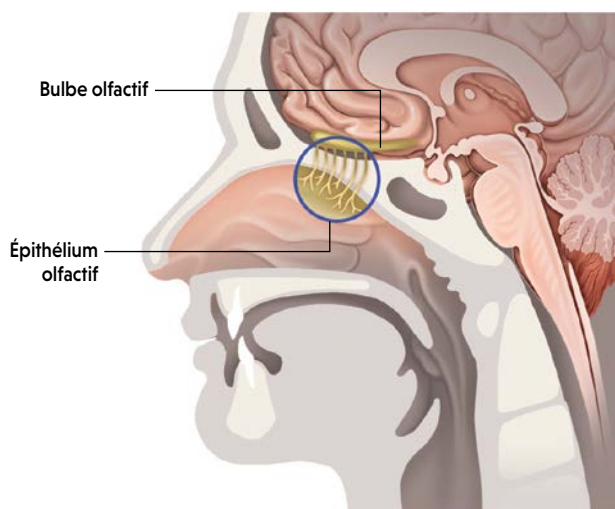




Chez l'humain, la zone sensorielle de la cavité nasale est plus petite et non enroulée. Son bulbe olfactif n'occupe que 0,01 % du cerveau, contre 0,31 % chez le chien. L'animal est capable de discriminer 500 000 odeurs, alors que l'homme est limité à 10 000. Néanmoins ce dernier est plus sensible à certaines molécules odorantes comme l'acide valérique, utilisé dans la synthèse d'arômes et d'adoucissants, sans doute en partie grâce à ses capacités cognitives.

➤ odorantes en très petite quantité et non décelables par le nez humain.

La détection et la discrimination des odeurs sont un processus indispensable à la survie (identification de source de nourriture, de la présence de la mère, de prédateurs) et à la reproduction (identification d'un partenaire sexuel et de sa disponibilité reproductive) de nombreuses espèces animales et l'on comprend aisément pourquoi ce système, parfois très complexe, spécialisé dans la détection et l'identification des molécules odorantes en suspension dans l'air, a été préservé au cours de l'évolution, notamment chez les mammifères.

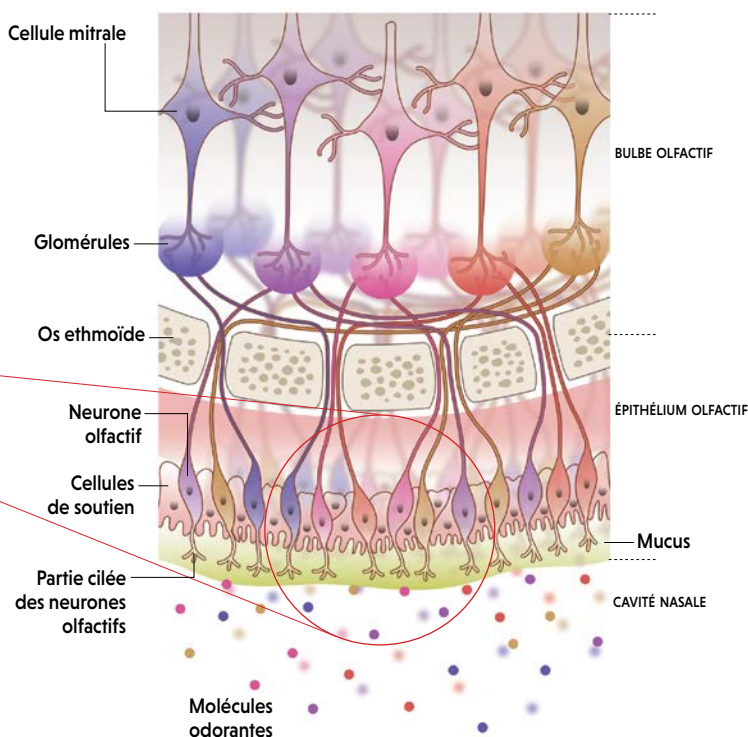
Si l'étude du sens de l'olfaction a longtemps été négligée par rapport à celle de la vue et de l'ouïe, elle connaît un regain d'intérêt depuis un peu plus d'une quinzaine d'années. Bénéficiant de nouvelles technologies développées en recherche fondamentale, l'étude de l'olfaction a permis de comprendre les mécanismes par lesquels les odeurs sont transmises au cerveau après avoir été captées et transduites par le système sensoriel périphérique – le nez. Ainsi, dès 2007, en étudiant la dynamique des fluides à l'intérieur de la cavité nasale du chien, l'équipe de Gary Settles, de l'université de Pennsylvanie, aux États-Unis, a montré que sa structure anatomique particulière est organisée de telle manière qu'elle optimise l'efficacité du transport des odeurs et que le nez du chien fonctionne totalement différemment du nôtre (voir l'encadré ci-contre).

