

Les ressources sauvages comestibles des bois de *tapia* : caractérisation alimentaire des produits consommés

Fanny BARSICS, François MALAÏSSE, Georges LOGNAY,
Bernard WATHELET, Éric HAUBRUGE, François J. VERHEGGEN

Les bois de *tapia* (*Uapaca bojeri*) des Hautes Terres centrales de Madagascar regorgent de ressources sauvages comestibles utilisées par les populations locales dans leur alimentation régulière. Afin de décrire ces apports en termes biochimiques, nous avons réalisé des analyses de contenu sur 7 ressources, soit 2 chenilles, 1 araignée et 4 champignons comestibles. Leurs taux de protéines, de lipides, ainsi que leur composition en acides aminés et acides gras ont été obtenus. Les résultats ont été exprimés dans l'absolu mais aussi en relation avec les indices alimentaires couramment utilisés pour définir les qualités protéiques et lipidiques des denrées. Ces analyses nous permettent de constater l'excellent apport protéique que représentent les Arthropodes, et mettent également en évidence leur qualité lipidique. Les résultats de ces analyses sont discutés en faisant le lien avec les recommandations de la FAO/OMS.

Wild edible resources of the Malagasy *tapia* woods. Alimentary profiles of the products

Tapia forests (*Uapaca bojeri*) of the Central Malagasy Highlands present abundant amounts of wild edible resources used by villagers in their regular meals. In purpose to describe their biochemical properties, we have performed content analyses on 7 edible resources: 2 caterpillars, 1 spider and 4 mushrooms. The protein and lipid rates, as well as the amino acids and fatty acids profiles were assessed. Results were expressed in absolute terms and analyzed with common alimentary indexes, to define their protein and lipid quality. Our analyses notably outline the excellent protein content of the Arthropods and their lipid quality. These results are discussed by comparison with the FAO/WHO recommendations.

15.1. INTRODUCTION

Dans le chapitre 14, nous avons énoncé une série de produits sauvages comestibles utilisés par les habitants des bois de *tapia* (*Uapaca bojeri* Baill., Euphorbiaceae, Phyllandraceae) et connus pour être consommés ailleurs à Madagascar (Decary, 1937; DeFoliart, 2002). Au même titre que le *landibe* pour son caractère séricigène, ces ressources, qu'il s'agisse des nombreux insectes, des plantes ou des champignons, font partie intégrante des apports nutritifs quotidiens de la forêt. La consommation de ressources sauvages comestibles, en particulier l'entomophilie, sont des sujets dont l'intérêt gagne du terrain mondialement. La consommation d'insectes pourrait permettre la réduction du braconnage et de l'utilisation de pesticides (cas des invasions d'Orthoptères), augmenter l'efficacité économique régionale ainsi que créer une biodiversité additionnelle (DeFoliart, 1997). Les connaissances relatives à la composition chimique d'insectes comestibles s'accumulent. De nombreux états des lieux ont été publiés,

tant la connaissance globale de ces ressources s'applique de façon intégrée dans les systèmes auxquels elles appartiennent (Luo, 1997; Onore, 1997; Cunningham et al., 2001; Christensen et al., 2006; Chakravorty et al., 2011; Gahukar, 2011; Dzerefos et al., 2013).

La sécurité alimentaire est un problème dans de nombreux pays en développement, notamment à cause de la pression démographique croissante (Gahukar, 2011). Les insectes y représentent une source naturellement renouvelable d'hydrocarbures, de lipides, de protéines, de minéraux et de vitamines (Gahukar, 2011). Leur valeur énergétique globale est parfois calculée, comme cela a été fait pour 24 espèces de Lépidoptères d'Afrique centrale par exemple (Malaisse et al., 1980). Ils sont comparables à d'autres sources animales en termes de valeur nutritionnelle (Cunningham et al., 2001). Des différences constitutives sont observables selon le milieu de vie (insectes aquatiques ou terrestres) (Fontaneto et al., 2011). On leur prête par ailleurs volontiers des vertus médicinales variées, liées notamment à la lutte contre les carences en minéraux, ou aux apports en acides gras et aminés essentiels (Luo, 1997; Christensen et al., 2006; Katayama et al., 2008). Les nombreuses espèces consommées constituent rarement un repas principal, mais sont utilisées pour compléter l'apport protéique d'autres ressources animales (Bukkens, 1997; Onore, 1997). Le rôle des insectes comestibles peut donc dépasser le simple statut de denrée et servir le maintien fonctionnel de l'écosystème agricole (Katayama et al., 2008).

Ceci étant, il paraît évident que l'acquisition d'une connaissance approfondie des ressources sauvages comestibles des bois de *tapia* constitue une étape clé des processus de gestion futurs à mettre en place avec les villageois. Nous avons donc procédé à des analyses de contenu afin de décrire l'apport alimentaire des produits sauvages comestibles disponibles dans ces bois. Les produits sauvages comestibles doivent de préférence être analysés eu égard à leur période de consommation, pour décrire leur apport dans un contexte alimentaire particulier, avec un milieu en constante évolution (Degreef et al., 1997; Christensen et al., 2006). Notre présence sur le terrain nous a permis de récolter le *sarohy* (*Bunaea aslauga*), le *bokana* (*Maltagorrea fusicolor*), l'*akalabe* (*Nephila madagascariensis*), ainsi que quatre des champignons décrits par les villageois, soit l'*ola-karavola*, l'*ola-katikena*, l'*ola-dronono* et l'*ola-tapia*. À notre connaissance, les données sur la composition chimique d'araignées consommées sont inexistantes. Elles sont par contre légion pour les champignons (Alofe, 1991; Agrahar-Murugkar et al., 2005; Akindahunsi et al., 2006; Liu et al., 2012; Zhang et al., 2013).

