



HAL
open science

Consolidation d'un éthogramme accélérométrique chez le Chat domestique (*Felis silvestris catus*)

Leslie Smets

► **To cite this version:**

Leslie Smets. Consolidation d'un éthogramme accélérométrique chez le Chat domestique (*Felis silvestris catus*). Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. dumas-01629991

HAL Id: dumas-01629991

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01629991v1>

Submitted on 22 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année universitaire : 2015 – 2016

Spécialité :

Génie de l'Environnement

Spécialisation (et option éventuelle) :

Préservation et Aménagement des Milieux
– Écologie Quantitative

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Consolidation d'un éthogramme accélérométrique chez le Chat domestique (*Felis silvestris catus*)

Par : Leslie SMETS



Soutenu à Rennes le 7 octobre 2016

Devant le jury composé de :

Président : Le Cœur Didier

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Maître de stage : Handrich Yves

Enseignant référent : Outreman Yannick

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ :

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur⁽³⁾ **Smets Leslie**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMBUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier l'équipe du DEPE et plus particulièrement le directeur François Criscuolo ainsi que mon maître de stage, Yves Handrich, et mon encadrante, Marie-Amélie Forin-Wiart, qui m'ont permis de réaliser ce stage dans le cadre de leur projet. Merci de m'avoir fait découvrir une nouvelle méthode d'analyse du comportement animal et d'avoir eu la patience de m'expliquer ce que je ne comprenais pas. Merci aussi pour m'avoir aidée à utiliser correctement le logiciel R et pour m'avoir aidée à rédiger à nouveau mon rapport bibliographique.

Je remercie également la société DIANA Pet Food – SPF, grâce à qui mon stage a été possible et plus particulièrement Emira Mehinagic et Franck Peron qui nous ont accueillies, et avec qui nous avons travaillé le temps des manipulations à Elven.

Je souhaite également remercier les chercheurs, les techniciens, les ingénieurs et les étudiants en thèse qui m'ont accueillie et avec qui les repas du midi étaient animés de discussions variées mais toujours intéressantes. Merci également pour les parties de Molkky qui permettaient de retourner au travail l'après-midi avec le sourire.

Merci encore aux étudiants de Master II qui m'ont accueillie au milieu de leur stage et qui m'ont fait découvrir la ville de Strasbourg. Merci pour les parties de tarot et pour m'avoir appris à jouer à la scopa. Merci pour la bonne humeur dans le bureau.

Et enfin merci à ma famille et mes amis qui m'ont soutenue de loin tout au long de mon stage.

Table des matières

Remerciements.....	i
Table des matières	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	iii
Introduction	1
1. Matériel et méthodes.....	5
1.1 Site d'étude	5
1.2 Échantillonnage.....	5
1.3 Collecte des données	6
1.3.1 Collecte de données d'accélération.....	6
1.3.2 Collecte des données comportementales.....	7
1.4 Analyse des données	7
1.4.1 Données d'observation directe	7
1.4.2 Données issues des accéléromètres-3D	8
1.4.3 Données issues des magnétomètres-3D et gyromètres-3D	10
1.5 Éthogramme accélérométrique.....	11
2. Résultats.....	13
2.1 Éthogramme à partir d'un accéléromètre-3D	13
2.1.1 Séquences comportementales.....	13
2.1.2 Arbre de classification des comportements	13
2.2 Éthogramme à partir des stations inertielles	15
2.2.1 Séquences comportementales.....	15
2.2.2 Arbres de classification des comportements	16
2.2.2.1. Données issues seulement des accéléromètres-3D 100 Hz	16
2.2.2.2. Données issues des trois capteurs 3D de la station inertielle.....	18
2.2.3 Évaluation intra et interindividuelle du modèle complet	19
Discussion	21
Conclusion	25
Bibliographie	26
Annexes	

Liste des figures

- Figure 1.** Accéléromètre tridimensionnel X6-2 mini (batterie 1000 mAh et processeur) à gauche, protection de l'unité contre l'humidité et les chocs à droite..... p.6
- Figure 2.** (a) Colliers et station inertielle déployés en 2016 (CNRS, M.-A. Forin-Wiart) ; (b) individu A équipé d'une station inertielle..... p.7
- Figure 3.** Représentation des trois axes et des trois angles de postures mesurés sur l'animal obtenus avec les stations inertielles Xsens..... p.8
- Figure 4.** Exemple de données d'accélération brutes, des variations de l'accélération dynamique (dans les trois dimensions de l'espace, la VeDBA et la VeDBA_glissee2), de la posture (angles) et des variations de la vélocité angulaire (dans les trois dimensions de l'espace) durant une séquence de consommation de pâtée..... p.10
- Figure 5.** Schéma de la méthode d'évaluation intra et inter-individus du modèle complet..... p.12
- Figure 6.** Arbre de classification établi par la méthode du CART à partir des données issues d'un accéléromètre-3D..... p.15
- Figure 7.** Arbre de classification établi par la méthode du CART à partir des données d'accélération issues des stations inertielles..... p.17
- Figure 8.** Arbre de classification établi par la méthode du CART à partir des données issues des stations inertielles..... p.19
- Figure 9.** Occurrences des comportements d'alimentation observées et prédites par individu..... p.20

Liste des tableaux

- Tableau I.** Tableau récapitulatif des caractéristiques des individus équipés en 2012 et en 2016..... p.5
- Tableau II.** Matrice de confusion résumant la classification des unités de temps (UT) utilisées pour réaliser l'éthogramme d'accélération à l'aide de la méthode du CART à partir des données issues d'un accéléromètre-3D..... p.14
- Tableau III.** Matrice de confusion résumant la classification des unités de temps (UT) utilisées pour réaliser l'éthogramme d'accélération à l'aide de la méthode du CART à partir des données d'accélération issues des stations inertielles..... p.17
- Tableau IV.** Matrice de confusion résumant la classification des unités de temps (UT) utilisées pour réaliser l'éthogramme d'accélération à l'aide de la méthode du CART à partir des données issues des stations inertielles..... p.18

Introduction

La perte de biodiversité actuelle et l'accélération des extinctions d'espèces sont un problème d'ordre mondial. Plusieurs causes se conjuguent : la perte et la fragmentation d'habitat, la surexploitation du milieu, les espèces invasives ou encore le réchauffement climatique (Brook et al., 2008; Dunn et al., 2009; Krauss et al., 2010; Tilman et al., 2001). Depuis 2000, le Chat domestique (*Felis silvestris catus*) est présent sur la liste de l'IUCN qui regroupe les 100 pires espèces invasives introduites dans le monde (Lowe et al., 2000). La question de l'impact de la prédation exercée par les chats sur la faune sauvage fait aujourd'hui débat à travers le monde. En effet, bien que les chats soient dits domestiqués, ils continuent de chasser dans la nature s'ils en ont la possibilité.

La domestication d'une espèce est associée à la modification de certains de ses traits morphologiques (ex. gigantisme/nanisme), comportementaux (ex. témérité) et/ou physiologiques (ex. contrôle de la reproduction et/ou de son alimentation) (Driscoll et al., 2009). Le Chat domestique ne répond pas à cette définition. Son ancêtre, le chat sauvage d'Afrique (*Felis silvestris lybica*), aurait commencé, environ 10 000 ans avant notre ère, à s'approcher des stocks céréaliers qui attiraient les rongeurs. Les humains auraient alors toléré leur présence en tant qu'auxiliaire de l'agriculture (Driscoll et al., 2009; Vigne and Guilaine, 2004). De nos jours, le Chat domestique a gardé une morphologie et un comportement proche de ses ancêtres. En effet, il a un crâne et un squelette similaire au chat sauvage africain (Yamaguchi et al., 2004) ainsi qu'un comportement encore proche de son ancêtre puisqu'il peut retourner vivre indépendamment des humains et se reproduire en milieu sauvage (ex. chat haret, Artois et al., 2002). Cela peut s'expliquer par le fait que le processus de sélection des chats, commencé il y a environ 200 ans, est relativement récent (Serpell, 2014). De ce fait, les chats font preuve d'une grande plasticité comportementale. Ces différences comportementales au sein des populations ont conduit à l'identification de plusieurs sous-populations classées selon leur degré d'association avec les humains le long d'un continuum allant de degré de nourrissage et liberté de mouvements, c'est-à-dire du chat d'intérieur entièrement dépendant de son propriétaire au chat haret (Liberg et al., 2000; Patronek, 1998).

Cette adaptabilité comportementale et l'histoire humaine font qu'aujourd'hui les chats sont présents sur tous les continents (à l'exception de l'Antarctique) et ont été introduits avec succès sur au moins 65 groupes d'îles (dans les îles Kerguelen voir notamment Say et al., 2002). En 2007, la population mondiale de chats était estimée à 272 millions, dont 58% des individus seraient errants (Hiby et al., 2014). En France, la population de chats dans les foyers s'élèverait à 12,7 millions (Sofres, 2014), et la tendance mondiale (autant de chats recensés que de chats non-recensés) semble se confirmer en milieu rural (44% de chats de propriétaire et 56% de chats de ferme au sein d'une population de chats composée d'environ 140 individus, Forin-Wiart (2014)).

Les chats participent directement à la perte de diversité mondiale, ils sont responsables de la disparition de 33 espèces d'oiseaux à travers le monde (Kitts-Morgan, 2015). Cela est particulièrement vrai en milieu insulaire. Ainsi dans les Îles Canaries, les chats harets s'attaquent à cinq espèces de mammifères, 16 d'oiseaux, 15 de reptiles et 32 invertébrés. Parmi ces espèces, un oiseau et trois lézards ont le statut « menacées » d'après la Liste Rouge de l'IUCN (Medina et Nogales, 2009). D'une façon générale, qu'ils soient nourris ou non par les humains, les chats chassent s'ils ont accès à l'extérieur (Barratt, 1997). Plusieurs études ont modélisé l'impact de la prédation exercée par les chats à travers le monde. Loss et al. (2013) estiment qu'ils capturent entre 6,3 et 22,3 milliards de mammifères, entre 1,3 et 4 milliards d'oiseaux et entre 314 et 1 191 millions de reptiles et amphibiens chaque année aux

États-Unis. Blancher (2013) estime que les chats de propriétaire et harets tuent entre 100 et 350 millions d'oiseaux chaque année au Canada. Il suppose que ces oiseaux sont tués en majorité par des chats harets. Woods et al. (2003) estiment quant à eux que les chats de propriétaire ramènent chez eux 57 millions de mammifères, 27 millions d'oiseaux et 5 millions de reptiles et amphibiens en Grande-Bretagne.

Cependant, ces estimations présentent certains biais dont le premier réside dans le fait que ces travaux se basent sur plusieurs études locales pour extrapoler à un niveau national ; Turner (2014) remet en cause la fiabilité de ces résultats. En effet, chaque étude est réalisée dans un milieu particulier (insulaire, rural, suburbain, urbain) où apparaissent certaines espèces proies, alors qu'au niveau national, le degré de fragmentation du paysage varie et la distribution des populations de proies n'est pas homogène. De plus, la majorité des études ne s'intéressent qu'à une sous-population de chats (ex. chats de propriétaires (Woods et al., 2003), chats harets ou chats de ferme) ou considère la population étudiée comme homogène à partir du moment où les individus sont nourris (partiellement ou *ad libitum*, Loss et al. 2013). Enfin, les techniques utilisées pour mesurer les différents paramètres de la prédation exercée par les chats (régime alimentaire et taux de prédation) peuvent conduire à des conclusions divergentes.

La fréquence relative d'apparition des proies dans le régime alimentaire des chats se base sur l'identification microscopique et/ou macroscopique ou moléculaire (DNA metabarcoding, Forin-Wiart, 2014) de restes de proies contenus dans les fèces ou dans les contenus stomacaux (Krauze-Gryz et al., 2012). D'autres études se basent sur l'identification des proies ramenées au propriétaire (Nelson et al., 2005; Ruxton et al., 2002). Cependant, ces différentes méthodes peuvent apporter des résultats assez différents. En effet, Krauze-Gryz et al. (2012) reportent que les campagnols, les invertébrés et les amphibiens prédominent dans les proies identifiées dans les fèces de chats nourris alors que les musaraignes et les souris sont les plus fréquemment rapportées à la maison. Le succès de capture, ou taux de prédation, c'est-à-dire le nombre de proies capturées et tuées par unité de temps, est quant à lui habituellement estimé par observations directes (Kays and DeWan, 2004), par l'identification des restes de vertébrés contenus dans les fèces (Turner, 2014) ou via le nombre de proies rapportées au propriétaire (Ruxton et al., 2002). L'estimation du taux de prédation varie de 2 à 27 proies rapportées/chat/an selon la méthode d'estimation employée et s'il est estimé par observation directe, il est 3,3 fois plus élevé que s'il est estimé à partir du nombre de proies ramenées. L'étude conduite par Loyd et al. (2013) utilisant des caméras embarquées apporte un premier élément de réponse : le sort réservé aux proies (consommées, abandonnées sur place, rapportées) dépend de l'espèce-proie considérée.

Ainsi, les outils embarqués tels que des caméras ou des systèmes d'acquisition de données (« bio-logger ») équipés d'accéléromètres (et de magnétomètres), peuvent permettre d'obtenir un relevé des proies capturées, tuées et consommées. Ces divers outils permettent d'acquérir des données y compris quand l'animal n'est pas directement observable (ex. espèces nocturnes ou cryptiques, Boyd et al., 2004). Les accéléromètres sont des capteurs qui mesurent l'accélération dans toutes les directions de l'espace. Ils sont, depuis quelques années, utilisés afin d'étudier le comportement des animaux (Yoda et al., 2001). Ainsi, certaines études cherchent à estimer la proportion d'activité/inactivité dans le budget-temps, à détecter des comportements unitaires d'intérêts comme la capture de proie (Carroll et al., 2014; Volpov et al., 2015), leur fréquence d'occurrence et leur association à des habitats en couplant ces données avec celles issues de GPS (Wang et al., 2015; Wilson et al., 2012).

La détection de comportements unitaires à l'aide d'accéléromètres peut permettre de réaliser un éthogramme. Un 'éthogramme accélérométrique' résulte d'une analyse statistique

qui permet de différencier des comportements à l'aide de variables liées à l'accélération. Ces éthogrammes ont commencé à se développer ces dernières années sur des animaux sauvages tels que l'Éléphant d'Afrique *Loxodonta africana* (Soltis et al., 2012), le Blaireau d'Europe *Meles meles* (McClune et al., 2014), le Castor européen *Castor fiber* (Graf et al., 2015), et le Cormoran huppé *Phalacrocorax aristotelis* (Sakamoto et al., 2009) ; ou sur des animaux domestiques tels que le chat (Watanabe et al., 2005), le chien *Canis canis* (Gerencsér et al., 2013) et les animaux de rentes (Miwa et al., 2015).

Dans leur étude, Watanabe et al. (2005) ont utilisé un accéléromètre à deux dimensions (accéléromètre-2D). Cependant, ils n'ont enregistré l'accélération que sur une dimension, le long de l'axe antéropostérieur du corps du chat. À l'aide d'une analyse canonique discriminante, quatre comportements (boire, manger, trot et galop) étaient correctement discriminés alors que les comportements « manger » et « toilettage » étaient souvent confondus. Lors de sa thèse, Forin-Wiart (2014) a réalisé un éthogramme accélérométrique chez le Chat domestique afin de caractériser le comportement de chasse. Cependant, une séquence de chasse est composée de plusieurs comportements unitaires : localiser la proie, la poursuivre, l'attraper, la tuer puis la consommer (Spotte, 2014). Il est donc difficile de caractériser un comportement de chasse unique, car ses différentes sous-séquences comportementales peuvent varier dans leurs occurrences et temporalité. Forin-Wiart (2014) s'est donc basée sur un éthogramme plus large composé de plusieurs grandes catégories (Déplacement, Etat statique, Séquence de chasse, Alimentation, Maintien, Interaction avec les humains, Interaction interindividuelles, Autre) divisées en comportements unitaires. À l'aide de la méthode du CART (Classification And Regression Tree) elle a pu discriminer 13 comportements unitaires liés soit à l'alimentation (consomme des aliments pour animaux, consomme des restes de table), à la chasse (consomme des rongeurs, se prépare au saut, flaire le sol, marche d'approche lente, marche prospective), au déplacement (marche, trotte), au toilettage (se gratte, se toilette avec la langue) ou à l'inactivité (vigilance, repos).