UN MUSEAU OPTIMISÉ

Lorsque nous inspirons, l'air que nous sentons et que nous respirons fait partie d'un seul et même flux. Alors que chez le chien, la présence d'une membrane à l'intérieur du museau permet de séparer le flux d'air entrant en deux : l'un est envoyé dans les poumons et permet la respiration, tandis que l'autre sert à sentir. Et cela d'autant mieux que les muscles de sa truffe se contractent de manière à orienter le flux d'air vers le haut et à l'envoyer ainsi préférentiellement dans la zone sensorielle olfactive. Ensuite, au cours de l'expiration, le flux d'air ressort sur les côtés des narines comme l'ont montré les travaux d'imagerie en résonance magnétique menés par l'équipe de Gary Settles en 2009. Cette dynamique particulière de l'air inspiré et expiré potentialise le traitement des odeurs.

Afin de maximiser la détection de celles-ci, le chien « flaire » : par une série d'inhalations et d'expirations rapides (environ six fois par seconde), il crée une turbulence interne qui accroît le transport des molécules odorantes jusqu'aux récepteurs situés dans la zone sensorielle olfactive. Les chiens de chasse en particulier maintiennent ainsi sur leur muqueuse olfactive un flux interne constant chargé de ➤

Illustrations : Delphine Bailly - Vue 3D : Brent Craven



À la surface de l'épithélium olfactif, des neurones sensoriels captent les molécules odorantes qui pénètrent dans le mucus à l'aide de récepteurs situés sur les cils qu'ils présentent à leur extrémité. Chaque neurone exprime un seul type de récepteur. À leur autre extrémité, les axones de chaque cellule réceptrice forment un faisceau de 10 à 100 axones, lequel traverse l'os ethmoïde, situé à la base du crâne. Les faisceaux convergent dans le bulbe olfactif vers d'autres neurones, les cellules mitrales, formant des sortes de bourgeons, les glomérules. Chaque glomérule reçoit les terminaisons de plusieurs milliers de neurones sensoriels qui portent tous le même type de récepteur olfactif. Les axones des cellules mitrales assurent les connexions entre le bulbe olfactif et les régions du cerveau qui traitent l'information sensorielle – dont le système limbique.

> molécules odorantes, même en phase d'expiration ou en pleine course. De plus, et contrairement à nous, chaque narine fonctionne de manière indépendante, ce qui fournit au chien une meilleure précision sur la provenance de certaines odeurs.

Comme les fanons d'une baleine trient le krill, l'organisation de la muqueuse olfactive, enroulée sur elle-même, offre une grande surface d'échange où les molécules odorantes inspirées sont triées selon leur composition chimique grâce à des récepteurs olfactifs. Ces derniers sont des protéines membranaires situées sur la surface des cils prolongeant les neurones sensoriels de la muqueuse qui baignent dans du mucus. Comme chez tous les mammifères, ces récepteurs captent et fixent les molécules en fonction d'un certain nombre de propriétés (poids moléculaire, densité électronique, polarisabilité, organisation tridimensionnelle...). Chaque neurone sensoriel exprime un seul type de récepteur.

DES COMBINAISONS D'ACTIVATION DES NEURONES

À leur autre extrémité, les neurones sensoriels assemblent leurs axones en faisceaux qui convergent dans le bulbe olfactif, où d'autres neurones prennent le relais et transmettent l'information sensorielle reçue aux centres primaires et secondaires (dont le système limbique) du cerveau qui vont les traiter (voir l'encadré pages 42 et 43).

En 1999, l'équipe de Linda Buck (qui a reçu le prix Nobel de médecine en 2004 pour ses travaux sur les récepteurs olfactifs des mammifères) a montré, grâce à l'imagerie calcique – une technique qui permet de suivre l'activation de larges populations de neurones en temps réel –, qu'un récepteur olfactif de la muqueuse répond à plusieurs molécules odorantes de structures chimiques différentes et que, à l'inverse, plusieurs récepteurs olfactifs

répondent à la même molécule olfactive. Le codage de l'odeur résulte donc d'une activation combinatoire d'un ensemble de récepteurs. Chaque odeur est ainsi représentée, à l'entrée du bulbe olfactif, par une carte d'activité fonctionnelle qui lui est propre. Ce système combinatoire permet, malgré un nombre limité de récepteurs (environ 1 200 chez le chien, 400 chez l'humain) de discriminer des milliers de molécules odorantes naturelles ou non (plus de 500 000 chez le chien, environ 10 000 chez l'humain).

APPRENDRE À « MARQUER » UNE ODEUR

Ce flair exceptionnel fait du chien un merveilleux « outil de détection », extrêmement performant dans de nombreux domaines allant de la sécurité publique aux besoins de santé, à condition d'avoir suivi un dressage approprié.

