

# science Le Monde & médecine

## Des insectes pour nourrir la planète ?

Prépupes (larves) de mouches soldats noires, à l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte de Tours, jeudi 24 janvier. CYRIL CHIGOT POUR « LE MONDE »

A Tours, des scientifiques développent l'élevage d'asticots dodus. Objectif ? Proposer cette source de protéines aux animaux d'élevage et pourquoi pas aux humains. Mais des questions demeurent sur la rentabilité, l'intérêt écologique et l'acceptabilité de cette ressource alimentaire

NATHALIE PICARD  
TOURS - envoyée spéciale

Dans les sous-sols du laboratoire, un dédale de couloirs débouche sur une zone à accès réglementé, dont la porte dévoile une pièce exigüe au climat tropical. A l'intérieur, des centaines de mouches soldats noires (*Hermetia illucens*) s'ébattent dans deux vivariums. D'autres, à l'état de pupes, dernier stade larvaire avant l'adulte, achèvent leur métamorphose sur des copeaux de

bois. Ainsi va l'élevage de cet insecte originaire d'Amérique tropicale, aujourd'hui répandu sur tous les continents, à l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte de Tours, l'un des principaux laboratoires d'entomologie français (IRBI - CNRS, université de Tours).

Ce jour-là, la technicienne Carole Labrousse prélève les œufs pondus par les femelles sur du carton alvéolé et les place dans un bac rempli d'une mixture brun et beige. Ce mélange de son de blé, luzerne et farine de maïs est l'alimentation des futures larves. Quelle est la densité optimale d'œufs par rapport à la nourriture ? La technicienne teste plusieurs hypothèses. D'autres boîtes grouillent d'asticots de 5 mm nés il y a cinq jours, qui vivent, mangent et défèquent dans leur substrat. Après deux semaines et plusieurs mues, ils atteindront 2,5 cm, bruns et dodus, fin prêts pour la récolte.

L'enjeu de ce projet lancé en 2017 avec la start-up avignonnaise Biomimetic ? Optimiser l'élevage de mouches soldats noires nourries de coproduits végétaux (résidus de broyage de pommes, poussières de céréales, grains abîmés... issus des filières agroalimentaires) afin de produire des aliments pour animaux et des fertilisants. La mouche soldat noire fait partie de ces espèces, comme le ver de farine ou ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*),

« très efficaces dans la bioconversion des déchets organiques », selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), coauteure, avec le laboratoire d'entomologie de l'université de Wageningen (Pays-Bas), d'un rapport encourageant production et consommation d'insectes (2014). Face à la croissance de la population, la hausse de la demande en produits animaux et la raréfaction des ressources, l'élevage d'insectes représenterait une contribution écologique à la sécurité alimentaire, estime l'organisation.

Cependant, les 37 experts d'une commission internationale réunie par la revue médicale *The Lancet* et la fondation EAT pointent « le manque de données disponibles sur les impacts environnementaux » des technologies innovantes comme les insectes alimentaires. Justifiant ainsi leur choix de ne pas les inclure dans leur vaste étude publiée le 17 janvier sur les moyens de nourrir 10 milliards de personnes en 2050 en améliorant la santé humaine et l'environnement.

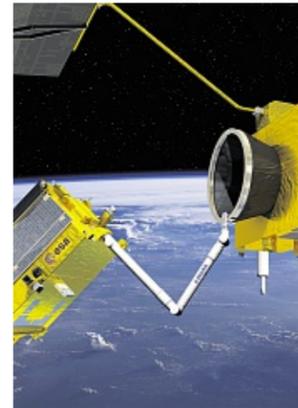
Aujourd'hui, les insectes ne sont pas une réponse opérationnelle à ces enjeux planétaires. Et pour cause : il reste beaucoup à découvrir. A l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte, c'est un axe de travail inédit.