Suite à ces travaux, la société SPF – DIANA Pet Food, spécialisée dans le développement de facteurs d'appétences pour les aliments de chiens et de chats, a sollicité Marie-Amélie Forin-Wiart (PhD en écologie comportementale), sous la supervision d'Yves Handrich, chargé de recherche à l'IPHC DEPE (Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien) au CNRS de Strasbourg, spécialisé dans le domaine de l'écophysiologie énergétique, pour mener un projet de recherche visant à consolider l'éthogramme accélérométrique chez le Chat domestique précédemment établi.

Ce projet, d'une durée de dix-huit mois, a pour objectif de construire un éthogramme accélérométrique à l'aide de stations inertielles composées d'un accéléromètre-3D, d'un magnétomètre-3D et d'un gyromètre-3D. Une station inertielle permet d'avoir accès aux trois angles de rotation (le roulis, le tangage et le lacet) d'une façon beaucoup plus fiable qu'en utilisant simplement un accéléromètre-3D et un magnétomètre-3D (Fourati, 2010). L'ajout d'un gyromètre-3D est surtout recommandé pour l'analyse cinématique de certains comportements dynamiques et à haute fréquence (Fourati et al., 2011). De même, l'utilisation d'un gyromètre-3D semble améliorer la discrimination de certains comportements, notamment ceux liés à des mouvements rotatifs (ex. se rouler, tourner), où il est difficile de distinguer l'accélération propre de l'animal des variations d'angle de sa posture (Fourati et al., 2011; Gerencsér et al., 2013). L'inconvénient actuel de la station inertielle, par rapport à un outil embarqué de type accéléromètre-magnétomètre, est sa relativement faible autonomie de durée d'enregistrement.

Au final, l'objectif de ce projet de collaboration de recherche avec Pet-Food est de pouvoir obtenir un éthogramme fin permettant de différencier des événements de prédation

de ceux liés à la consommation d'aliments d'origine anthropique. Cet outil pourrait également servir à estimer le temps qu'un individu peut allouer à la chasse, son effort de capture (le nombre de tentatives de captures par unité de temps, Corbett, 1979) et son taux de prédation. Il serait également possible d'en apprendre davantage sur les habitudes de chasse des chats en combinant un éthogramme accélérométrique avec un système de géolocalisation et une étude de leur régime alimentaire.

Mon stage de fin d'études d'Ingénieure Agronome, spécialité 'Génie de l'Environnement', s'inscrit au début de ce projet et a deux objectifs à plus court-terme. Le premier de ces objectifs est de chercher à savoir si l'augmentation de la fréquence d'enregistrement des données accélérométriques et/ou l'ajout de données issues d'un magnétomètre-3D et d'un gyromètre-3D permettent une meilleure discrimination des comportements les uns par rapport aux autres et notamment la consommation de différents types d'aliments (proies, croquettes, pâtée). Le deuxième objectif de ce stage, en réponse à une demande de la société SPF – DIANA Pet Food, est d'identifier le degré d'exhaustivité que l'on peut atteindre lorsque l'on réalise un tel éthogramme. C'est-à-dire s'il est possible de savoir, par exemple, si un chat se déplace en marchant sur un plan horizontal, montant ou descendant avec la queue en l'air ou avec la queue en bas ou si on doit se limiter à différencier la marche de déplacement du trot sans plus de précision.

1. Matériel et méthodes

L'ensemble des calculs et des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel R 3.1.3 et du logiciel Bio-logging 1.1 utilisant cette même version, développé, et encore en cours de développement, par Sylvain Mareschal, docteur en bio-informatique et bio-informaticien indépendant.

1.1 Site d'étude

L'étude de terrain a été réalisée dans le département des Ardennes, sur le canton de Buzancy, dans les villages de Boulton-aux-Bois et de Briquenay.

C'est dans ces localités que M.-A. Forin-Wiart a réalisé sa thèse (2010-2014). De ce fait, les propriétaires de chats étaient déjà sensibilisés aux contraintes liées à la pose de colliers composés d'une ou plusieurs unités de mesures (ex. accéléromètre-3D) sur leurs animaux de compagnie, et ces animaux déjà habitués à être manipulés et équipés sans anesthésie.

1.2 Échantillonnage

Au cours de sa thèse, Forin-Wiart (2014) avait étudié une population de chats composée de chats de ferme et de chats de propriétaire. Du 4 au 7 mai 2012, l'un de ces individus (A, Tableau 1) a été équipé une à quatre fois par jour d'un collier composé d'un accéléromètre-3D (cf. 2.3.1. pour la description de l'unité) et filmé pour de courtes durées (moins d'une heure) afin d'obtenir des séquences comportementales liées à l'alimentation et principalement à la consommation de rongeurs. Ces derniers étaient issus de piégeages réalisés au CERFE dans le cadre d'un programme annexe.

Du 25 juillet au 2 août 2016, au sein de cette même population, nous avons équipé d'un collier portant une station inertielle (cf. 2.3.2. pour la description de l'unité de mesure) deux chats de ferme (A et B) et six chats de propriétaire (C à H, Tableau I). Ces individus ont été filmés préférentiellement lors de séquences alimentaires (consommation de croquettes, de pâtée, de rongeurs et de poussins), et après ces dernières.

Tous les individus étaient adultes et pesaient plus de 2.5 kg au moment de ce suivi.

Seuls les individus A, B et E ont été retenus dans le cadre de mon étude car ils ont consommé au moins une fois les quatre types d'aliments.

Tableau I. Tableau récapitulatif des caractéristiques des individus équipés en 2012 et en 2016.

Catégorie de chats	Statut reproducteur	Sexe	Individus	Âge (années)	Années de suivi
Ferme	reproducteur	mâle	A	6	2012 et 2016
		femelle	B	3	2016
	reproducteur	mâle	C	6	2016
Propriétaire	stérilisé	mâle	D	5	2016
		mâle	E	6	2016
		femelle	F	6	2016
		femelle	G	7	2016
		femelle	H	12	2016

1.3 Collecte des données

1.3.1 Collecte de données d'accélération

En 2012, l'accélération a été enregistrée à l'aide d'un accéléromètre tridimensionnel (X6-2 mini, résolution de 16-bit, 50 x 23 x 02mm, 22g Gulf Coast Data Concept (GCDC), Etats-Unis, Figure 1). La fréquence d'enregistrement des accéléromètres était fixée à 40Hz (soit 40 points par seconde) afin d'avoir une autonomie de huit à neuf jours. L'unité a ensuite été fixée sur un collier léger (système de fermeture à clips) de couleur à l'aide de scotch électrique (Forin-Wiart, 2014).



Figure 1. Accéléromètre tridimensionnel X6-2 mini (batterie 1000 mAh et processeur) à gauche, protection de l'unité contre l'humidité et les chocs à droite. Issue de Forin-Wiart (2014)

En 2016, nous avons utilisé 4 stations inertielles Awinda MTw2 fabriquées par la société Xsens, contenant trois types de capteurs cinématiques (accéléromètre-, gyromètre- et magnétomètre-3D) et un capteur de pression. Les stations inertielles pèsent 16g et sont de dimension 47 x 30 x 13mm (Figure 2a). Elles transmettent en direct les données à une station reliée à un ordinateur. Cette station doit être à 50 mètres maximum des unités pour enregistrer les données ce qui limite leur utilisation en extérieur. Les 9 capteurs cinématiques ont été réglés pour enregistrer les données à une fréquence de 100Hz, la pression en 50Hz. Avec ces réglages, les stations inertielles avaient une autonomie d'enregistrement de sept heures. Les stations inertielles ont été fixées sur des colliers noirs avec des bandes de ruban adhésif réfléchissant (facilitant l'identification des individus sur les vidéos) pesant 9g, fermés à l'aide de pinces à bretelle pour permettre un ajustement optimal et rapide.

Wilson et McMahon (2006) préconisent que la masse totale de l'équipement porté au niveau du cou ne dépasse pas 5% de la masse adulte de l'animal afin de minimiser le biais comportemental. Ici, à l'instar d'Elbroch et Wittmer (2013) dans leur étude sur la spécialisation et la sélection des proies chez le puma (*Puma concolor*), nous avons réduit ce seuil à 3% de la masse corporelle pour diminuer la gêne lors des déplacements (notamment lorsqu'il saute ou grimpe).

En 2012 et en 2016, l'accéléromètre-3D et les stations inertielles, ont été positionnés sous la tête des individus de façon à enregistrer les mouvements de mâchoires pendant les phases de repas (Viviant et al., 2009) Figure 2b). Les unités ont été placées dans des doigts de gant en latex puis dans des gaines de vélo découpées afin de les protéger des chocs et de l'humidité.



Figure 2. (a) Colliers et station inertielle déployés en 2016 (CNRS, M.-A. Forin-Wiart) ; (b) individu A équipé d'une station inertielle

1.3.2 Collecte des données comportementales

Afin d'associer les données à un comportement donné, les animaux équipés de colliers ont été filmés. En 2012, l'individu A a été filmé à l'aide d'une caméra Canon XL1s. En 2016, les individus ont été filmés à l'aide d'une caméra SONY®.

1.4 Analyse des données

1.4.1 Données d'observation directe

Un éthogramme avait déjà été mis en place par Forin-Wiart pendant sa thèse (2014), basé sur les travaux de Bradshaw et al. (1995) et de Leyhausen (1979) (Annexe 1). Cet éthogramme est composé de onze grandes catégories comportementales : Consommation d'aliments anthropiques, Déplacement, Recherche alimentaire, Interaction, Maintien, Toilettage, Statique, Vigilance, Repos, Vocalisation et Autres. Chaque comportement observé a ainsi été classé dans l'une de ces grandes catégories réparties en items et en sous-items (au total 169 sous-items sont répertoriés dans l'éthogramme, Annexe 1). Par exemple, lors d'une séquence durant laquelle un chat mange des croquettes, un éthogramme classique relèverait : le chat mange. Sur l'éthogramme construit ici, cette séquence a été découpée en plusieurs comportements unitaires purs : le chat attrape les croquettes, puis les mastique et enfin déglutit.

Les vidéos ont été visionnées et un comportement a été associé à chaque séquence avec une précision à la demi-seconde à l'aide du logiciel BORIS (Behavioural Observation Research Interactive Software v. 2.981, Friard et Gamba 2016). Puis le logiciel Bio-logging v1.1 a permis de vérifier la synchronisation des données et de réaliser un découpage début-fin des comportements plus précis. Les comportements trop rares ont été écartés des analyses et, avant de faire des associations de comportements, un maximum de 400 UT, soit 200 secondes par comportements ont été aléatoirement sélectionnés afin d'obtenir un échantillonnage équilibré et éviter des problèmes de discrimination liés à une sur- ou à une sous-représentation de certains comportements (Soltis et al., 2012).

1.4.2 Données issues des accéléromètres-3D

Les accéléromètres tridimensionnels permettent de décomposer dans les trois dimensions de l'espace l'accélération subit par la station et le collier, selon des directions qui dépendent de l'orientation de la station par rapport aux axes propres du chat : l'axe X est superposé à l'axe antéro-postérieur, l'axe Y est superposé à l'axe latéral, et l'axe Z est superposé à l'axe dorso-ventral (Figure 3).

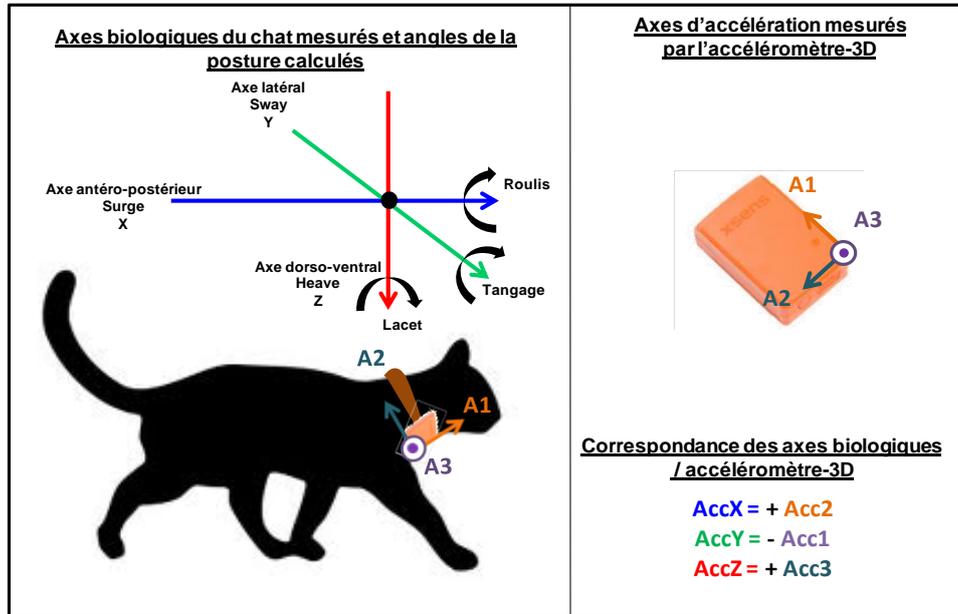


Figure 3. Représentation des trois axes et des trois angles de postures mesurés sur l'animal obtenus avec les stations inertielles Xsens (CNRS, M.-A. Forin-Wiart)

L'accélération enregistrée par les accéléromètres peut être séparée sur chacun des trois axes en deux composantes (Equation 1). L'accélération statique correspond à l'accélération gravitationnelle, dont l'orientation purement verticale va se projeter sur les trois axes (GrvX, GrvY, GrvZ) selon l'orientation (ou posture) du collier et du chat par rapport à l'horizontale (Equation 2). Ainsi, si le chat est debout avec la station pendante à la verticale sous le collier, la composante de l'axe GrvZ est égale à 1 et les composantes des axes GrvX et GrvY sont égales à 0. Les valeurs de Grv varient sur les trois axes entre -1g et 1g (avec $g = 9,81\text{m.s}^{-2}$). L'accélération propre ou dynamique (Apr) correspond à l'accélération liée aux variations de vitesse de mouvements de l'animal. Elle est égale à l'accélération totale (données brutes) moins l'accélération statique et elle est décomposée sur les trois axes : AprX, AprY et AprZ (Equation 3, Figure 4, Yoda et al., 2001).

$$\text{Accélération totale (Acc)} = \text{accélération gravitationnelle (Grv)} + \text{accélération propre (Apr)} \quad (1)$$

$$\vec{Grv} = \vec{GrvX} + \vec{GrvY} + \vec{GrvZ} \quad (2)$$

$$\vec{Apr} = \vec{AprX} + \vec{AprY} + \vec{AprZ} \quad (3)$$

À partir de l'accélération gravitationnelle, on peut extraire seulement deux des angles de la posture, liés à l'assiette de l'animal (Fourati, 2010) : le Roulis ϕ (rotation autour de l'axe X) et le Tangage θ (rotation autour de l'axe Y) (Figure 3 et 4 et équations (4) et (5)). Pour prendre en compte les changements posturaux rapides, un filtre passe-haut de 0,5s a été appliqué sur les deux angles pour obtenir le Roulis fast (Rf) et le Tangage fast (Tf).

$$\text{Roulis } \phi = \begin{cases} \text{atan2}(-GrvY, -GrvZ) & \text{si } Grv < 0 \\ \text{atan2}(GrvY, GrvZ) & \text{si } Grv > 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Tangage } \theta = \begin{cases} \text{asin}\left(\frac{GrvX}{|Grv|}\right) & \text{si } Grv < 0 \\ \text{asin}\left(\frac{-GrvX}{|Grv|}\right) & \text{si } Grv > 0 \end{cases} \quad (5)$$

À partir de l'accélération propre de l'animal (variations de vitesse) plusieurs variables peuvent être calculées telles que l'ODBA (Overall DBA) qui est égale à la somme des moyennes des valeurs absolues des composantes de chaque axe (Equation 6), et la VeDBA (Vectorial DBA) qui est égale à la racine carrée de la somme des carrés des composantes des trois axes (Equation 7, Figure 4) (Qasem et al., 2012). D'après Qasem et al. (2012) et Wright et al. (2014), l'ODBA et la VeDBA sont de bons estimateurs de la dépense énergétique notamment parce qu'ils sont fortement corrélés au taux de consommation d'oxygène. Cependant, Halsey et al. (2011) expliquent que l'activité n'est pas le seul facteur à prendre en compte pour calculer la dépense énergétique totale. La VeDBA et l'ODBA seraient donc plutôt des index de la dépense locomotrice.

$$ODBA = \mu(|AprX|) + \mu(|AprY|) + \mu(|AprZ|) \quad (6)$$

$$VeDBA = \sqrt{AprX^2 + AprY^2 + AprZ^2} \quad (7)$$

De plus, pour faciliter la discrimination de comportements avec un niveau énergétique comparable, un filtre passe-bas sur une durée de 2s (VeDBA_glissee2) a été appliqué à la VeDBA (Figure 4).