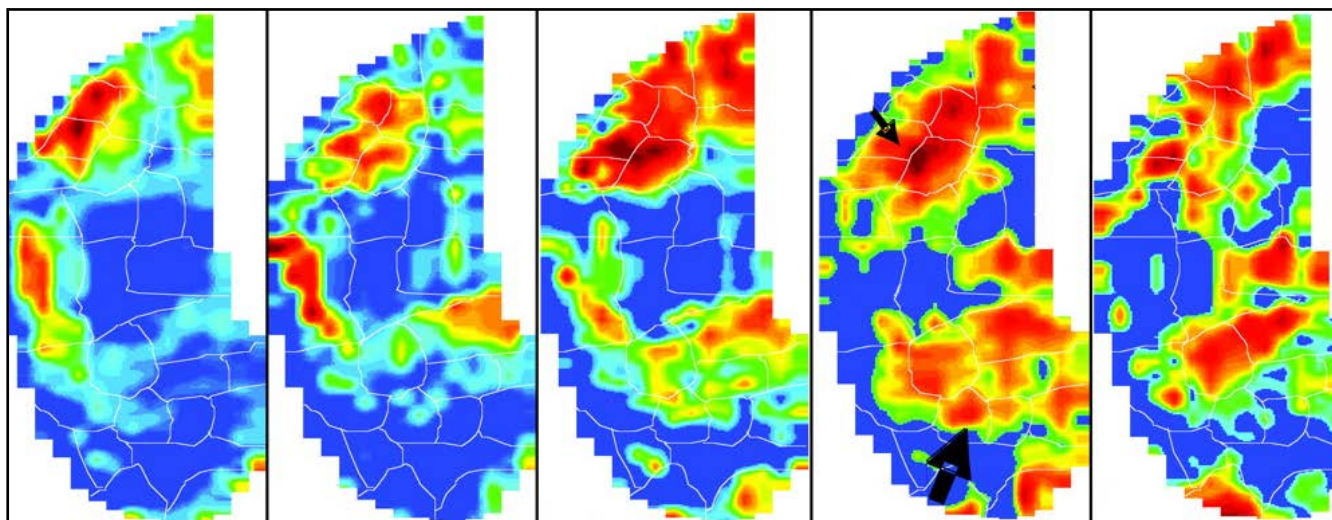
Au début de sa formation, quelle que soit sa spécialité, le chien doit apprendre à mémoriser l'odeur cible qu'il devra détecter par la suite. Son dresseur le motive en utilisant son instinct de chasse et son goût pour les récompenses : il donne au chien un jouet ou une friandise à chaque fois qu'il détecte l'odeur cible. Rapidement, le chien montre un réel plaisir à effectuer la tâche. Mais, surtout, il intègre très vite les règles du jeu : pour obtenir la récompense, il doit « marquer » l'odeur cible, c'est-à-dire montrer une réponse comportementale conditionnée qu'on lui a apprise : s'asseoir devant la prise, aboyer, retourner chercher son maître...

La finesse du dressage est capitale pour que l'animal ne commette pas d'erreur de reconnaissance, ou très peu, au cours de son travail

LE GOÛT D'UNE CUILLERÉE DE SUCRE

L'odorat et le goût vont de pair. Un chien distingue le goût laissé par une cuillerée de sucre dans 4 millions de litres d'eau, soit le volume de deux piscines olympiques, aussi clairement que nous distinguons le goût laissé par cette même cuillerée dans notre café...

Dans le bulbe olfactif de souris (ci-dessous), des régions différentes (glomérules) s'activent selon la molécule sentie (ici des aldéhydes différents comportant de 4 à 8 atomes de carbone, de gauche à droite). Chaque carte d'activation bulbaire est propre à une molécule olfactive.





Avec 1200 récepteurs olfactifs, un chien distingue plus de 500 000 molécules odorantes



de détection. Ainsi, au cours de la formation, le dresseur récompense son chien lorsque celui-ci ne détecte pas l'odeur cible dans un scénario où elle est effectivement absente ou remplacée par un leurre. En apprenant qu'il sera récompensé s'il ne fait pas d'erreur, le chien comprend qu'il n'a aucun intérêt à en commettre. Dès lors, il préfère toujours ne pas « marquer » l'odeur plutôt que de se tromper.

En fonction de la spécialité pour laquelle on dresse le chien, la procédure d'entraînement se complexifie de manière à augmenter sa sensibilité olfactive. Par exemple, s'il s'agit d'en faire un détecteur de mines ou d'explosifs, le dresseur veillera à cacher le support contenant les odeurs à détecter afin de le rendre de moins en moins accessible. Cette formation dure en moyenne trois mois et demi; celle préparant un chien à identifier des odeurs humaines, deux ans.

