus, est donc "désorganisé". Il suffira maintenant d'une hydrolyse à chaud, par l'eau, pour qu'un désordre presque complet se substitue à l'ordre et à la symétrie qui caractérisaient la molécule originale.

## 4. Fabrication de la gélatine

### 4.1. Matières premières

#### 4.1.1. Os

L'industrie de la gélatine se ravitaille en os au départ de deux sources différentes :

a) les pays tropicaux fournissent un os débarrassé de la majorité des matières "non osseuses" grâce à l'action prolongée de la pluie, du soleil et des prédateurs ou charognards. Ces os sont collectés, broyés et criblés sur place, puis expédiés en vrac. Les principaux pays producteurs sont : l'Inde, le Pakistan, la Birmanie, le Nigéria, le Maroc, le Brésil. Les os en provenance d'Argentine ont souvent subi un traitement à l'eau chaude.

La teneur en graisse résiduelle est de l'ordre de 1 à 2 % et les os sont accompagnés d'une quantité variable de tendons et de nerfs (sinews) ;  
b) en Europe et aux U.S.A., les os provenant de la boucherie (green bones) sont collectés dans les abattoirs ou chez les détaillants. Ils ne contiennent qu'environ 50 % de matière osseuse, l'eau, la viande et la graisse représentant l'autre moitié. Il est donc nécessaire de leur faire subir un traitement de *dégraissage* qui les amènera à un niveau comparable à celui des os des Indes. Nous décrivons ce premier atelier d'une chaîne de production complète de gélatine au §. 4.2.

#### 4.1.2. Peaux

On retrouve une distinction comparable entre les deux types de peaux :

a) les peaux de bovidés, fournies généralement par les tanneries (croûtes, déchets salés) ainsi que les peaux sèches (dry splits), sont utilisables telles quelles, la proportion de matière non collagène étant très faible ;

b) les peaux de porcs (pigskins), sous-produits de l'industrie de la viande, contiennent, en moyenne, 17 à 20 % de graisse. Mais, contrairement à ce qui se passe pour les os, l'élimination de cette matière ne requiert pas un traitement particulier ; on la sépare aisément, lors de la cuisson des peaux, par simple décantation.

Une grande partie de la gélatine produite aux U.S.A. provient des peaux de porc, et le cours de ces dernières est un facteur important du prix de la gélatine outre-Atlantique.

#### 4.1.3. Divers

Les déchets de cuir chromé (dérayures ou débordures) peuvent aussi, moyennant un traitement alcalin énergique, être transformés en

gélatine, mais cette matière première est peu usitée, les propriétés physiques de la gélatine étant assez faibles. Mentionnons enfin, à titre de curiosité, qu'on peut obtenir de la gélatine à partir de l'ivoire !

### 4.2. Dégraissage des os frais

La teneur en graisse d'un os à gélatine est relativement critique : un excès de graisse résiduelle risque en effet de ralentir fortement les traitements ultérieurs, et, pour certains usages tels que la photographie, des teneurs, même très faibles, en graisse, sont rédhibitoires dans la gélatine. Un bon procédé de dégraissage doit satisfaire à deux exigences : amener la teneur en graisse résiduelle de l'os vers 2 %, et récupérer, sous forme commercialisable, les matières non collagèneuses qui accompagnent l'os.

Les gélatiniers emploient actuellement 3 types de procédés :

a) Traitement par un solvant organique

La graisse est extraite à chaud par lavage des os avec un hydrocarbure, et recueillie après distillation du solvant. La teneur en graisse résiduelle est faible.

b) Traitement à l'eau

L'action de l'eau froide, puis chaude, débarrasse l'os de la graisse, qui est séparée dans des centrifugeuses. Suivant le calibre de l'os traité, on dose de 1 à 2,5 % de graisse dans le produit fini.

c) Traitement par compression

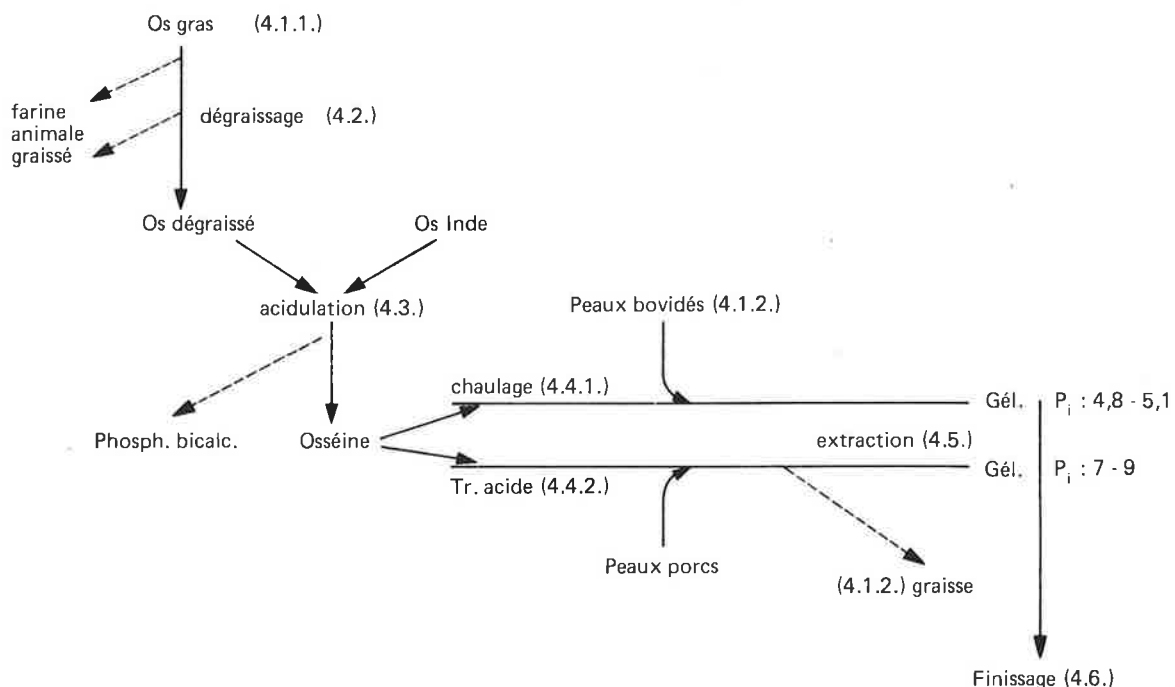
L'os chauffé est comprimé dans une presse, et la graisse est séparée au cours de l'opération.