Enfin, les ratios entre les composantes de l'accélération dynamique et la VeDBA (Equations 8, 9 et 10) ont également été calculés afin de connaître la composante majeure de la VeDBA pour un comportement donné : par exemple, une composante uniquement latérale pourrait être le signe d'un ébrouement.

$$\text{ratio } X = \frac{|Apr X|}{VeDBA} \quad (8)$$

$$\text{ratio } Y = \frac{|Apr Y|}{VeDBA} \quad (9)$$

$$\text{ratio } Z = \frac{|Apr Z|}{VeDBA} \quad (10)$$

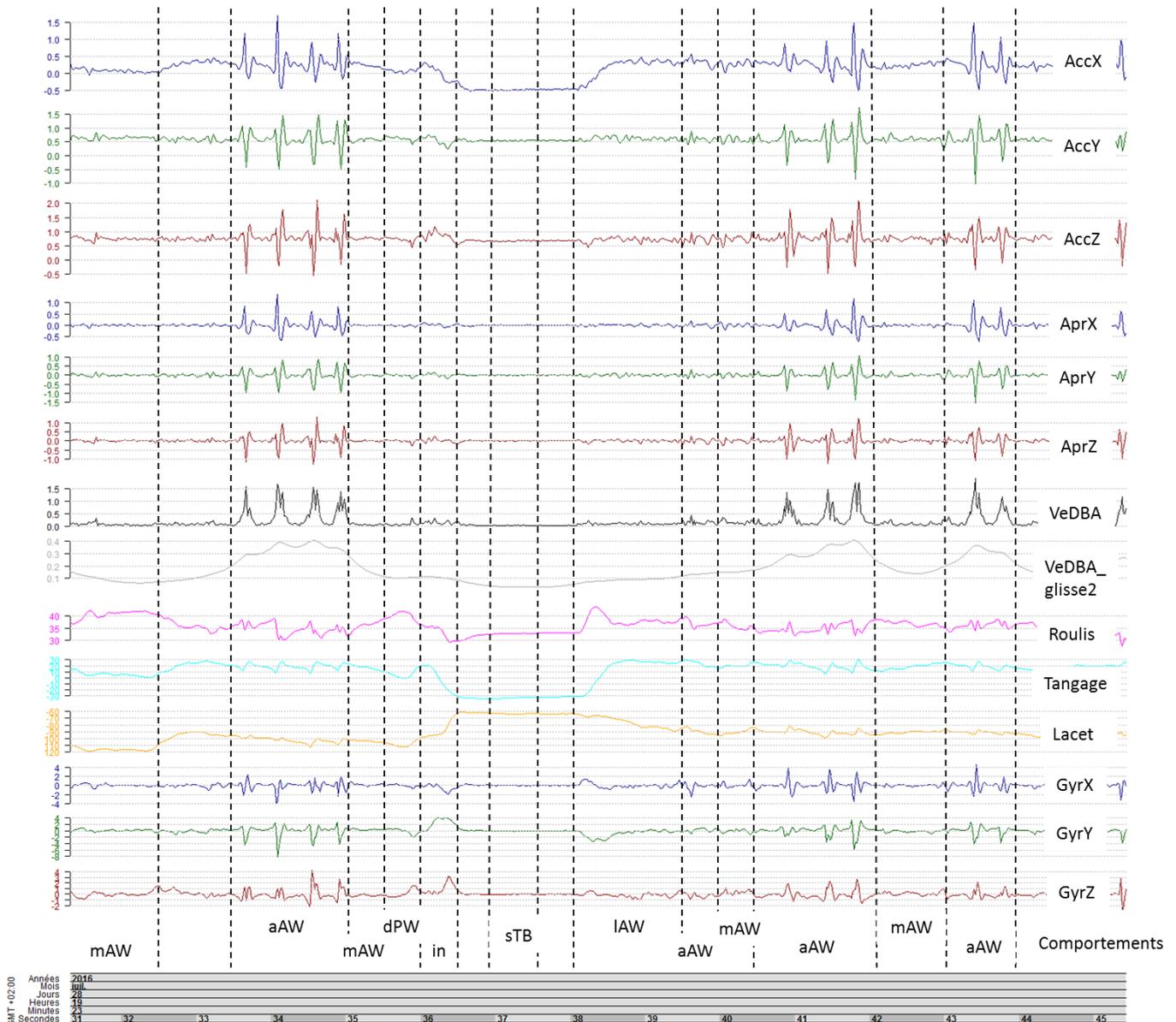


Figure 4. Exemple de données d'accélération brutes, des variations de l'accélération dynamique (dans les trois dimensions de l'espace, la VeDBA et la VeDBA_glisse2), de la posture (angles) et des variations de la vélocité angulaire (dans les trois dimensions de l'espace) durant une séquence de consommation de pâtée.

Légende des comportements : mAW : masticationAliWet ; aAW : attrapeAliWet ; dPW : deglutiPostWet ; in : inspection ; sTB : seToiletteLangueBabines ; IAW : lecheAliWet.

1.4.3 Données issues des magnétomètres-3D et gyromètres-3D

Les magnétomètres permettent de mesurer la direction et l'intensité d'un champ magnétique (Fourati, 2010). Les gyromètres tridimensionnels permettent d'obtenir les vélocités angulaires (Gyr, X, Gyr Y et Gyr Z, Equation 11) (Figure 4).

Lorsque l'animal est statique ou bouge lentement, la combinaison des mesures accélérométriques et magnétométriques (hX, hY et hZ) permet d'obtenir le troisième angle de la posture, gravitant autour de l'axe vertical Z : le Lacet (Fourati, 2010). Il peut être calculé à partir des données du magnétomètre lorsque les angles du Roulis et du Tangage sont proches de zéro (Equation 12). Si ces derniers sont différents de zéro, alors le Lacet peut se calculer

à l'aide du Roulis, du Tangage et des mesures du magnétomètres h (Equation 13) (Fourati, 2010). Pour des mouvements plus rapides, il faut prendre en compte les données gyrométriques.

Comme pour les angles du Roulis et du Tangage, la composante liée aux changements posturaux rapides a été calculée à partir du Lacet (Lacet fast, Lf).

$$\overline{Gyr} = \overline{GyrX} + \overline{GyrY} + \overline{GyrZ} \quad (11)$$

$$Lacet \psi = atan2(hy, hx) \quad (12)$$

$$Lacet \psi = atan2((hz \sin \phi - hy \cos \phi), (hx \cos \theta + (hy \sin \phi + hz \cos \phi) \sin \theta)) \quad (13)$$

La vitesse angulaire en elle-même pourrait permettre une identification plus précise de certains comportements comme les mouvements de tête (Gerencsér et al., 2013).

1.5 Éthogramme accélérométrique

Chaque comportement a été décomposé en segments unitaires de pas de la demi-seconde (unité de temps, UT) pour pouvoir analyser des séquences comportementales courtes tel que l'ébrouement (Forin-Wiart, 2014).

Des statistiques descriptives ont été calculées à l'échelle de chaque UT et pour chaque variable décrite précédemment (GrvX, GrvY, GrvZ, roulis, Rf, tangage, Tf, AprX, AprY, AprZ, ODBA, VeDBA, VeDBA_glisse2, ratio X, ratio Y et ratio Z pour les accéléromètres-3D, auxquelles s'ajoutent GyrX, GyrY, GyrZ, le lacet et Lf pour les stations inertielles). Ainsi, pour chaque variable le minimum, le maximum, la moyenne, la moyenne des valeurs absolues, la variance, l'étendue, l'écart-type, le coefficient de variation (écart-type/moyenne), la déviation absolue à la médiane et la médiane ont été calculées. Un total de 160 variables a été utilisé pour établir les éthogrammes issus des données de l'accéléromètre-3D GCDC et des données accélérométriques des stations inertielles Xsens. Un total de 210 variable a été utilisé pour établir l'éthogramme issu des données des trois capteurs des stations inertielles Xsens.

Plusieurs méthodes existent afin de réaliser un éthogramme accélérométrique (Nathan et al., 2012). Ici nous avons choisi d'utiliser la méthode du CART (Classification And Regression Tree).

La méthode du CART est un algorithme qui développe des règles de décisions hiérarchiques pour prédire des classes. À chaque nœud, l'ensemble des variables est testé ainsi que différents seuils afin d'obtenir finalement un arbre optimal unique. Chaque règle de décision mène à une autre règle de décision ou à une classe (Nathan et al., 2012). Chaque classe répond au critère de sélection de toutes les règles qui y mènent. C'est-à-dire que la règle A sépare les comportements en deux groupes (ex. le groupe 1 et le groupe 2), la règle B sépare le groupe 1 en deux sous-groupes (ex. le sous-groupe 1.1 et le sous-groupe 1.2).

Cette méthode a été appliquée à deux jeux de données de référence distincts provenant de l'individu A afin de créer trois arbres de classification différents : soit avec des données issues de l'accéléromètre-3D avec une fréquence d'enregistrement de 40 Hz (1) ou de 100Hz (2), soit avec l'ensemble des données (accéléromètre-3D, magnétomètre-3D et gyromètre-3D) issues des stations inertielles (3).

Ce jeu de données de référence a été divisé en deux : un jeu de données d'entraînement qui a servi de base pour construire l'arbre (70%) et un jeu de données test qui a servi à tester l'efficacité du modèle construit (30%).

Afin dans un premier temps d'évaluer la qualité des règles de décision établies pour ces trois CARTs, des indices ont été calculés pour chaque comportement i. La Pureté (P%,

Equation 14) évalue la capacité du modèle à extraire correctement les UT sélectionnées et vraies pour un comportement i . La Sensibilité ($S\%$, Equation 15) évalue quant à elle la capacité du modèle à extraire toutes les UT du comportement i . Un indice global a également été calculé afin d'évaluer la sensibilité globale de l'arbre (précision globale, Equation 16) (Forin-Wiart, 2014). Ce test est réalisé sur le jeu de données de test.

$$P\%i = \frac{TPi}{Pi} \quad (14)$$

$$S\%i = \frac{TPi}{Ti} \quad (15)$$

$$précision\ globale = \frac{TP}{T} \quad (16)$$

Avec T les UT vraies d'un comportement i , P les UT sélectionnées par le modèle pour un comportement i , TP les UT sélectionnées par le modèle et vraies d'un comportement i .

Dans un deuxième temps, l'algorithme le plus complet (3) a été appliqué aux données issues des stations inertielles provenant des individus A, B et E équipés en juillet 2016. Pour l'évaluation intra-individuelle le modèle a été créé à partir des données issues de l'individu A et a été testé sur des données issues du même individu mais qui n'ont pas servies à créer les jeux de données d'entraînement et de test. Pour l'évaluation interindividuelle, le modèle a été créé à partir des données issues de l'individu A et a été testé sur des données issues des individus B et E (Figure 5). L'adéquation du CART à prédire les comportements d'alimentation a été vérifiée en comparant le nombre d'occurrences de consommation des quatre types d'aliments observées à celles prédites par le modèle. Pour cela, seuls les faux positifs (« mismatch ») ont été considérés (ex. détection de la consommation d'oiseaux alors que l'individu n'a rien consommé ou consommé uniquement de la pâtée).

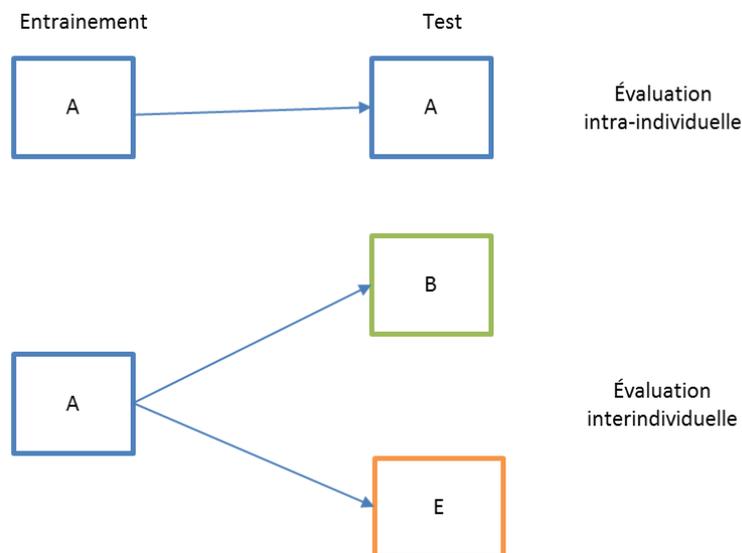


Figure 5. Schéma de la méthode d'évaluation intra et inter-individus du modèle complet.

2. Résultats

2.1 Éthogramme à partir d'un accéléromètre-3D

2.1.1 Séquences comportementales

Le visionnage de 1,5 heure de vidéo de l'individu A a permis d'identifier 2160 séquences comportementales. Un total de 24 comportements, appartenant à 9 grandes catégories comportementales différentes (« Recherche alimentaire », « Interaction », « Vocalisation », « Consommation d'aliments anthropiques », « Maintenance », « Vigilance », « Déplacement », « Toilettage », « Statique »), ont été observés, soit un total de 9082 segments de 0,5 seconde (Unité de Temps, UT, Annexe 2).

Certains comportements ont été regroupés afin de faciliter leur discrimination. Ainsi, 'consomme une proie (Rongeur)' et 'mastique une proie (Rongeur)' ont été regroupés en 'consomme une proie (Rongeur)'; 'marche sur un plan horizontal, queue levée' et 'marche sur un plan horizontal, queue basse' ont été regroupés en 'marche sur un plan horizontal'; 'flaire le sol' et 'flaire l'aliment' ont été regroupés en 'flaire' et 'statique couché', 'statique debout' et 'statique assis' ont été regroupés en 'statique'.

D'autres comportements ont été écartés des analyses, soit en raison d'un nombre insuffisant de segments ($n < 65$) tels les comportements 'coup de patte bas', 'mord la proie (Rongeur)', 'pétrissage', 'recule', 'grogne', 'flaire vertical', 'caresse', 's'ébroue la tête', 'se roule', et 'bouge la tête', soit parce que le comportement n'était pas discriminé par rapport aux autres tel que : 'déglutit après une proie'.

Au final, 8354 UT ont été utilisées pour construire les CART, soit 10 comportements répartis en 5 grandes catégories comportementales : 4485 segments (54%) sont associés à la chasse (« Recherche alimentaire » : 'consoProieRongeur', 'lecheProieRongeur', 'tireEntraillesRongeur'), 1971 segments (24%) sont associés au maintien (« Maintien » : 'eternue', 'flaire'), 1161 segments (14%) sont associés à la vigilance (« Vigilance » : 'inspectionDeb', 'inspectionCou', 'inspectionAssis'), 486 segments (6%) sont associés au déplacement (« Déplacement » : 'marcheDepHoriz') et 251 segments (3%) sont associés à l'immobilité (« Statique » : 'statique').

Le jeu d'entraînement était composé de 2646 UT et le jeu de test de 1139 UT.

2.1.2 Arbre de classification des comportements

La méthode du CART a permis de discriminer dix comportements (Tableau II et Figure 6). La première dichotomie de l'arbre sépare d'un côté les comportements liés à la consommation d'aliments (« Recherche alimentaire ») et le comportement 'flaire' et de l'autre côté les autres grandes catégories comportementales (« Vigilance », « Maintien », « Statique », « Déplacement »). Cette différenciation se fait à l'aide de la variable « GrvX_min », qui varie indirectement selon la posture de l'individu par rapport à l'angle du tangage (basculement vertical tête/arrière train).