À LA RECHERCHE DES EXPLOSIFS

Qu'ils soient de la police, de la gendarmerie, de la sécurité civile ou privée, les chiens sont devenus d'incontournables, précieux et talentueux auxiliaires des forces de secours et de sécurité, assurant plusieurs types de mission comme la détection de matière – stupéfiants, billets de banque, armes, explosifs, munitions, produits accélérateurs d'incendie... –, la recherche de personnes – malfaiteurs, victimes, disparus (sous les décombres, sous la neige après une avalanche) –, ainsi que l'identification des odeurs humaines dans le cadre d'une enquête policière (odorologie). Ces disciplines font toutes appel aux qualités de pistage que les chiens de chasse ou de berger ont développées au cours de l'histoire pour suivre un gibier ou garder un troupeau. À ce jour, en France, la gendarmerie et la police comptent plus de mille chiens qui évoluent dans les différentes équipes cynophiles opérationnelles.

Pour la détection de matière, qu'il s'agisse d'explosifs ou de billets de banque, on utilise en général des chiens de petit format comme les fox-terriers et les jack-russell, vifs, mais également des chiens de plus grande taille comme les bergers allemands ou malinois. Ces quinze dernières années, la lutte contre le terrorisme étant devenue un enjeu sociétal majeur, l'identification rapide et efficace des colis piégés est indispensable dans les lieux publics très fréquentés comme les aéroports, les gares, les frontières ou encore les zones aéroportuaires. Grâce à ses caractéristiques morphologiques, le chien se meut rapidement dans les lieux très fréquentés tout comme dans les zones accidentées et est ainsi capable de localiser des sources d'explosifs et de toutes sortes de matériaux dangereux, même dans des zones confinées ou difficiles d'accès. En plein milieu de la foule, il détecte d'autant plus efficacement les odeurs d'explosifs, d'armes à feu ou encore de fumigènes transportés par des personnes en mouvement qu'il est capable de repérer les odeurs cibles même si le suspect s'est déjà éloigné de plusieurs mètres. Il a ainsi un très grand périmètre d'action... Sans éveiller les soupçons, ni affoler les badauds. Au contraire même: des études menées aux États-Unis montrent que sa présence tranquillise la population. En France, l'utilisation du chien détecteur d'explosifs en condition de rassemblement populaire a fait son apparition en 2016.

L'ODEUR DE L'ARGENT SALE

L'argent sale issu de braquages, de trafic de drogue ou du blanchiment échappe de même difficilement aux chiens spécialement formés à détecter l'odeur de l'encre à billets. De faux billets (mais produits avec le papier et l'encre des vrais billets) sont spécialement fabriqués pour leur formation et fournis par la Banque de France. Ces billets sont alors déchiquetés et comprimés sous forme de briques avant d'être utilisés dans le dressage des chiens.

Depuis qu'une étude, menée en 2002 par Marie Lafitte et ses collègues du laboratoire d'expertise Toxlab, à Paris, a montré que 90% des billets de banque impliqués dans le trafic de drogue sont imprégnés de molécules odorantes issues de ces drogues, les chiens formés pour la détection des stupéfiants le sont aussi pour celle des billets de banque. Dès lors, ils sont capables de trouver les caches de drogue, mais aussi celles des billets associés au trafic, même si les trafiquants les ont manipulés avec précaution.

Par ailleurs, les personnes malhonnêtes tentées par l'évasion fiscale ont intérêt à se méfier: les chiens détecteurs de billets sillonnent maintenant les aéroports afin de détecter l'odeur des billets que les fraudeurs cachent dans leurs valises. En Italie, par exemple, on ➤

L'ÉNIGME DE LA TRUFFE

Le chien se lèche souvent la truffe, qui est toujours humide. Pourquoi ?

Les odeurs phéromonales, émises lors d'un état physiologique particulier, sont captées par le mucus qui recouvre le nez du chien. Par léchage, ces molécules sont transmises à l'organe voméronasal, situé dans le palais à l'entrée de la cavité buccale du chien (voir l'encadré page 42). Ce système de traitement des odeurs fonctionne indépendamment du système de traitement olfactif principal, car les phéromones sont des marqueurs bien particuliers...

> estime que 272 milliards d'euros échappent chaque année au fisc. En 2016, grâce au travail des chiens détecteurs de billets, 130 millions de ces euros ont été récupérés dans les aéroports.

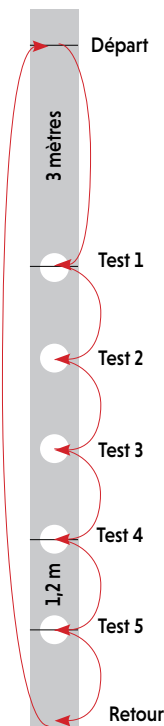
SOUS PLUSIEURS MÈTRES DE NEIGE

Même ceux qui n'ont jamais vu *Belle et Sébastien* savent que les chiens sont particulièrement doués pour retrouver des personnes égarées. Ils peuvent suivre à la trace un individu dont ils connaissent l'odeur (pistage), mais aussi retrouver toute personne vivante dans un périmètre donné (questage) même si l'on ne dispose pas de son identité olfactive, si on les a entraînés à distinguer l'odeur corporelle humaine parmi les autres.