→ LIRE LA SUITE PAGES 4-5

## Nettoyer la banlieue terrestre

Les débris spatiaux constituent une menace croissante pour la poursuite des activités spatiales. Il est grand temps d'organiser la collecte des ordures orbitales

PAGE 3



## Entretien « Les animaux ressentent des émotions »

Pour le primatologue Frans de Waal, « il est étrange de penser que les expériences intérieures des animaux sont radicalement différentes des nôtres »

PAGE 2



## Les jeunes chercheurs à la loupe

Durant trois ans, 116 scientifiques de moins de 35 ans et de sept nationalités ont été interrogés sur leurs pratiques de recherche. La sociologue Chérifa Boukacem-Zeghmouri revient sur les enseignements de cette enquête inédite

PAGE 8

# Insectes comestibles

## Bientôt à l'échelle industrielle

► SUITE DE LA PREMIÈRE PAGE

« Nous mettons notre expertise sur les insectes au service d'un enjeu de société », souligne David Giron, directeur de l'IRBI. Un axe de recherche inédit pour ce grand laboratoire d'entomologie français. Quelles sont les conditions idéales de lumière, de température et d'humidité de l'élevage ? Quelle densité d'insectes assure une reproduction optimale ? Quelle nourriture privilégier ? De multiples questions, pour un concept nouveau : hormis quelques traditions d'élevage (Thaïlande, Vietnam), la consommation d'insectes – ou entomophagie – repose sur des prélèvements dans la nature. Construire la filière, tel est donc le défi stimulant qui anime scientifiques et entrepreneurs, comme Frédéric Marion-Poll, enseignant-chercheur à AgroParisTech : « J'ai consacré ma carrière à enseigner comment tuer les insectes. Désormais, j'apprends à les élever. » Un tournant.

### Atouts nutritionnels indéniables

L'entomophagie va-t-elle se généraliser à travers le monde ? D'après la FAO, 2 milliards d'êtres humains mangent déjà des insectes, principalement en Afrique, Asie et Amérique latine. Ces arthropodes terrestres à six pattes compteraient de 6 à 10 millions d'espèces, dont un million décrites et 2100 comestibles répertoriées par le taxonomiste Yde Jongema à l'université de Wageningen. L'organisation onusienne ne tarit pas d'éloges sur leurs atouts nutritionnels. Leurs teneurs en protéines de qualité (de 13% à 77% de matière sèche) rivalisent avec celles de la viande et du poisson.

Néanmoins, elles ne forment pas une classe homogène : espèces, stades de développement ou habitats influencent leur composition. « Parler d'insectes, c'est mettre le blé et le baobab dans le même panier. Un concept trop large pour analyser les valeurs nutritionnelles », remarque Jean-Michel Chardigny, directeur de recherche à l'INRA et coauteur avec Vincent Albouy du livre *Des insectes au menu ? Ce qui va changer dans mon alimentation au quotidien* (Quae, 2016).

Malgré ces variations, nombre d'insectes comestibles fournissent « des quantités satisfaisantes

d'énergie et de protéines, satisfont les besoins humains en acides aminés, sont riches en acides gras mono et polyinsaturés et [...] en micronutriments », résume la FAO. De sérieux atouts pour lutter contre la faim dans le monde, confirment des chercheurs britanniques et japonais qui ont publié en 2016, dans le *European Journal of Clinical Nutrition*, une analyse des valeurs alimentaires de trois viandes (bœuf, porc, poulet) et six insectes comestibles (chenille du mopane, grillon, ver de farine...). En revanche, pour corriger les déséquilibres alimentaires des populations occidentales, mieux vaut manger du poulet, moins riche en énergie, sodium et graisses saturées.

Mais si les Européens semblent peu disposés à mettre l'insecte au menu, c'est davantage pour des raisons culturelles. Pour sûr, l'insecte inspire peur et dégoût : « Nous le considérons comme un animal sale, vecteur de maladies et ravageur des champs, consommé par des peuples pauvres », décrypte Rudy Caparros, maître de conférences au laboratoire d'entomologie Gembloux Agro-Bio Tech à l'université de Liège (Belgique), coauteur de l'ouvrage *Savoureux insectes. De l'alimentation traditionnelle à l'innovation gastronomique*, dirigé par Elisabeth Motte-Florac et Philippe Le Gall (IRD-PUFR-PUR, 2016). L'adhésion passerait-elle... par les insectes apéritifs ? « Non, c'est un défi qu'on se lance entre copains pour Halloween. Cela donne une mauvaise image de l'entomophagie. » Par les insectes entiers ? Non plus : « La plupart des gens ne sont pas prêts à en manger. Il faut les transformer. » Par les biscuits à base d'insectes, alors ? « Quel intérêt, en Europe, d'ajouter des protéines au goûter alors qu'on en consomme déjà

**L'ACCEPTATION PASSERA PAR DES FORMULATIONS OÙ L'INSECTE NE SERA PAS RECONNAISSABLE DANS L'ALIMENT, SOUS FORME DE FARINE, PAR EXEMPLE**



trop ? L'insecte doit devenir une source de protéines alternative à la viande », poursuit le spécialiste.