La variable « Roulis_median » discrimine d'une part les comportements 'consoProieRongeur' et 'flaire' et d'autre part les comportements 'lecheProieRongeur' et 'tireEntraillesRongeur'. Ces deux derniers comportements ont une rotation autour de l'axe X plus importante. Ensuite, les comportements 'tireEntraillesRongeur' et 'lecheProieRongeur',

plus énergétiques, sont séparés du comportement 'inspectionAssis' par une variable liée à l'énergie : « VeDBA_glisse2_min ». De la même façon, le comportement 'tireEntraillesRongeur' est plus énergétique que les comportements 'lecheProieRongeur' et 'flaire', ils sont donc discriminés par la variable VeDBA_glisse2_max ». Enfin, les comportements 'lecheProieRongeur' et 'flaire' se distinguent l'un de l'autre par la variable de posture « GrvX_sd » (Figure 6).

Les comportements de « Vigilance » ('inspectionAssis', 'inspectionCou') et « Statique » ('statique') se distinguent des comportements de « Maintien » ('eternue'), de « Déplacement » ('marcheDepHoriz') et des comportements 'inspectionDeb' et 'inspectionAssis' par une variable liée à l'énergie du mouvement : « VeDBA_glisse2_min ». En effet, les comportements 'eternue' et 'marcheDepHoriz' sont plus énergétiques. De la même façon, le comportement 'eternue' est plus énergétique que le comportement 'marcheDepHoriz' et ils se discriminent donc par la variable « VeDBA_μabs ». Le comportement 'marcheDepHoriz' se distingue des comportements 'inspectionDeb' et 'inspectionAssis' par une variable d'accélération dynamique « AprX_sd » car il est plus dynamique. Enfin, les comportements 'inspectionDeb' et 'inspectionAssis' sont discriminés grâce à la variable de posture « GrvZ_μabs ». Les comportements 'inspectionAssis' et 'inspectionCou', des comportements plus mobiles, sont séparés du comportement 'statique' par la variable « Tf_μabs ». Enfin, les comportements 'inspectionAssis' et 'inspectionCou' se distinguent grâce à la variable « GrvX_μabs » (Figure6).

Tableau II. Matrice de confusion résumant la classification des unités de temps (UT) utilisées pour réaliser l'éthogramme d'accélération à l'aide de la méthode du CART à partir des données issues d'un accéléromètre-3D.

Les sommes des UT positives (P) et vraies (T) sont indiquées et les chiffres dans la diagonale indiquent les UT vraies et positives (TP). Les coefficients de pureté (P%) et de sensibilité (S%) sont calculés par comportement, ainsi qu'une mesure générale de la précision de l'éthogramme accélérométrique (mesure globale).

Prédites	Observées											Positives (P)
	consoProie Rongeur	lecheProie Rongeur	tireEntraille sRongeur	eternue	flaire	inspection Assis	inspection Cou	inspection Deb	marcheDep Horiz	statique		
consoProieRongeur	93	22	2	0	51	2	19	6	14	2	211	
lecheProieRongeur	36	64	12	0	32	1	2	1	3	0	151	
tireEntraillesRongeur	8	21	22	0	11	0	1	1	0	0	64	
eternue	0	0	0	16	0	0	1	0	0	1	18	
flaire	30	13	9	0	71	2	14	21	31	1	192	
inspectionAssis	2	0	0	0	5	42	4	16	2	23	94	
inspectionCou	0	0	1	0	4	8	22	6	0	8	49	
inspectionDeb	5	1	0	1	42	19	44	47	38	8	205	
marcheDepHoriz	3	0	1	3	9	12	13	22	58	0	121	
statique	0	0	0	0	0	0	2	0	0	32	34	
Vraies (T)	177	121	47	20	225	86	122	120	146	75	1139	
Sensibilité (TP/T)	0,53	0,53	0,47	0,80	0,32	0,49	0,18	0,39	0,40	0,43	précision globale	
Pureté (TP/P)	0,44	0,42	0,34	0,89	0,37	0,45	0,45	0,23	0,48	0,94	0,41	

L'efficacité de l'algorithme à correctement sélectionner des variables et des seuils afin de discriminer les différents comportements est évaluée par les indices de pureté et de sensibilité. Pour ce modèle, ces indices sont relativement faibles ou moyens, notamment pour les comportements de Vigilance : 'inspectionAssis' (pureté (P%) = 0,45 ; sensibilité (S%) = 0,49), 'inspectionCou' (P% = 0,45 ; S% = 0,18) et 'inspectionDeb' (P% = 0,23 ; S% = 0,39) ainsi que les comportements 'tireEntraillesRongeur' (P% = 0,34 ; S% = 0,47) et 'flaire' (P% = 0,37 ; S% = 0,32). Cela signifie que les variables sélectionnées par le modèle ne permettent pas une bonne discrimination de ces comportements. C'est-à-dire que le modèle a d'une part

une difficulté à extraire uniquement les UT de ces comportements (pureté faible) et d'autre part, à extraire tout ou partie des UT de ces comportements (sensibilité faible). Le comportement « éternue », au contraire, a des indices élevés ($P\% = 0,89$; $S\% = 0,80$), le modèle ne confond ce comportement avec presque aucun autre et extrait une grande partie de ses occurrences. La précision globale de cet éthogramme est de 0,41 (Tableau II).

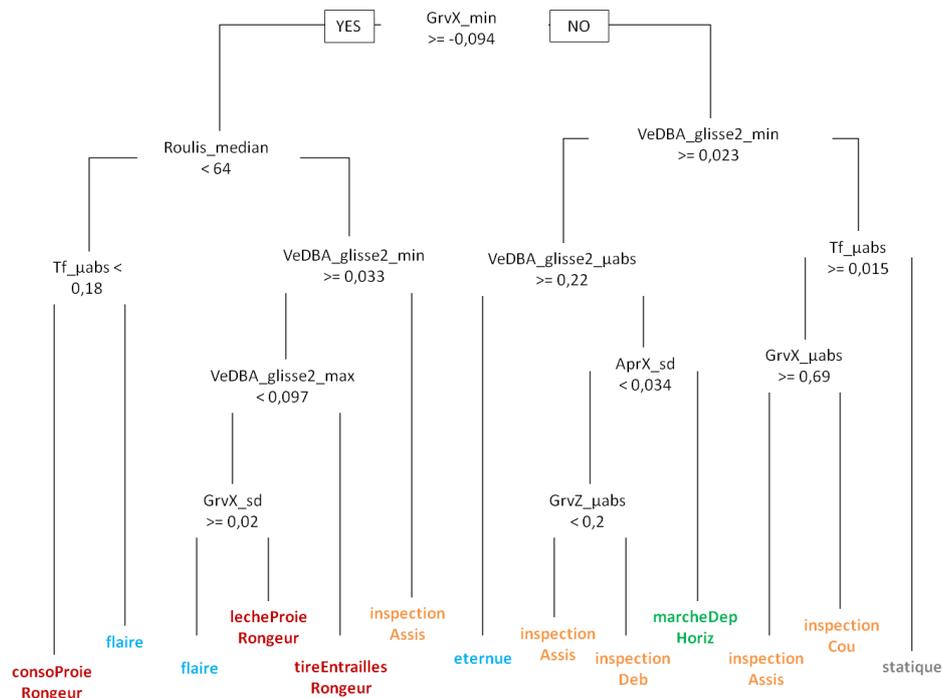


Figure 6. Arbre de classification établi par la méthode du CART à partir des données issues d'un accéléromètre-3D.

La règle mise en place avec cette approche pour discriminer les différents comportements est indiquée à chaque nœud, ainsi que le seuil de la variable utilisée.

2.2 Éthogramme à partir des stations inertielles

2.2.1 Séquences comportementales

Le visionnage de 1,8 heure de vidéo de l'individu A a permis d'identifier 1651 séquences comportementales. Un total de 39 comportements, appartenant à 9 grandes catégories comportementales différentes (« Recherche alimentaire », « Interaction », « Vocalisation », « Consommation d'aliments anthropiques », « Maintenance », « Vigilance », « Déplacement », « Toilettage », « Statique »), ont été observés, soit un total de 5598 segments de 0,5 seconde (Unité de Temps, UT, Annexe 3).

Certains comportements ont été regroupés afin de faciliter leur discrimination. Ainsi, 'inspection assis', 'inspection couché' et 'inspection debout' ont été regroupés en 'inspection' ; 'marche sur un plan horizontal, queue levée' et 'marche sur un plan horizontal, queue basse' ont été regroupés en 'marche sur un plan horizontal' et 'flaire le sol' et 'flaire l'aliment' ont été regroupés en 'flaire'.

D'autres comportements ont été écartés des analyses, soit à cause d'un nombre insuffisant de segments ($n < 130$) tels les comportements 'coup de patte', 'mord la proie', 'mastique la proie', 'statique', 'marque avec la tête', 'marque avec le flanc', 'tousse', 'recule', 'éternue', 'flaire vertical', 'caresse sur le corps', 's'ébroue', 'se roule', 'se toilette le flanc', 'se toilette la patte' et 'bouge la tête', soit parce que le comportement n'était pas discriminé par rapport aux autres tels que : 'déglutit', 'attrape l'aliment', 'se lèche les babines' et 'lèche l'aliment'.

Au final, 3792 UT ont été utilisées pour construire les CART, soit 9 comportements répartis en 7 grandes catégories comportementales : 813 segments (21%) sont associés à la chasse (« Recherche alimentaire » : 'consoProieRongeur', 'consoProieOiseau'), 611 segments (16%) sont associés au maintien (« Maintien » : 'flaire'), 860 segments (23%) sont associés à la vigilance (« Vigilance » : 'inspection'), 403 segments (11%) sont associés au déplacement (« Déplacement » : 'marcheDepHoriz'), 515 segments (14%) sont associés à l'alimentation (« Consommation d'aliments anthropiques » : 'mastiqueAliDry', 'mastiqueAliWet'), 189 segments (5%) sont associés aux interactions avec un humain (« Interaction » : 'caresseTete') et 401 segments (11%) sont associés à des vocalisations (« Vocalisation » : 'ronronne').

Le jeu d'entraînement était composé de 2640 UT et le jeu de test de 1124 UT.

2.2.2 Arbres de classification des comportements

2.2.2.1. Données issues seulement des accéléromètres-3D 100 Hz

La méthode du CART a permis de discriminer neuf comportements (Tableau III et Figure 7). La première dichotomie de l'arbre sépare d'un côté les comportements liés à la consommation d'aliments (« Recherche alimentaire », « Consommation d'aliments anthropiques ») et le comportement 'flaire' et de l'autre côté les autres grandes catégories comportementales (« Vigilance », « Vocalisation », « Interaction », « Déplacement »). Cette différenciation se fait à l'aide de la variable « Tangage_median », c'est-à-dire sur la rotation autour de l'axe Y de l'individu (basculement vertical tête/arrière train).

Le comportement 'consoProieRongeur' est différencié des autres comportements ('consoProieOiseau', 'flaire', 'mastiqueAliDry', 'mastiqueAliWet') par la variable « GrvY_min » (reflet indirect du roulis, basculement droite/gauche). Le comportement 'flaire' est ensuite séparé des comportements « Consommation d'aliments anthropiques » et du comportement 'consoProieOiseau' par la variable « GrvX_max ». La variable « RatioZ_max » permet de distinguer 'consoProieOiseau' des comportements de « Consommation d'aliments anthropiques ». Enfin, les comportements 'mastiqueAliDry' et 'mastiqueAliWet' se discriminent entre eux par la variable « GrvY_max » (Figure 7).

Les comportements d'« Interaction » ('caresseTete') et de « Déplacement » ('marcheDepHoriz') sont séparés des comportements de « Vocalisation » ('ronronne') et de « Vigilance » ('inspection') par la variable « VeDBA_glisse2_min ». En effet, les comportements 'caresseTete' et 'marcheDepHoriz' sont plus énergétiques. Ces deux comportements se différencient ensuite par la variable « GrvX_cv ». Les comportements 'ronronne' et 'inspection' se distinguent dans un premier temps par la variable « VeDBA_cv » puis par la variable « RatioX_min » (Figure 7).

Tableau III. Matrice de confusion résumant la classification des unités de temps (UT) utilisées pour réaliser l'éthogramme d'accélération à l'aide de la méthode du CART à partir des données d'accélération issues des stations inertielles.

Les sommes des UT positives (P) et vraies (T) sont indiquées et les chiffres dans la diagonale indiquent les UT vraies et positives (TP). Les coefficients de pureté (P%) et de sensibilité (S%) sont calculés par comportement, ainsi qu'une mesure générale de la précision de l'éthogramme accélérométrique (mesure globale).

Prédites	Observées									Positives (P)
	consoProie Oiseau	consoProie Rongeur	mastiqueAli Dry	mastiqueAli Wet	flaire	inspection	marcheDep Horiz	caresseTete	ronronne	
consoProie Oiseau	87	18	5	12	27	22	21	0	1	193
consoProie Rongeur	5	85	2	12	14	14	11	0	2	145
mastiqueAli Dry	1	0	22	1	5	1	0	0	0	30
mastiqueAli Wet	9	0	4	33	4	1	0	0	0	51
flaire	11	12	22	26	116	11	12	0	0	210
inspection	3	3	7	4	9	137	7	4	35	209
marcheDep Horiz	1	0	3	0	2	28	63	9	2	108
caresseTete	0	0	0	0	0	5	4	40	2	51
ronronne	2	2	0	0	3	37	2	3	78	127
Vraies (T)	119	120	65	88	180	256	120	56	120	1124
Sensibilité (TP/T)	0.73	0.71	0.34	0.38	0.64	0.54	0.53	0.71	0.65	précision globale
Pureté (TP/P)	0.45	0.59	0.73	0.65	0.55	0.66	0.58	0.78	0.61	0.59

De manière générale, ces indices sont relativement élevés, pour les comportements 'consoProieRongeur' (P% = 0,59 ; S% = 0,71), 'ronronne' (P% = 0,61 ; S% = 0,65) et 'caresseTete' (P% = 0,78 ; S% = 0,71). Cela signifie que l'algorithme extrait correctement ces comportements et les confond peu avec d'autres. Les indices de sensibilité des comportements 'mastiqueAliDry' et 'mastiqueAliWet', respectivement de 0,34 et 0,38, sont quant à eux relativement faibles. La précision globale de cet éthogramme est de 0,59 (Tableau III).

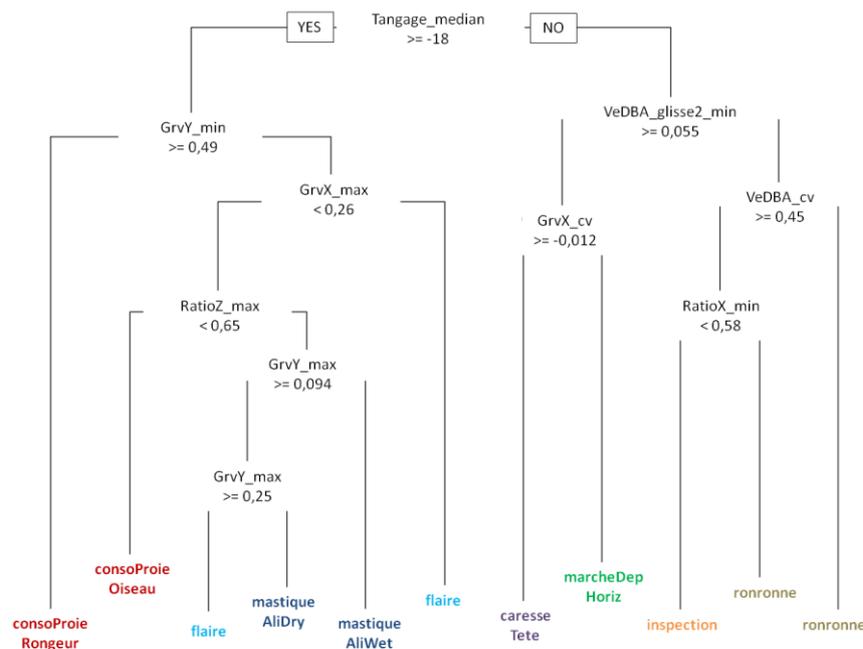


Figure 7. Arbre de classification établi par la méthode du CART à partir des données d'accélération issues des stations inertielles.

