

Synthèses

# Odorat et goût

De la neurobiologie des sens  
chimiques aux applications

R. Salesse et R. Gervais, coordinateurs



éditions  
Quæ



# Odorat et goût

De la neurobiologie des sens  
chimiques aux applications



# Odorat et goût

De la neurobiologie des sens  
chimiques aux applications

Roland Salesse et Rémi Gervais,  
coordinateurs

## *Collection Synthèses*

Comment l'herbe pousse. Développement végétatif, structures clonales et spatiales des graminées

Michel Lafarge, Jean-Louis Durand

2011, 182 p.

Grands paysages pédologiques de France

Marcel Jamagne

2011, 624 p.

Production durable de biomasse. La lignocellulose des poacées

Denis Pouzet 2011, 216 p.

La photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques (2<sup>e</sup> édition)

Jack Farineau, Jean-François Morot-Gaudry

2011, 412 p.

Biological Invasions, a Question of Nature and Society (en numérique uniquement)

Robert Barbault, Martine Atramentowicz

2011, 184 p.

La truite arc-en-ciel. Biologie et élevage

Bernard Jalabert, Alexis Fostier

2010, 336 p.

Les maladies émergentes. Épidémiologie chez le végétal, l'animal et l'homme

Jacques Barnouin et Ivan Sache, coord.

2010, 464 p.

# Table des matières

---

<b>Remerciements</b> .....	1
----------------------------	---

<b>Introduction</b> .....	3
<i>Roland Salesses, Rémi Gervais</i>	

## PARTIE I. ASPECTS SOCIOHISTORIQUES

<b>1. La réhabilitation de l'odorat. Le pouvoir des odeurs</b> .....	11
<i>Annick Le Guéner</i>	

<b>2. La naissance de l'esthétique olfactive</b> .....	15
<i>Chantal Jaquet</i>	

<b>3. Cinquante ans de recherche sur les sens chimiques</b> .....	21
<i>Patrick MacLeod</i>	

## PARTIE II. SIGNAUX CHIMIQUES ET PROTÉINES PORTEUSES

<b>4. Les molécules odorantes, sapides et trigéminales</b> .....	29
<i>Thierry Thomas-Danguin, Élodie Maîtreperre, Maud Sigoillot, Loïc Briand et Anne Tromelin</i>	

<b>5. Les phéromones : Vertébrés et Invertébrés</b> .....	39
<i>Patricia Nagnan-Le Meillour</i>	

## PARTIE III. SYSTÈME OLFACTIF PRINCIPAL

<b>6. Anatomie globale et fonctionnelle des systèmes olfactifs des Vertébrés et Invertébrés</b> .....	49
<i>André Holley, Sylvia Anton et Jean-Pierre Rospars</i>	

<b>7. Périréception et protéines porteuses</b> .....	61
<i>Martine Maibèche, Jean-Marie Heydel, Anne-Marie Le Bon, Jérôme Golebiowski et Loïc Briand</i>	
<b>8. Réception et transduction du signal olfactif</b> .....	75
<i>Emmanuelle Jacquin-Joly, Philippe Lucas, Edith Pajot-Augy et Guenhaël Sanz</i>	
<b>9. Codage de l'information par les neurones olfactifs</b> .....	93
<i>Patricia Duchamp-Viret et Jean-Pierre Rospars</i>	
<b>10. Développement, plasticité et neuroendocrinologie des systèmes olfactifs périphériques</b> .....	109
<i>Christine Baly, Monique Caillol, Patrice Congar et Michel Renou</i>	
<b>11. Bulbe olfactif et plasticité : la neurogenèse adulte</b> .....	131
<i>Gilles Gheusi, Gabriel Lepousez et Pierre-Marie Lledo</i>	
<b>12. Insectes : structure, développement et plasticité des lobes antennaires ..</b>	147
<i>Sylvia Anton et Jean-Pierre Rospars</i>	
<b>13. Fonction, codage et plasticité du lobe antennaire</b> .....	159
<i>Philippe Lucas et Sylvia Anton</i>	
<b>14. Codage dans le bulbe olfactif principal des Mammifères</b> .....	171
<i>Nathalie Buonviso et Hirac Gurden</i>	
<b>15. Intégration centrale chez les Insectes</b> .....	181
<i>Jean-Pierre Rospars et Sylvia Anton</i>	