Les quantités collectées ont limité les analyses aux teneurs lipidiques et protéiques, via respectivement la méthode de Folch et al. (1957) et la méthode Kjeldahl (1883). Nous avons approfondi le travail en décrivant les profils en acides gras et aminés de ces ressources. Une carence en acides aminés nécessaires à la synthèse protéique entrave son bon déroulement (Block et al., 1946). Les acides aminés essentiels (non synthétisables par l'organisme) sont impérativement prélevés dans l'alimentation. L'index chimique permet de déterminer la qualité protéique d'un aliment par rapport à son contenu en acides aminés essentiels (Eggum, 1985). À titre d'exemple, l'index a été calculé pour la chenille comestible zambézienne «*tubambe*», larve du Limacodidae *Hadrrophe ethiopica* (Bethune-Baker, 1915). Selon la zone de collecte, la leucine (76,2 et 87,1) ou le tryptophane (69,9) déterminent son index, mais ils manquent, peu importe la région, ce qui implique un apport autre nécessaire pour ces deux acides (Malaisse et al., 2003). Cet index est plus classiquement calculé pour des ressources «courantes» comme des végétaux, du poisson, mais permet surtout de définir une ressource

rare et son impact nutritionnel. L'herbe potagère tibétaine *Ophioglossum polyphyllum* A. Braun (Ophioglossaceae, Pteridophyta) possède l'excellent index chimique de 108,7 déterminé par la lysine. Cette ressource localement rare (Tibet) montre une qualité protéique élevée (Lognay et al., 2008). Certains acides gras sont également essentiels. L'acide linoléique (C18:2n-6 ou ω -6), retrouvé dans certaines huiles (ex : soja), et l'acide α -linoléique (C18:3n-3 ou ω -3), retrouvé par exemple dans l'huile de lin, sont précurseurs de plusieurs acides gras eux-mêmes précurseurs de groupes d'acides métabolisés par l'homme. Les acides dérivés sont subdivisés en deux familles : les oméga-3 (ω -3) et les oméga-6 (ω -6), selon le précurseur. Les recommandations américaines préconisent un taux de 10 % en ω -6 dans l'apport énergétique total chez l'adulte (US Department of Health and Human Services and USDA, 2005). Les recommandations européennes fixent cette proportion entre 4 et 8 % (University of Crete, 2001). On considère que lorsqu'il est inférieur à 5, le rapport ω -6/ ω -3 traduit un aliment où les proportions des deux familles d'acides gras sont correctes. Ce rapport ne tient pas compte de la quantité totale de lipides ingérés, mais n'en constitue pas moins une bonne méthode d'estimation de la qualité lipidique d'un aliment (Léger et al., 2005). Les proportions des acides gras, en termes de niveaux de saturation (mono, poly-insaturés, et saturés) indiquent un aliment de qualité si elles sont proches de l'égalité entre elles (1/3, 1/3, 1/3). Dans ce chapitre, nous discutons également de la qualité intrinsèque de ces denrées par le calcul de l'index chimique et des proportions en acides gras essentiels et selon leur degré de saturation.

15.2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les ressources analysées ont été récoltées au mois de mai 2010 et ont été conservées congelées. Les chenilles, collectées uniquement sur *tapia* ont été vidées de leur contenu gastrique, selon les pratiques de préparation locales. Les pattes d'*akalabe* n'ont pas été retirées, car dans la plupart des cas, elles sont consommées avec le corps de l'araignée. Les champignons ont été achetés séchés et ont donc été analysés selon leur forme courante de consommation, plus de quatre mois après leur récolte. Les ressources ont été récoltées dans la même région d'étude, à la même période de l'année. Les produits sont conservés congelés durant la période séparant la récolte et le début des analyses. Tous les échantillons sont pesés, lyophilisés, et pesés de nouveau afin de déterminer leur teneur en eau ainsi que la quantité de matière réellement disponible. La matière sèche analytique (après 24 h à 105 °C) est également déterminée. Les échantillons sont réduits en poudre à l'aide d'un moulin IKA (A11 BASIC).

15.2.1. Dosage de la matière grasse et des acides gras

- *Extraction de la matière grasse*

Le dosage de la matière grasse totale est effectué selon une adaptation de la méthode de Folch et al. (1957). Les modifications adoptées ne touchent pas au principe de la méthode. Celle-ci fournit des échantillons délipidés, indispensables à l'analyse du profil en AA. La matière lipidique obtenue est utilisée pour décrire le profil en acides gras des échantillons.

L'extraction se fait par agitation dans un mélange chloroforme (CHCl₃)/méthanol (CH₃OH) (2/1, v/v). La filtration permet de récupérer le solvant qui se sépare en deux phases en ampoule à décanter, ainsi que la matière brute délipidée. L'ajout de NaCl (20 ml, 0,58 %)

force le transfert des lipides extraits vers la phase inférieure chloroformique récupérée par filtration sur Na_2SO_4 anhydre après décantation. L'évaporation du solvant est effectuée à l'aide d'un évaporateur de type Büchi, à 35 °C et sous vide pendant une quinzaine de minutes. La teneur en matière grasse est déterminée par pesée.

Les protéolipides sont également extraits, ce qui impacte le dosage de l'azote total, dès lors effectué sur les matières délipidées et non délipidées.

- *Dosage des acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG) capillaire*

Après détermination de la teneur en matière grasse, les lipides extraits font l'objet d'une estérification directe. Les triglycérides et lipides plus complexes subissent quant à eux une transestérification. Les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) obtenus sont séparés par chromatographie en phase gazeuse (CPG) capillaire (colonne HP Wax, Facteur Four De Varian, $l = 30 \text{ m}$, $\varnothing = 0,25 \text{ mm}$, épaisseur de phase = $0,25 \mu\text{m}$). L'injection se fait *on-column* (à froid), le transport par l'hélium (70 kPa), et la détection via ionisation de flamme (FID, 250 °C). Le four est maintenu à 50 °C durant une minute, puis augmente de 30 °C/min jusqu'à 150 °C, de 5 °C/min jusqu'à 230 °C, température maintenue pendant 18 min 40 s. Un seul échantillon de chaque ressource a été testé. Les analyses ont été conduites sur environ 10 mg de matière lipidique (une goutte). L'identification est obtenue par comparaison entre les chromatogrammes obtenus pour les échantillons et celui produit par l'injection du standard SUPELCO 37 Component FAME mix. La qualité lipidique a été estimée en calculant les ratios $\omega-6/\omega-3$ ainsi que les proportions des acides saturés, mono- et poly-insaturés.