La règle mise en place avec cette approche pour discriminer les différents comportements est indiquée à chaque

nœud, ainsi que le seuil de la variable utilisée

2.2.2.2. Données issues des trois capteurs 3D de la station inertielle

L'arbre obtenu suite à l'ajout des variables associées au lacet et aux vitesses angulaires est similaire au précédent (Figures 7 et 8). Seuls le groupe des comportements liés à l'alimentation (« Recherche alimentaire », « Consommation d'aliments anthropiques ») et le comportement 'flaire' sont influencés par l'ajout de ces variables.

Les comportements de consommation d'aliments se séparent en deux sous-groupes de comportements grâce à la variable « Lacet_min ». Les comportements de « Recherche alimentaire » ('consoProieRongeur', 'consoProieOiseau') se différencient des comportements de « Consommation d'aliments anthropiques » ('mastiqueAliDry', 'mastiqueAliWet') et du comportement 'flaire' par une rotation minimale autour de l'axe Z plus importante. De même, le comportement 'consoProieOiseau' se distingue du comportement 'consoProieRongeur' premièrement par la variable « GrvY_min » puis par la variable « Lacet_min ». Le deuxième sous-groupe discrimine d'un côté le comportement 'mastiqueAliDry' et de l'autre le comportement 'mastiqueAliWet' par la variable « Lacet_max ». Le comportement 'mastiqueAliDry' est ensuite distingué des comportements 'flaire' et 'consoProieOiseau' par la variable « RatioZ_max ». Le comportement 'mastiqueAliWet' est discriminé du comportement 'flaire' dans un premier temps par la variable « GrvZ_max » puis par « GrvY_median » (Figure 8).

Tableau IV. Matrice de confusion résumant la classification des unités de temps (UT) utilisées pour réaliser l'éthogramme d'accélération à l'aide de la méthode du CART à partir des données issues des stations inertielles.

Les sommes des UT positives (P) et vraies (T) sont indiquées et les chiffres dans la diagonale indiquent les UT vraies et positives (TP). Les coefficients de pureté (P%) et de sensibilité (S%) sont calculés par comportement, ainsi qu'une mesure générale de la précision de l'éthogramme accélérométrique (mesure globale).

Prédites	Observées									Positives (P)
	consoProie Oiseau	consoProie Rongeur	mastiqueAli Dry	mastiqueAli Wet	flaire	inspection	marcheDep Horiz	caresseTete	ronronne	
consoProieOiseau	106	15	7	3	67	22	21	0	0	241
consoProieRongeur	0	100	0	0	13	10	4	0	0	127
mastiqueAliDry	4	0	41	7	4	1	0	0	0	57
mastiqueAliWet	0	0	0	43	6	6	10	0	2	67
flaire	3	0	7	31	76	10	9	0	1	137
inspection	3	3	7	4	9	137	7	4	35	209
marcheDepHoriz	1	0	3	0	2	28	63	9	2	108
caresseTete	0	0	0	0	0	5	4	40	2	51
ronronne	2	2	0	0	3	37	2	3	78	127
Vraies (T)	119	120	65	88	180	256	120	56	120	1124
Sensibilité (TP/T)	0,89	0,83	0,63	0,49	0,42	0,54	0,53	0,71	0,65	précision globale
Pureté (TP/P)	0,44	0,79	0,72	0,64	0,55	0,66	0,58	0,78	0,61	0,61

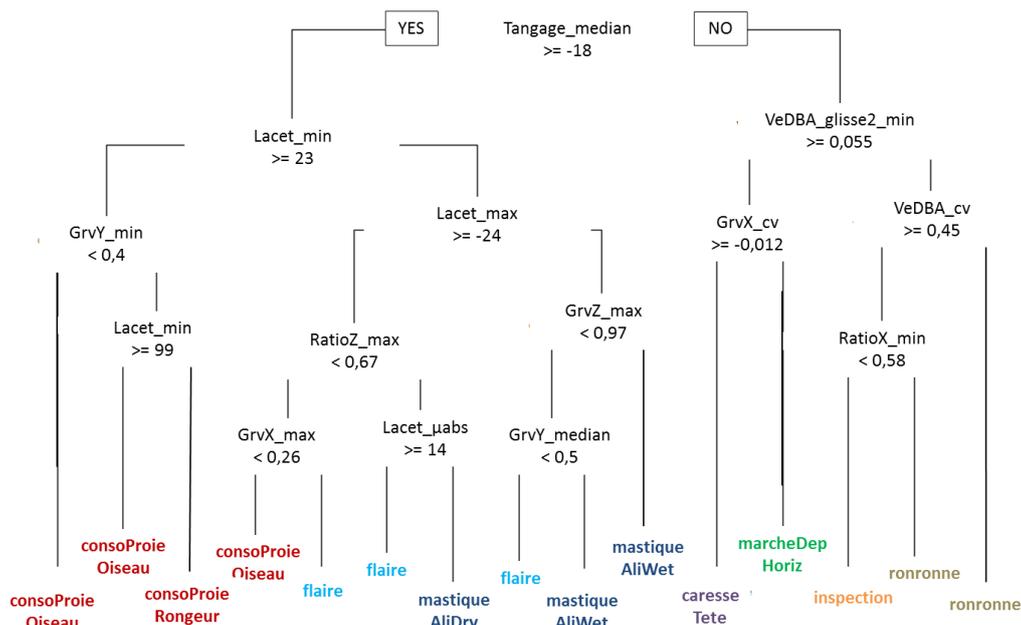


Figure 8. Arbre de classification établi par la méthode du CART à partir des données issues des stations inertielles.

La règle mise en place avec cette approche pour discriminer les différents comportements est indiquée à chaque nœud, ainsi que le seuil de la variable utilisée

Pour ce deuxième modèle, les indices de pureté et de sensibilité (Tableau IV) des comportements 'inspection', 'marcheDepHoriz', 'caresseTete' et 'ronronne' restent inchangés par rapport aux indices du modèle précédent (Tableau III). Cependant, les indices de sensibilité des comportements 'consoProieOiseau' (S% = 0,89), 'consoProieRongeur' (S% = 0,83), 'mastiqueAliDry' (S% = 0,63), et 'mastiqueAliWet' (S% = 0,49) ont augmenté. Les indices de pureté restent inchangés sauf pour le comportement 'consoProieRongeur' pour lequel la pureté augmente de 0,59 à 0,79. La précision globale de cet éthogramme est de 0,61 (Tableau IV).

2.2.3 Évaluation intra et interindividuelle du modèle complet

L'évaluation intra-individuelle révèle une sur-détection de la consommation de croquettes et de pâtée par le modèle (aucune occurrence observée contre trois prédites) (Figure 9). Cette sur-détection alloue 1,73% à la consommation de croquettes et 7,62% à la consommation de pâtée au budget-temps de cet individu à la place d'autres comportements. La consommation de rongeur est également surestimée (deux observées contre trois prédites). La sur-détection de consommation d'oiseau n'a pu être évaluée car l'individu A a consommé de l'oiseau à chaque fois (Figure 9).

L'évaluation interindividuelle révèle une sur-détection de la consommation des quatre types d'aliments pour les deux individus (Figure 9).

Pour l'individu B, les sur-détectons de consommation de croquettes (une occurrence observée contre quatre prédites), de consommation de pâtée (trois observées contre quatre prédites), de consommation d'oiseau (trois observées contre quatre prédites) et de consommation de rongeur (deux observées contre quatre prédites) correspondent,

respectivement, à 0,73%, 3,1%, 36% et 12% du budget temps de cet individu (Figure 9).

Pour l'individu E, les sur-détections de consommation de croquettes (deux occurrences observées contre quatre prédites), de consommation de pâtée (trois observées contre cinq prédites), de consommation d'oiseau (une observée contre cinq prédites) et de consommation de rongeur (une observée contre trois prédites) correspondent, respectivement, à 0,77%, 21,3%, 52,4% et 0,077% du budget temps de cet individu (Figure 9).

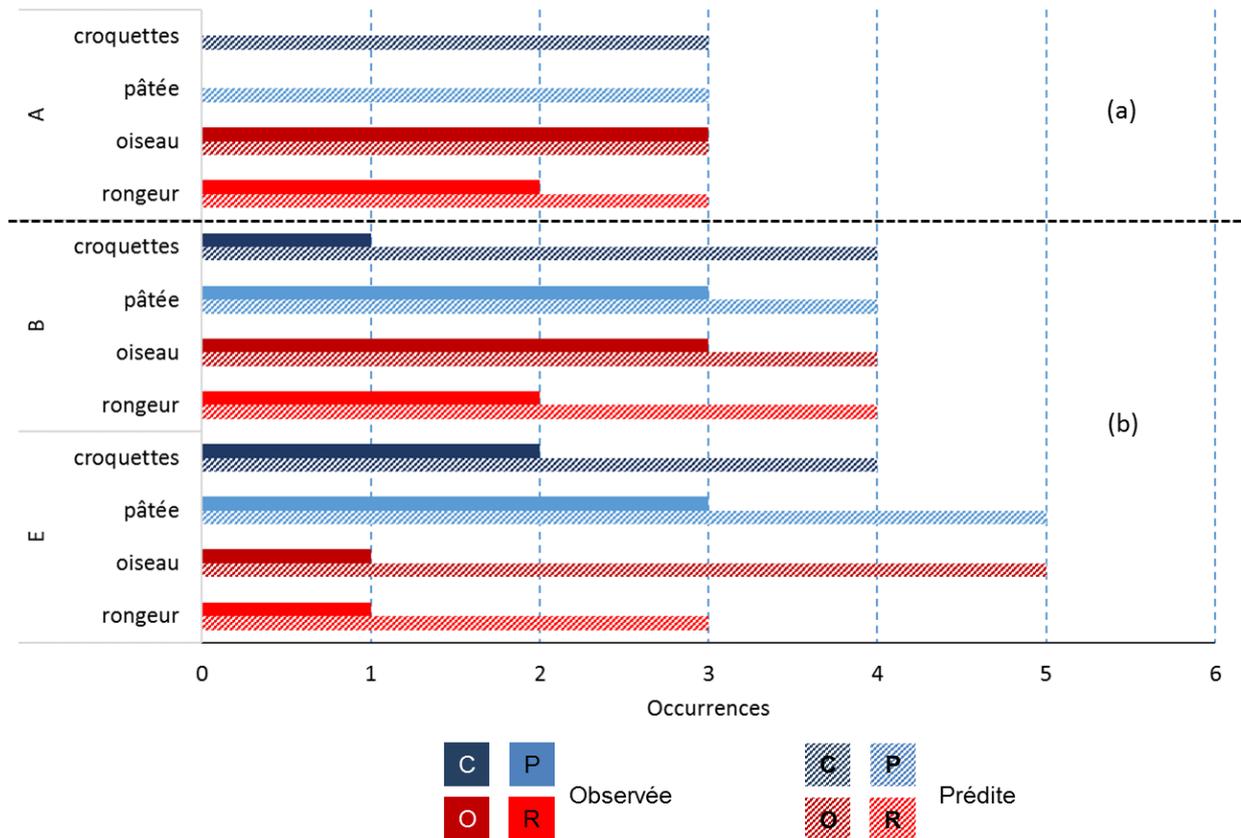


Figure 9. Occurrences des comportements d'alimentation observées et prédites par individu.

(a) Évaluation intra-individuelle : le modèle a été créé à partir des données issues de l'individu A et a été testé sur des données non-analysées du même individu ; (b) Évaluation interindividuelle : le modèle a été créé à partir des données issues de l'individu A et a été testé sur des données des individus B et E.

Discussion

Les trois modèles réalisés discriminent un total de 15 comportements différents, dix comportements pour le modèle issu de l'accéléromètre-3D 40Hz, et neuf comportements pour les deux autres modèles.

Ici, les individus ont été filmés pendant des séquences de consommation d'aliments et juste après. Nous ne nous sommes pas intéressés aux comportements de déplacement (trotte, galope), ni aux comportements liés à la recherche alimentaire ('se prépare au saut', 'marche d'approche lente', 'marche prospective'). Ainsi, les comportements discriminés et les modèles construits diffèrent de ceux de Watanabe et al. (2005) et de Forin-Wiart (2014). Dans leurs modèles, on remarque que les comportements 'marche' et 'se toilette' sont confondus mais à cause d'un nombre insuffisant de séquences pour le comportement 'se toilette' dans nos modèles, il est impossible de faire une comparaison ici.

Si l'on compare le modèle construit à partir des données issues de l'accéléromètre-3D 40Hz avec celui de Forin-Wiart (2014) (issus des mêmes accéléromètres-3D), on remarque que l'indice de précision globale est meilleur pour Forin-Wiart (2014) : 0,67 contre 0,41 pour notre modèle. De plus, bien que certains comportements ('flaire' et 'marche') aient des indices de pureté et de sensibilité similaires, les autres comportements communs ('statique', 'inspection') ont des indices plus élevés dans le modèle de Forin-Wiart (2014). Ceci peut s'expliquer premièrement par le nombre d'UT plus élevé utilisés pour la construction du modèle dans sa thèse (5891 UT) alors que dans notre cas, il n'y avait que 2646 UT. De plus, le degré de détail des comportements diffère entre les deux études : dans sa thèse, les comportements 'exploration dirigée' et 'exploration non-dirigée' ont été regroupés en 'Vigilance' alors qu'ici cette grande catégorie comportementale est plus détaillée ('inspectionAssis', 'inspectionCou', 'inspectionDeb').

Dans les trois modèles de cette étude, on remarque que certains comportements tels que 'flaire', 'consoProieOiseau' et 'inspectionAssis', apparaissent au bout de plusieurs branches. Ceci avait déjà été observé par Forin-Wiart (2014) pour les comportements 'consomme un rongeur' et 'vigilant'. Cela signifie que ces comportements présentent une grande variabilité. Les modèles ont donc besoin de plusieurs variables (et leurs seuils associés) pour les discriminer correctement et prendre en compte cette variabilité.

L'augmentation de la fréquence d'enregistrement semble importante pour améliorer les modèles prédictifs. En effet, l'amélioration de précision globale du modèle obtenu à partir des seules données issues des accéléromètres-3D, quand on passe de 40Hz à 100Hz (0,41 à 0,59) est vraisemblablement liée à cette augmentation de la fréquence d'enregistrement. De même, l'ajout des variables liées au lacet et aux vitesses angulaires quand on utilise la station inertielle a permis d'améliorer légèrement la précision du modèle (précision globale = 0,61), et surtout d'augmenter les valeurs de sensibilité associées aux comportements d'alimentation. Ce dernier modèle, complet, utilise effectivement quatre variables supplémentaires liées au lacet pour mieux discriminer cinq des comportements liés à l'alimentation ('consoProieRongeur', 'consoProieOiseau', 'mastiqueAliDry', 'mastiqueAliWet' et 'flaire'). Dans leur étude sur le retournement des œufs chez trois espèces d'oiseaux, Shaffer et al. (2014) ont montré que l'ajout d'un magnétomètre-3D, et donc des trois angles de rotation, permet une meilleure détection des événements de retournement d'œufs. De même, dans une étude sur des vautours (Condor des Andes *Vultur gryphus* et Vautour fauve *Gyps fulvus*), l'utilisation combinée d'un magnétomètre-3D et d'un accéléromètre-3D a permis d'identifier

plus facilement le « plané » (« *soaring flight type* ») en fournissant une meilleure résolution des mouvements (Williams et al., 2015). L'apport du lacet est semble-t-il, dans notre cas, comparable : lorsqu'un chat consomme une proie, il incline et tourne la tête de droite à gauche afin d'utiliser ses molaires carnassières pour broyer les os et déchiqueter la viande tandis que lorsqu'il consomme des aliments anthropiques, il garde la tête droite et la bouge peu.