PARTIE IV. SYSTÈMES CHIMIOSENSEURS DITS « ACCESSOIRES »

<b>16. Le système voméronasal</b> .....	195
<i>Ivan Rodriguez</i>	
<b>17. L'organe septal de Masera et le ganglion de Grueneberg</b> .....	207
<i>Xavier Grosmaître</i>	
<b>18. La sensibilité trigéminal chimique</b> .....	215
<i>Didier Trotier, Akiko Ishii-Foret, Amir Djoumoi, Morgane Bourdonnais, Fabrice Chérueil, Annick Faurion</i>	

PARTIE V. SYSTÈMES GUSTATIFS

<b>19. La gustation chez les Vertébrés</b> .....	227
<i>Annick FAURION et Jean-Pierre Montmayeur</i>	
<b>20. La gustation chez les Insectes</b> .....	265
<i>Frédéric Marion-Poll</i>	



## PARTIE VI. ÉVOLUTION

<b>21. Diversité des systèmes olfactifs des Vertébrés .....</b>	<b>275</b>
<i>Jean Gascuel</i>	
<b>22. Génétique et évolution des récepteurs olfactifs chez les Vertébrés .....</b>	<b>291</b>
<i>Stéphanie Robin, Pascale Quignon et Francis Galibert</i>	
<b>23. Signaux chimiques, adaptation et spéciation .....</b>	<b>311</b>
<i>Claude Wicker-Thomas</i>	

## PARTIE VII. APPRENTISSAGES ET MÉMOIRE

<b>24. Les apprentissages alimentaires et sociaux régulés par l'olfaction .....</b>	<b>323</b>
<i>Frédéric Lévy et Guillaume Ferreira</i>	
<b>25. Le sens chimique chez le nématode <i>Caenorhabditis elegans</i> : plasticité, adaptation, évolution .....</b>	<b>339</b>
<i>Jean-Jacques Remy</i>	

## PARTIE VIII. PSYCHOPHYSIOLOGIE DE LA PERCEPTION CHIMIQUE

<b>26. Processus olfactifs cognitifs et émotionnels .....</b>	<b>347</b>
<i>Jean-Pierre Royet et Jane Plailly</i>	
<b>27. Gustation, olfaction et préférences alimentaires chez l'enfant .....</b>	<b>359</b>
<i>Sophie Nicklaus et Sylvie Issanchou</i>	
<b>28. De la mise en mots des odeurs .....</b>	<b>373</b>
<i>Claire Sulmont-Rossé et Isabel Urdapilleta</i>	
<b>29. Goût, olfaction, autres systèmes sensoriels et intégration multisensorielle .....</b>	<b>383</b>
<i>Agnès Giboreau</i>	

PARTIE IX. APPLICATIONS AGRONOMIQUES, INDUSTRIELLES,  
MÉDICALES ET ENVIRONNEMENTALES

<b>30. Olfaction artificielle et inspiration biologique .....</b>	<b>393</b>
<i>Dominique Martínez</i>	
<b>31. Diagnostic olfactif des pathologies .....</b>	<b>401</b>
<i>Edith Pajot-Augy</i>	
<b>32. Nouveaux outils d'aide à la construction de la qualité aromatique des aliments .....</b>	<b>413</b>
<i>Jean-Louis Berdagué, Pascal Tournayre, Nathalie Kondjoyan, Frédéric Mercier et Erwan Engel</i>	