15.2.2. Analyse du profil protéique global et des teneurs en acides aminés

- *Dosage de l'azote total et des protéines brutes par la méthode Kjeldahl*

La méthode utilisée suit la directive 93/28/CE (CEE, 1993) basée sur la méthode Kjeldahl (1883), adaptée à notre échelle de travail. Les échantillons sont minéralisés à l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur dans le système de digestion 1015 TECATOR. La solution acide est ensuite alcalinisée par l'hydroxyde de sodium, l'ammoniac produit entraîné par distillation et quantifié par titrage à l'acide sulfurique dans un distillateur (FOSS : Kjeltec 2300). La teneur en azote en est déduite ; le pourcentage de protéines est obtenu en multipliant le pourcentage d'azote par le facteur 6,25 (100 g de protéines = 16 g d'azote ; $100/16 = 6,25$), bien que son utilisation universelle soit controversée (Boisen et al., 1987). N'ayant pas d'informations complémentaires sur nos produits pour ajuster ce facteur, les taux de protéines présentés ici seront donc des estimations.

La méthode permet également l'estimation de la quantité de matière nécessaire aux analyses du profil en acides aminés (AA totaux, soufrés, et tryptophane). La connaissance préalable de la teneur approximative d'azote attendue est nécessaire, pour rester dans les limites de faisabilité des appareillages utilisés (ex : volume de titrage). Le dosage est effectué sur échantillons délipidés et non délipidés, à raison de deux répétitions par ressource.

- *Dosage des acides aminés libres et totaux*

La méthode suit la Directive 98/64/CE (Fischler, 1998). Elle permet de déterminer les acides aminés libres et totaux (liés dans des peptides et libres) et s'applique à la cystine, la méthionine, la lysine, la thréonine, l'alanine, l'arginine, l'acide aspartique, l'acide glutamique,

91,1 %, 91,1 % de la matière lyophilisée pour chaque ressource prise dans le même ordre, soit 90 % en moyenne.

15.3.1. Teneurs lipidiques et profils en acides gras

Les teneurs en lipides rapportées à la matière récoltée (matière représentative de ce qui est effectivement consommé) sont les suivantes : 1,7 %, 0,1 %, 3,5 %, 4,8 %, 2,0 %, 5,8 %, 4,9 %, pour l'*akalabe*, le *bokana*, le *sarohy*, l'*ola-dronono*, l'*ola-tapia*, l'*ola-katikena* et l'*ola-karavola* respectivement. La teneur en MG après lyophilisation est plus intéressante en termes comparatifs. Celle-ci vaut, par ordre décroissant, 15,7 % pour le *sarohy*, 6,4 % pour l'*ola-katikena*, 5,8 % pour l'*akalabe*, 5,4 % pour l'*ola-katikena*, 5,4 % pour l'*ola-dronono*, 2,2 % pour l'*ola-tapia*, 0,4 % pour le *bokana*. Les résultats obtenus pour cette dernière sont à prendre avec réserve au vu du manque de matière récoltée et de par les difficultés techniques rencontrées pour cet échantillon. Ils sont donc à répéter. Au vu de leur proximité systématique on pourrait attendre des proportions lipidiques similaires entre le *sarohy* et le *bokana*.

Le **tableau 15.1** reprend les résultats des profils en acides gras obtenus, les proportions en acides gras saturés et mono- ou poly-insaturés, et le rapport ω -6/ ω -3 pour chacune des ressources analysées. Les pourcentages qui y sont repris et discutés ci-dessous se réfèrent uniquement au profil lipidique et non au pourcentage absolu de matière fraîche des ressources analysées.

Tableau 15.1. Teneurs en acides gras obtenues par estérification et transestérification, proportions d'acides non identifiés, proportions en type d'acides gras insaturés, et rapport ω -6/ ω -3 pour chaque ressource analysée.

Acides gras		Taux des acides gras identifiés dans les ressources analysées en % (temps de rétention en minutes)						
Nomenclature normalisée	Nom commun	<i>Akalabe</i>	<i>Sarohy</i>	<i>Bokana</i>	<i>Ola-karavola</i>	<i>Ola-katikena</i>	<i>Ola-tapia</i>	<i>Ola-dronono</i>
c11	ac. undécylique (o)	-	-	-	-	-	-	0,21 (4,544)
c14	ac. myristique	-	0,79 (7,246)	0,96 (7,222)	-	0,71 (7,257)	-	-
c15	ac. pentadécylique (o)	-	-	-	0,51 (8,485)	0,79 (8,481)	1,10 (8,474)	1,62 (8,473)
c16	ac. palmitique (m)	14,03 (9,834)	21,65 (9,889)	19,15 (9,840)	22,65 (9,892)	22,35 (9,891)	20,18 (9,858)	7,26 (9,833)
c16:1(6)	ac. palmitoléique (n)	-	0,23 (10,097)	-	0,26 (10,099)	0,84 (10,093)	-	-
c16:1(9)	ac. palmitoléique	1,33 (10,164)	0,32 (10,184)	-	0,65 (10,186)	0,89 (10,185)	0,69 (10,170)	0,81 (10,169)
c17	ac. margarique	-	0,81 (11,278)	0,83 (11,259)	-	-	-	-
c17:1	ac. heptadécanoïque (o)	-	-	-	-	-	-	0,98 (11,604)
c18	ac. stéarique (m)	11,56 (12,768)	10,12 (12,811)	11,89 (12,766)	5,02 (12,818)	6,48 (12,819)	11,09 (12,793)	2,27 (12,799)
c18:1(9)	ac. oléique (m)	31,31 (13,048)	9,66 (13,060)	7,89 (13,020)	33,37 (13,109)	36,19 (13,121)	40,40 (13,089)	18,96 (13,035)
c18:2(9,12) - c18:2 ω -6	ac. linoléique (m)	22,18 (13,705)	9,22 (13,722)	12,48 (13,695)	34,45 (13,783)	28,37 (13,773)	20,56 (13,727)	22,92 (13,705)

Tableau 15.1. Suite.