Cependant, l'ajout de ces variables n'a pas permis une plus grande exhaustivité des comportements discriminés ni de détecter certains comportements faiblement énergétiques (ex. déglutit ou se lèche les babines). De même, la société SPF s'interrogeait sur la capacité des stations inertielles à détecter des interactions avec les humains (ex. déplacement avec la queue en l'air) et/ou avec des congénères (ex. toilettage d'un congénère). Cette distinction de comportements d'interactions serait, effectivement, intéressante pour étudier le comportement d'espèces solitaires forcées à vivre en groupe comme le Chat domestique (à la maison ou dans les refuges). Pour l'instant, l'utilisation d'outils cinématiques ne semble pas en mesure de discriminer de telles subtilités mais l'ajout d'un microphone pourrait permettre de détecter ce type de comportements, souvent accompagnés de vocalisations (miaulement, feulement, grognement).

Les évaluations intra et interindividuelles du modèle complet mettent en évidence que lorsqu'un comportement d'alimentation est observé, le modèle le détecte. Cependant, il prédit également des consommations d'aliments qui n'ont pas été observées (faux-positifs). Il y a donc un problème de sur-détection.

D'après la matrice de confusion du modèle complet (Tableau IV), le comportement 'consoProieOiseau' a un indice de pureté assez faible ($P\% = 0,44$). En effet, il est majoritairement confondu avec le comportement 'flaire', ce qui était déjà rapporté par Forin-Wiart (2014). L'ajout d'un microphone pourrait, là aussi, permettre de mieux discriminer ces comportements. De même, le comportement de 'consoProieOiseau' est confondu avec le comportement 'marcheDepHoriz'. Le fait que les variables quantifiant l'énergie du mouvement comme par exemple la VeDBA (Qasem et al., 2012), ne permettent pas ici de différencier la marche de la consommation montre une des limites de l'approche. En effet, la corrélation observée entre les variations de VeDBA et de la dépense énergétique suppose que les capteurs soient placés au centre de gravité du vecteur (ici le chat) en déplacement (Qasem et al., 2012). La station placée au niveau du cou de l'animal détecte des mouvements locaux qui sont amplifiés par rapport à d'autres comportements plus énergétiques en théorie (déplacements), ce que nous recherchions pour distinguer certains détails liés à la consommation de proies et d'aliments d'origine anthropique. L'ajout d'un accéléromètre-3D fixé à un harnais permettrait certainement de distinguer plus facilement marche et mastication, puisque les signaux provenant du dos signeraient l'état statique de l'individu pendant les phases d'alimentation. Une autre approche sans doute moins onéreuse et moins contraignante pour le chat serait d'approfondir l'étude des fréquences d'oscillations pendant les comportements cycliques, tels la locomotion, la mastication ou même le ronronnement (Forin-Wiart, 2014).

Par ailleurs, tous les comportements ne sont pas identifiés par le modèle (ex. trotte ou lèche une proie). Or le logiciel Bio-logging, via le modèle, assigne toutes les UT à l'un des neuf comportements du modèle ce qui peut expliquer certains faux-positifs (ex. 'trotte' sera assigné à 'consoProieOiseau').

Les évaluations interindividuelles semblent montrer une baisse d'efficacité du modèle à discriminer les comportements d'alimentation lorsque ce dernier est appliqué à des individus dont les données n'ont pas servi à l'entraîner. Cela rejoint les résultats de Fehlmann (2012)

qui a remarqué une variation individuelle dans la réalisation de certains comportements chez deux blaireaux. De même, Gerencsér et al. (2013) en réalisant un éthogramme sur deux races de chien (Malinois et Labrador) concluent que tant la variabilité interindividuelle que la variabilité inter-race affecte l'efficacité du modèle. Ce modèle pourrait être amélioré en augmentant le nombre d'individus constitutifs du jeu de données de référence, et en proposant un compromis entre individus pour fixer les seuils des variables. Ainsi, cela permettrait d'obtenir plus de séquences par comportements (intéressant pour les comportements rares) et de prendre en compte, dans une certaine mesure, la variabilité interindividuelle.

Il est important de rappeler que l'utilisation d'accéléromètres, de magnétomètres et de gyromètres pour étudier le comportement des animaux est une méthode relativement nouvelle. Elle est encore en cours d'adaptation et les outils d'analyse sont en cours d'acquisition. Pour exemple, pendant mon stage, le logiciel Bio-Logging, qui m'a permis de découper finement les comportements et de calculer les statistiques descriptives a été amélioré au fur et à mesure des mois, et il est toujours en cours de développement. De même, les stations inertielles Xsens utilisées dans cette étude ne sont disponibles actuellement qu'en version Beta. Par ailleurs, elles ne peuvent actuellement être déployées, ni sur des individus libres de leurs déplacements (distance maximale de télétransmission en direct des données de 25-50m), ni pour des durées de suivis de plus de sept heures. De plus, il s'agit d'une approche complexe et qui demande beaucoup de temps (codage vidéo à 0,5s) pour obtenir suffisamment de données pour réaliser des modèles applicables *in situ*. Malheureusement ce type d'éthogramme n'est pas réalisable en six mois.

Toutefois, différentes pistes peuvent être apportées afin d'améliorer cet éthogramme accélérométrique. La première serait de créer un modèle à partir d'une population possédant une large variabilité phénotypique afin de tester différentes variables et seuils associés pour adapter le modèle selon la morphologie (stature, longueur des membres), le tempérament (calme vs. hyperactif) ou encore le niveau d'énergie de base de l'individu (seuil VeDBA inactif/actif). En effet, on peut s'attendre à ce que la composante majeure d'un comportement reste inchangée d'un individu à un autre mais que les seuils des variables descriptives retenues à un ou plusieurs nœuds de l'arbre établi soient à ajuster. Il serait également intéressant de prendre en compte l'âge (ex. un jeune chat joue plus qu'un chat âgé), le sexe, le statut reproducteur ou encore la sous-population à laquelle appartient l'individu (ex. un chat de ferme a moins d'interactions avec l'Homme qu'un chat de propriétaire). Une dernière caractéristique physique qu'il serait intéressant de tester est la morphologie crânienne. Effectivement, si la majorité des races de chats actuelles ont gardé une morphologie crânienne proche de leur ancêtre (Yamaguchi et al., 2004), certaines races ont des morphologies très différentes, par exemple les chats de race Persan ont un crâne brachycéphale (« nez écrasé ») ou les chats de race Oriental ont une mâchoire très étroite et allongée. Ces modifications peuvent créer des variations importantes dans la façon dont ils vont consommer un aliment.

Une seconde piste d'amélioration serait d'utiliser un algorithme différent du CART. En effet, Resheff et al. (2014) montrent dans leur étude, qui compare sept méthodes différentes pour discriminer des comportements à partir de données issues d'accéléromètres, que la méthode du Random Forest est la plus efficace. Elle utilise un algorithme similaire à celui du CART cependant, au lieu de créer un arbre de décision binaires unique, cette méthode en génère une multitude (forêt). Le modèle final correspond alors à la moyenne des arbres générés (Breiman, 2001). Nous n'avons pas opté ici pour cette méthode qui requiert un nombre important de séquences par comportement. La force de notre approche est de pouvoir

compter sur un très grand nombre de variables descriptives, 210 différentes, or si chaque variable avait été testée dix fois, il aurait fallu construire 2100 arbres, or nous n'avons que 2600 UT disponibles. Le modèle aurait été amélioré, grâce à la puissance de l'analyse due aux répétitions, mais cette amélioration ne correspondrait pas à une meilleure discrimination des comportements.

Enfin, une dernière façon d'améliorer le modèle serait de pouvoir identifier des comportements complexes, c'est-à-dire des comportements, comme la chasse, issus de l'association de plusieurs comportements unitaires. Forin-Wiart (2014) suggérait l'utilisation de modèles de Markov cachés (Hidden Markov Models) qui suppose que dans un comportement complexe, chaque étape de ce comportement (comportements unitaires) est dépendant de l'étape précédente (Dean et al., 2012). Toutefois, on peut se demander si, même avec les 'modèles cachés de Markov', il sera possible de différencier des événements de jeux avec une proie des événements de chasse ratée (proie non tuée, enfuie). En effet, d'après Biben (1979) les comportements de jeu et de chasse sont très proches et positivement corrélés, la différence étant qu'à la fin de la chasse, la proie est morte. De même, si la consommation est considérée comme la dernière étape d'une séquence de chasse par le modèle, pourrait-il identifier des séquences de chasse où la proie n'est pas consommée, soit à cause d'un manque d'appétence, soit délaissée pour être consommée plus tard ?

Conclusion

À long terme, cet outil pourrait permettre d'estimer le budget-temps de l'individu équipé, son effort de capture et son taux de prédation voir d'étudier son biorythme alimentaire. Par exemple, il serait possible de vérifier si les chats chassent à une période particulière de la journée ou si leurs habitudes de chasse changent au cours de l'année comme le montrent Goszczyński et al. (2009) et Forin-Wiart (2014). Par ailleurs, le relevé du taux de prédation, combiné à des données sur le régime alimentaire des chats, leur dynamique de population et celle des espèces proies, pourraient permettre d'estimer l'impact de la prédation exercée par les chats domestiques. Ainsi, cet outil pourrait s'associer à ceux déjà utilisés afin d'identifier des mesures de conservation efficaces pour diminuer l'impact de la prédation exercée par les chats. Si un profil type de chat plus chasseur ou spécialisé se dégagait, des actions de prévention pourraient se concentrer sur cette catégorie de chats plutôt que sur la population entière. Les résultats de Moseby et al. (2015) suggèrent que les grands chats mâles de 3,5kg ou plus seraient plus chasseurs que les autres chats. Également, en utilisant les données issues des stations inertielles ou en combinant l'éthogramme avec un GPS, afin de connaître à la fois le parcours du chat équipé et la fréquence d'occurrences de comportements (actospatialité), il serait possible d'identifier des zones de chasse privilégiées. Si ces zones correspondent à des réserves naturelles ou des zones où vivent des espèces proies menacées, elles pourraient être interdites aux chats comme cela se fait en Nouvelle-Zélande par exemple (Metsers et al., 2010).

Bibliographie

Artois, M., Duchene, M.-J., Pericard, J., and Xemar, V. (2002) *Le chat domestique errant ou haret. Encyclopédie des carnivores de France n°18*. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères.

Barratt, D. G. (1997) Predation by House Cats, *Felis catus* (L.), in Canberra, Australia. I. Prey Composition and Preference. *Wildlife Research* 24(3): 263.

Biben, M. (1979) Predation and predatory play behaviour of domestic cats. *Animal Behaviour* 27(PART 1): 81–94.

Blancher, P. (2013) Estimated number of birds killed by house cats (*Felis catus*) in Canada. *Avian Conservation and Ecology* 8(2): 3.

Boyd, I. L., Kato, A., and Ropert-Coudert, Y. (2004) Bio-logging science: sensing beyond the boundaries. *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue* 58(March 2003): 1–14.

Bradshaw, J. W. S., Brown, S. L., Cook, S. E., Durman, K. J., Feldman, H. N., Kerby, G., McDonald, D. W., and McCune, S. (1995) *An ethogram for behavioural studies of the domestic cat (Felis silvestris catus L.)*. Wheathampstead, England.

Breiman, L. (2001) Random forests. *Machine Learning*.

Brook, B. W., Sodhi, N. S., and Bradshaw, C. J. A. (2008) Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution* 23(8): 453–460.

Carroll, G., Slip, D., Jonsen, I., and Harcourt, R. (2014) Supervised accelerometry analysis can identify prey capture by penguins at sea. *The Journal of experimental biology* 217(Pt 24): 4295–302.

Corbett, L. K. (1979) Feeding Ecology and Social Organisation of Wildcats (*Felis Silvestris*) and Domestic Cats (*Felis Catus*) In Scotland. PhD thesis, University of Aberdeen, Scotland. 295p.

Dean, B., Freeman, R., Kirk, H., Leonard, K., Phillips, R. A., Perrins, C. M., and Guilford, T. (2012) Behavioural mapping of a pelagic seabird: combining multiple sensors and a hidden Markov model reveals the distribution of at-sea behaviour. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society* : 12.

Driscoll, C. A., Macdonald, D. W., and O'Brien, S. J. (2009) From wild animals to domestic pets, an evolutionary view of domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 Suppl(Supplement_1): 9971–8.

Dunn, R. R., Harris, N. C., Colwell, R. K., Koh, L. P., and Sodhi, N. S. (2009) The sixth mass coextinction: are most endangered species parasites and mutualists? *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 276(1670): 3037–45.

Elbroch, L. M., and Wittmer, H. U. (2013) The effects of puma prey selection and specialization on less abundant prey in Patagonia. *Journal of Mammalogy* 94(2): 259–268.

Fehlmann, G. (2012) *Budget-temps et utilisation du paysage chez le Blaireau d'Europe*. Master Écophysiologie et éthologie. Université de Strasbourg. 22p

Forin-Wiart, M.-A. (2014) *Identification des facteurs de variation de la prédation exercée par les chats domestiques (Felis silvestris catus) en milieu rural*. Doctorat Biologie des populations et écologie. Université de Reims Champagne-Ardenne. 150p

Fourati, H. (2010) *Contributions à l'estimation d'attitude chez l'animal ou l'homme par fusion de données inertielles et magnétiques : de la reconstitution de la posture vers la navigation à l'estime : une application au bio-logging*. Doctorat Mathématiques, Sciences de l'information et de l'ingénieur. Université de Strasbourg. 149p.

Fourati, H., Manamanni, N., Afilal, L., and Handrich, Y. (2011) Posture and body acceleration tracking by inertial and magnetic sensing: Application in behavioral analysis of free-ranging animals. *Biomedical Signal Processing and Control* 6(1): 94–104.

Friard, O., and Gamba, M. (2016) BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution* : n/a-n/a.

Gerencsér, L., Vásárhelyi, G., Nagy, M., Vicsek, T., and Miklósi, A. (2013) Identification of Behaviour in Freely Moving Dogs (Canis familiaris) Using Inertial Sensors. *PLoS ONE* 8(10): 1–14.

Goszczyński, J., Krauze, D., and Gryz, J. (2009) Activity and exploration range of house cats in rural areas of central Poland. *Folia Zoologica* 58(4): 363–371.

Graf, P. M., Wilson, R. P., Qasem, L., Hackländer, K., and Rosell, F. (2015) The use of acceleration to code for animal behaviours; a case study in free-ranging Eurasian beavers *Castor fiber*. *PLoS ONE* 10(8): 1–17.

Halsey, L. G., Shepard, E. L. C., and Wilson, R. P. (2011) Assessing the development and application of the accelerometry technique for estimating energy expenditure. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* 158(3): 305–314.

Hiby, E., Eckman, H., and MacFarlane, I. (2014) Cat population management. In Turner, D. C. and Bateson, P. (Eds.), *The Domestic Cat: The Biology of Its Behaviour the 3rd Edition* (Cambridge). Cambridge.

Iki, T., Ahrens, F., Pasche, K. H., Bartels, A., and Erhard, M. H. (2011) Relationships between scores of the feline temperament profile and behavioural and adrenocortical responses to a mild stressor in cats. *Applied Animal Behaviour Science* 132(1–2): 71–80.

Kays, R. W., and DeWan, A. A. (2004) Ecological impact of inside/outside house cats around a suburban nature preserve. *Animal Conservation* 7(3): 273–283.

Kitts-Morgan, S. E. (2015) COMPANION ANIMALS SYMPOSIUM: Sustainable ecosystems: Domestic cats and their effect on wildlife populations. *Journal of Animal Science* 93(March): 848–859.

Krauss, J., Bommarco, R., Guardiola, M., Heikkinen, R. K., Helm, A., Kuussaari, M., Lindborg, R., Päckinger, E., Pärtel, M., Pino, J., Pöyry, J., Raatikainen, K. M.,

Sang, A., Stefanescu, C., Teder, T., Zobel, M., and Steffan-Dewenter, I. (2010) Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecology Letters* 13(5): 597–605.

Krauze-Gryz, D., Gryz, J. B., Goszczyński, J., Chylarecki, P., and Zmihorski, M. (2012) The good, the bad, and the ugly: space use and intraguild interactions among three opportunistic predators—cat (*Felis catus*), dog (*Canis lupus familiaris*), and red fox (*Vulpes vulpes*)—under human pressure. *Canadian Journal of Zoology* 90(12): 1402–1413.