C'est évidemment le cas des chiens chargés de retrouver des survivants sous des décombres ou dans une avalanche. Dans ce dernier cas, les chiens sont aussi formés à reconnaître l'odeur particulière du « corps humain qui remonte à la surface du manteau neigeux ». Au point de savoir repérer les victimes ensevelies sous une couche de neige de plusieurs mètres ! Ce type de spécialisation requiert également une excellente condition physique. En effet, au cours de leur entraînement, ces secouristes à quatre pattes doivent apprendre à grimper à une échelle, marcher sur une planche en équilibre instable, se glisser dans des boyaux sombres, franchir des zones de feu... Ils doivent aussi se familiariser à l'hélicoptère ainsi qu'aux bruits des bulldozers et des marteaux-piqueurs. Les bergers belges malinois constituent la majorité des troupes, car ils réussissent particulièrement bien toutes ces épreuves.

Si, dans les spécialités précitées, le chien doit se référer à un type d'odeur pour effectuer son travail de détection, de nombreuses études montrent qu'il est capable d'effectuer des tâches beaucoup plus difficiles fondées sur la comparaison de différentes odeurs de même type, en particulier les odeurs humaines, afin d'identifier celle qu'on lui demande de retrouver. Un véritable exploit tant l'odeur humaine est complexe.

En effet, notre odeur corporelle est constituée d'un mélange de multiples éléments. Tout d'abord une composante acquise génétiquement, laquelle détermine la composition du mélange de molécules chimiques (hydrocarbures, alcools, acides carboxyliques, cétones, aldéhydes) que sécrètent les cellules épithéliales de l'épiderme ainsi que les glandes sudoripares et sébacées. À cette composante héritée s'ajoute celle liée à l'activité des microorganismes qui colonisent la surface de notre peau : ces bactéries fractionnent les acides gras à longue chaîne que produisent les glandes sudoripares en acides gras à structure courte, volatils et odorants.



Pour apprendre à détecter une odeur humaine particulière parmi d'autres, les chiens suivent un entraînement en salle de travail. Sur une ligne sont espacés des bocaux contenant chacun une odeur humaine. Après avoir senti et mémorisé, au point de départ, l'odeur cible à reconnaître, l'animal est libre de parcourir librement la ligne, le long de laquelle il flaire chaque échantillon. Lorsqu'il repère l'odeur cible, le chien se couche devant le bocal correspondant : il « marque » l'échantillon. Le principe de formation est le même pour les chiens dressés à rechercher des personnes disparues lors d'une avalanche, mais celle-ci est plus simple, car il leur « suffit » d'apprendre à détecter l'odeur du corps humain sous la neige. Un entraînement physique complète le dressage, afin que les chiens ne soient pas déstabilisés par les conditions du terrain et de l'opération.



En 2016, les chiens ont détecté 130 millions d'euros dans les aéroports italiens





Ce premier mélange constitue ce que les chercheurs appellent l'«odeur primaire», qui reste constante dans le temps. Chaque humain a ainsi une odeur corporelle qui lui est propre, caractérisée par une combinaison spécifique de tous ces éléments. Sur ce complexe primaire se greffe une «odeur secondaire» qui dépend du régime alimentaire ou d'un état émotionnel particulier tel que la dépression ou le stress. Et une odeur «tertiaire» constituée des molécules odorantes «extérieures», apportées par les cosmétiques, les savons et les parfums que nous appliquons sur la peau.

Lors de la recherche de personnes, la piste est constituée des odeurs qu'a laissées un individu (effluves corporels spécifiques, arômes artificiels de vêtements, chaussures, cosmétiques, etc.) et des modifications du terrain dues à son passage (végétaux ou insectes écrasés). Le travail du chien consiste alors à comparer l'odeur de l'individu qu'on lui a demandé de mémoriser (appelée odeur de référence, que le chien a par exemple extraite d'un vêtement qu'on lui a présenté) à toutes celles présentes sur les lieux. La grande difficulté consiste pour l'animal à identifier et discriminer l'odeur de référence parmi toutes les odeurs qui l'entourent et qui proviennent non seulement de l'individu recherché, mais aussi des autres personnes ayant traversé les lieux. Alors seulement, il pourra suivre sa piste. Il y

parvient d'autant mieux qu'il est capable de reconnaître le niveau de fraîcheur de l'odeur pour s'orienter dans la direction prise par l'individu recherché.

Si les bergers allemands ou malinois sont généralement choisis pour le pistage, depuis 2003, la gendarmerie fait appel aux chiens de race Saint-Hubert qui, outre leurs qualités olfactives très prononcées, montrent une grande capacité à retrouver des pistes «froides», c'est-à-dire empruntées au moins une heure avant par la personne recherchée, voire plus anciennes encore. Peut-être parce que lorsqu'ils suivent une piste au sol, leurs oreilles tombantes maintiennent le flux odorant à l'avant, vers la truffe. Au cours d'une enquête, un chien Saint-Hubert a ainsi identifié un chemin emprunté... Quatorze jours avant la disparition d'un individu!