Acides gras		Taux des acides gras identifiés dans les ressources analysées en % (temps de rétention en minutes)						
Nomenclature normalisée	Nom commun	<i>Akalabe</i>	<i>Sarohy</i>	<i>Bokana</i>	<i>Ola-karavola</i>	<i>Ola-katikena</i>	<i>Ola-tapia</i>	<i>Ola-dronono</i>
c18:3 γ	ac. γ -linoléique (o)	-	-	-	-	-	-	6,82 (14,082)
c18:3 α (9,12,15) - C18:3 ω -3	ac. α -linoléique (m)	8,00 (14,643)	46,06 (14,744)	46,00 (14,684)	0,21 (14,650)	0,24 (14,644)	0,81 (14,637)	4,82 (14,638)
c20	ac. arachidique	1,21 (15,749)	0,31 (15,763)	-	0,21 (15,762)	0,80 (15,760)	0,56 (15,753)	0,82 (15,530)
c20:1(9)	ac. gadoléique	0,85 (16,010)	-	-	-	-	0,77 (16,194)	0,83 (16,011)
c20:2	ac. éicosadiénoïque (o)	-	-	-	0,55 (16,692)	0,22 (16,687)	-	-
c20:3n3	ac. éicosatriénoïque	3,68 (17,400)	-	-	-	-	-	-
c20:3n6	ac. di-homo- γ -linoléique (o)	-	-	-	-	-	-	2,93 (17,043)
c20:4n6	ac. arachidonique	-	0,24 (17,656)	-	-	-	-	-
c20:5n3	ac. éicosapentanoïque	3,45 (18,354)	-	-	-	-	-	10,71 (18,462)
c22	ac. béhénique (o)	-	-	-	0,79 (18,692)	0,64 (18,686)	0,72 (18,681)	-
c22:1n9	ac. érucique (o)	-	-	-	-	-	-	0,96 (18,878)
c22:2	ac. docosadiénoïque (o)	-	-	-	-	-	-	1,46 (19,852)
c24	ac. lignocérique (o)	-	-	-	1,08 (21,495)	0,51 (21,487)	1,52 (21,484)	-
Acides gras non identifiés (%)		2,39	0,59	0,80	0,26	0,96	1,59	14,09
Composition en types d'acides gras (%)	AG saturés	26,8	33,68	32,82	30,26	32,28	35,17	12,19
	AG mono-insaturés	33,49	9,99	7,89	34,02	37,07	41,87	21,56
	AG poly-insaturés	37,32	55,52	58,48	35,21	28,84	21,37	49,66
Rapport ω -6/ ω -3		2,77	0,20	0,27	163,93	117,43	25,47	2,22

(m) : acide présent dans chaque échantillon ; (n) : acide non confirmé par le standard d'identification et ; (o) : acides observés uniquement chez les champignons.

Les acides gras les plus importants dans les différents profils sont l'acide oléique (31,3 %) et l'acide linoléique (22,2 %) pour l'*akalabe* ; l'acide α -linoléique dans le cas du *sarohy* et du *bokana* (46,1 % et 46,0 %) donc très riches en ω -3. Pour les champignons, l'*ola-karavola* est extrêmement riche en acides linoléique (34,5 %) et oléique (33,4 %) ; tout comme l'*ola-katikena* (respectivement 28,4 % et 36,2 %). L'acide oléique représente 40,4 % du profil de l'*ola-tapia*, les acides linoléique et oléique atteignent seulement 22,9 % et 19,0 % chez l'*ola-dronono*.

Les acides gras suivants montrent également des proportions importantes : les acides palmitique (14,0 %), stéarique (11,6 %), et α -linoléique (8,0 %) pour l'*akalabe* ; les acides palmitique (21,7 %), stéarique (10,1 %), oléique (9,7 %), et linoléique (9,2 %) chez le *sarohy* ; les acides palmitique (19,2 %), linoléique (12,5 %), stéarique (11,9 %) et oléique (7,9 %) chez le *bokana*, conférant aux deux chenilles, un profil très similaire. L'acide palmitique atteint quant à

lui la teneur de 22,7% pour l'*ola-karavola* et 22,4% chez l'*ola-katikena*. Les acides linoléique (20,6%), palmitique (20,2%) et stéarique (11,1%) représentent plus de la moitié du profil lipidique de l'*ola-tapia*. Enfin, chez l'*ola-dronono*, on retrouve 10,7% d'acide éicosapentanoïque.

Les chromatogrammes ont montré deux pics successifs aux temps 13,048 min et 13,130 min (pour l'*akalabe*), suggérant sans certitude qu'il s'agissait de l'acide oléique et vaccénique. L'analyse d'une solution plus concentrée en acides gras, par GC-MS (*gaz chromatography - mass spectrometry*) permettrait de lever cette ambiguïté, également rencontrée pour l'*ola-dronono*. Le même type d'indétermination entraîne la supposition de la présence de l'acide palmitoléique (incertitude sur l'isomérisie *cis* 6 de l'acide) dans les cas du *sarohy*, de l'*ola-karavola* et de l'*ola-katikena*.