Krauze-Gryz, D., Gryz, J., and Goszczyński, J. (2012) Predation by domestic cats in rural areas of central Poland: an assessment based on two methods. (Hayssen, V., Ed.) *Journal of Zoology* 288(4): 260–266.

Leyhausen, P. (1979) *Cat Behavior: The Predatory and Social Behavior of Domestic and Wild Cats*. (Garland Pu.). New York: Garland Publishing, Inc.

Liberg, O., Sandell, M., Pontier, D., and Natoli, E. (2000) Density, spatial organisation and reproductive tactics in the domestic cat and other felids. In Turner, D. C. and Bateson, P. (Eds.), *The Domestic Cat: The Biology of Its Behaviour the 2nd Edition*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., and De Poorter, M. (2000) 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. *Published by The Invasive Species Specialist Group ISSG a specialist group of the Species Survival Commission SSC of the World Conservation Union IUCN 12pp First published as special liftout in Aliens* 12(3): 12.

Loyd, K. A. T., Hernandez, S. M., Carroll, J. P., Abernathy, K. J., and Marshall, G. J. (2013) Quantifying free-roaming domestic cat predation using animal-borne video cameras. *BIOLOGICAL CONSERVATION* 160: 183–189.

McClune, D. W., Marks, N. J., Wilson, R. P., Houghton, J. D., Montgomery, I. W., McGowan, N. E., Gormley, E., and Scantlebury, M. (2014) Tri-axial accelerometers quantify behaviour in the Eurasian badger (*Meles meles*): towards an automated interpretation of field data. *Animal Biotelemetry* 2(1): 5.

Metsers, E. M., Seddon, P. J., and Van Heezik, Y. M. (2010) Cat-exclusion zones in rural and urban-fringe landscapes: How large would they have to be? *Wildlife Research* 37(1): 47–56.

Miwa, M., Oishi, K., Nakagawa, Y., Maeno, H., Anzai, H., Kumagai, H., Okano, K., Tobioka, H., and Hirooka, H. (2015) Application of overall dynamic body acceleration as a proxy for estimating the energy expenditure of grazing farm animals: Relationship with heart rate. *PLoS ONE* 10(6): 1–19.

Moseby, K. E., Peacock, D. E., and Read, J. L. (2015) Catastrophic cat predation: A call for predator profiling in wildlife protection programs. *Biological Conservation* 191: 331–340.

Nathan, R., Spiegel, O., Fortmann-Roe, S., Harel, R., Wikelski, M., and Getz, W. M. (2012) Using tri-axial acceleration data to identify behavioral modes of free-ranging animals: general concepts and tools illustrated for griffon vultures. *The Journal of experimental biology* 215(Pt 6): 986–96.

Nelson, S. H., Evans, A. D., and Bradbury, R. B. (2005) The efficacy of collar-mounted devices in reducing the rate of predation of wildlife by domestic cats. *Applied*

Animal Behaviour Science 94(3–4): 273–285.

Patronek, G. J. (1998) Free-roaming and feral cats - their impact on wildlife and human beings. *Veterinary Medicine Today: Special Report* 212(2): 218–226.

Qasem, L., Cardew, A., Wilson, A., Griffiths, I., Halsey, L. G., Shepard, E. L. C., Gleiss, A. C., and Wilson, R. (2012) Tri-axial dynamic acceleration as a proxy for animal energy expenditure; should we be summing values or calculating the vector? *PLoS ONE* 7(2).

Resheff, Y. S., Rotics, S., Harel, R., Spiegel, O., and Nathan, R. (2014) AcceleRater: a web application for supervised learning of behavioral modes from acceleration measurements. *Movement Ecology* 2(27): 1–7.

Ruxton, G., Thomas, S., and Wright, J. (2002) Bells reduce predation of wildlife by domestic cats (*Felis catus*). *Journal of Zoology* 256(1): 81–83.

Sakamoto, K. Q., Sato, K., Ishizuka, M., Watanuki, Y., Takahashi, A., Daunt, F., and Wanless, S. (2009) Can ethograms be automatically generated using body acceleration data from free-ranging birds? *PLoS ONE* 4(4).

Say, L., Gaillard, J.-M., and Pontier, D. (2002) Spatio-temporal variation in cat population density in a sub-Antarctic environment. *Polar Biology* 25(2): 90–95.

Serpell, J. A. (2014) Domestication and history of the cat. In Turner, D. C. and Bateson, P. (Eds.), *The Domestic Cat: The Biology of Its Behaviour the 3rd Edition* (Cambridge). Cambridge: Cambridge University Press.

Shaffer, S. A., Clatterbuck, C. A., Kelsey, E. C., Naiman, A. D., Young, L. C., VanderWerf, E. A., Warzybok, P., Bradley, R., Jahncke, J., and Bower, G. C. (2014) As the egg turns: Monitoring egg attendance behavior in wild birds using novel data logging technology. *PLoS ONE* 9(6): 1–8.

Siegford, J. M., Walshaw, S. O., Brunner, P., and Zanella, A. J. (2003) Validation of a temperament test for domestic cats. *Anthrozoös* (16): 332–351.

Sofres, T. N. S. (2014) Nouvelle enquête FACCO / TNS SOFRES : Le chat poursuit sa progression au sein des foyers français. : 7–9.

Soltis, J., Wilson, R. P., Douglas-Hamilton, I., Vollrath, F., King, L. E., and Savage, A. (2012) Accelerometers in collars identify behavioral states in captive African elephants *Loxodonta Africana*. *Endangered Species Research* 18(3): 255–263.

Spotte, S. (2014) Foraging. In *Free-Ranging Cats: Behavior, Ecology, Management* (Wiley Blac.).

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W. H., Simberloff, D., and Swackhamer, D. (2001) Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science (New York, N.Y.)* 292(5515): 281–284.

Turner, D. C. (2014) Social organisation and behavioural ecology of free-ranging domestic cats. In Turner, D. C. and Bateson, P. (Eds.), *The Domestic Cat: The Biology of Its Behaviour the 3rd Edition* (Cambridge). Cambridge.

Vigne, J.-D., and Guilaine, J. (2004) Les premiers animaux de compagnie, 8500

ans avant notre ère ? ... ou comment j'ai mangé mon chat, mon chien et mon renard. *Anthropozoologica* 39(1): 249–273.

Viviant, M., Trites, A. W., Rosen, D. A. S., Monestiez, P., and Guinet, C. (2009) Prey capture attempts can be detected in Stellar sea lions and other marine predators using accelerometers. *Polar Biology* 33: 713–719.

Volpov, B. L., Hoskins, A. J., Battaile, B. C., Viviant, M., Wheatley, K. E., Marshall, G., Abernathy, K., and Arnould, J. P. Y. (2015) Identification of Prey Captures in Australian Fur Seals (*Arctocephalus pusillus doriferus*) Using Head-Mounted Accelerometers: Field Validation with Animal-Borne Video Cameras. *PLoS one* 10(6): e0128789.

Wang, Y., Nickel, B., Rutishauser, M., Bryce, C., Williams, T., Elkaim, G., and Wilmers, C. (2015) Movement, resting, and attack behaviors of wild pumas are revealed by tri-axial accelerometer measurements. *Movement Ecology* 3(1): 2.

Watanabe, S., Izawa, M., Kato, A., Ropert-Coudert, Y., and Naito, Y. (2005) A new technique for monitoring the detailed behaviour of terrestrial animals: A case study with the domestic cat. *Applied Animal Behaviour Science* 94(1–2): 117–131.

Williams, H. J., Shepard, E. L. C., Duriez, O., and Lambertucci, S. A. (2015) Can accelerometry be used to distinguish between flight types in soaring birds? *Animal Biotelemetry* 3(1): 45.

Wilson, R. P., and McMahon, C. R. (2006) Measuring devices on wild animals: what constitutes acceptable practice ? *Frontiers in Ecology and Environment* 4(3): 147–154.

Wilson, R. P., Quintana, F., and Hobson, V. J. (2012) Construction of energy landscapes can clarify the movement and distribution of foraging animals. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 279(1730): 975–80.

Woods, M., McDonald, R. A., Phen, S. T. E., and Ris, H. A. R. (2003) Predation of wildlife by domestic cats *Felis catus* in Great Britain. 33(2): 174–188.

Wright, S., Metcalfe, J. D., Hetherington, S., and Wilson, R. (2014) Estimating activity-specific energy expenditure in a teleost fish, using accelerometer loggers. *Marine Ecology Progress Series* 496: 19–32.

Yamaguchi, N., Driscoll, C. A., Kitchener, A. C., Ward, J. M., and Macdonald, D. W. (2004) Craniological differentiation between European wildcats (*Felis silvestris silvestris*), African wildcats (*F. s. lybica*) and Asian wildcats (*F. s. ornata*): Implications for their evolution and conservation. *Biological Journal of the Linnean Society* 83(1): 47–63.

Yoda, K., Naito, Y., Sato, K., Takahashi, A., Nishikawa, J., Ropert-Coudert, Y., Kurita, M., and Maho, Y. Le (2001) A new technique for monitoring the behaviour of free-ranging Adelie penguins. *Journal of Experimental Biology* 204(4): 685–690.

Annexes

Annexe 1 – Éthogramme basé sur les travaux de Bradshaw et al. (1995) et de Leyhausen (1979) issu de Forin-Wiart (2014)

Annexe 2 – Nombre de séquences comportementales (n), durée moyennes en secondes (μ) pour l'individu A, lors du suivi de mai 2012 (moyenne \pm ET)

Annexe 3 – Nombre de séquences comportementales (n), durée moyennes en secondes (μ) pour l'individu A, lors du suivi de juillet 2016 (moyenne \pm ET)

Annexe 1 – Éthogramme basé sur les travaux de Bradshaw et al. (1995) et de Leyhausen (1979) issu de Forin-Wiart (2014)

Grandes Catégories Comportementales	Items	Sous-items 1	Sous-items 2	Description
Déplacement	marcheDep	marcheDepHoriz	marcheDepHorizTailU	allure à 4 temps, cyclique, rectiligne d'un point A vers un point B sur un plan horizontal, queue en l'air
			marcheDepHorizTailD	idem sur un plan horizontal, queue basse
		marcheDepUp	marcheDepUpTailU	idem sur un plan montant, queue en l'air
			marcheDepUpTailD	idem sur un plan montant, queue basse
		marcheDepDown	marcheDepDownTailU	idem sur un plan descendant, queue en l'air
			marcheDepDownTailD	idem sur un plan descendant, queue basse
	marcheTrotte	marcheTrotteHoriz	marcheTrotteHorizTailU	intermédiaire entre la marche et le trot, sur un plan horizontal, queue en l'air
			marcheTrotteHorizTailD	idem, queue basse
		marcheTrotteUp	marcheTrotteUpTailU	idem, sur un plan montant, queue en l'air
			marcheTrotteUpTailD	idem sur un plan montant, queue basse
		marcheTrotteDown	marcheTrotteDownTailU	idem sur un plan descendant, queue en l'air
			marcheTrotteDownTailD	idem, sur un plan descendant, queue basse
	recule	reculeProieGueule		mouvement vers l'arrière, avec une proie dans la gueule
		reculeTreat		mouvement vers l'arrière
		reculeDry		mouvement vers l'arrière
		reculeWet		mouvement vers l'arrière
	tourneSurLui	tourneSurLuiDroite		
		tourneSurLuiGauche		
	trotte	trotteHoriz	trotteHorizTailU	allure à 2 temps, cyclique, rectiligne d'un point A vers un point B sur un plan horizontal, queue en l'air
			trotteHorizTailD	idem sur un plan horizontal, queue basse
		trotteUp	trotteUpTailU	idem sur un plan montant, queue en l'air
			trotteUpTailD	idem sur un plan montant, queue basse
		trotteDown	trotteDownTailU	idem sur un plan descendant, queue en l'air
			trotteDownTailD	idem sur un plan descendant, queue basse
	trotteGalope	trotGalopeHoriz		intermédiaire entre le trot et le galop, sur un plan horizontal
		trotGalopeUp		idem, sur un plan montant
		trotGalopeDown		idem, sur un plan descendant
	galop	galopHoriz		allure à 4 temps, cyclique, rectiligne d'un point A vers un point B, sur un plan horizontal
		galopUp		idem, sur un plan montant
		galopDown		idem, sur un plan descendant
	prepSaut	prepSautHoriz		moment de compression avant un saut horizontal, se ratatine sur lui-même
		prepSautVert		idem avant un saut vertical
saute	sauteHoriz		saute à l'horizontal	
	sauteVert		saute à la verticale (ex. pour monter sur un meuble)	
	sauteLateral		saute sur le côté	
grimpe	grimpeUp		monte sur un arbre/perchoir, à l'aide de ses griffes	
	grimpeDown		descend d'un arbre/perchoir	
monteSur			montée sur un support avec passage des antérieurs puis des postérieurs, rupture de mouvement pouvant comprendre Flaire entre	
descendDe			idem en descente	
Statique	statiqueDeb		immobile, ne dors pas donc yeux +/- fermés avec mouvement des oreilles = etended look-out / affut, Debout	
	statiqueAssis		idem, Assis	
	statiqueCou		idem, Couché	
Vigilance	inspectionDeb		END (exploration non-dirigée), inspection de l'environnement/alentours sans "but précis", possible association avec flaire, Debout	
	inspectionAssis		idem, Assis	
	inspectionCou		idem, Couché	

Annexe 1 – Éthogramme (suite)

Grandes Catégories Comportementales	Items	Sous-items 1	Sous-items 2	Description
Repos	reposSphinx			dors, sphinx = tête dans le prolongement du corps, pattes avant repliées sous lui
	reposRoll			dors
	reposOnSide			dors
	reposOnBack			dors
Recherche alimentaire	marcheForaging	marcheForagingProsp	marcheForagingProspHoriz	cyclique, plus lente que déplacement, tête plus basse, nombreux changements de direction = exploratoire, sur un plan horizontal
			marcheForagingProspUp	idem, sur un plan montant
			marcheForagingProspDown	idem, sur un plan descendant
		marcheForagingApprL	marcheForagingApprLHoriz	acyclique, très lente avec beaucoup de temps de plus ou moins pause, pose 1 patte après 1 patte de façon précautionneuse, dirigée vers la proie
			marcheForagingApprLUp	idem, sur un plan montant
			marcheForagingApprLDown	idem, sur un plan descendant
		marcheForagingApprR	marcheForagingApprRHoriz	plus ou moins course sur quelques pas vers la proie, mouvements très rapides de l'arrière train
			marcheForagingApprRUp	idem, sur un plan montant
			marcheForagingApprRDown	idem, sur un plan descendant
	bougeTete	bougeTeteHoriz	bougeTeteHorizAssis	mouvement très rapide de la tête à l'horizontale, Assis
			bougeTeteHorizDeb	idem, Debout
			bougeTeteHorizCou	idem, Couché
		bougeTeteVert	bougeTeteVertAssis	idem, à la verticale, Assis
			bougeTeteVertDeb	idem, Debout
			bougeTeteVertCou	idem, Couché
	watchingPost			immobilité, peut avoir un antérieur relevé = "arrêt"
	prepBond			mise en tension du corps, mouvements rapides et saccadés de la queue, mouvements haut-bas de l'arrière train
	bond	bondVert		caractéristique de mulotage, associe le bond et l'arrivée sur la proie avec les pattes avant (assome) + morsure (étouffe), vertical
			bondHoriz	idem, horizontal
	coupPatte	coupPatteBas		coups d'une patte avant, répétés/cycliques envers une proie au sol = tapping
			coupPatteAHauteur	idem, à hauteur
			coupPatteHaut	idem, en haut
	lanceProie			jeu avec la proie, souvent associé à coupPatte
	proieGueule	proieGueuleMarche		tient la proie en gueule, marche
			proieGueuleDeb	idem, Debout
			proieGueuleAssis	idem, Assis
	consoProie	consoProieRongeur		déchiquète, mouvements de tête gauche-droite pour utiliser les molaires, proie = rongeur
			consoProieOiseau	idem, proie = oiseau
	mastiqueProie	mastiqueProieRongeur		tête droite, cyclique, utilisation des molaires, mouvements d'ouverture de la gueule plus ample que pour les aliments, proie = rongeur
			mastiqueProieOiseau	idem, proie = oiseau
	secoueProie	secoueProieRongeur		secoue vigoureusement la tête, mouvements horizontaux pour retirer plumes/poils pendant la consommation, proie = rongeur
			secoueProieOiseau	idem, proie = oiseau
	tireEntrailles	tireEntraillesRongeur		prend appui avec une patte avant sur la proie, tire sur les entrailles, proie = rongeur
			tireEntraillesOiseau	idem, proie = oiseau
	lecheProie	lecheProieRongeur		tête horizontale, proie = rongeur
			lecheProieOiseau	idem, proie = oiseau
	mordProie	mordProieRongeur		morsure, peut être associée à grognement, proie = rongeur
			mordProieOiseau	idem, proie = oiseau