<b>33. Des odeurs pour les troupeaux ou contre les parasites de culture.....</b>	419
<i>Claude Fabre-Nys et Denis Thiéry</i>	
<b>34. Parfums, cosmétiques et arômes alimentaires : enjeux industriels de la mesure des émotions.....</b>	431
<i>Arnaud Montet, Stephen Warrenburg et Lana Glazman</i>	
<b>35. Gastronomie moléculaire et olfaction .....</b>	439
<i>Hervé This</i>	
<b>36. Évaluation des nuisances olfactives et désodorisation.....</b>	451
<i>Lionel Pourtier</i>	
<b>37. De nouvelles expériences avec le marketing olfactif .....</b>	459
<i>Bruno Daucé</i>	
<b>38. Système olfacto-gustatif et toxicologie .....</b>	465
<i>Anne-Marie Le Bon, Jean-Marie Heydel, Fabrice Chéruef</i>	
<b>39. Les troubles de l'odorat : bilan étiologique .....</b>	473
<i>Corinne Eloit, Philippe Herman, Patrice Tran Ba Huy, Didier Trotier</i>	
<b>40. Troubles olfactifs et dépression .....</b>	483
<i>Boriana Atanasova</i>	
<b>41. La muqueuse olfactive, fenêtre ouverte sur le cerveau .....</b>	491
<i>François Féron</i>	
<b>42. Le nez, ouverture à la vie : expériences de terrain.....</b>	499
<i>Patty Canac</i>	
<b>Abréviations.....</b>	505
<b>Index.....</b>	513
<b>Liste des auteurs .....</b>	533

# Remerciements

---

Un grand merci aux soixante-quinze auteurs des quarante-deux articles du livre, dont beaucoup sont membres du groupe Aromagri, qui a contribué à les rassembler.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Patrick Mac Leod, qui nous a beaucoup aidés pour la relecture et l'indexation. Nous remercions également le soutien moral et financier du département Phase (Physiologie animale et systèmes d'élevage) de l'Inra et du pôle de compétitivité Cosmetic Valley.



# Introduction

---

Roland SALESSE, Rémi GERVAIS

Cet ouvrage est issu du travail du groupe Aromagri<sup>1</sup>, club d'animation scientifique qui s'intéresse aux recherches fondamentales aussi bien qu'appliquées dans le domaine des sens chimiques : odorat, goût, perception des phéromones.

## ►► L'intention

La motivation des auteurs est double :

– d'une part, vingt ans après le clonage des récepteurs olfactifs, il semble opportun de faire le point sur ce que l'irruption de la biologie moléculaire et les progrès de la neurobiologie expérimentale ont apporté à un domaine de recherche qui s'est révélé au grand jour lors de l'attribution du prix Nobel de physiologie et de médecine à Linda Buck et Richard Axel en 2004 ;

– d'autre part, et cette motivation est quelque peu militante, nombre de découvertes récentes ont eu lieu dans des laboratoires états-uniens ou japonais, ce qui reflète l'importance numérique des chercheurs de ces pays par rapport à la France. Il est paradoxal que notre pays, dont les toutes premières activités économiques à l'exportation (l'agroalimentaire et la parfumerie-cosmétique)<sup>2</sup> sont largement basées sur le « goût français », soit un acteur mineur (au moins en nombre) dans la recherche sur les sens chimiques. L'absence d'un ouvrage de référence en français dans ce domaine est symptomatique de cette situation. C'est pourquoi nous proposons de nous adresser à un public plus large que celui de la recherche, et notamment les