Selon ses travaux, le steak (mi-insectes mi-bœuf ou mi-végétal) serait une option prometteuse, mieux acceptée par les consommateurs que le steak 100% végétal (mais moins que le 100% bœuf). Dans le cadre d'une thèse (2017-2020), la start-up Jimini's élabore un steak d'insectes avec le laboratoire Ingénierie, procédés, aliments (INRA-AgroParisTech) : « Imiter un steak de bœuf est très complexe, donc nous travaillons sur un produit différent, qui répond aux attentes du consommateur en termes de plaisir gustatif et d'apports nutritionnels », indique le chercheur Samir Mezdour. Selon plusieurs experts, l'accep-

tation passera par des formulations où l'insecte ne sera pas reconnaissable dans l'aliment, sous forme de farine par exemple. C'est déjà le cas en Suisse, où la société Essento commercialise depuis 2017 un steak à base de vers de farine, riz et légumes dans 60 magasins et restaurants.

Peu affriolants, les insectes ? Seraient-ils au moins bons pour la planète ? En tête des arguments avancés par la FAO, leur forte capacité à convertir la nourriture en masse corporelle : 2 kg d'aliments permettent de produire 1 kg d'insectes (contre 5 kg pour 1 kg de porc). L'écart se creuse si l'on rapporte la quantité de nourriture à la portion comestible de l'animal, plus élevée chez les bêtes à six pattes. Et ce n'est pas tout :

## VERS DES THÉRAPEUTIQUES INNOVANTES

À la CHU de Saint-Etienne, les dermatologues utilisent un curieux médicament pour soigner certaines plaies : les larves de la mouche *Lucilia sericata*. Ensachées vivantes et appliquées sur la peau, elles éliminent les tissus morts et favorisent la cicatrisation. « La larvothérapie constitue en soi un traitement excellent, mais il est moins efficace depuis que notre fournisseur a changé son système d'ensachage », regrette le docteur Jean-Luc Perrot au service de dermatologie, où cette technique ne concerne plus que de 10 à 15 patients par an. Après un timide essor dans les années 2010, elle reste confidentielle, avec 110 patients traités en 2017 dans 29 hôpitaux.

Au centre de diagnostic et de traitement des plaies chroniques

de la Maison de santé protestante de Bordeaux-Bagatelle, les difficultés logistiques, notamment d'acheminement, expliquent son abandon au profit de « techniques disponibles en permanence dans le service, plus simples à utiliser au quotidien », rapporte le dermatologue Pascal Toussaint, qui identifie un second frein : la réticence culturelle des soignants. « Nous sommes une population entomophobe, où le rejet de l'insecte est viscéral », confirme l'ethnopharmacologue Elisabeth Motte-Florac. Pourtant, jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, la pharmacopée française comptait nombre de remèdes animaux, dont certains à base d'insectes, araignées ou cloportes, abandonnés avec l'essor de l'hygiénisme et la chimie à partir du XIX<sup>e</sup> siècle.

Aujourd'hui, dans le monde, plus de 600 espèces serviraient en médecine traditionnelle : larves de fourmilions en Indonésie, punaises au Mexique... « Savoir quels insectes sont utilisés, depuis très longtemps ou dans le monde entier, permet de cibler les recherches afin de découvrir des molécules potentiellement actives », indique Elisabeth Motte-Florac.

### Réservoir inexploré

D'après Roland Lupoli, entomologiste à l'université Paris-Descartes et auteur du livre *L'Insecte médicinaux* (Ancyrosoma, 2010), environ 3000 espèces, soit 0,3% du million d'insectes connus, ont fait l'objet d'études pharmacologiques, chimiques ou ethnopharmacologiques : un « réservoir inexploré » de molécules médicamenteuses.