SUR LA SCÈNE D'UN CRIME

Mais le plus haut degré de sensibilité lors de l'identification des odeurs humaines est celui demandé dans le cadre d'une enquête policière. L'objectif de l'odorologie, pratiquée en France depuis 2003 par la police technique et scientifique d'Écully (PTS), est d'identifier des auteurs ou victimes d'infractions criminelles qui ont pu laisser leur trace odorante sur la scène de crime ou sur un objet, au même titre que leur ADN ou leur empreinte papillaire. ➤

FUMIGÈNES AU STADE

En mars dernier, en pleine phase de formation, lors de l'entrée du chien et de son maître dans le stade pour une séance d'entraînement, l'un des chiens de la brigade de détection de fumigènes « marque » un endroit devant lequel le maître a fait passer son chien par hasard. Après une recherche rapide du lieu, il s'est avéré qu'un stock avait été caché là en prévision d'un match.

DE LA PILOSELLE À LA PUNAISE DE LIT

Des chiens sont formés à la détection de toutes sortes de nuisibles, végétaux ou animaux. Ainsi, grâce aux performances olfactives de deux chiens spécialement dressés, la piloselle, une plante invasive nuisible importée d'Europe, est actuellement en passe d'être éradiquée du parc national Kosciuszko, en Australie. En mars 2016, les deux chiens de la brigade australienne de détection des plantes nuisibles ont sillonné le parc à la recherche de la piloselle. Accompagnés de leurs maîtres, les deux chiens ont localisé des centaines de plants nuisibles avant de les détruire – ils avaient en effet été entraînés à détecter les plantes et à les déterrer...

Originaire de la Méditerranée, la cochenille de la vigne a été importée d'Israël dans la vallée de Coachella, entre Los Angeles et San Diego, à cause de cépages introduits illégalement. Cette variété nuisible de cochenille est maintenant responsable de la diffusion de la maladie de l'enroulement de la vigne. Une superficie de 100 000 hectares de vigne serait touchée. Grâce à des

chiens détecteurs de la phéromone de ces nuisibles, il sera peut-être bientôt possible de les éradiquer des cultures. En effet, en 2007, Michael Honig, président de l'association vinicole écologique de Californie, a commencé à travailler avec l'Institut américain des chiens d'assistance pour mettre au point un programme d'éradication de la cochenille de la vigne. Les chiens de race golden retriever ont été formés à la détection et à l'identification des phéromones émises par la cochenille femelle avant la ponte. Grâce à eux, des dizaines d'hectares de vigne ont été préservés depuis le début du programme, sans aucune utilisation de pesticide. Les résultats ont été si convaincants qu'en 2016, l'Institut américain des chiens d'assistance a proposé d'étendre son programme à la détection précoce du phylloxera, une sorte de puceron qui ravage les vignes.

Celle des punaises de lit s'est développée au début des années 2000 en Floride. Grâce à une formation à l'identification de l'odeur des œufs, des excréments et de la punaise elle-même, les chiens sont capables d'identifier leur présence derrière les murs, plinthes, lits, meubles et sous les tapis, avec plus de 95 % de réussite. Très répandue aux États-Unis, cette méthode est arrivée en France en 2010. Depuis, de nombreuses sociétés privées ont vu le jour et proposent aux particuliers les services de leurs chiens de détection.



> Cette technique est fondée sur trois faits. D'abord, comme l'énonce le principe de Locard (Traité de criminalistique, 1940), «nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser des traces multiples de son passage», comme les odeurs. De plus, comme les caractéristiques physicochimiques de l'odeur humaine persistent dans le temps, on doit pouvoir les retrouver. Enfin, l'odeur humaine est unique: en effet, les chiens sont même capables de différencier les odeurs de deux «vrais» jumeaux (homozygotes) vivant dans le même foyer et partageant le même régime alimentaire, comme l'a montré une étude tchèque en 2011.

Contrairement aux chiens détecteurs de matières ou de personnes, dont la tâche est d'identifier un seul type d'odeur, les chiens spécialisés en odorologie doivent apprendre à comparer de nouvelles odeurs qui leur sont présentées chaque jour. Cet exercice est d'abord pratiqué uniquement dans une salle de travail: dans un premier temps, les chiens doivent mémoriser l'odeur qui a été prélevée sur le lieu de l'infraction (odeur de référence) par les agents de la police technique et la comparer à cinq odeurs de personnes d'âge, d'ethnie et de sexe similaires disposées dans des bocaux sur une ligne (voir la figure page 46), parmi lesquelles on a placé au hasard l'odeur du suspect appréhendé dans le cadre de cette infraction (odeur cible). Si le chien identifie l'odeur de référence et l'odeur cible comme appartenant au même individu, il «marque» l'odeur cible en s'asseyant devant le bocal qui la contient.

En 2016, notre équipe a montré, en collaboration avec la PTS, qu'après une formation rigoureuse de deux ans, les chiens de la PTS sont capables d'identifier deux odeurs correspondantes dans 85 % des cas. Et ce sans jamais commettre d'erreur: soit ils trouvent les deux odeurs correspondantes, soit ils ne «marquent» aucune odeur cible. Entre 2003 et 2016, grâce à ces performances, l'odorologie a été utilisée dans 522 procédures de la police technique et scientifique à l'échelle nationale et a permis de résoudre 162 affaires judiciaires.

TRAQUER LE CANCER À UN STADE PRÉCOCE

Les chiens sont non seulement capables de distinguer des odeurs humaines, mais aussi de repérer chez un individu la signature olfactive de certaines pathologies comme le cancer, l'hypoglycémie ou l'état de stress. Les chercheurs ont compris à la fois que le cancer avait une odeur et que les chiens pouvaient le détecter depuis qu'en 1989, Hywell Williams et Andres Pembroke, de l'hôpital King's College, au Royaume-Uni, ont publié le cas d'une patiente de 44 ans décidée à consulter un dermatologue

Les chiens ont identifié la présence de marqueurs cancéreux chez 98 % des 902 patients étudiés

après avoir remarqué que son chien passait de longs moments à renifler une lésion pigmentée sur sa cheville. Après biopsie de la lésion, l'expertise a montré la présence d'un mélanome. Le dépistage d'un cancer de la peau chez un autre patient dans des circonstances similaires a encouragé la mise au point de la technique et la recherche sur l'odeur du cancer.

En effet le métabolisme des cellules cancéreuses, différent de celui des cellules saines, se traduit par l'apparition de molécules spécifiques qui se retrouvent dans les urines. Malheureusement, ces molécules, appelées biomarqueurs, ne sont toujours pas précisément identifiées à l'heure actuelle, mais comme ce sont des composés organiques volatils, elles présentent des caractéristiques olfactives susceptibles d'être détectables grâce à l'odorat canin. La technique s'est révélée étonnamment efficace pour de nombreux cancers, comme ceux de la vessie, de la prostate, du sein, de l'ovaire, du poumon, le mélanome et les carcinomes ORL. Ainsi en 2015, dans une étude menée au centre clinique et de recherche Humanitas, à Milan, sur la détection du cancer de la prostate, les chiens ont été capables d'identifier correctement la présence de marqueurs cancéreux chez 98 % des 902 patients étudiés.

Plus récemment encore, en janvier 2017, l'équipe de Mauricio Salcedo, de l'hôpital oncologique de Mexico, a montré que des chiens de race Beagle pouvaient être entraînés à détecter la présence d'un cancer de l'utérus chez certaines patientes grâce à l'identification des marqueurs olfactifs caractéristiques de la tumeur présents dans des prélèvements.

Les résultats sont si encourageants que la détection, dans les urines des patients, de ces mystérieux marqueurs odorants volatils spécifiques des cancers par des chiens spécialement dressés pourrait bientôt rendre possible la mise en évidence de la composition chimique de ces biomarqueurs.

Évidemment, il est difficile d'imaginer que tous les services d'oncologie auront les moyens de monter leur propre unité cynophile de détection de marqueurs tumoraux. L'idée est cependant d'ores et déjà en développement grâce au projet Kdog initié par Isabelle Fromantin, à l'institut Curie, pour détecter le cancer du sein. Avec l'espoir de faire ainsi d'une pierre deux coups : un diagnostic à bas coût et une prise en charge plus précoce, augmentant le pronostic de vie.

LES MOLÉCULES DE L'HALEINE

D'autres applications médicales des chiens de détection sont envisagées. Au moyen d'un dressage simple, le chien d'un patient souffrant d'hypoglycémie est capable de donner l'alerte lorsqu'il détecte, dans l'haléine de son maître durant la nuit, l'émission de corps cétoniques issus de la dégradation des graisses – signe que le patient, en manque de sucre, puise dans ses réserves. En mars 2015, Solène Grivolat et Arnaud Bertrand ont créé l'association Acadia, qui propose aux familles d'enfants diabétiques des chiens d'assistance capables de détecter les hyperglycémies ou hypoglycémies de l'enfant. Cette association, primée lors du concours Jeunes Talents Rhône-Alpes en 2015, espère à long terme devenir le premier réseau d'éducation canine spécialisé dans le diabète en France.

Aux États-Unis, une autre initiative a montré que des chiens pouvaient détecter et prévenir les crises d'angoisse d'enfants autistes. En 2013, l'école spécialisée Calais, à Whippany, dans le New Jersey, a engagé un chien nommé Cali, formé à détecter l'odeur du cortisol, une molécule sécrétée par les glandes surrénales et présente dans l'haléine des enfants en cas de stress. L'accueil de Cali au sein de l'école ainsi que le nombre d'enfants stressés pris en charge grâce à lui ont encouragé l'établissement à prendre, en 2015, les services d'un second chien nommé Cléo.