Pour chacune des ressources, nous avons observé des indéterminations réelles dans le profil, soit à raison de 2,4% (1 composé); 0,6% (2); 0,8% (1); 0,3% (1); 1,0% (2); 1,6% (3) et 14,1% (8) pour respectivement l'*akalabe*, le *sarohy*, le *bokana*, l'*ola-karavola*, l'*ola-katikena*, l'*ola-tapia* et l'*ola-dronono*. Pour des raisons de lisibilité, les acides non identifiés n'ont pas été représentés dans le **tableau 15.1**. De façon générale, les indéterminations portent, pour des ressources taxonomiquement proches, sur des composés similaires (temps de rétention très proches). À titre d'exemple, le pic non-identifié du *bokana* sort à $t = 12,249$ min, temps similaire à l'un des deux du *sarohy*, soit $t = 12,289$ min. Notons que le taux d'indétermination est particulièrement élevé chez l'*ola-dronono* (14,1%).

Chez l'*akalabe*, les trois classes d'acides gras sont représentées en proportions équitables, ce que l'on retrouve également pour l'*ola-karavola* et l'*ola-katikena*. Chez les deux chenilles, les acides de types polyinsaturés sont en nette supériorité (55,5% et 58,5%) aux dépens des monoinsaturés (10,0% et 7,9%). On retrouve des proportions équitables chez l'*ola-karavola* et l'*ola-katikena*. Par contre, pour l'*ola-tapia*, la tendance est aux mono-insaturés (41,9%), et pour l'*ola-dronono*, aux poly-insaturés (49,7%).

Le rapport ω -6/ ω -3 a été calculé uniquement sur base du rapport entre l'acide linoléique et l'acide α -linoléique puisque nous ne pouvons affirmer cette nature que pour ces deux acides. Les rapports obtenus sont de 2,77 pour l'*akalabe*, 0,20 pour le *sarohy*, 0,27 pour le *bokana*. L'*akalabe*, le *sarohy* et le *bokana* ont des rapports excellents, même si en valeur absolue, les taux des acides concernés varient dans chacune des ressources (l'acide α -linoléique est le plus abondant de tous chez les deux chenilles alors qu'il n'atteint que 8% chez l'araignée).

Chez l'*ola-karavola* et l'*ola-katikena*, le rapport est extrêmement élevé (163,93 et 117,43). Pendant les périodes de grosse consommation comme en début de saison des pluies (chapitre 14), il est donc important de compenser par des graisses riches en ω -3. Ces chiffres peuvent traduire les effets désagréables au niveau digestif mentionnés par les villageois en référence à la consommation importante (chapitre 14). Chez l'*ola-tapia*, ce chiffre atteint 25,47, ce qui reste trop élevé par rapport à la valeur de référence (= 5); il passe la barre de l'acceptable avec 2,22 pour l'*ola-dronono*.

15.3.2. Teneurs protéiques et profils en acides aminés

Le **tableau 15.2** montre les teneurs en protéines obtenues pour chaque aliment étudié dans les matières délipidées et non délipidées. Les teneurs en protéines sont plus fortes dans les échantillons délipidés, sauf pour l'*ola-karavola*, pour lequel l'extraction lipidique aura extrait

une quantité plus importante de protéolipides. L'*akalabe* a la plus grande teneur protéique et est talonnée par les deux chenilles. Les champignons possèdent une teneur nettement inférieure (< 30 %).

Tableau 15.2. Teneurs en protéines (% contenu dans la matière fraîche/matière après lyophilisation) estimées par la concentration en azote obtenue par la méthode Kjeldahl, pour les échantillons délipidés et non délipidés.

Ressources analysées	Pourcentage de protéines dans les échantillons (MF)	
	Non délipidés	Délipidés
<i>Akalabe</i> (araignée)	75,76	77,94
<i>Sarohy</i> (chenille)	65,64	73,13
<i>Bokana</i> (chenille)	66,87	67,94
<i>Ola-dronono</i> (champignon)	26,08	27,44
<i>Ola-katikena</i> (champignon)	29,89	30,00
<i>Ola-karavola</i> (champignon)	25,53	25,38
<i>Ola-tapia</i> (champignon)	28,08	28,25

Dans le **tableau 15.3**, on retrouve les profils en acides aminés obtenus par les trois méthodes de dosages adaptées des directives européennes. Les profils en AA sont très similaires chez les trois Arthropodes, ainsi qu'entre les champignons. L'hydrolyse acide pratiquée pour séparer les acides provoque l'ajout d'une molécule d'eau à chaque acide libéré, leur somme devrait donc dépasser les résultats du dosage protéique. Ceci n'a pas été observé ici notamment car la glutamine et la galactosamine n'ont pas été dosées (non présentes dans le standard). D'autre part, chez les insectes, l'exosquelette est composé de chitine, un polysaccharide aminé constitué de groupements N-acétyl-glucosamine (contient 6,89 g d'azote/mol). Les champignons sont également pourvus de chitine au niveau de leurs parois cellulaires. Enfin, ajoutons que la nature des protéolipides extraits par la méthode de Folch (1957) n'a pas été étudiée ici.

Les données du **tableau 15.3** permettent de calculer l'index chimique de chacune des ressources, par comparaison des teneurs en AA essentiels avec les recommandations de la FAO (1990). Ces calculs sont repris dans le **tableau 15.4**. Toutes les ressources présentent une ou plusieurs carence(s) en AA essentiels. L'index le plus faible (tryptophane – 63,27) est celui de l'*akalabe*. Cette ressource manque également de leucine et de lysine. Les index les plus élevés sont retrouvés chez le *sarohy* (leucine – 82,35) et le *bokana* (leucine – 83,86). Très proches du point de vue taxonomique, ces deux chenilles présentent en outre des ratios fortement similaires et élevés, les AA soufrés et l'histidine atteignant presque le double de la teneur recommandée. Chez tous les champignons, la lysine est limitante (67,76 à 74,57). Un manque en leucine et tyrosine – phénylalanine est aussi systématiquement retrouvé. Un faible déficit en tryptophane est retrouvé chez l'*ola-tapia*. A *contrario*, les ratios en méthionine-cyst(é)ine sont remarquables (134,20 à 193,60). Tous les champignons montrent des taux tout à fait remarquables en méthionine et cyst(é)ine. Les ratios en valine sont excellents pour l'*ola-dronono* (164,29) et l'*ola-karavola* (157,43), chez lequel le ratio de tryptophane est également exemplaire (188,27). En fin de compte, les deux seules ressources non limitées en lysine sont les deux chenilles.