Annexe 1 – Éthogramme (suite)

Grandes Catégories Comportementales	Items	Sous-items 1	Sous-items 2	Description
Alimentation	mastiqueAli	mastiqueAliDry		tête horizontale, consomme des croquettes (= dry)
		mastiqueAliWet		idem, aliment = pâtee (= wet)
		mastiqueAliTreat		idem, aliment = friandise (= treat)
		mastiqueAliOther		idem, aliment = autres (restes de table)
	lecheAli	lecheAliDry		tête horizontale, consomme des croquettes (= dry)
		lecheAliWet		idem, aliment = pâtee (= wet)
		lecheAliTreat		idem, aliment = friandise (= treat)
		lecheAliOther		idem, aliment = autres (restes de table)
	attrapeAli	attrapeAliDry		mouvement de préhension de l'aliment, aliment = croquettes
		attrapeAliWet		idem, aliment = pâtee (= wet)
		attrapeAliTreat		idem, aliment = friandise (= treat)
		attrapeAliOther		idem, aliment = autres (restes de table)
	deglutiAli	deglutiAliPostDry		déglutition après consommation de croquettes
		deglutiAliPostWet		idem, aliment = pâtee (= wet)
		deglutiAliPostTreat		idem, aliment = friandise (= treat)
		deglutiAliPostProie		idem, aliment = autres (restes de table)
boit	boitEau		lappe de l'eau	
	boitLait		lappe du lait	
Toilettage	seToiletteLangue	seToiletteLangueCou		peut être dans diverses positions selon la zone toilettée
		seToiletteLangueDos		
		seToiletteLangueFlanc		
		seToiletteLangueVentre		
		seToiletteLanguePatte		
	seToiletteLangueBabines		se lèche les babines, gueule ouverte	
	seToilettePatte		principalement la tête, mouvement circulaire de la patte préalablement léchée	
	sEpouille		peut être dans diverses positions selon la zone toilettée	
seGratte	seGratteCou		avec un postérieur	
	seGratteCorps			
sEbroue	sEbroueTete		action latérale d'intensité variable, uniquement la tête	
	sEbroueCorps		idem, tout le corps	
Maintenance	flaire	flaireSol		quand tentative de capture infructueuse ou en fin de consommation d'un item alimentaire, de courte durée par rapport à la consommation
		flaireVert		flaire à la verticale
		flaireAli		flaire un aliment
		flaireCongenere		flaire un humain
		flaireHumain		flaire un congénère
	eternue			
	faitGriffes	faitGriffesHoriz		sur un support horizontal
		faitGriffesVert		sur un support vertical
	gratteSol		pré-urine ou défécation	
	urine			
	defeque			
	recouvre	recouvreUrine		gratte le sol avec un antérieur pour recouvrir l'urine
		recouvreFeces		idem, fèces
	sEtire			
	seRoule			
	marque	marqueSpray		mouvement de "vague" du corps entier
marqueTete			frotte sa tête contre un objet ou un humain	
marqueFlanc			frotte son flanc contre un objet ou un humain	
baille				
tousse				
sePurge				
vomit				

Annexe 1 – Éthogramme (suite et fin)

Grandes Catégories Comportementales	Items	Sous-items 1	Sous-items 2	Description
Interaction	demandeHo			individu sur les posérieurs, antérieurs contre un support vertical, gratte avec les antérieurs pour demander à manger, à entrer ou à sortir
	joueHo	joueHoDebout	joueHoDeboutAHauteur	joue avec un humain, debout, à hauteur
			joueHoDeboutBas	idem, au sol
			joueHoDeboutHaut	idem, en haut
		joueHoAssis	joueHoAssisAHauteur	joue avec un humain, assis, à hauteur
			joueHoAssisBas	idem, au sol
			joueHoAssisHaut	idem, en haut
		joueHoOnSide	joueHoOnSideAHauteur	joue avec un humain, couché sur le côté, à hauteur
			joueHoOnSideBas	idem, au sol
			joueHoOnSideHaut	idem, en haut
	caresse	caresseTete		
		caresseDos		
		caresseFlanc		
	petrissage			mouvement de levée d'un antérieur après l'autre, assis ou debout, peut être associé avec du ronronnement
leche	lecheCongenere			
	lecheHumain			
Vocalisation	ronronne			
	miaule	miauleSeul		
		miauleEnversHumain		
	defCrache	defCracheHumain		mouvement de recul du corps, prêt à donner des coups de pattes, envers un humain
		defCracheCongenere		idem envers un congénère
	defGrogne	defGrogneHumain		aplatis contre le sol, rentre sa tête au maximum, oreilles plaquées contre la tête, envers un humain
		defGrogneCongenere		idem envers un congénère
defGrogneProieGueule			idem avec une proie dans la gueule	
Autres	passageChat	passageChatInOut		pousse la porte de la chatière avec la tête
		passageChatAlimentation		
	autre1			changement de posture si celui-ci remplit toute la demi-seconde, si changement de posture et début du comportement d'intérêt dans la même demi-seconde, alors on intègre le changement dans le segment comportemental
	autre2			
	rebus			

Annexe 2 – Nombre de séquences comportementales (n), durée moyennes en secondes (μ) pour l'individu A, lors du suivi de mai 2012 (moyenne \pm ET)

Grande Catégorie	Items	Sous-items 1	Sous-items 2	n	μ	ET
Déplacement	marcheDep	marcheDepHoriz	marcheDepHorizTailU	95	1,83	1,39
			marcheDepHorizTailD	34	2,03	1,66
	marcheTrotte	marcheTrotteHoriz	marcheTrotteHorizTailU	1	1,50	-
	recule			19	1,20	0,91
		reculeProieGueule		1	1,00	-
tourneSurLui	tourneSurLuiDroite		1	0,50	-	
Statique	statiqueDeb			20	0,93	0,54
	statiqueAssis			26	0,92	0,57
	statiqueCou			51	1,61	1,75
Vigilance	inspectionDeb			117	1,86	1,59
	inspectionAssis			55	2,55	3,86
	inspectionCou			133	1,69	1,27
Recherche alimentaire	bougeTete	bougeTeteHoriz	bougeTeteHorizDeb	1	0,50	-
			bougeTeteHorizCou	5	0,68	0,25
		bougeTeteVert	bougeTeteVertAssis	6	0,93	0,30
			bougeTeteVertDeb	6	0,93	0,30
			bougeTeteVertCou	5	0,51	0,02
	coupPatte	coupPatteBas		48	0,60	0,15
	proieGueule	proieGueuleMarche		3	1,97	0,54
		proieGueuleDeb		2	3,50	2,12
	consoProie	consoProieRongeur		293	5,99	5,71
	mastiqueProie	mastiqueProieRongeur		63	1,51	1,05
	secoueProie	secouProieRongeur		13	0,51	0,16
	tireEntrailles	tireEntraillesRongeur		191	0,41	0,17
	lecheProie	lecheProieRongeur		141	2,21	1,54
mordProie	mordProieRongeur		41	0,61	0,29	
Alimentation	deglutiAli	deglutiAliPostProie		236	0,67	0,30
Toilettage	sEbroue	sEbroueTete		17	0,57	0,16
Maintenance	flaire	flaireSol		48	3,55	3,25
		flaireVert		10	1,65	1,06
		flaireAli		302	2,60	2,22
	eternue			99	0,35	0,06
	seRoule			5	1,60	1,39
Interaction	demandeHo			4	1,75	0,65
	joueHo	joueHoOnSide	joueHoOnSideAHauteur	2	2,75	0,35
				5	2,98	2,02
	caresse	caresseDos		4	2,12	1,44
		caresseFlanc		1	3,50	-
				34	0,73	0,42
Vocalisation	defCrache	defCracheHumain		1	0,89	-
	defGrogne	defGrogneHumain		8	1,24	0,51
		defGrogneProieGueule		14	1,39	0,87
TOTAL				2161	-	-

Annexe 3 – Nombre de séquences comportementales (n), durée moyennes en secondes (μ) pour l'individu A, lors du suivi de juillet 2016 (moyenne \pm ET)

Grande Catégorie	Items	Sous-items 1	Sous-items 2	n	μ	ET
Déplacement	marcheDep	marcheDepHoriz	marcheDepHorizTailU	71	1,83	0,93
			marcheDepHorizTailD	33	2,23	1,52
	marcheTrotte	marcheTrotteHoriz	marcheTrotteHorizTailU	1	3,50	-
	recule			10	0,95	0,28
	tourneSurLui	tourneSurLuiDroite		1	1,00	-
	trotte	trotteHoriz	trotteHorizTailU	1	2,00	-
Statique	statiqueDeb			7	1,00	0,50
	statiqueAssis			11	0,93	0,37
	statiqueCou			20	0,90	0,45
Vigilance	inspectionDeb			76	2,18	2,47
	inspectionAssis			73	2,40	2,62
	inspectionCou			67	1,41	1,80
Recherche alimentaire	bougeTete	bougeTeteHoriz	bougeTeteHorizAssis	38	0,54	0,21
			bougeTeteHorizDeb	11	0,48	0,08
			bougeTeteHorizCou	8	0,54	0,21
		bougeTeteVert	bougeTeteVertAssis	4	0,47	0,13
			bougeTeteVertDeb	4	0,32	0,13
			bougeTeteVertCou	4	0,45	0,06
	coupPatte	coupPatteBas		9	1,11	0,60
		coupPatteAHauteur		4	0,63	0,25
	proieGueule	proieGueuleDeb		1	1,00	-
		proieGueuleAssis		3	1,17	0,29
	consoProie	consoProieRongeur		27	7,70	4,40
		consoProieOiseau		25	7,94	4,96
	mastiqueProie	mastiqueProieRongeur		8	1,44	0,73
		mastiqueProieOiseau		11	2,23	1,57
	secoueProie	secoueProieOiseau		4	0,50	0,00
	tireEntrailles	tireEntraillesRongeur		7	0,86	0,38
		tireEntraillesOiseau		1	0,50	-
	lecheProie	lecheProieRongeur		25	2,14	2,01
lecheProieOiseau			22	1,34	1,08	
mordProie	mordProieRongeur		2	0,50	0,00	
	mordProieOiseau		11	0,68	0,25	
Alimentation	mastiqueAli	mastiqueAliDry		49	2,23	1,44
		mastiqueAliWet		86	1,78	1,28
		lecheAli	lecheAliWet		38	2,00
	attrapeAli	attrapeAliDry		65	1,00	0,52
		attrapeAliWet		96	0,85	0,42
	deglutiAli	deglutiAliPostDry		19	0,68	0,25
		deglutiAliPostWet		45	0,62	0,24
		deglutiAliPostProie		125	0,80	0,41
Toiletage	seToiletteLangue	seToiletteLangueFlanc		2	4,75	1,06
		seToiletteLanguePatte		4	2,48	1,25
		seToiletteLangueBabines		138	1,03	0,66
	seToilettePatte		1	1,50	-	
	sEbroue	sEbroueTete		28	0,50	0,15
sEbroueCorps			2	0,85	0,07	
Maintenance	flaire	flaireSol		34	2,95	1,90
		flaireVert		21	1,74	1,18
		flaireAli		89	2,30	1,73
		flaireHumain		1	0,50	-
	eternue			14	0,28	0,09
	seRoule			8	2,69	2,46
	marque	marqueSpray		1	1,50	-
		marqueTete		26	1,13	0,61
		marqueFlanc		14	1,43	0,43
	tousse			11	0,86	0,39
vomit			1	1,00	-	
Interaction	demandeHo			1	2,00	-
	caresse	caresseTete		24	3,95	3,81
		caresseDos		7	2,00	0,82
		caresseFlanc		2	1,00	0,00
Vocalisation	ronronne			26	7,69	15,03
	miaule	miauleEnversHumain		1	0,50	-
TOTAL				1579	-	-

	Diplôme : Ingénieur Agronome Spécialité : Génie de l'Environnement Spécialisation / option : Préservation et Aménagement des Milieux – Écologie Quantitative Enseignant référent : Yannick Outreman
Auteur(s) : Leslie Smets Date de naissance* : 16/12/1992	Organisme d'accueil : CNRS de Strasbourg – IPHC – DEPE
Nb pages : 30 Annexe(s) : 3	Adresse : 23 rue Becquerel
Année de soutenance : 2016	67 000 Strasbourg Maître de stage : Yves Handrich
Titre français : Consolidation d'un éthogramme accélérométrique chez le Chat domestique (<i>Felis silvestris catus</i>)	
Titre anglais : Improving an accelerometric ethogram in cats (<i>Felis silvestris catus</i>)	
Résumé (1600 caractères maximum) : Le Chat domestique (<i>Felis silvestris catus</i>) est responsable de la raréfaction de plusieurs espèces d'Oiseaux et menacent des espèces de Mammifères, d'Oiseaux, de reptiles et d'invertébrés endémiques dans les îles. Le développement d'outils embarqués permet d'en apprendre plus sur le comportement animal et peut donc permettre d'obtenir un relevé du nombre de proies tuées par chat (taux de prédation). Dans l'optique de construire un éthogramme accélérométrique pour différencier les comportements liés à l'alimentation, mon stage répond à deux objectifs : (1) chercher à savoir si l'utilisation d'une station inertielle plutôt qu'un accéléromètre-3D permet une meilleure discrimination des comportements, et (2) identifier le degré d'exhaustivité que l'on peut atteindre lorsque l'on réalise un tel éthogramme. Ces unités, fixées sur un collier, ont été déployées sur trois chats lorsqu'ils consommaient des proies et des aliments d'origine anthropique. Cette étude met en évidence qu'une plus grande fréquence d'enregistrement et l'ajout du lacet et des vitesses angulaires permettent d'obtenir un arbre de décision (CART) globalement plus précis, notamment pour les comportements liés à l'alimentation. Cependant, l'ajout de ces variables n'a pas permis une plus grande exhaustivité des comportements discriminés ni de détecter certains comportements faiblement énergétiques. À long terme, cet outil pourrait permettre d'estimer le budget-temps de l'individu équipé, son effort de capture et son taux de prédation voir d'étudier son biorythme alimentaire.	
Abstract (1600 caractères maximum): The domestic Cat (<i>Felis silvestris catus</i>) is responsible for the rarefaction of many bird species and they threaten mammals, birds, reptiles and invertebrates on islands. The development of bio-loggers allows us to learn more about animal behavior and consequently may be useful to estimate the number of preys killed by cat (predation rate). For the purpose of making an accelerometric ethogram accurate enough to distinguish eating events, my internship meets two objectives: (1) seeking to know if using a inertial sensor rather than a 3D-accelerometer allows a better discrimination of behaviors, and (2) identifying the completeness reachable with such an ethogram. Thus, three cats were fitted with a collar composed by either a 3D-accelerometer or an inertial sensor while eating preys and pet food. This study brings to light that using a greater sampling rate and adding the yaw and angular velocities make an overall more precise decision tree (CART), mainly for different eating events. However, adding these variables didn't allow a larger completeness of discriminated events nor to detect some low energy behaviors. In the long run, this ethogram could be used to estimate the time budget of the equipped cat, its capture effort and its predation rate and even its dietary biorhythm.	
Mots-clés : Chat domestique, stations inertielles, accéléromètre-3D, magnétomètre-3D, gyromètre-3D, éthogramme accélérométrique, alimentation, taux de prédation	
Key Words: Domestic Cat, inertial sensor, 3D-accelerometer, 3D-magnetometer, 3D-gyrometer, ethogram, preys, predation rate	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires