

# Protéases alcalines endo-actives pour l'industrie du cuir : trempage, dépilage enzymatique, bating et traitement plus propre

Équipe de recherche Enzymes.bio · Wellington, Nouvelle-Zélande · June 19, 2026

Les protéases alcalines endo-actives pour l'industrie du cuir hydrolysent des protéines internes indésirables de la peau en milieu basique afin d'assister le trempage, le dépilage enzymatique, le pelanage contrôlé et le confitage/bating. Leur intérêt industriel est de faciliter l'élimination de protéines interfibrillaires, de résidus épidermiques et de composants associés au follicule pileux, tout en réduisant la dépendance à certains traitements chimiques lorsque le procédé est correctement maîtrisé <sup>[1]</sup>.

Enzymes.bio fournit cette enzyme en ligne par unité de 1 kg, avec certificat d'analyse et fiche de données de sécurité joints à la commande ; Enzymes.bio agit comme fournisseur en ligne et non comme fabricant ni laboratoire. L'enzyme doit être considérée comme un auxiliaire de biocatalyse intégré au procédé de tannerie, et non comme un substitut universel à toutes les étapes chimiques du cuir .

## Définition technique : qu'est-ce qu'une endo-protéase alcaline pour cuir ?

Une protéase est une enzyme qui catalyse l'hydrolyse des liaisons peptidiques des protéines. Les protéases constituent une grande famille d'enzymes biologiquement et industriellement importantes, car la coupure contrôlée des protéines intervient dans de nombreux systèmes vivants et dans de nombreux procédés de transformation <sup>[2]</sup>. Dans le contexte du cuir, le terme **endo-protéase** indique que l'enzyme coupe principalement à l'intérieur des chaînes polypeptidiques, contrairement aux enzymes exo-actives qui libèrent des fragments depuis les extrémités des chaînes.

Le qualificatif **alcaline** signifie que l'enzyme est destinée à fonctionner dans des environnements basiques, compatibles avec plusieurs opérations de travail humide du cuir. Les protéases alcalines sont recherchées dans l'industrie parce qu'elles peuvent conserver une activité utile dans des bains où de nombreuses protéines non collagéniques doivent être fragmentées puis éliminées par lavage, action

mécanique ou opérations ultérieures <sup>[3]</sup>. Elles appartiennent plus largement à la classe des hydrolases, c'est-à-dire des enzymes qui utilisent l'eau pour rompre des liaisons chimiques, une classe décrite comme l'une des plus diverses du monde enzymatique <sup>[4]</sup>.

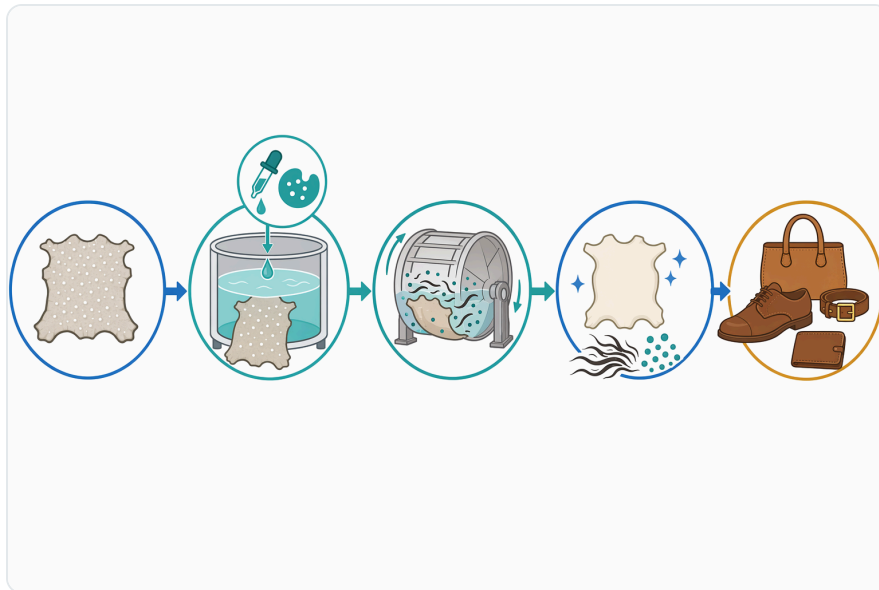
Dans une peau destinée à devenir cuir, la cible utile n'est pas le collagène structural en tant que tel. Le collagène forme l'armature qui donne au cuir sa résistance, sa tenue et une grande partie de ses propriétés mécaniques. L'objectif d'une protéase alcaline bien intégrée est plutôt de transformer des protéines non souhaitées : protéines interfibrillaires, protéines solubles, résidus épidermiques, composants périfolliculaires et fragments protéiques issus de la conservation ou des traitements précédents. Une hydrolyse trop faible laisse ces matériaux en place ; une hydrolyse trop intense peut relâcher excessivement la structure et nuire à la fleur.

Cette distinction explique pourquoi les protéases pour cuir ne doivent pas être présentées comme de simples "dissolvants biologiques". Elles sont des outils de coupe moléculaire, dont l'effet dépend de la sélectivité, de la diffusion dans la peau, de la composition du bain, du temps de contact, de la température, du pH, de l'agitation et de l'état initial de la peau. Les travaux sur les protéases alcalines issues de microorganismes alcaliphiles montrent précisément l'intérêt de sélectionner des enzymes adaptées aux conditions de dépilage et de préparation du cuir, plutôt que d'utiliser une protéase générique sans tenir compte du substrat <sup>[1]</sup>.

## **Pourquoi l'industrie du cuir utilise des protéases alcalines**

---

Les opérations de rivière — trempage, pelanage, dépilage, écharnage, déchaulage et bating — conditionnent la qualité du cuir fini. Elles déterminent la propreté de la peau, l'ouverture du réseau fibreux, l'élimination du poil et de l'épiderme, ainsi que la capacité de la matrice à recevoir les agents de tannage, de retannage, de teinture et de finition. Les enzymes protéolytiques s'insèrent dans cette logique comme auxiliaires de transformation ciblée plutôt que comme traitements de surface isolés <sup>[5]</sup>.



**Figure 1.** Les endoprotéases alcalines s'utilisent principalement dans les étapes de travail de rivière et de traitement en milieu humide, du trempage au confitage, ainsi que dans certaines opérations sur wet-blue ou de traitement des déchets.

L'enjeu environnemental est également important. L'industrie du tannage est associée à des effluents complexes comprenant matières organiques, sels, alcalinité, sulfures, chaux, tensioactifs, colorants, agents de tannage et autres auxiliaires selon les étapes considérées. Les études sur les risques environnementaux et sanitaires du tannage, comme celles menées dans des zones fortement industrialisées, soulignent la nécessité de réduire les charges polluantes et d'améliorer la gestion des rejets <sup>[6]</sup>. Les procédés enzymatiques sont donc étudiés comme l'un des leviers possibles d'une production plus propre.

Les recherches sur le dépilage enzymatique cherchent notamment à réduire l'intensité du système chaux-sulfure, historiquement utilisé pour retirer les poils et ouvrir la structure fibreuse. Une protéase alcaline issue d'*Idiomarina* sp. C9-1 a ainsi été étudiée pour son potentiel de dépilage enzymatique plus respectueux de l'environnement dans l'industrie du cuir <sup>[1]</sup>. D'autres approches récentes, comme l'encapsulation de protéases dans des liposomes, explorent la possibilité de combiner dépilage plus vert et amélioration de la souplesse du cuir <sup>[5]</sup>.

Le cadre industriel évolue aussi sous l'effet des exigences de circularité et de transition écologique. Les analyses consacrées à la gestion des déchets de transformation du cuir insistent sur la nécessité de mieux valoriser ou réduire les flux de déchets, tandis que les études sur les districts traditionnels du cuir montrent que la notion d'industrie "verte" reste liée à des réalités économiques, sociales et territoriales complexes <sup>[7][8]</sup>. Dans ce contexte, les enzymes ne résolvent pas seules tous les impacts du cuir, mais elles contribuent à une stratégie plus fine de maîtrise des étapes protéiques.

## Mécanisme d'action dans la peau : hydrolyse ciblée des protéines indésirables

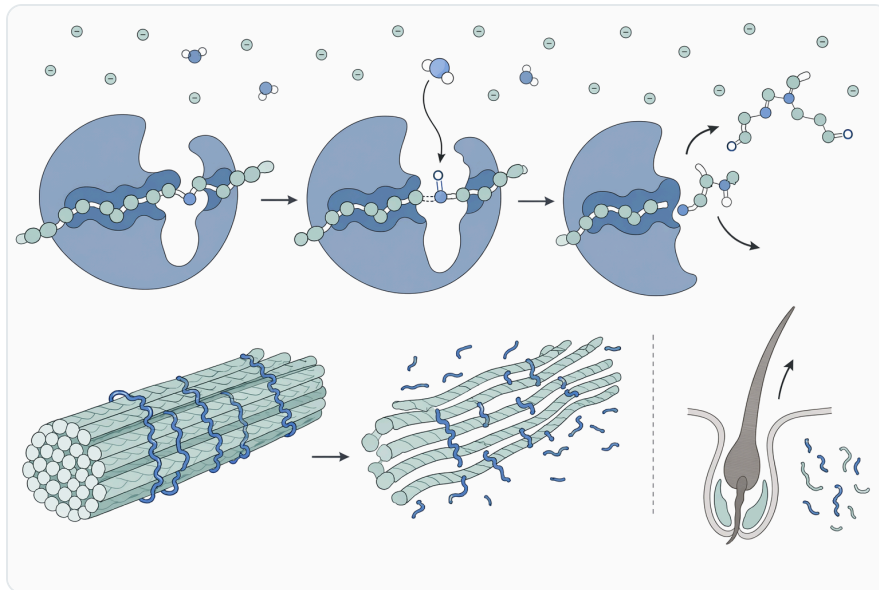
---

La peau brute est un matériau biologique composite. Elle contient du collagène, des protéines non collagéniques, des résidus cellulaires, de l'épiderme, des poils, des graisses, des sels et des composés issus de la conservation. Une endo-protéase alcaline agit en hydrolysant certaines liaisons peptidiques internes, ce qui fragmente les protéines en peptides plus courts. Ces fragments deviennent plus mobiles et plus faciles à extraire du bain ou de la matrice par action mécanique et rinçage <sup>[2]</sup>.

Dans le dépilage, la difficulté est de favoriser l'élimination du poil et de l'épiderme sans dégrader de manière excessive la structure utile de la peau. Le poil contient des protéines fortement structurées, notamment des kératines, tandis que l'ancrage du poil dépend aussi de matériaux protéiques autour du follicule. Toutes les protéases alcalines n'ont pas la même capacité à attaquer ces cibles. C'est pourquoi les publications différencient les protéases alcalines, les kératinases et d'autres systèmes enzymatiques selon leur effet réel sur le poil, l'épiderme et la fibre <sup>[1]</sup>.

Dans le bating ou confitage, l'objectif est différent. Après les étapes alcalines, le traitement enzymatique sert à assouplir, nettoyer et uniformiser la peau en retirant des protéines indésirables qui limiteraient la souplesse ou la régularité du cuir. Le bating n'est donc pas seulement une "digestion" ; c'est un ajustement de la matrice. Une action bien contrôlée peut améliorer la main, la rondeur et l'homogénéité, tandis qu'un traitement excessif peut affaiblir la fleur ou provoquer un relâchement trop marqué.

La sélectivité est donc centrale. Les protéases jouent des rôles biologiques très variés parce que leurs sites actifs, leurs préférences de substrat et leurs conditions d'activité diffèrent fortement d'une enzyme à l'autre <sup>[3]</sup>. En tannerie, cette diversité signifie qu'une protéase alcaline doit être utilisée comme un outil de procédé : son effet dépend de l'accord entre l'enzyme, le bain, la peau et l'objectif technique. La même logique explique pourquoi les publications expérimentales sur une souche ou une préparation donnée ne doivent pas être généralisées sans prudence à toutes les protéases commerciales.



**Figure 2.** Les endoprotéases clivent les liaisons peptidiques internes des protéines non collagéniques accessibles, transformant de grandes matières matricielles en fragments plus petits capables de migrer hors de la structure de la peau.

## Applications principales dans les opérations humides du cuir

### Trempage enzymatique : réhydratation et nettoyage protéique

Le trempage vise à réhydrater les peaux conservées, éliminer une partie du sel, réduire les salissures et préparer les fibres aux étapes suivantes. Dans cette phase, une protéase alcaline endo-active peut aider à fragmenter des protéines solubles ou partiellement dégradées qui se trouvent dans la matrice. Cette action peut contribuer à une peau plus propre et plus accessible aux traitements ultérieurs.

Le bénéfice attendu n'est pas un dépilage complet, mais une préparation plus régulière. Une enzyme trop kératinolytique pourrait être inutile, voire défavorable, si l'objectif du trempage est seulement de nettoyer et d'ouvrir modérément la peau. À l'inverse, une protéase trop peu active sur les protéines interfibrillaires peut avoir un effet limité. Les études portant sur des protéases alcalines microbiennes soulignent cette nécessité d'adapter le profil enzymatique à l'application visée <sup>[1]</sup>.