---

1. Voir <<http://www2.dijon.inra.fr/aromagri/>> (consulté le 13 février 2012).

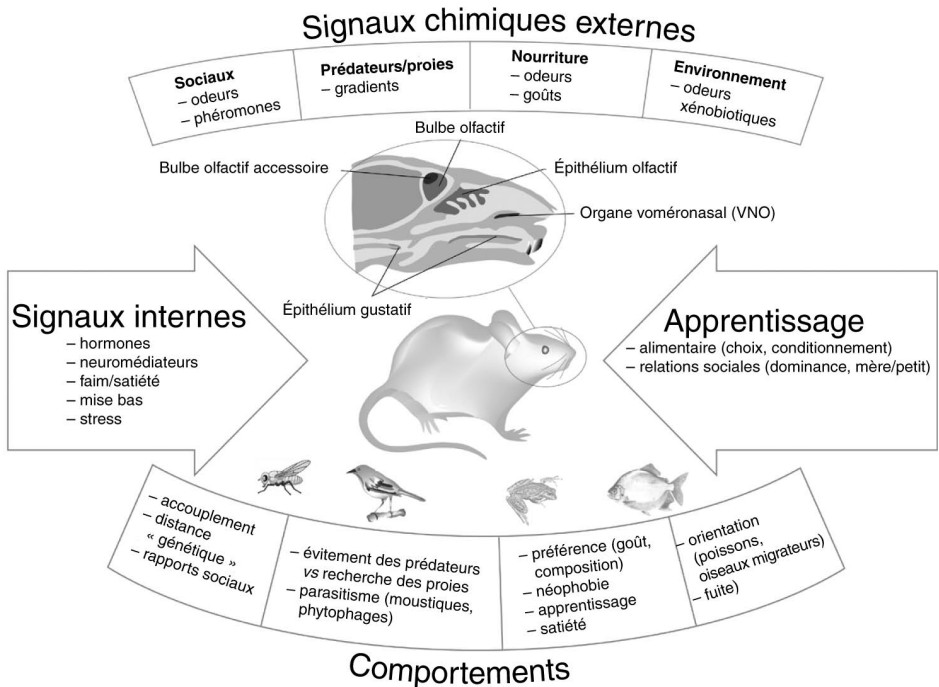
2. Voir « Le chiffre du commerce extérieur, année 2010 » et sa mise à jour périodique sur <<http://lekiosque.finances.gouv.fr>> (consulté le 13 février 2012).

enseignants et étudiants du supérieur, les industriels de l'agroalimentaire et de la parfumerie — voire de la publicité —, les médecins, les journalistes, les décideurs.

Les comportements des animaux — et des humains — sont déclenchés par l'intégration des signaux internes et externes. En fonction de leur nature, par exemple la lumière, le son, les odeurs, les signaux externes sont perçus par des systèmes sensoriels appropriés comme la vision, l'ouïe ou l'odorat.

Sont désignés sous le nom de « sens chimiques » l'odorat (ou olfaction), le goût (ou gustation) et la perception des phéromones. Dans notre vie quotidienne d'humains, nous accordons volontiers une place au « goût » lorsqu'il s'agit de manger, de boire ou encore de sentir de « bonnes odeurs ».

En revanche, nous n'apprécions généralement pas à leur juste valeur l'importance et la signification des signaux chimiques présents dans l'environnement et leur influence sur les comportements sociaux, sexuels et alimentaires, sur l'orientation dans l'espace des animaux, c'est-à-dire sur des comportements essentiels à la survie des individus et des espèces (figure 1). Or ces signaux sont d'origines variées (sécrétions corporelles, fèces, urine, aliments, traces, odeurs de l'environnement), de natures chimiques diverses (plus ou moins volatils, plus ou moins hydrosolubles, plus ou moins rémanents) et de signification biologique variable



**Figure 1.** De nombreux comportements sont déclenchés par des signaux chimiques présents dans l'environnement.

Les signaux chimiques d'origines diverses (en haut) déclenchent des comportements adaptatifs (en bas) en fonction de l'état de l'animal (Signaux internes, à gauche) et de son expérience (Apprentissage, à droite).

(par exemple la reproduction ou l'alimentation), ce qui nécessite d'une part des systèmes sensoriels adaptés à leur détection et d'autre part un traitement central susceptible de déclencher des comportements quelquefois stéréotypés mais plus souvent adaptatifs.

L'intégration des signaux chimiques par l'animal et leur interprétation à travers son état physiologique (signaux internes) et son expérience (apprentissage) déterminent des réponses comportementales adaptées à la situation.