Les procédés b et c se terminent par le passage des os dans un séchoir à tambour rotatif dont la température est soigneusement contrôlée. Avant d'envoyer ces os vers l'atelier suivant, ils subissent éventuellement des traitements qui sont fonction du procédé de dégraissage subi ou de leur destination finale :

le *polissage*, ou passage dans un tambour muni de couteaux, a pour but de débarrasser l'os des fragments de viande adhérent à sa surface ;

le *triage* sépare l'os dur et compact, de l'os poreux, et des tendons et nerfs. Cette opération se fait généralement sur des tamis à secousses,

Schéma sommaire  
de la transformation industrielle du collagène en gélatine



(Les numéros entre parenthèses renvoient aux paragraphes du texte).

traversés par des courants d'air ascendants. La séparation s'opère grâce à la différence de densité des matières ;

le *criblage* sépare les os selon leur grandeur. Les fractions en dessous d'un mm sont dirigées vers la préparation d'aliment de bétail.

Ces diverses opérations, qui paraissent à première vue sans grande importance, ont cependant une incidence directe sur la rentabilité de l'industrie en ce qu'elles permettent une valorisation optimale des sous-produits.

La graisse, qui correspond à 15 à 17 % du tonnage d'os traités, sera transformée en produits techniques tels que savons, bougies, etc... Les matières protéiniques et la poudre d'os seront incorporées dans les engrais et les aliments de bétail ; les cornes et les sabots sont valorisés séparément.

### 4.3. Acidulation (ou déminéralisation des os)

Le collagène, bien entendu, n'est pas le seul constituant de l'os : la structure organique est rendu rigide par une quantité importante de *phosphate tricalcique*. Cette "charge" est extraite de l'os par dissolution dans l'acide chlorhydrique, avec formation de phosphate monocalcique, selon le schéma :



On comprendra immédiatement la nécessité du criblage mentionné au § précédent : des fragments d'os de 3 à 4 mm de diamètre ne se traitent pas dans les mêmes conditions que des morceaux de 20 mm. Le traitement se fait dans des cuves groupées en batteries de 3 à 5 unités, contenant des os de même calibre et de même type (certains os dégraissés sont plus sensibles au traitement acide que les os "tannés" au soleil).

La liqueur chlorhydrique, diluée à la concentration appropriée aux os traités dans la batterie, et maintenue à température modérée, circule à contre-courant : l'acide à 40-50 g/l pénètre dans la cuve

contenant des os ayant déjà séjourné un certain temps dans l'acide, et quitte la batterie par la cuve la plus récemment chargée d'os. On modifie, par exemple une fois par jour, l'ordre de succession des cuves, le temps total de séjour des os variant de 3 à 7 jours suivant l'origine et le calibre. La concentration de la liqueur monocalcique sortante est maintenue dans certaines limites économiques, et sa température est gardée aux environs de 20 °C. On s'assure aussi que sa teneur en matières organiques est très faible, en vue d'éviter les pertes de collagène. Les liqueurs provenant des diverses batteries sont alors dirigées vers l'atelier de précipitation. On y élève le pH de la solution de monocalcique, par addition de lait de chaux, afin de précipiter le *phosphate bicalcique* :  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$

Après décantation, filtration, lavage et séchage, ce sel, qui a l'aspect d'une fine poudre blanche, est utilisée dans les aliments de bétail et les engrais.

Son utilisation intensive requiert évidemment d'autres sources de production que l'acidulation des os : les plus gros tonnages de "bicalcique" proviennent de la dissolution directe du phosphate tricalcique naturel (Maroc). Signalons cependant une différence entre les deux produits, où nous retrouvons le pouvoir protecteur des colloïdes : les cristaux du phosphate d'os sont beaucoup plus petits, et souvent beaucoup plus mal formés, que ceux du phosphate minéral. Une compensation toutefois à cette difficulté de préparation : les phosphates d'os sont employés de préférence dans les aliments de bétail, et sont, pour cette raison, mieux cotés sur le marché.

On récupère environ 55 % du poids d'os traité sous forme de phosphate bicalcique à 39 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

La partie organique de l'os, objet final de cette opération, est dite "osséine". Ces fragments, souples sous les doigts, et ayant conservé la forme du fragment d'os initial, sont constitués de collagène presque pur. L'osséine est rincée, et neutralisée si le traitement ultérieur le nécessite. Ce produit intermédiaire peut, en effet, être dirigé immédiatement vers les ateliers de transformation en gélatine, ou séché (à température modérée et pH neutre) pour être stocké ou expédié vers d'autres usines.