Tableau 15.3. Profils en acides aminés, teneurs en protéines, et proportions connues du profil protéiné pour les sept ressources récoltées.

Acides aminés dosés	Teneurs en acides aminés en gAA/100g MF (écart-type)						
	Araignée <i>Akalabe</i>	Chenilles		Champignons			
		<i>Sarohy</i>	<i>Bokana</i>	<i>Ola-dronono</i>	<i>Ola-katikena</i>	<i>Ola-karavola</i>	<i>Ola-tapia</i>
Acide aspartique	6,239 (0,092)	6,234 (0,073)	5,878 (0,037)	2,238 (0,003)	2,000 (0,019)	1,861 (0,032)	2,193 (0,067)
Thréonine	2,864 (0,034)	3,203 (0,030)	3,109 (0,016)	1,198 (0,004)	1,182 (0,007)	1,065 (0,021)	1,247 (0,025)
Sérine	3,531 (0,059)	3,718 (0,002)	3,401 (0,037)	1,433 (0,016)	1,192 (0,004)	1,139 (0,031)	1,263 (0,030)
Acide glutamique	7,652 (0,358)	8,385 (0,085)	8,659 (0,037)	2,833 (0,088)	3,040 (0,033)	2,353 (0,050)	3,436 (0,120)
Proline	3,092 (0,115)	3,594 (0,126)	2,969 (0,011)	1,104 (0,025)	0,895 (0,044)	0,796 (0,010)	0,951 (0,107)
Glycine	5,180 (0,058)	3,630 (0,033)	3,293 (0,006)	1,114 (0,003)	0,977 (0,006)	1,026 (0,012)	1,067 (0,025)
Alanine	5,908 (0,065)	3,615 (0,031)	3,496 (0,053)	1,509 (0,038)	1,354 (0,018)	1,063 (0,016)	1,309 (0,007)
Cyst(é)ine	0,971 (0,037)	1,152 (0,052)	0,981 (0,038)	0,388 (0,014)	0,249 (0,028)	0,274 (0,001)	0,253 (0,001)
Valine	3,742 (0,054)	3,741 (0,037)	3,504 (0,016)	1,578 (0,021)	1,303 (0,025)	1,398 (0,007)	1,425 (0,033)
Méthionine	1,921 (0,024)	2,127 (0,064)	2,144 (0,004)	0,940 (0,021)	0,759 (0,074)	0,837 (0,018)	0,807 (0,002)
Isoleucine	2,937 (0,012)	2,898 (0,045)	2,745 (0,017)	1,073 (0,006)	0,882 (0,010)	0,824 (0,004)	1,011 (0,018)
Leucine	4,981 (0,066)	3,975 (0,063)	3,762 (0,004)	1,578 (0,009)	1,577 (0,007)	1,420 (0,012)	1,669 (0,029)
Tyrosine	3,891 (0,004)	3,198 (0,001)	3,263 (0,030)	0,611 (0,095)	0,625 (0,004)	0,569 (0,008)	0,585 (0,013)
Phénylalanine	1,593 (0,001)	1,954 (0,040)	1,614 (0,010)	0,722 (0,062)	0,764 (0,001)	0,615 (0,013)	0,907 (0,030)
Histidine	1,859 (0,009)	2,362 (0,007)	2,280 (0,019)	0,793 (0,017)	0,677 (0,000)	0,544 (0,004)	0,711 (0,014)
Lysine	4,500 (0,078)	5,093 (0,088)	4,901 (0,004)	1,108 (0,006)	1,180 (0,012)	1,033 (0,011)	1,222 (0,021)
Tryptophane	0,542 (0,046)	0,974 (0,066)	0,843 (0,019)	0,355 (0,019)	0,372 (0,015)	0,525 (0,022)	0,284 (0,008)
Arginine	4,228 (0,016)	3,499 (0,077)	3,396 (0,027)	1,346 (0,009)	1,156 (0,001)	1,050 (0,001)	1,253 (0,006)
Somme	65,09	62,38	59,39	21,56	19,81	17,87	21,31
Teneur en azote (%)	12,47 (0,161)	11,70 (0,239)	10,87 (0,117)	4,39 (0,007)	4,80 (0,014)	4,06 (0,067)	4,52 (0,000)
Teneur en protéines (%)	77,94	73,13	67,94	27,44	30,00	25,38	28,25

Tableau 15.4. Index chimiques calculés par référence aux teneurs recommandées (FAO, 1990), pour les sept ressources.

Acides aminés	Teneurs de référence de la FAO pour les AA essentiels (mg/g de protéines)	Ratios participant à l'index – 100 * teneur dans l'échantillon (mg/g) rapportée à la référence de la FAO						
		<i>Akalabe</i>	<i>Sarohy</i>	<i>Bokana</i>	<i>Ola-dronono</i>	<i>Ola-katikena</i>	<i>Ola-karavola</i>	<i>Ola-tapia</i>
Thréonine	34	108,09	128,82	133,09	128,24	115,88	123,38	108,09
Valine	35	137,14	146,14	155,00 (n)	164,29 (n)	124,00	157,43 (n)	137,14
Méthionine et cyst(é)ine	25	168,40 (n)	186,60 (n)	183,80 (n)	193,60 (n)	134,20	175,00 (n)	168,40 (n)
Isoleucine	28	134,64	141,61	144,29	139,64	105,00	116,07	134,64
Leucine	66	96,82 (o)	82,35 (m)	83,86 (m)	87,12 (o)	79,62 (o)	84,77 (o)	96,82 (o)
Tyrosine et phénylalanine	63	111,75	111,75	113,97	72,86 (o)	73,41 (o)	73,97 (o)	111,75
Histidine	19	125,53	170,00 (n)	176,32 (n)	151,84 (n)	118,95	112,89	125,53
Lysine	58	99,48 (o)	120,09	124,40	69,57 (m)	67,76 (m)	70,17 (m)	99,48 (o)
Tryptophane	11	63,27 (m)	121,14	112,77	117,55	112,82	188,27 (n)	63,27 (m)
% Protéine (MF)	77,94	73,13	67,94	27,44	30,00	25,38	28,25	73,13
Index chimique	63,27	82,35	83,86	69,57	67,76	70,17	74,57	82,35