Au cours de l'évolution, les Vertébrés aériens ont développé plusieurs systèmes pour répondre à la variété des signaux. Le système olfactif assure la perception des produits chimiques volatils portés par l'air passant par le nez. Le système gustatif perçoit les molécules sapides, généralement hydrosolubles et peu volatiles, libérées en bouche. Suivant les espèces, il existe d'autres systèmes dans les fosses nasales (comme l'organe septal de Maserà ou le ganglion de Grueneberg) ; le plus connu est sans doute le système voméronasal (ou système olfactif dit « accessoire »). Il existe également une innervation trigéminal du nez et de la bouche qui n'est pas exclusivement chimiosensorielle.

Dépourvus de « nez », les poissons possèdent un système gustatif et des rosettes olfactives, qui « sentent » dans l'eau, mais la structure de leur système olfactif est conservée chez les Vertébrés terrestres, qui ont d'ailleurs hérité de leurs gènes de récepteurs olfactifs.

Chez les Insectes, on trouve des récepteurs olfactifs dans des organes spécialisés (les sensilles des antennes et des palpes labiaux) et des récepteurs gustatifs sur les pattes et les ailes.

## » L'organisation du livre

Après un sommaire et une introduction, on trouvera quarante-deux articles écrits par soixante-quinze auteurs.

Chaque article est suivi par sa propre bibliographie. Nous avons en effet constaté que, sur presque deux mille références, il n'y avait pratiquement pas de double citation entre deux articles, ce qui signifie que chaque article est hautement spécifique.

En fin de volume, on trouvera un index comportant quelque mille trois cents entrées ainsi qu'une liste des abréviations.

## » Le contenu

À travers la première partie, nous constaterons que notre époque, où l'on prône le plaisir, l'émotion et la sensualité, réhabilite les sens chimiques pour leur fantastique pouvoir évocateur non seulement dans la vie quotidienne et le domaine commercial (publicité), mais aussi dans l'art. Ce regain d'intérêt coïncide avec l'explosion des résultats scientifiques de ces dernières années : nous brosserons donc un rapide tableau d'un demi-siècle de recherche.

La deuxième partie nous présentera rapidement les molécules responsables des signaux chimiques, depuis les petites molécules volatiles jusqu'aux protéines sucrées, en passant par les phéromones qui, malgré leur médiatisation, restent insaisissables chez l'homme.

La taille de la troisième partie correspond à l'abondance des résultats de biologie moléculaire et cellulaire portant sur les premiers étages du système olfactif : épithélium olfactif et bulbe olfactif chez les Vertébrés, sensilles olfactives, lobes antennaires et corps pédonculés chez les Insectes. Nous brosserons un tableau parallèle dans ces deux branches du règne animal. Après un rappel anatomique, nous passerons aux récepteurs olfactifs (RO) eux-mêmes, qui constituent la plus grande famille génique chez les Mammifères. Mais nous nous intéresserons aussi aux événements dits de « périréception », car les RO ne sont pas les seules molécules en cause dans la réception des composés odorants. Les RO sont portés par les neurones récepteurs olfactifs (NRO), qui génèrent un codage nerveux de l'information olfactive. Les NRO sont eux-mêmes inclus dans les organes sensoriels olfactifs, dont nous présenterons l'ontogenèse et le contrôle homéostatique chez l'adulte. À l'étape suivante, les bulbes olfactifs ou les lobes antennaires concentrent l'information olfactive. Là aussi, les dernières années ont considérablement enrichi notre compréhension des relations structure-fonction de ces organes et de leur plasticité : cinq chapitres sont consacrés à la structure et à la neurogenèse dans le bulbe olfactif ainsi qu'au codage de l'information par le bulbe, les lobes antennaires et les corps pédonculés.

La quatrième partie est consacrée aux systèmes chimiosenseurs additionnels des Vertébrés : le système voméronasal — bien décrit chez les rongeurs —, l'organe septal de Masera et le ganglion de Grueneberg — eux aussi présents chez les rongeurs —, et le système trigéminal, sans lequel les sensations olfactives et gustatives seraient incomplètes.

Le système gustatif a lui aussi bénéficié de l'explosion des recherches cellulaires et moléculaires (partie cinq). Au tournant du millénaire, on a vu cloner les récepteurs gustatifs aussi bien chez les Vertébrés que chez les Invertébrés. Contrairement à la conception « classique » d'une gustation limitée à quatre ou cinq goûts principaux, l'espace gustatif des Vertébrés est multidimensionnel et sa représentation résulte de la combinaison des signaux moléculaires sapides captés par quelque cinquante récepteurs gustatifs. Deux larges articles seront consacrés à chacune des branches du règne animal.

Le point de vue évolutif est présent tout au long du livre. Il sera plus particulièrement développé dans la partie six, avec l'évolution des appareils chimiosenseurs des Vertébrés et la phylogénétique de leurs récepteurs olfactifs. À travers celle-ci, on décrira comment le répertoire des récepteurs olfactifs a pu croître de façon rapide et spécifique dans chaque branche des Vertébrés et comment il continue à évoluer rapidement, sans doute grâce au nombre même des gènes de RO, ce qui confère aux espèces un grand potentiel d'adaptation. On a dit toute l'importance des signaux chimiques pour la reproduction : ceux-ci ne sont pas étrangers aux phénomènes de spéciation, où l'isolement sensoriel entre les sexes peut avoir lieu avant même la perte d'interfécondité.

La partie sept s'intéressera plus particulièrement à la mémoire et aux apprentissages. Chez les Vertébrés, les apprentissages alimentaires et sociaux sont capitaux pour les espèces sauvages, mais ils conditionnent également la réussite de l'élevage



des animaux de rente, depuis la reconnaissance mère-petit jusqu'aux interactions sexuelles, en passant par les apprentissages alimentaires. Un article spécial sera consacré au nématode *Caenorhabditis elegans*, qui offre un modèle très original de mémoire olfactive transmise à travers les générations par des micro-ARN.

La partie huit sera entièrement consacrée aux humains. Grâce à l'imagerie cérébrale, on peut en effet avoir accès aux sites cérébraux de traitement des aspects cognitifs et émotionnels de l'information olfactive. Nous verrons ensuite comment s'établissent les préférences alimentaires des enfants à travers leur expérience olfacto-gustative, puis comment nous exprimons nos sensations par la parole. Nous terminerons sur ce qui paraît une évidence, mais qu'il est difficile d'étudier en laboratoire : toute expérience est nécessairement multisensorielle, et il faut en tenir compte pour étudier les sensations olfacto-gustatives, notamment dans l'évaluation sensorielle des aliments ou des produits cosmétiques.

La partie neuf peut paraître plus hétérogène, car elle présente une suite de courts chapitres traitant chacun d'une application de la recherche sur les sens chimiques. Les trois premiers portent sur des techniques, quelquefois émergentes, de mesures olfacto-gustatives : olfaction artificielle pour guider des robots, nez bioélectroniques susceptibles d'applications nombreuses et bon marché dans le diagnostic médical et la surveillance environnementale. Les applications agro-industrielles seront envisagées en évaluation sensorielle par le couplage informatisé de panels de « sniffeurs » humains avec des chromatographes en phase gazeuse, dans l'agriculture (gestion des élevages et domaine phytosanitaire), en parfumerie, en gastronomie, dans l'évaluation des nuisances olfactives et la désodorisation ainsi que dans le marketing olfactif : mode ou tendance durable ? Enfin, nous présenterons plusieurs aspects liés à la santé : toxicologie de l'appareil olfacto-gustatif (avec un éclairage original en tabacologie), troubles de l'odorat, relation entre olfaction et dépression. Nous terminerons sur les perspectives du diagnostic des maladies neurodégénératives à partir de l'épithélium olfactif et sur l'usage empirique des odeurs pour améliorer le bien-être.

Bonne lecture...



Partie I

---

# Aspects sociohistoriques