### Dépilage enzymatique et pelanage assisté

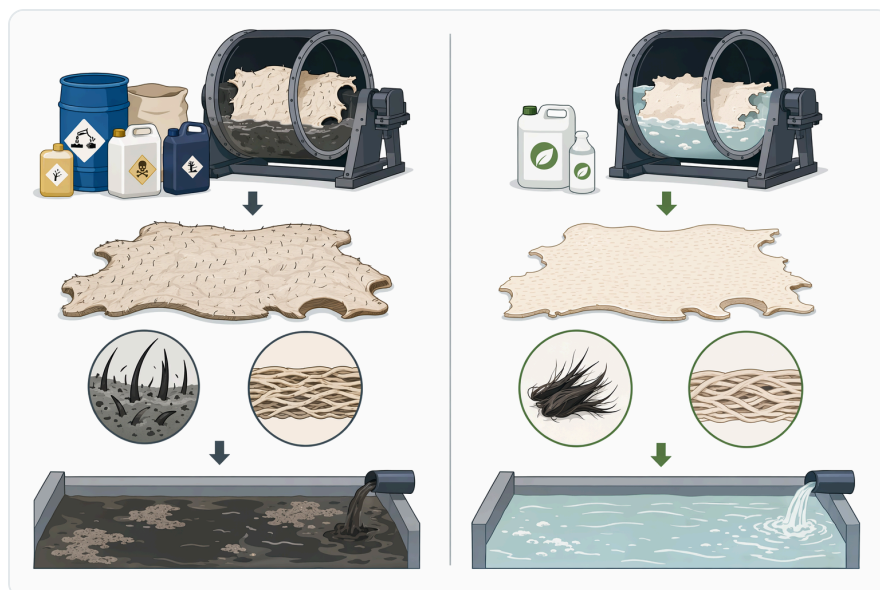
Le dépilage enzymatique cherche à affaiblir les structures qui retiennent le poil, afin de faciliter son retrait. Le traitement peut viser les protéines de l'épiderme, les matériaux autour du follicule et, selon l'enzyme, certaines structures kératiniques. Les recherches sur les protéases alcalines pour dépilage montrent que cette voie est étudiée comme alternative ou complément aux procédés chimiques conventionnels <sup>[1]</sup>.

Un brevet européen consacré à un agent enzymatique de dépilage pour le tannage illustre également l'intérêt industriel ancien pour cette approche. Il décrit l'usage d'un agent enzymatique destiné au traitement de dépilage dans la production de cuir, confirmant que le sujet ne relève pas seulement de la recherche académique, mais aussi du développement technologique appliqué <sup>[9]</sup>. La prudence reste toutefois nécessaire : selon les peaux, les conditions de bain et l'effet recherché, l'enzyme peut assister le dépilage sans permettre une suppression totale des auxiliaires chimiques.

### **Bating ou confitage : souplesse, propreté et régularité**

Le bating est l'une des applications les plus classiques des protéases dans le cuir. Il intervient après des étapes fortement alcalines et sert à affiner la structure, améliorer la souplesse et enlever des protéines résiduelles. Une endo-protéase alcaline peut contribuer à réduire la présence de protéines qui rigidifient la matrice ou gênent la pénétration ultérieure des produits de tannage et de finition.

Le confitage est particulièrement sensible, car il agit sur la qualité tactile et visuelle du cuir. Une action insuffisante peut laisser une peau dure, peu uniforme ou mal ouverte ; une action excessive peut conduire à une perte de tenue, à un relâchement ou à des défauts de fleur. L'avantage de l'enzyme réside donc dans une hydrolyse graduelle et contrôlable, non dans une action brutale.



**Figure 3.** Les protéases acides, neutres et alcalines se distinguent par leur pH préférentiel et par leur compatibilité naturelle avec les conditions du traitement humide du cuir.

## Traitements post-tannage et eaux résiduaires : applications plus spécifiques

Les applications enzymatiques au-delà des opérations de rivière existent, mais elles doivent être abordées avec plus de nuance. Les traitements post-tannage génèrent des effluents spécifiques et font l'objet de revues dédiées, ce qui montre la complexité des flux après tannage <sup>[10]</sup>. Dans ce domaine, les enzymes peuvent être étudiées pour modifier certaines propriétés ou contribuer à des stratégies de traitement, mais les niveaux de preuve et les pratiques industrielles sont moins homogènes que pour le bating ou le dépilage assisté.

Les travaux récents sur la biodégradation du cuir et les communautés bactériennes montrent aussi que la dégradation des matériaux de cuir implique une diversité de voies métaboliques et d'enzymes <sup>[11]</sup>. Cette connaissance est utile pour comprendre les transformations biologiques des déchets ou des matériaux protéiques, mais elle ne doit pas être confondue avec une recommandation directe de procédé pour cuir fini. Pour une tannerie, l'emploi d'une protéase alcaline sur cuir semi-fini exige donc une maîtrise particulière de l'objectif et du risque d'altération.