(m) : AA essentiel limitant/index chimique; (n) : ratio excédant 150; (o) : AA sous le seuil de recommandation de la FAO.

15.4. DISCUSSION

Les améliorations analytiques suivantes permettraient plus de précision dans nos résultats. Les dosages de la chitine, de la glutamine et de la galactosamine pourraient être pratiqués. Les indéterminations de profils en acides gras pourraient être levées. Les champignons ont été séchés et sont restés conservés de la sorte pendant près de quatre mois, après la récolte de la saison des pluies 2009-2010, avant d'être analysés. La nature des lipides contenus pourrait bien avoir été dégradée par un temps aussi long. Des analyses qualitatives sur produits frais seraient donc complémentaires. La vérification de l'isomérisation *cis-trans* des doubles liaisons, par GC couplée à un détecteur FTIR (*Fourier transformed – Infra-red spectroscopy*) est requise, même si l'hypothèse de leur nature *cis* est réaliste (les isomères *trans* étant principalement produits par manipulation industrielle des denrées). Aussi, leurs temps de rétention permettent de bien les distinguer de leurs isomères *trans*. Les indéterminations complètes, ainsi que partielles (acides vaccénique et palmitoléique) pourraient être levées par analyse de solutions plus concentrées en EMAG et par couplage à une unité de spectrométrie de masse. Enfin, les analyses relatives aux glucides, minéraux, vitamines, et cendres, pour autant que suffisamment de matière première soit récoltée, sont nécessaires.

Les résultats montrent cependant comment peuvent s'insérer les ressources dans l'alimentation régulière des villageois qui en dépendent. Les analyses présentées ici doivent être poursuivies pour de nombreuses raisons. Tout d'abord, la faible disponibilité de la matière première nous a limité à la quantification des lipides et protéines. Les hydrocarbures, minéraux, vitamines, et fibres devraient être dosés également, comme cela est pratiqué pour beaucoup

d'insectes comestibles (Gahukar, 2011). Les ressources ont été récoltées dans la même région d'étude, à la même période de l'année. Prélevées dans d'autres régions, à d'autres moments de l'année, sur d'autres plantes hôtes, elles auraient pu fournir des profils différents. Nous n'avons également pas tenu compte de l'aliment prêt à être consommé, mais plutôt prêt à être cuisiné. Au même titre que les autres ressources alimentaires, les adjuvants tels que l'huile, ainsi que les méthodes de cuisson, sont importants pour la compréhension du monde nutritionnel des villageois des bois de *tapia*. Les teneurs en eau définies seront utiles à la meilleure compréhension de la contribution nutritionnelle de chaque ressource une fois que les fréquences et quantités réelles de consommations seront connues, qu'il s'agisse des produits sauvages ou des ressources agricoles. L'alimentation des villageois étant principalement basée sur le riz, carencé en thréonine et en lysine, comme la plupart des céréales (Bright et al., 1963), la faible teneur en lysine des ressources étudiées ici est probablement le résultat le plus préoccupant. Les champignons sont tous carencés en lysine et servent de relais lorsque le riz vient à manquer (chapitre 14). Cet acide aminé essentiel doit donc être prélevé dans d'autres ressources. Le manque pourrait être contrebalancé par la consommation de viande, mais lors de notre séjour sur le terrain, nous avons remarqué qu'elle est assez peu régulièrement au menu.

La conclusion de ce chapitre se doit d'insister sur la nature indispensable des ressources sauvages comestibles abritées dans la forêt, même si celles-ci n'ont pu, jusqu'à présent, être replacées dans un contexte agricole et nutritionnel réel, en termes biochimiques. Une meilleure compréhension des apports permis par chacune des ressources comestibles de l'environnement, forestière ou agricole, permettrait probablement d'envisager sa gestion de façon optimale eu égard à toutes ses ressources, telle que proposée et/ou constatée par DeFoliart (1997) et Dzerefos et al. (2013). La mise en œuvre de telles études écosystémiques pourrait déboucher sur une réorganisation de l'espace rural, au profit de mesures adéquates au maintien des formations de *tapia* et de leurs trésors.

Remerciements

Nous remercions la CUD (Commission universitaire pour le Développement) pour le financement des activités du projet GeVaBo, les villageois ayant participé aux récoltes de denrées comestibles, ainsi que le personnel des laboratoires qui nous ont accueillis pour les analyses de contenu.

15.5. BIBLIOGRAPHIE

- Agrahar-Murugkar D. & Subbulakshmi G., 2005. Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the Khasi hills of Meghalaya. *Food Chem.*, **89**(4), 599-603.
- Akindahunsi A.A. & Oyetayo F.L., 2006. Nutrient and antinutrient distribution of edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (fries) singer. *LWT. Food Sci. Technol.*, **39**(5), 548-553.
- Alofe F.V., 1991. Amino acids and trace minerals of three edible wild mushrooms from Nigeria. *J. Food Compos. Anal.*, **4**(2), 167-174.
- Block J.R. & Mitchell H.H., 1946. The correlation of the amino acid composition of proteins with their nutritive value. *Nutr. Abstr. Rev.*, **16**, 249.
- Boisen S., Bech-Andersen S. & Eggum B.O., 1987. A critical view on the conversion factor 6.25 from total nitrogen to protein. *Acta Agric. Scand.*, **37**(3), 299-304.