Tous les jours, les deux compères accueillent les enfants de l'école, et les sentent à distance au moment où ils entrent dans l'établissement. Lorsqu'ils détectent l'odeur du cortisol, ils le signalent immédiatement à leurs maîtres (chaque chien a un maître spécialisé en thérapie animale), qui prennent l'enfant en charge afin de le rassurer et de calmer sa crise d'angoisse.

Avant l'arrivée de Cali et Cléo, les enseignants devaient chaque jour affronter de nombreuses crises qui duraient parfois de deux à trois heures. Depuis, le rythme est passé à deux ou trois crises de un quart d'heure environ par semaine. En septembre 2015, l'école Calais a remporté le prix de la meilleure pratique dans la thérapie assistée par l'animal. Une nouvelle preuve, s'il en fallait, que nos ancêtres ont eu une riche idée en domestiquant le loup. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Marchal et al., **Rigorous training of dogs leads to high accuracy in human scent matching-to-sample performance**, *Plos One*, doi : 10.1371/journal.pone.0146963, 2016.

G. Taverna et al., **Sniffing out prostate cancer : A new clinical opportunity**, *Cent. European J. Urol.*, vol. 68, pp. 308-310, 2015.

B. A. Craven et al., **The fluid dynamics of canine olfaction : Unique nasal airflow patterns as an explanation of macrosmia**, *J. R. Soc. Interface*, vol. 7, pp. 933-943, 2010.

L'ESSENTIEL

> Grâce à des impulsions laser de rayons X qui ne durent que quelques millièmes de seconde, on obtient depuis peu des séquences d'images montrant comment les protéines changent de structure lors de leur activité biologique.

> La technique qui le permet, nommée SFX pour *Serial Femtosecond Crystallography*,

est une cristallographie à rayons X portant sur des cristaux microscopiques.

> Les films obtenus visualisent des réactions biochimiques avec des détails inédits. Ils révèlent par exemple pourquoi des médicaments n'atteignent parfois pas les protéines ciblées, ou comment la photosynthèse dissocie les molécules d'eau.

LES AUTEURS



PETRA FROMME
professeure à la
faculté de sciences
moléculaires
de l'université
d'État de l'Arizona
(États-Unis)



JOHN C. H. SPENCE
professeur
de physique
à l'université d'État
de l'Arizona

Du cinéma moléculaire avec des rayons X

LA PHOTOSYNTHÈSE DÉCOMPOSE DES MOLÉCULES D'EAU EN QUELQUES MILLIÈMES DE MILLIARDIÈME DE SECONDE. SUIVRE DES PROCESSUS MOLÉCULAIRES AUSSI RAPIDES N'EST AUJOURD'HUI PLUS UNE UTOPIE, GRÂCE À UNE MÉTHODE CRISTALLOGRAPHIQUE RÉVOLUTIONNAIRE.

Dans les profondeurs des contreforts de Palo Alto, en Californie, des scientifiques affairés couraient en tous sens dans leur laboratoire souterrain, mettant la dernière main aux préparatifs d'une série d'explosions microscopiques. Leur plan : faire éclater de minuscules cristaux de protéines qui pourraient lever le voile sur l'un des secrets les mieux gardés de la nature, à savoir comment la photosynthèse des végétaux transforme la lumière en énergie chimique. Leur espoir : franchir un pas vers une énergie propre et inépuisable.

C'était en décembre 2009. Une équipe de chercheurs et d'étudiants du Laboratoire de l'accélérateur américain Slac travaillait sans relâche depuis plusieurs jours pour préparer cette expérience auprès du LCLS (*Linac Coherent Light Source*), le laser à rayons X le plus puissant au monde (pour engendrer son

faisceau de rayons X, ce dispositif accélère des électrons à des vitesses approchant celle de la lumière, puis leur fait suivre une trajectoire ondulée). L'un des groupes ajustait avec fébrilité des injecteurs destinés à propulser de microscopiques cristaux de protéines de façon à ce qu'ils traversent le faisceau de rayons X. Un autre chargeait un injecteur avec des cristaux fraîchement formés d'un complexe protéique nommé photosystème I, un acteur clé de la photosynthèse.

À l'extrémité du tunnel de l'accélérateur, long de 3 kilomètres, les microcristaux entamaient enfin leur trajet vers l'intense lumière laser. Mais juste avant que chacun d'entre eux n'éclate, on allait en faire un cliché à l'aide d'une nouvelle technique. Or aujourd'hui, cette méthode promet de transformer notre compréhension de la biologie aux plus petites échelles : on parvient à assembler plusieurs images successives de ce type (prises avec une résolution >