### Tableau comparatif : où une protéase alcaline endo-active apporte le plus de valeur

Étape du procédé cuir	Cibles protéiques principales	Effet recherché	Maturité de l'usage enzymatique	Points de vigilance
Trempage	Protéines solubles, protéines altérées par conservation, salissures organiques liées à la peau	Réhydratation plus régulière, nettoyage, préparation des fibres	Usage cohérent avec les travaux sur protéases alcalines appliquées au cuir <sup>[1]</sup>	Éviter une action trop forte si l'objectif n'est pas le dépilage
Dépilage / pelanage assisté	Épiderme, protéines périfolliculaires, composants associés à l'ancrage du poil	Faciliter l'enlèvement du poil et réduire l'intensité chimique du procédé	Fort intérêt scientifique et technologique, y compris brevets et études récentes <sup>[9]</sup>	Résultat dépendant du type de peau, de la diffusion et de la sélectivité
Bating / confitage	Protéines non collagéniques résiduelles, composants interfibrillaires	Souplesse, rondeur, propreté fine, uniformité de la matrice	Application historiquement bien établie dans les opérations humides du cuir <sup>[3]</sup>	Risque de relâchement ou de perte de résistance si l'action est excessive

Étape du procédé cuir	Cibles protéiques principales	Effet recherché	Maturité de l'usage enzymatique	Points de vigilance
Traitements post-tannage	Protéines résiduelles et matrice déjà stabilisée	Modification ciblée de propriétés ou contribution à des stratégies plus propres	Domaine plus spécifique, lié aux enjeux des effluents post-tannage <sup>[10]</sup>	Contrôle renforcé nécessaire pour éviter l'altération du cuir stabilisé
Gestion des déchets protéiques	Déchets riches en protéines, fragments de cuir ou biomasse associée	Fragmentation, valorisation ou meilleure biodégradation selon le procédé	Sujet relié à l'économie circulaire du cuir <sup>[8]</sup>	Ne pas confondre traitement de déchets et traitement de peau destinée au cuir fini

## Bénéfices industriels attendus

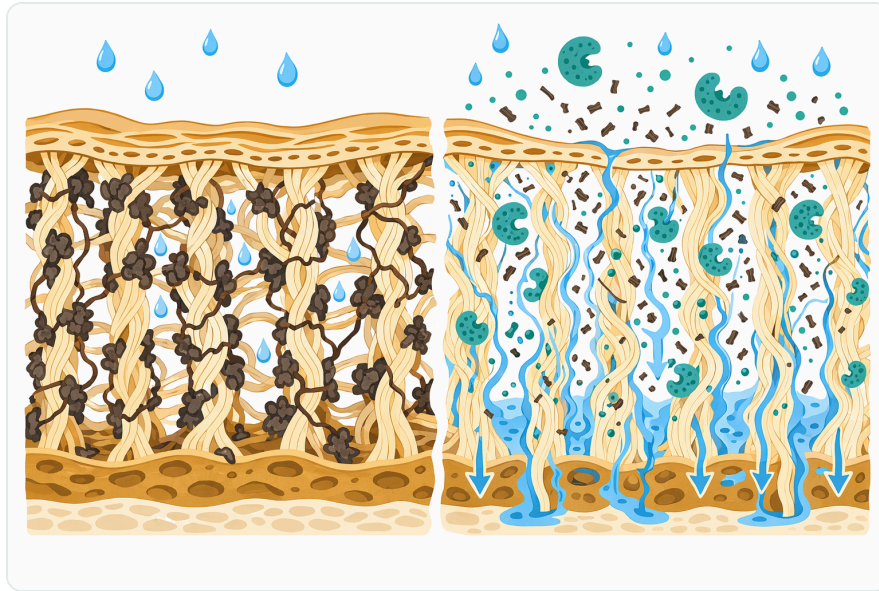
Le premier bénéfice est la **sélectivité biochimique**. Une protéase alcaline endo-active agit sur des liaisons peptidiques et peut cibler des protéines qui gênent la préparation de la peau. Cette action est plus spécifique qu'une simple augmentation de l'alcalinité ou de l'agressivité chimique du bain. La protéolyse étant un phénomène enzymatique hautement dépendant du substrat et des conditions, le résultat est ajustable par le procédé, mais non automatique <sup>[2]</sup>.

Le deuxième bénéfice est la possibilité de contribuer à un **traitement plus propre du cuir**. Les procédés enzymatiques sont étudiés pour réduire la dépendance à certains agents chimiques conventionnels, notamment dans le dépilage et la préparation de la peau. L'étude d'une protéase alcaline provenant d'un microorganisme alcaliphile a précisément été présentée comme ayant un potentiel pour un dépilage enzymatique plus écologique <sup>[1]</sup>. Les approches récentes d'encapsulation de protéases poursuivent la même logique de réduction d'impact et d'amélioration de la qualité du cuir <sup>[5]</sup>.

Le troisième bénéfice concerne la **qualité de préparation de la matrice**. Une peau dont les protéines indésirables sont mieux retirées peut présenter une ouverture plus homogène, une souplesse plus régulière et une meilleure aptitude aux opérations suivantes. Cet effet est particulièrement pertinent dans le bating, où l'enzyme agit comme outil d'ajustement de la structure plutôt que comme réactif de transformation massive.

Le quatrième bénéfice est l'alignement avec les démarches de **production responsable**. Les analyses sur les districts du cuir montrent que la transition verte ne se réduit pas à une seule technologie ; elle combine contraintes de marché, réglementation, savoir-faire local et gestion environnementale <sup>[7]</sup>.

Dans cette perspective, les enzymes sont un levier parmi d'autres : elles peuvent améliorer certaines étapes, mais doivent s'inscrire dans une gestion globale des bains, des effluents, de l'énergie et des déchets.



**Figure 4.** Lors du trempage, l'hydrolyse par les protéases aide à éliminer les protéines solubles et faiblement liées qui entravent l'absorption d'eau et une réhydratation uniforme.

## Paramètres de procédé qui influencent l'efficacité

L'efficacité d'une protéase alcaline dépend d'abord du pH du bain. L'enzyme est conçue pour fonctionner en milieu basique ; si le bain s'éloigne trop de la zone compatible avec son activité, l'hydrolyse devient insuffisante ou irrégulière. À l'inverse, des conditions trop agressives peuvent accélérer des effets non souhaités sur la matrice. Les protéases, comme toutes les enzymes, possèdent des domaines d'activité liés à leur structure et à leur mécanisme catalytique <sup>[4]</sup>.

La température influence également la vitesse d'hydrolyse. Une température trop basse ralentit la réaction, tandis qu'une température trop élevée peut réduire la stabilité de certaines enzymes ou intensifier l'attaque de la peau. Il ne faut donc pas raisonner seulement en quantité d'enzyme : le couple température–temps de contact joue un rôle déterminant dans l'effet observé.

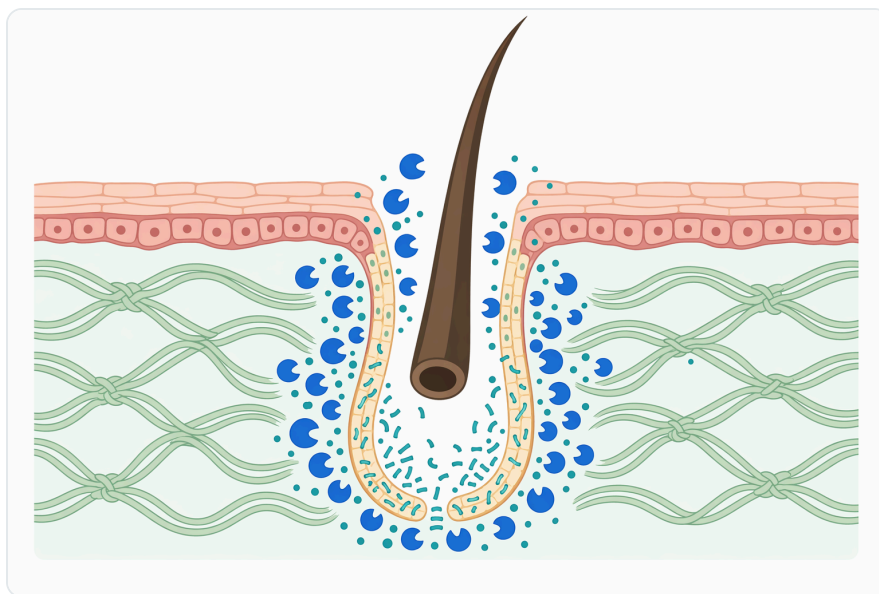
L'action mécanique du foulon ou de l'équipement de travail humide conditionne la diffusion de l'enzyme et l'évacuation des fragments hydrolysés. Une enzyme active mais mal distribuée peut produire un traitement hétérogène. À l'inverse, une bonne pénétration dans la peau favorise une action plus régulière. Les systèmes modernes explorés dans la littérature, comme l'encapsulation, illustrent l'importance de la délivrance de l'enzyme au bon endroit dans la matrice <sup>[5]</sup>.

Le type de peau est un autre facteur majeur. Les peaux bovines, ovines, caprines ou porcines ne présentent pas la même épaisseur, la même densité fibreuse, la même teneur en graisse ni la même architecture folliculaire. L'état de conservation, le salage, la durée de stockage et les opérations précédentes modifient aussi les protéines accessibles. Une condition efficace sur un substrat donné ne peut donc pas être transposée mécaniquement à tous les lots.

Enfin, la compatibilité avec les autres auxiliaires du bain doit être prise en compte. Les enzymes sont des protéines ; elles peuvent être influencées par l'alcalinité, les sels, certains tensioactifs, les agents réducteurs, les oxydants ou les solvants selon les formulations. Il est donc préférable de raisonner en séquence de procédé : ce qui précède l'enzyme modifie les cibles disponibles, et ce qui suit l'enzyme révèle l'effet réel sur la peau.

## Limites techniques et risques d'un usage mal contrôlé

La première limite est la variabilité du substrat. La peau n'est pas un matériau synthétique uniforme ; elle varie selon l'espèce, l'âge de l'animal, la zone de la peau, la conservation et les opérations antérieures. Les recherches sur les enzymes appliquées au cuir démontrent un potentiel, mais elles sont généralement menées avec des conditions et des substrats définis <sup>[1]</sup>. Il serait donc excessif de promettre un résultat identique pour toutes les tanneries.



**Figure 5.** L'épilage enzymatique peut libérer les poils en affaiblissant les protéines d'ancrage folliculaires et épidermiques, plutôt qu'en dissolvant toute la tige pileuse.

La deuxième limite est le risque d'atteinte au collagène utile. Une endo-protéase hydrolyse des protéines ; si l'action est trop intense, trop longue ou mal ciblée, elle peut fragiliser des zones de la matrice qui doivent rester intactes. Dans le cuir, la qualité finale dépend d'un équilibre : enlever ce qui

gêne, sans détruire ce qui structure. C'est particulièrement critique pour la fleur, la résistance et la tenue.

La troisième limite est la maturité variable des applications. Le bating et le dépilage assisté sont des domaines bien représentés dans la littérature et les développements industriels. Les applications post-tannage ou de modification du cuir déjà stabilisé existent, mais elles sont plus spécialisées et doivent être évaluées avec prudence, notamment parce que les effluents post-tannage ont une composition complexe <sup>[10]</sup>.

La quatrième limite est que l'enzyme ne remplace pas la gestion environnementale globale. Les effluents de tannerie restent un sujet lourd, et les traitements post-tannage font l'objet de technologies spécifiques de dépollution <sup>[10]</sup>. Une protéase alcaline peut réduire certaines charges ou certains intrants dans une étape donnée, mais elle ne supprime pas à elle seule la nécessité de maîtriser les bains, les rinçages, les déchets solides et les rejets.

## Sécurité de manipulation et intégration industrielle responsable

---

Les enzymes industrielles doivent être manipulées comme des protéines biologiquement actives. Les guides de bonnes pratiques pour la manipulation sûre des enzymes insistent sur la réduction de l'exposition aux poussières et aux aérosols, l'usage d'équipements adaptés et la prévention du contact inutile avec le produit <sup>[12]</sup>. Cette vigilance est particulièrement importante en environnement industriel, où la manutention, le transfert et le mélange peuvent générer des expositions.

Dans un atelier cuir, la sécurité ne concerne pas seulement l'enzyme isolée, mais aussi le bain complet. Les conditions alcalines, les auxiliaires chimiques, les peaux en traitement et les effluents exigent une discipline de procédé. La fiche de données de sécurité fournie avec la commande doit être utilisée pour organiser la manipulation, le stockage et les mesures de protection applicables au produit livré .

Enzymes.bio fournit l'enzyme directement en ligne par unité de 1 kg. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité accompagnent la commande, ce qui permet de disposer des documents de lot et de sécurité nécessaires à l'usage industriel. Cette présentation correspond à un rôle de fournisseur en ligne ; elle ne doit pas être interprétée comme une prestation de formulation sur mesure, de laboratoire d'essai ou de fabrication.

## Positionnement dans une stratégie cuir plus propre

---

Les protéases alcalines endo-actives s'inscrivent dans une tendance plus large : rendre les opérations de cuir plus sélectives, moins dépendantes de conditions chimiques extrêmes et plus compatibles avec les contraintes environnementales. Les travaux sur l'économie circulaire dans la gestion des déchets

du cuir montrent que la réduction à la source, la valorisation et la maîtrise des flux sont des priorités complémentaires <sup>[8]</sup>. Les enzymes interviennent surtout au niveau de la réduction et de l'optimisation des transformations protéiques.



**Figure 6.** Les résidus riches en protéines, tels que les poils, la laine, les écharnures, les chutes et les fractions de boues, peuvent être hydrolysés en matières plus petites riches en peptides, afin d'en faciliter la manipulation ou le traitement ultérieur.

Elles sont particulièrement pertinentes lorsque le procédé cherche à agir sur des protéines spécifiques : nettoyer la peau au trempage, faciliter le détachement du poil, affiner la structure au bating ou réduire certains effets indésirables des traitements lourds. Leur efficacité est maximale lorsqu'elles sont intégrées à une séquence cohérente plutôt qu'ajoutées comme correctif isolé. Une enzyme bien choisie mais utilisée dans un bain incompatible donnera un résultat décevant ; une enzyme intégrée avec une bonne compréhension du substrat peut au contraire devenir un outil de régularité.

Le développement de nouvelles formes d'application, comme les systèmes liposomaux étudiés pour le dépilage et la souplesse du cuir, montre que la recherche ne se limite plus à trouver "une protéase active" <sup>[5]</sup>. Elle cherche aussi à mieux contrôler la localisation, la diffusion et l'intensité de l'action enzymatique. Cette évolution confirme que l'avenir des enzymes pour cuir dépend autant de l'ingénierie du procédé que de l'activité protéolytique elle-même.

## Conclusion

---

Les protéases alcalines endo-actives pour l'industrie du cuir sont des auxiliaires enzymatiques conçus pour hydrolyser de manière contrôlée des protéines indésirables dans les opérations humides. Elles sont particulièrement pertinentes pour le trempage, le dépilage enzymatique assisté, le pelanage contrôlé et le bating, où elles peuvent améliorer la propreté de la peau, l'ouverture de la structure et la souplesse du cuir tout en contribuant à des procédés plus propres <sup>[1]</sup>.

Leur valeur repose sur un équilibre technique : assez d'activité pour fragmenter les protéines gênantes, mais assez de maîtrise pour préserver le collagène et la qualité de la fleur. Les preuves disponibles, des études sur protéases alcalines aux développements de dépilage enzymatique et aux approches plus vertes, soutiennent leur intérêt industriel sans justifier de promesses universelles indépendantes du procédé <sup>[5][9]</sup>.

Pour les clients B2B, l'enzyme doit donc être comprise comme un outil de biocatalyse appliquée au cuir. Enzymes.bio la fournit en ligne par unité de 1 kg, avec certificat d'analyse et fiche de données de sécurité fournis avec la commande, afin de soutenir une utilisation professionnelle documentée et responsable .

### Commander Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry en ligne

Vendu par unité de 1 kg, en stock et prêt à expédier. Commandez directement sur notre boutique — payez en ligne et nous traitons votre commande. Un certificat d'analyse et une fiche de données de sécurité sont inclus avec chaque commande.

[Acheter Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry →](#)

## Références

---

Numérotées par ordre de première citation. Sources en libre accès, chacune vérifiée comme accessible au moment de la publication ; les numéros de citation dans le texte renvoient ici.

1. Zhou, C., Qin, H., Chen, X., Zhang, Y., Xue, Y., & Ma, Y. (2018). A novel alkaline protease from alkaliphilic *Idiomarina* sp. C9-1 with potential application for eco-friendly enzymatic dehairing in the leather industry. *Scientific Reports*, 8.
2. López-Otín, C., & Bond, J. (2008). Proteases: Multifunctional Enzymes in Life and Disease\*. *Journal of Biological Chemistry*, 283, 30433 - 30437.
3. Mahajan, R., & Badgajar, S. B. (2010). Biological aspects of proteolytic enzymes: A Review. *Journal of Pharmacy Research*, 2048-2068.

4. Shukla, E., Bendre, A. D., & Gaikwad, S. M. (2022). Hydrolases: The most Diverse Class of Enzymes. *Hydrolases [Working Title]*.
5. Arunachalam, B., Dhathathreyan, A., & Palanisamy, T. (2025). Protease encapsulated liposomes for twin benefits: a green approach to unhairing and soft leather production. *Journal of liposome research*, 35, 370 - 381.
6. Garai, J. (2014). Environmental aspects and health risks of leather tanning industry: a study in the Hazaribag area. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 12, 278 - 282.
7. Gatto, A., & Parziale, A. (2024). Towards a green and just industry? Insights from traditional leather districts in Southern Italy. *Science of the Total Environment*, 171552 .
8. Wrzesińska-Jędrusiak, E., Czarnecki, M., Kazimierski, P., Bandrów, P., & Szufa, S. (2023). The Circular Economy in the Management of Waste from Leather Processing. *Energies*.
9. ENZYMATIC UNHAIRING AGENT FOR USE IN TANNING FOR PRODUCING LEATHER AND METHOD FOR ENZYMATIC UNHAIRING TREATMENT - European Patent Office - EP 1304389 A1. *Semantic Scholar* (2003).
10. Hansen, É., Aquim, P. M., & Gutterres, M. (2021). Current technologies for post-tanning wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 294, 113003 .
11. Bonilla-Espadas, M., Bertazzo, M., Lifante-Martínez, I., Camacho, M. L., Orgilés-Calpena, E., Arán-Aís, F., & Bonete, M. (2025). Taxonomic and Functional Profiling of Bacterial Communities in Leather Biodegradation: Insights into Metabolic Pathways and Diversity. *Bacteria*.
12. Amfep Safe Handling Guide 2023.Pdf. *Amfep*.

## Contacteur Enzymes.bio

Des questions sur une commande ? Notre équipe se fera un plaisir de vous aider.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TÉLÉPHONE (ÉTATS-UNIS) **+1 (507) 428-6057**

[Nous contacter →](#)



**400+** Clients B2B



**60+** partenaires de recherche universitaires



**54** servis dans le monde entier

© 2026 Enzymes.bio · Fourniture d'enzymes industrielles & de transformation alimentaire · Non destiné à la consommation humaine ni à la vente au détail.