- Bright S.W.J. & Shewry P.R., 1963. Improvement of protein quality in cereals. *CRC Crit. Rev. Plant. Sci.*, **1**, 49-93.
- Bukkens S.G.F., 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecol. Food Nutr.*, **36**(2-4), 287-319.
- Byrne D., 2000. Méthodes d'analyses pour la détermination des vitamines A et E et du tryptophane dans l'alimentation. Directive 2000/45/CE du 6 juillet 2000. 32000L0045. *JOCE*, **174**, 32-50.
- Chakravorty J., Ghosh S. & Meyer-Rochow V.B., 2011. Chemical composition of *Aspongopus nepalensis* Westwood 1837 (Hemiptera; Pentatomidae), a common food insect of tribal people in Arunachal Pradesh (India). *Int. J. Vitamin Nutr. Res.*, **81**(1), 49-56.
- CEE, 1993. Dosage des protéines brutes. Directive 93/28/CEE de la Commission du 4 juin 1993. 31993L0028. *J. Officiel*, **L179**, 8-10.
- Christensen D.L. et al., 2006. Entomophagy among the Luo of Kenya: A potential mineral source? *Int. J. Vitamin Nutr. Res.*, **57**(3-4), 198-203.
- Cunningham E. & Marcason W., 2001. Entomophagy: what is it and why are people doing it? *J. Am. Dietetic Assoc.*, **101**(7), 785.
- Decary R., 1937. L'entomophagie chez les indigènes de Madagascar. *Bull. Soc. Ent. Fr.*, **42**, 168-171.
- DeFoliart G.R., 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecol. Food Nutr.*, **36**(2-4), 109-132.
- DeFoliart G.R., 2002. *The Human Use of Insects as a Food Resource: A Bibliographic Account in Progress*. www.food-insects.com
- Degreef J., Malaisse F., Rammeloo J. & Baudart E., 1997. Edible mushrooms of the Zambezian woodland area, a nutritional and ecological approach. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **1**(3), 221-223.
- Dzerefos C.M., Witkowski E.T.F. & Toms R., 2013. Comparative ethnoentomology of edible stinkbugs in southern Africa and sustainable management considerations. *J. Ethnobiol. Ethnomedicine*, **9**(1), 20.
- Eggum B., 1985. The nutritional quality of protein in legumes and oil crops and the role of antinutritional factors. In: *Protein evaluation in cereal and legumes*. A seminar in the CEC programme of coordination of agricultural research on plant productivity, held in Thessaloniki, oct. 1985.
- FAO, 1990. *Report of the joint expert consultation on protein quality evaluation*. Rome: FAO.
- Fischler F., 1998. Méthodes d'analyse pour la détermination des teneurs en acides aminés, en matières grasses et olaquinox dans l'alimentation. Directive 98/64/CEE de la Commission du 3 septembre 1998. 31998L0064. *JOCE*, **L257**, 14-28.
- Folch J., Lees M. & Sloane Stanley G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.
- Fontaneto D. et al., 2011. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. *Ecol. Food Nutr.*, **50**(4), 351-367.
- Gahukar R.T., 2011. Entomophagy and human food security. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, **31**(3), 129-144.
- Katayama N. et al., 2008. Entomophagy: A key to space agriculture. *Adv. Space Res.*, **41**(5), 701-705.
- Kjeldahl J., 1883. neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.*, **22**, 366-382.
- Léger C.L. et al., 2005. *Risques et bénéfiques, pour la santé, des acides gras trans apportés par les aliments. Recommandations*. Maisons-Alfort, France : AFSSA (Association française pour la sécurité sanitaire des aliments). 221 p.
- Lewis O., 1966. Short ion-exchange column method for the estimation of cystine and methionine. *Nature*, **209**, 1239-1241.

- Liu Y.T. et al., 2012. Chemical composition of five wild edible mushrooms collected from Southwest China and their antihyperglycemic and antioxidant activity. *Food Chem. Toxicol.*, **50**(5), 1238-1244.
- Lognay G. et al., 2008. *Ophioglossum polyphyllum* A. Braun in Seub. (Ophioglossaceae, Pteridophyta), a rare potheb in south central Tibet (T.A.R, P.R.China). *Geo-Eco-Trop*, **32**, 9-16.
- Luo Z.Y., 1997. Insects as food in China. *Ecol. Food Nutr.*, **36**(2-4), 201-207.
- Malaisse F. et al., 2003. Enfin «*Tubambe*» dévoile son identité! *Hadraphe ethiopica* (Bethune-Baker) (Lamacodidae), une chenille comestible des forêts claires zambéziennes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **7**(2), 67-77.
- Malaisse F. & Parent G., 1980. Les chenilles comestibles du Shaba méridional (Zaire). *Nat. Belges*, **61**(1), 2-24.
- Moore S., Spackman D. & Stein W., 1958. Chromatography of amino acid on polystyrene sulfonated resins. *Anal. Chem.*, **30**, 1185-1200.
- Onore G., 1997. A brief note on edible insects in Ecuador. *Ecol. Food Nutr.*, **36**(2-4), 277-285.
- University of Crete and European Commission, 2001. Eurodiet Core Report: Nutrition and Diet for Healthy Lifestyles in Europe – Science and policy implications. *Public Health Nutr.*, **4**(2A), 265-273.
- US Department of Health and Human Services and the US Department of Agriculture, 2005. *Dietary Guidelines for Americans*. 6th ed. Washington: US Government Printing Office.
- Zhang N., Chen H., Zhang Y., Ma L. & Xu X., 2013. Comparative studies on chemical parameters and antioxidant properties of stipes and caps of shiitake mushroom as affected by different drying methods. *J. Sci. Food Agric.*, **93**, 3107-3113.