Parmi les principaux candidats, les peptides antimicrobiens. Ces petites protéines libérées dans le sang de l'insecte font éclater les bactéries en formant des pores dans leur membrane. Un antibiotique potentiel, donc. Dans les années 2000, la société Entomed, créée par le Prix Nobel de médecine Jules Hoffmann, a découvert des centaines de peptides, mais les difficultés techniques et le manque d'investissement ont sonné la fin de ses travaux avant les essais précliniques. Aujourd'hui, quelques molécules sont en essai clinique.

Autres voies de recherche : les molécules répulsives produites par les coccinelles et punaises pour repousser l'ennemi, celles des fourmis, termites et autres insectes sociaux se livrant de terri-

bles guerres chimiques, les substances salivaires des bêtes suceuses de sang, les venins des chenilles de papillons et d'abeilles... Autant de substances aux propriétés anticancéreuses, anticoagulantes ou anesthésiantes.

### Thérapeutiques innovantes

Les venins, par exemple : « Nous avons découvert des molécules au potentiel hypoglycémiant, anti-inflammatoire, antiallergique... », liste Nicolas Gilles, pharmacologue au Commissariat à l'énergie atomique Saclay (CEA) et coordinateur de Venomics. Ce projet européen a permis de développer des techniques de séquençage et d'analyse de venins adaptées aux petits animaux. Résultat : « 20 fourmis ont suffi pour exploiter leur venin, ce qui aurait été im-

possible avec les anciennes méthodes », précise l'expert. Parmi les 3616 toxines produites à partir de 203 venins (cônes marins, araignées, scorpions, abeilles, fourmis...), les chercheurs ont identifié 280 substances actives contre des maladies telles que l'obésité ou les allergies. Cette banque de toxines animales intéresse plusieurs laboratoires pharmaceutiques comme Sanofi.

L'élevage d'insectes ouvrira-t-il lui aussi des perspectives ? « Dans les années à venir, une production bon marché de molécules thérapeutiques innovantes serait tout à fait envisageable à partir de vers de farine ou de mouches soldats élevés en masse pour l'alimentation humaine et animale », parie Roland Lupoli. ■

## UNE LÉGISLATION CLARIFIÉE

Crackers aux vers de farine, barres énergétiques à la poudre de grillons, vers buffalo saveur crème oignon... Curieux et amateurs d'insectes peuvent acheter ces aliments en France. Pourtant, aucun n'est autorisé : « Toute vente d'insectes destinés à la consommation humaine est illégale, même dans les salons ou les restaurants », rappelle l'avocate Katia Merten-Lentz, spécialiste du droit agroalimentaire au cabinet Keller and Heckman. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, le règlement sur les nouveaux aliments (*novel food*), non consommés en Europe avant 1997, est clair : la nourriture à base d'insectes (entiers ou morcelés) ne peut être commercialisée sans autorisation préalable de la Commission européenne. Cette mesure signe la fin d'une cacophonie : à cause d'interprétations divergentes du précédent règlement par les Etats membres, la Belgique et les Pays-Bas toléraient la vente d'insectes entiers sans autorisation, alors que la France l'interdisait.

Désormais, tous les ingrédients sont réunis pour que les insectes puissent gagner légalement nos assiettes en 2019 : une législation claire, des démarches simplifiées et plusieurs demandes d'autorisation instruites par la Commission européenne, dont deux de l'entreprise toulousaine Micronutris, qui élève grillons et vers de farine pour fabriquer biscuits, pâtes et gâteaux apéritifs. Trois dossiers sont en cours d'évaluation par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), chargée par la Commission d'analyser les risques. « Nous redoublons de vigilance concernant l'alimentation fournie aux insectes, et les risques de contaminations chimiques et microbiologiques dans le produit final », précise Guilhem de Seze, chef du département évaluation scientifique des produits réglementés.

### Risques d'allergies

S'il s'avère peu probable que ces parents éloignés transmettent leurs propres maladies aux humains, ils présentent néanmoins des risques. D'abord, les allergies : ils renferment des allergènes communs aux arthropodes, tels les crustacés (homards, crevettes...). « Les personnes allergiques aux crustacés ne devraient pas manger d'insectes », prévient Charlotte Grastilleur, directrice adjointe de l'évaluation des risques à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation (Anses). Second problème, l'accumulation de métaux lourds (cadmium, plomb...) dans leur corps : « Il faut leur fournir eau et alimentation de qualité car ils possèdent de faibles capacités de régulation et d'excrétion », ajoute la spécialiste. Pas question, pour l'heure, d'autoriser l'élevage de mouches soldats noires sur du fumier ou du lisier pour nourrir ensuite nos animaux d'élevage. Ce serait techniquement possible, mais trop risqué sur le plan sanitaire.

Enfin, les insectes peuvent héberger des bactéries néfastes pour l'homme. En 2018, les travaux d'une équipe suédoise ont souligné le nombre élevé de celles qui colonisent le grillon domestique, et la nécessité de développer des critères d'hygiène et de sécurité spécifiques.

L'évaluation de l'EFSA repose sur les éléments fournis par le demandeur, chargé de démontrer la sécurité de son nouvel aliment, et sur la littérature scientifique. Mais, dans un rapport paru en 2015, elle pointait le manque de connaissances sur les risques sanitaires liés à la consommation d'insectes. Tout comme son homologue française, l'Anses, qui relevait la même année un « fort déficit d'informations scientifiques ». Si des données manquent et que le demandeur ne soit pas en mesure de les fournir, l'EFSA assure qu'elle soulignera ces lacunes et incertitudes dans son avis. L'agence dispose d'un délai de neuf mois pour se prononcer. Ses premiers avis devraient donc paraître cet été ou cet automne. Elle passera alors le relais à la Commission européenne, qui décidera ou non de la mise sur le marché européen des premiers aliments à base d'insectes. ■

N. P.

Depuis la salle d'élevage de l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte de Tours, les conditions de développement des mouches soldats noires sont étudiées afin de produire des aliments pour animaux et des fertilisants.

CYRIL CHIGOT POUR « LE MONDE »



### LES INSECTES COMESTIBLES FOURNISSENT DE SÉRIEUX ATOUS POUR LUTTER CONTRE LA FAIM DANS LE MONDE

selon une évaluation environnementale réalisée en 2012 par des chercheurs de l'université de Wageningen, produire 1 kg de protéines de ver de farine émettrait moins de gaz à effet de serre, utiliserait moins de terres et consommerait autant d'énergie (nécessaire pour chauffer l'élevage d'insectes) que la production de lait, de poulet, de porc ou de bœuf. Conclusion des auteurs : le ténébrion serait une source alternative plus durable de protéines pour l'homme.

Cependant, en Europe, les principaux mangeurs d'insectes ne sont pas des humains, mais des animaux de compagnie, des poissons et des crustacés. Or dans ces filières, « aujourd'hui, le bilan environnemental des aliments à base d'insectes n'est pas satisfaisant », pointe le chercheur Joël Aubin, spécialiste de l'évaluation environnementale à l'INRA de Rennes. Son équipe a analysé l'impact environnemental d'une production à l'échelle industrielle (10 000 tonnes par an) de farine de ténébrions nourris de coproduits agricoles (pulpes de betterave, son de blé...), dans le cadre du projet Desirable (2012-2017) soutenu par l'Agence nationale de la recherche, fédérant neuf laboratoires (AgroParisTech, INRA, CEA, CNRS, Irstea...) et deux entreprises (Ynsect, IPV Food). Résultat : comparée à la farine de poisson, aliment habituel des truites, bars et autres carnassiers élevés en Europe, celle d'insectes consomme moins de ressources biologiques. Une alternative potentielle, donc, face à l'épuisement des stocks causé par la surpêche. En revanche, elle s'avère plus néfaste pour tous les autres critères (émissions de gaz à effet de serre, usage des terres, consommation d'énergie...). Même bilan négatif face à la farine de soja, autre alternative (de moindre qualité nutritionnelle) utilisée pour remplacer la farine de poisson.

#### Le bilan environnemental en question

En 2019 ou 2020, d'autres débouchés pourraient s'ouvrir pour les aliments à base d'insectes, comme la filière volaille. « Mais quel est l'intérêt de donner à manger du son de blé ou des résidus de betterave à des insectes pour nourrir ensuite des poulets, alors que ces derniers peuvent directement se nourrir de ces végétaux ? Cela ajoute un maillon inutile à la chaîne alimentaire », s'in-

terroge Joël Aubin. Par ailleurs, le chercheur a identifié les variables-clés sur lesquelles jouer pour améliorer le bilan environnemental : l'alimentation des larves, la consommation d'énergie et le rendement de la production de farine et d'huile de ténébrions.

« Multiplier par 100 notre capacité de production va nous permettre de devenir rentable, donc performant sur le plan environnemental », assure Antoine Hubert, président d'Ynsect. L'entreprise française, productrice de protéines de vers de farine pour l'aquaculture et les animaux de compagnie, va implanter sa première usine cette année près d'Amiens (Somme). « Passer du laboratoire à l'échelle industrielle, c'est le premier challenge : on doit réussir à produire en continu des milliers de tonnes par an à coût abordable pour intégrer les filières agroalimentaires », déclare le professeur Frédéric Francis, responsable du laboratoire d'entomologie à l'université de Liège. Ynsect mise sur le segment premium, avec des objectifs de quelques dizaines de milliers de tonnes de produits finis par an. Le changement d'échelle passe par l'automatisation, selon le chercheur Frédéric Marion-Poll : « Le cycle de vie des insectes est court. Leur élevage nécessite une surveillance et un entretien quotidiens, donc beaucoup de main-d'œuvre pour distribuer la nourriture, déplacer les bacs, surveiller la température et l'humidité, récolter les larves matures... » Autant de tâches automatisées dans la future usine d'Ynsect.

Autres enjeux soulevés par l'essor de ces élevages : la santé et le bien-être animal. Malgré sa courte histoire, la filière a déjà connu plusieurs cas de populations décimées par un microbe. Dans son ouvrage, la FAO rapporte celui de la société Krecra, en 2000, aux Pays-Bas : elle a perdu 50 % de ses grillons en huit à douze heures

puis la totalité, probablement à cause d'un virus, alors qu'elle vendait plus de 10 000 boîtes de grillons par semaine. « Attention à ne pas reproduire les erreurs du passé. Développer des élevages d'insectes à partir d'une seule lignée maintenue à coups d'antibiotiques est déconseillé », prévient David Giron, qui réalise un catalogue des virus infectant grillons et mouches soldats afin de fournir aux entreprises des tests de diagnostic. Et pourquoi pas, à long terme, développer des lignées résistantes.

Et le bien-être animal, dans tout ça ? Les cinq principes énoncés par l'Organisation mondiale de la santé animale – absence de faim, de soif et de malnutrition, absence de peur et de détresse, absence de stress physique et thermique, absence de douleur, de lésion et de maladie, et possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce – s'appliquent-ils aux insectes ? On en sait encore trop peu sur ces petites bêtes. Comment se comportent-elles en groupe ? Ressentent-elles du stress, de la douleur ? « Les critères de mesure de la douleur sont basés sur les vertébrés. Chez les insectes, on ne connaît pas, dans le cerveau, de mécanismes et de zones propres à la douleur », précise Claudio Lazzari, entomologiste à l'IRBI.

En revanche, grâce à des récepteurs sensibles aux stimuli dangereux, ils peuvent réagir de manière réflexe afin de se protéger. Par exemple, lever la patte pour éviter une surface brûlante. Même méconnaissance concernant le stress – on n'en connaît pas d'hormone chez les insectes – ou leurs comportements. Les vers de farine, par exemple, sont cannibales : ils peuvent manger des larves lors de la mue, des pupes et des œufs. Ce comportement naturel, qui augmente avec la densité de vers, selon les observations de Frédéric Marion-Poll, pourrait causer des difficultés aux éleveurs. « A ce stade, nous ne pouvons qu'émettre des recommandations : maintenir des conditions d'élevage proches de la nature et déceler d'éventuels signaux d'alerte, comme des retards de croissance ou une mortalité élevée, afin de s'ajuster », conclut Claudio Lazzari. Elever des insectes s'annonce plus compliqué que de les tuer. ■

NATHALIE PICARD  
(TOURS, ENVOYÉE SPÉCIALE)